

# INTENSIDADE DE USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS ARAGUARI E PARANAÍBA : DIRETRIZES SUSTENTÁVEIS PARA O DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO



LIOVANDO MARCIANO DA COSTA [Org.]  
ANDRÉ LUIZ LOPES DE FARIA  
ELIAS NASCENTES BORGES  
ARAÍNA HULMANN BATISTA





# INTENSIDADE DE USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS ARAGUARI E PARANAÍBA:

## DIRETRIZES SUSTENTÁVEIS PARA O DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO



APOIO:



**MUTUA-MG**  
CAIXA DE ASSISTÊNCIA DOS PROFISSIONAIS DO CREA



Universidade  
Federal de  
Uberlândia



Associação dos Engenheiros Agrônomos do  
Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba - AGROTAP



ORGANIZADOR  
Liovando Marciano da Costa

EDITORES  
André Luiz Lopes de Faria  
Elias Nascentes Borges  
Araína Hulmann Batista

**INTENSIDADE DE USO E OCUPAÇÃO DOS  
SOLOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS  
DOS RIOS ARAGUARI E PARANAÍBA:**

**DIRETRIZES SUSTENTÁVEIS  
PARA O DESENVOLVIMENTO  
DO AGRONEGÓCIO**



Rio de Janeiro  
Setembro 2023



OS AUTORES responsabilizam-se inteiramente pela originalidade e integridade do conteúdo desta OBRA, bem como isentam a EDITORA de qualquer obrigação judicial decorrente de violação de direitos autorais ou direitos de imagem contidos na OBRA, que declaram sob as penas da Lei ser de sua única e exclusiva autoria.

Intensidade de uso e ocupação dos solos das bacias hidrográficas dos rios Araguari e Paranaíba: diretrizes sustentáveis para o desenvolvimento do agronegócio  
Copyright © 2023, Liovano Marciano da Costa - Organizador  
Todos os direitos são reservados no Brasil

**Impressão e acabamento:** Pod Editora  
Rua Imperatriz Leopoldina, 8/1110 – Pça Tiradentes  
Centro – 20060-030 – Rio de Janeiro  
Tel. 21 2236-0844 • atendimento@podeditora.com.br  
www.podeditora.com.br

**DOI Crossref:** doi.org/10.61118/978-65-5947-250-5

**Revisão:** *Camila Christinna de Padua Freitas*

**Projeto gráfico:** *Pod Editora*

**Diagramação:** *Pod Editora*

**Capa:** *Helder Alves dos Reis*

**Imagem de Capa:** *Geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no território mineiro*

Nenhuma parte desta publicação pode ser utilizada ou reproduzida em qualquer meio ou forma, seja mecânico, fotocópia, gravação, etc. – nem apropriada ou estocada em banco de dados sem a expressa autorização dos autores.

**CIP-BRASIL, CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO  
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ**

148

Intensidade de uso e ocupação dos solos das bacias hidrográficas dos rios Araguari e Paranaíba : diretrizes sustentáveis para o desenvolvimento do agronegócio / organização Liovano Marciano da Costa. - 1. ed. - Rio de Janeiro : Pod, 2023.  
346 p. : il. ; 21 cm.

Inclui bibliografia e índice  
ISBN 978-65-5947-250-5

1. Bacias hidrográficas - Minas Gerais - Manejo. 2. Agroindústria - Minas Gerais. 3. Sustentabilidade. 4. Solo - Uso - Araguari, Rio, Bacia. 5. Solo - Uso - Paranaíba, Rio, Bacia. 6. Projetos de desenvolvimento agrícola - Minas Gerais. 7. Economia agrícola - Minas Gerais. I. Costa, Liovano Marciano da.

23-86189

CDD: 338.1309151  
CDU: 338.43(815.1)



# Sumário

Lista de Tabelas .....	11
Lista de Figuras .....	13
Prefácio .....	17
Organizador da Obra .....	19
Lista de Autores .....	21
<b>CAPÍTULO 1. Bacia hidrográfica do Rio Paranaíba: localização, comitês da bacia hidrográfica e a distribuição dos pivôs centrais.</b>	<b>23</b>
1.1 Introdução .....	23
1.2 Atribuições dos comitês das bacias hidrográficas (CBH) .....	27
1.3 Pontos relevantes que merecem a atenção da sociedade em relação aos recursos hídricos .....	30
1.4 Ocupação e uso dos solos com pastagens nativas e plantadas .....	34
Considerações finais.....	35
Referência .....	36
<b>CAPÍTULO 2. Importância das veredas na disponibilidade de água em nível local, regional, estadual e federal.....</b>	<b>37</b>
2.1 Introdução .....	37
2.2 Aspectos importantes das veredas no uso e na ocupação dos solos no Bioma Cerrado .....	40
2.3 Importância dos fluxos superficial e subsuperficial das águas nas veredas e sua relação com a declividade do leito das veredas .....	45
2.4 Conversão da vegetação do Bioma Cerrado pelas atividades agrossilvopastoris e as modificações causadas no ambiente .....	51
2.5 Modificações químicas pelo uso e ocupação dos solos relacionadas à queima das plantas do Bioma Cerrado e às adições frequentes de fertilizantes e corretivos.....	55
2.6 Microfósseis e carvões depositados nas veredas – fitólitos, pólen e fragmentos de carvão vegetal .....	64
2.7 Barramento e drenagem das veredas e suas consequências para os organismos deste ecossistema .....	69
2.8 Sedimentos provenientes da erosão hídrica que são depositados nas bordas das veredas Segregação dos sedimentos e seus efeitos na qualidade da água.....	79
Considerações finais.....	82
Referências .....	83

### **CAPÍTULO 3. Efeitos do uso intensivo dos solos em relação à qualidade e quantidade dos recursos hídricos .....85**

3.1	Introdução .....	85
3.2	Modificações dos solos em função dos usos .....	87
3.2.1	Modificações químicas, físicas e biológicas causadas pelo uso .....	87
3.2.2	Pobreza química dos solos e a frequência das fertilizações e correções .....	89
3.2.3	Uso racional da água superficial e subterrânea na agricultura irrigada .....	91
3.2.4	Susceptibilidade dos solos às modificações causadas pelo uso.....	92
3.2.5	Avaliações químicas e físicas de solos sob cultivo intensivo .....	93
3.2.6	Resultados e danos observados em solos submetidos ao uso intensivo.....	93
3.3	Capacidade dos solos cultivados em suportar estresse .....	96
3.3.1	Compactação e adensamento dos solos cultivados associados à mecanização agrícola .....	97
3.4	A Estrutura e sua relação com os estresses sofridos pelos solos.....	98
3.5	Míneralogia da fração argila relacionada à estrutura dos solos cultivados.....	99
3.6	Intensidade de uso e ocupação do solo e suas consequências.....	99
3.6.1	Demanda contínua por alimentos e outros bens de consumo .....	99
3.6.2	Qualidade da água para a irrigação e outras finalidades .....	100
3.6.3	Adição de fertilizantes e corretivos para a obtenção de alta produtividade.....	100
3.7	Avaliação da densidade do solo em condições de campo .....	101
3.8	Constatação, medição e causas do adensamento e da compactação.....	103
3.9	Manejo de solos compactados ou adensados.....	104
3.10	Recursos hídricos em relação ao manejo do solo.....	107
	Considerações finais.....	108
	Referência .....	108

### **CAPÍTULO 4. Recursos hídricos relacionados às principais classes de solos em Bacias Hidrográficas .....109**

4.1	Introdução .....	109
4.2	Classes de solos brasileiros .....	115
4.2.1	Latossolos.....	116
4.2.2	Argissolos .....	117
4.2.3	Neossolos .....	118
4.2.4	Cambissolos .....	118
4.3	Dados obtidos a partir dos levantamentos de solos do Alto Paranaíba, do Triângulo Mineiro e do Mapa de Solos de Minas Gerais.....	119
	Considerações finais.....	123
	Referências .....	123



## **CAPÍTULO 5. Importância da estrutura e da textura dos Latossolos nos recursos hídricos ..... 125**

5.1	Introdução .....	125
5.1.1	A construção de Brasília e seus efeitos no uso e na ocupação dos solos do Bioma Cerrado.....	125
5.1.2	Limitações causadas pela baixa fertilidade dos Latossolos .....	128
5.1.3	Propriedades físicas dos solos .....	129
5.2	Descrição da estrutura do solo.....	131
5.3	Fração areia na constituição de solos: grãos simples e formação de agregados nos solos .....	143
5.4	Estrutura de solos argilosos.....	148
5.5	Informações obtidas pela experimentação .....	151
5.5.1	Avaliação da estabilidade da estrutura do solo .....	152
5.5.1.1	Avaliação da estabilidade de agregados de solo para o uso, manejo e conservação do solo e da água.....	154
5.5.2	Alguns efeitos do uso do solo em seus atributos físicos .....	158
5.6	Argila dispersa em água e sua importância no manejo da estrutura dos solos cultivados: curto histórico sobre os estudos da dispersão de argila pela calagem.....	160
	Considerações finais.....	166
	Referências .....	167

## **CAPÍTULO 6. Geoprocessamento aplicado aos estudos de uso e ocupação dos solos..... 169**

6.1	Geoprocessamento e sensoriamento remoto .....	170
6.2	Material e Métodos / Equipamentos e ferramentas.....	171
6.3	Fonte e base de dados .....	171
6.4	Procedimentos metodológicos.....	172
	Considerações finais.....	183
	Referências .....	184

## **CAPÍTULO 7. Amostragem de solos para análises físicas, químicas e biológicas: aspectos gerais, cuidados e recomendações na obtenção de amostras ..... 185**

7.1	Introdução .....	185
7.1.1	Amostragem de solos e outros aspectos a serem considerados .....	186
7.2	Condições especiais ou particulares de amostragem / áreas sistematizadas em várzeas.....	192
7.2.1	Amostragem de solos nas proximidades de grandes centros urbanos.....	194
7.2.2	Amostragem de solos com sinais evidentes de erosão.....	195
7.2.3	Amostragem de solos submetidos a queimadas frequentes.....	195
7.2.4	Amostragem de solos em áreas de alta concentração industrial .....	196

7.3	Participação da física do solo no manejo adequado de solos sob uso intensivo .....	197
7.3.1	Infiltração de água nos solos .....	198
7.3.2	Atributos físicos relacionados à infiltração de água no solo .....	200
7.3.2.1	Densidade do solo e porosidade .....	200
7.3.2.2	Compactação do solo.....	203
7.4	Resistência do solo à penetração .....	203
	Considerações finais.....	209
	Referências .....	210

## **CAPÍTULO 8. Práticas conservacionistas usadas na preservação dos recursos hídricos .....213**

8.1	Introdução .....	213
8.2	Terraceamento, limitações e importância .....	214
8.3	Terraceamento na agricultura familiar versus agricultura tecnificada....	217
8.4	Herança cultural e sentimento conservacionista: expansão do sistema plantio direto e o terraceamento agrícola .....	219
8.5	Terraceamento como prática complementar, tipos e adoção de outras medidas de proteção do solo e da água.....	221
8.6	O papel social do produtor rural e do profissional ligado às ciências agrárias no controle da erosão e outras formas de degradação.....	224
8.7	Terraceamento agrícola na agricultura 4.0: uso de ARPs, Drones ou VANTs.....	225
8.7.1	Perspectivas para o uso de ARPs (Aeronaves Remotamente Pilotadas), Drones ou VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulado) no controle dos processos de perdas de solo e água .....	225
8.7.2	Importância da retificação das imagens geradas nas ARPs (aeronaves remotamente pilotadas) ou drones e obtenção das ortomosaicos .....	228
8.7.3	Requisitos necessários para obtenção e interpretação das informações das imagens produzidas pela ARP .....	231
8.7.4	Planejamento e requisitos para execução do mapeamento por ARPs ou drones .....	233
8.8	Classificação técnica dos terraços.....	234
8.8.1	Terraço quanto à sua função.....	235
8.8.1.1	Terraço de retenção em nível, para infiltração do runoff e deposição dos sedimentos no local da interceptação.....	235
8.8.1.2	Terraço com gradiente ou em desnível, de drenagem ou de escoamento.....	235
8.8.2	Terraços quanto à largura da base ou faixa de terra movimentada ....	237
8.8.2.1	Terraço de base estreita ou cordão de contorno.....	237
8.8.2.2	Terraço de base média .....	238
8.8.2.3	Terraço de base larga.....	238
8.8.3	Quanto ao processo ou modo de construção.....	239

8.8.3.1	Tipo Nichol's ou terraço de canal .....	239
8.8.3.2	Terraço tipo Manghum, de base larga ou de camalhão .....	240
8.8.4	Terraço quanto à forma do perfil esquemático ou visual .....	241
8.8.4.1	Terraço comum .....	241
8.8.4.2	Terraços tipo patamar .....	244
8.8.4.3	Terraço do tipo banquetta individual .....	244
8.8.4.4	Terraço tipo murundum ou leirão .....	245
8.8.4.5	Terraço tipo embutido .....	246
8.9	Ganhos e perdas em produtividade, perdas de solo e água, dimensionamento do sistema de terraceamento e os avanços nas pesquisas conservacionistas .....	248
8.10	Dimensionamento do espaçamento entre terraço .....	249
	Considerações finais .....	256
	Referências .....	256

## **CAPÍTULO 9.    Locação de estradas não pavimentadas no contexto da conservação do solo e da água nas atividades agrossilvopastoris.....259**

9.1	Introdução .....	259
9.2	Planejamento das estradas .....	261
9.3	Distribuição espacial das estradas .....	262
9.4	Características climáticas locais e regionais .....	263
9.5	Nível das estradas em relação às áreas cultivadas .....	264
9.6	Uso e ocupação atual dos solos nas margens das estradas .....	265
9.7	Permeabilidade dos solos na superfície e na subsuperfície .....	266
9.8	Textura dos solos e das rochas .....	268
9.9	Leito das estradas em diferentes horizontes dos solos .....	269
9.10	Estabilidade das estradas .....	271
9.11	Acúmulo de água nas estradas .....	273
9.12	Caixas de retenção de água proveniente das estradas .....	274
9.13	Avaliação do estado de conservação das estradas .....	276
9.14	Uso do solo ao longo das estradas .....	277
9.15	Estradas e sua relação com a qualidade da água .....	280
9.16	Recomendações na locação, construção e manutenção das estradas .....	282
9.17	Volume de água nas estradas .....	284
	Considerações finais .....	285
	Referências .....	285

## **CAPÍTULO 10. A Educação no consumo da água e de outros bens.....287**

10.1	Introdução .....	287
10.2	A sociedade do desperdício e seus efeitos na qualidade do ambiente/água .....	291
10.3	Qualidade da água .....	294
10.4	Relação solo-água e a trajetória da água das chuvas .....	295
10.5	Conflitos causados pelo uso das águas .....	296

10.6	Estimativas de consumo de água em 20 municípios do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba.....	303
10.6.1	Introdução .....	303
10.6.2	Procedimentos adotados para as estimativas de consumo de água.....	303
	Considerações finais.....	311
	Referências .....	312

**CAPÍTULO 11. Viabilidade e uso dos remineralizadores ou pós de rochas na atividade agropecuária .....313**

11.1	Introdução .....	313
11.2	Pesquisas e desenvolvimento dos remineralizadores na agricultura brasileira.....	317
11.3	Importância dos remineralizadores no contexto do ambiente do Bioma Cerrado.....	319
11.4	Rochas com potencial para remineralização de solos e custos .....	323
11.5	Avaliação da fertilidade em solos tratados com remineralizadores .....	324
11.6	Composição química de rochas do Triângulo Mineiro .....	325
11.7	Recomendação de remineralizadores para culturas agrícolas.....	331
11.8	Legislação remineralizadores.....	332
11.9	Registro de substâncias minerais, encontradas na superfície ou no interior da terra.....	338
	Considerações finais.....	340
	Referências .....	340

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Classificação das veredas em patamares e suas declividades .....	46
Tabela 2.2 – Resíduos de biomassa, concentração e quantidade de nutrientes no sistema após a queima de uma floresta tropical aberta na região de Ji-Paraná, RO	53
Tabela 2.3 – Composição química da biomassa vegetal fresca e seca .....	56
Tabela 2.4 – Cinza insolúvel (CI) e solúvel (CS) em HCl 0,5 mol/L, NaOH 0,5 mol/L e água destilada da parte aérea das espécies estudadas .....	62
Tabela 4.1 – Principais classes de solos, Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos no Brasil, em Minas Gerais e em suas correspondentes localizações .....	120
Tabela 4.2 – Argissolos, Cambissolos, Latossolos e Neossolos e seus respectivos relevos – Plano, Suave Ondulado, Ondulado, Forte Ondulado, Montanhoso e Escarpado no Alto Paranaíba (AP), Triângulo Mineiro (TM) e na Bacia Hidrográfica do Rio Araguaí (BHR Araguaí) no estado de Minas Gerais .....	121
Tabela 5.1 – Principais classes de solos, Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos no Brasil, em Minas Gerais, no Triângulo Mineiro, no Alto Paranaíba e na Bacia Hidrográfica do Rio Araguaí.....	127
Tabela 5.2 – Latossolos do Alto Paranaíba com destaque para o horizonte diagnóstico Bw – tipo, grau e tamanho da estrutura, incluindo-se altitude, relevo e mineralogia da fração argila.....	136
Tabela 5.3 – Latossolos do Triângulo Mineiro com destaque para o horizonte diagnóstico Bw – tipo, grau e tamanho da estrutura, incluindo-se altitude, relevo e os índices Ki e Kr.....	140
Tabela 5.4 – Ponto de carga zero (PCZ) e composição mineralógica da fração argila ..	165
Tabela 7.1 – Concentração de metais traços em fertilizantes usados em minas gerais ..	190
Tabela 7.2 – Concentração de metais traços em oito calcários usados em Minas Gerais .....	191
Tabela 8.1 – Comparativo método convencional x drones para fins de levantamento topográfico, no estado de São Paulo .....	226
Tabela 8.2 – Valores de declividade recomendados (%) para três grupos de solos, ao longo de terraços localizados com gradiente progressivo.....	237
Tabela 8.3 – Comparativo entre terraço em nível e em desnível com suas vantagens e desvantagens.....	247
Tabela 8.4 – Agrupamento de solos segundo suas propriedades, características e resistência à erosão com base em informações extraídas de levantamentos pedológicos de reconhecimento de média intensidade ou superior .....	254
Tabela 8.5 – Agrupamento das principais culturas de interesse econômico conforme proteção conferida contra perda de solo (u), em função dos diferentes	

estádios de desenvolvimento e o índice de cobertura e proteção do solo .	255
Tabela 8.6 – Índice de proteção do solo contra erosão oferecido pelos diferentes tipos de preparo do solo e sistemas de manejo da matéria orgânica e restos culturais da lavoura .....	255
Tabela 10.1 – Estimativa de consumo de água pelas culturas de Café, Cana-de-Açúcar, Milho e Soja de 20 municípios do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba, no ano de 2021 .....	306
Tabela 10.2 – Estimativa de consumo de água para dessedentação dos bovinos, suínos e galináceos de 20 municípios do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba, no ano de 2021 .....	308
Tabela 10.3 – Síntese do consumo de água em três atividades: Doméstica, Agricultura e Pecuária em 20 municípios do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba, a partir do Censo IBGE, 2021 – população humana; produção agrícola de café, cana-de-açúcar, milho e soja; número de cabeças de bovinos, suínos e galináceos. ....	310
Tabela 11.1 – Composição mineralógica de nutrientes presentes em remineralizadores (estudos de materiais do Triângulo Mineiro).....	328
Tabela 11.2 – Descrição dos remineralizadores produzidos no Brasil conforme o registro no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento .....	330
Tabela 11.3 – Especificações de natureza física dos remineralizadores .....	334
Tabela 11.4 – Teores mínimos do macronutriente fósforo e de micronutrientes que podem ser declarados nos remineralizadores .....	334
Tabela 11.5 – Tolerâncias admitidas para os remineralizadores com relação à especificação de natureza física .....	336

## Lista de Figuras

Figura 1.1 – Distribuição espacial dos pivôs centrais localizados território mineiro da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	25
Figura 1.2 – Trajeto da campanha de campo realizado no período de 03 a 08/08/2022, por uma parte ds autores desta obra. ....	26
Figura 2.1 – Queimada em uma Vereda no município de Uberlândia – MG, fotografada logo após o incêndio: cinzas claras intercaladas com cinzas escuras.....	59
Figura 2.2 – Coloração das cinzas de duas espécies vegetais do Bioma Caatinga: <i>Acalypha brasiliensis</i> (cinza clara) e <i>Campomanesia eugenioides</i> (cinza escura), calcinadas em forno mufla a 500°C por duas horas.....	60
Figura 2.3 – Porcentagem da massa de cinza insolúvel (CI) e solúvel (CS) em HCl 0,5 mol/L e cinza total (CT) da parte aérea das espécies estudadas em relação a massa da matéria seca.....	61
Figura 2.5 – Aprofundamento da drenagem de um curso de água de uma vereda na periferia de Uberlândia – MG.....	67
Figura 2.6 – Vereda com total supressão da vegetação nativa na área ocupada pela represa .....	75
Figura 4.1 – Paisagem de solo exposto no município de Lagoa Formosa-MG.....	122
Figura 5.1 – Representação gráfica da degradação física e melhoria química dos solos distróficos do Bioma Cerrado.....	129
Figura 5.2 – Visão interna de um corte de microagregados de Latossolo Vermelho Distroférico do município de Capinópolis-MG .....	133
Figura 5.3 – Mapa microquímico de Si em secção cortada longitudinalmente em um microagregado de LVd: 400 X 150 µm.....	134
Figura 5.4 – Mapa microquímico de Al em secção cortada longitudinalmente em um microagregado de LVd: 400 X 150 µm.....	135
Figura 5.5 – Morfologia dos grãos de areia provenientes de Neossolo Flúvico das margens do rio Araguaia, município de Xambioá-TO .....	144
Figura 5.6 – Visão exterior de dois grãos de areia (A e B) e detalhamento de uma área menor, com cavidades alongadas na superfície do grão de areia, proveniente de um Espodossolo do município de Guarapari-ES.....	146
Figura 5.7 – Visão externa de uma parte de um grão de areia, sem remoção do capeamento, proveniente de um Espodossolo do município de Guarapari-ES.....	147
Figura 5.8 - (A e B) – Estrutura granular de um Latossolo Vermelho Eutroférico típico .....	150
Figura 5.9 – Índices de comparação obtidos pelo método de agitação horizontal I para o horizonte A dos solos estudados .....	156
Figura 5.10 – Índices de comparação obtidos pelo método de agitação horizontal I para o horizonte B dos solos estudados .....	157
Figura 5.11 – Densidades de dois Latossolos submetidos a diferentes pressões.....	159

Figura 5.12 – Efeito da carga (0 a 12 m <sup>3</sup> de madeira) na resistência do solo à penetração .....	160
Figura 6.1 – Mapa hipsométrico da bacia do rio Paranaíba .....	173
Figura 6.2 – Declividade da bacia do rio Paranaíba .....	174
Figura 6.3 – Mapa pedológico da bacia do rio Araguari .....	175
Figura 6.4 – Mapa geológico da bacia do rio Araguari .....	176
Figura 6.5 – Geodiversidade da bacia do rio Araguari .....	177
Figura 6.6 – Bacia hidrográfica do rio Araguari .....	178
Figura 6.7 – Concentração dos pivôs centrais da bacia do rio Paranaíba .....	179
Figura 6.8 – Mapa das Área de conflito da bacia do rio Paranaíba .....	180
Figura 6.9 – Distribuição da mineração na bacia do rio Paranaíba .....	181
Figura 6.10 – Distribuição de outorgas de uso insignificante da bacia do rio Paranaíba .....	182
Figura 6.11 – Distribuição de outorga de uso hídrico da bacia do rio Paranaíba .....	183
Figura 7.1 – Esquema de um penetrômetro de impacto evidenciando os componentes que o compõem .....	204
Figura 7.2 – Curvas de resistência dos solos à penetração .....	206
Figura 7.3 – Resistência do solo à penetração para mata, seringueira, laranja, cana e pastagem, com umidade do solo de 0,117; 0,229; 0,167; 0,166; e 0,154 kg kg <sup>-1</sup> , respectivamente .....	208
Figura 8.1 – Corte transversal de um terraço com seção triangular .....	214
Figura 8.2 – Análise de projeto planialtimétrico para análise de sistematização e tomadas de decisões .....	228
Figura 8.3 – Ortofoto de <i>imagem</i> aérea georreferenciada, capturada através de mapeamento com drones destacando o MDS e o MDT, úteis para gerar o mapa de niveladas ou de declive .....	229
Figura 8.4 – Terraço de base estreita .....	238
Figura 8.5 – Figura esquemática do terraço de base média, evidenciando a movimentação de terra com largura de 3 a 6 m para construção do canal (área de corte) e do camalhão (aterro) .....	238
Figura 8.6 – Figura esquemática do terraço de base larga .....	239
Figura 8.7 – Figura Terraço tipo Nichol's ou canal .....	239
Figura 8.8 – Figura esquemática de um terraço tipo Manghun, de base larga, com detalhes da existência de dois canais e um camalhão com pequena altura para possibilitar o plantio tanto dos canais como do camalhão .....	240
Figura 8.9 – Figura esquemática do terraço comum usado na agricultura .....	241
Figura 8.10 – Construção de terraço comum de base larga, com lâmina frontal .....	243
Figura 8.11 – Construção de terraço comum com arado de disco pelo método da ilha - Fonte: extraído de EPAGRI (2023) .....	243
Figura 8.12 – Figura Terraço tipo patamar contínuo, levemente inclinado para dentro, e crista externa no aterro .....	244
Figura 8.13 – Terraço tipo banquetas individuais para culturas perenes .....	245
Figura 8.14 – Terraço tipo murundum, mostrando camalhão alto e verticalizado que inviabiliza plantio, controle de plantas daninhas e manejo integrado de pragas e doenças .....	246



Figura 8.15 – Terraço tipo embutido, diferente do murundum por apresentar talude a jusante do canal mais suavizado, permitindo manejo integrado de pragas e doenças .....	247
Figura 8.16 – Esquema do espaçamento vertical (EV) e espaçamento horizontal (EH) entre dois terraços (representação ponto T1 e T2) transversais à rampa do terreno .....	250
Figura 9.1 – Cascalheira em Santa Maria, no Município de Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, Brasil.....	260
Figura 9.2 – Imagem de drone, mostrando pastagem degradada, trilhos de animais quase paralelas às curvas de nível, pobreza de cobertura do solo em Cambissolos e Latossolos da Zona da Mata Mineira.....	278
Figura 9.3 – Acúmulo de água no leito dos trilhos de animais, logo depois do término de uma chuva intensa .....	279
Figura 11.1 – Distribuição espacial aproximada das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, ressaltando a nordeste a região das ocorrências estudadas no Triângulo Mineiro (MG) .....	326
Figura 11.2 – Geologia simplificada da região do Triângulo Mineiro ressaltando a distribuição da Formação Serra Geral com a localização das amostras de basalto .....	327
Figura 11.3 – Mapa de localização das empresas brasileiras com remineralizadores registrados no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento .....	329



## Prefácio

Agrônomo por formação, grande estudioso de Química, mais especificamente da Química do Solo, incansável pesquisador e professor por vocação, esse é Liovando Marciano da Costa, meu pai. Tendo crescido ao seu lado, desde pequena escuto, em casa, sobre a importância da água e as possíveis consequências do mau uso desse recurso natural tão importante. Assim, hoje, quando vejo uma situação de desperdício de água, meus pensamentos imediatamente me transportam para minha infância. Lá ouvia meu pai insistentemente tentando me mostrar os problemas do desperdício de bens de consumo e particularmente do mau uso da água.

Ainda pequena, eu não entendia direito aonde ele queria chegar com “aquele papo” de preservação da água, que a mim parecia algo trivial. No entanto, ouvia-o atentamente. Eu tinha a convicção de que ele, cientista que era, com certeza sabia do que estava falando e não caberia a mim questionar. Ele mostrava um cuidado no uso da água que por vezes parecia quase excessivo. Mas além da preocupação com o uso cotidiano da água, em alguns momentos ele trazia dados científicos que corroboravam sua visão sobre a importância dela. Portanto cresci com a certeza de que era preciso, no mínimo, evitar o desperdício de água.

Aos poucos, já mais velha, pude perceber que a preocupação com recursos naturais em geral vinha acompanhada de longos anos de estudo e pesquisa. Assim percebi que o que antes parecia “aquele papo” de preservação da água na verdade carregava uma visão profundamente crítica sobre o tema. E ele mantendo-se fiel ao cientista que é, tinha sempre um olhar desconfiado de notícias largamente veiculadas em meios de comunicação. Sua abordagem sempre se distanciou de exposições alarmistas ou sensacionalistas sobre temas ligados a ecologia e preservação da natureza. Optou sempre por um olhar desconfiado de notícias midiáticas, preferindo um olhar mais acurado e pormenorizado respaldado pela ciência. Neste livro ele segue este mesmo olhar atento, crítico e analista sobre o tema que desde muito tempo o preocupa: a água. E contou com a importante colaboração dos professores André Luiz Lopes de Faria, Araújo Hulmann Batista e Elias Nascentes Borges, que se mostram igualmente preocupados com questões relativas à preservação dos recursos hídricos e seus impactos no nosso dia a dia.

Com a reunião destes professores e pesquisadores das áreas de Agronomia e Geografia, com diferentes perspectivas da questão da preservação dos recursos hídricos, foi possível organizar uma análise detalhada e empírica do tema que resultou neste livro. Tomando como referencial a região da Bacia do Rio Paranaíba seguiram-se as análises da disponibilidade de água em vários níveis, da ocupação do solo e do Bioma Cerrado bem como da importância das veredas na disponibilidade de água. Também foi discutido o uso intensivo dos solos e sua relação com a quantidade e qualidade dos recursos hídricos. Foi dado destaque para o papel do solo nas práticas de preservação dos recursos hídricos abordando inclusive temas relativos à agricultura familiar e empresarial e seus impactos bem como a locação de estradas não pavimentadas e sua relação com a conservação dos solos e da água.

Creio que o objetivo maior do livro seja contribuir para uma conscientização crítica sobre a importância da água na vida de todos nós.

*Cláudia Rocha da Costa Carvalho*

## Organizador da Obra

Liovando Marciano da Costa é Graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (1971), mestrado em Fitotecnia pela mesma instituição (1973) e Ph.D. em Soil Science - University of Missouri System (1979). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em uso e manejo do solo, com atuação nos seguintes temas: elementos químicos traço, uso, manejo dos solos, biogeoquímica de silício e propriedades físicas e químicas de carvão vegetal. Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-graduação da UFV (1998-2000). Coordenador - Ciências Agrárias I da Capes por dois mandatos. Primeiro Diretor do novo Campus UFV de Rio Paranaíba (2006 a 2008), criando os Cursos de Agronomia, Administração, Ciência de Alimentos e Sistemas de Informação. Orientador principal de 32 mestres e 37 doutores e supervisor de três pós-doutores. Como coorientado, foram orientados 96 estudantes de mestrado e de doutorado. Publicações: 254 artigos científicos em periódicos nacionais e internacionais; quatro livros e 27 capítulos de livro.



## Lista de Autores

**Ana Paula Silva Nascentes Nunes**, Engenheira Civil pela UFV, Campus de Rio Paranaíba - MG, em 2014, Mestrado em Estruturas e Construção Civil pela FECIV/UFU em 2018. <http://lattes.cnpq.br/8801430200238557>.

**André Luiz Lopes de Faria**, Graduado em Geografia Licenciatura e Bacharelado (1993/1994) UFJF, Mestre em Ciências Ambientais e Florestais em 2001 pela UFRRJ, Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas em 2010 pela UFV, Pós-doutorado em Oceanografia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo em 2022. Professor do Departamento de Geografia /UFV e Coordenador do Laboratório de Geomorfologia do Quaternário. <http://lattes.cnpq.br/3104903814803347>.

**Araína Hulmann Batista**, Engenheira Agrônoma pela UFPR em 2001, MS em Química do Solo e Nutrição de Plantas em 2011, Doutorado em Química e Mineralogia do Solo pela mesma instituição com intercâmbio com a Universidade do Oeste da Austrália (UWA) em 2014. Professora Adjunta da Universidade Federal de Uberlândia. <https://lattes.cnpq.br/6998288030287433>.

**Cinara Xavier de Almeida**, Engenheira Agrônoma pelo ICIAG/UFU em 2005, Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho em 2008, Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho em intercâmbio com Universidade Laval de Québec, Canadá em 2011. Profa. na área de Solos nos Cursos de Agronomia e Engenharia Florestal do ICIAG/UFU, Campus de Monte Carmelo-MG <http://lattes.cnpq.br/8464123724375244>.

**Cláudia Rocha da Costa Carvalho**, Bacharel em Direito pela UFMG-MG, em 2006.

**Diogo Antonio da Silva**, Bacharelado em Geografia – UFV. <http://lattes.cnpq.br/2464282689962277>.

**Elias Nascentes Borges**, Engenheiro Agrônomo pela UFV em 1983, Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas em 1986 pela UFV, Doutorado em Agronomia/Ciência do Solo pela ESALQ/USP de Piracicaba em 1996. Prof. Titular do ICIAG/UFU em Física/Manejo e Conservação do Solo na Agronomia e Mecânica dos Solos na Engenharia Ambiental e Sanitária, Coordenador do Laboratório de Física e Manejo de Solos-LAMAS-UFU, Conselheiro da Câmara Especializada de Agronomia do Crea-MG, Presidente da Agrotap – Uberlândia-MG. <http://lattes.cnpq.br/8591184572732323>.

**Fernando César Ferreira**, Bacharel em Sistemas de Informação pela Faculdade Pitágoras de Uberlândia em 2015 e Engenheiro Agrônomo pelo IFTM, campus

Uberlândia em 2022. cursando MSc em Qualidade Ambiental no ICIAG/UFU. <http://lattes.cnpq.br/1170208427681740>.

**Liovando Marciano da Costa**, Engenheiro Agrônomo pela UFV, 1971; MS em Fitotecnia, 1973 pela mesma Instituição; Ph.D., 1979 em Agronomia/Ciência do Solo pela Universidade de Missouri-Columbia. Professor Titular Aposentado da UFV. <http://lattes.cnpq.br/0490838780480779>.

**Lucas Righetti Arnaut**, Bacharelado em Geografia – UFV. <http://lattes.cnpq.br/0199212263356326>.

**Marcelo Alves da Rocha Dias**, Engenheiro Agrônomo pela UFU em 2011 e MS em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas em 2016, pela mesma instituição. Técnico do Laboratório de Manejo e Conservação do Solo da UFU - Uberlândia-MG. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3217815958520864>.

**Ricardo Falqueto Jorge**, Engenheiro Agrônomo UFES, Campus de Alegre-ES, Mestrado em Agronomia pela Universidade Federal de Uberlândia, 2004, Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal, pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP - Campus de Jaboticabal, 2010. Prof. na área de Solos nos Cursos de Agronomia e Engenharia Florestal do ICIAG/UFU, Campus de Monte Carmelo-MG.



# CAPÍTULO 1. Bacia hidrográfica do Rio Paranaíba: localização, comitês da bacia hidrográfica e a distribuição dos pivôs centrais

*Araína Hulmann Batista  
Liovando Marciano da Costa  
André Luiz Lopes de Faria  
Diogo Antônio da Silva*

## 1.1 Introdução

Nesta obra, serão discutidos alguns aspectos relacionados aos recursos hídricos e suas utilizações, com destaque para atividades agrossilvopastoris, localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP) no território mineiro. Alguns critérios foram considerados na escolha desta bacia, tais como: localização estratégica em relação às regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil e o fato de ela fazer parte do importante Bioma Cerrado. Outros critérios também foram acrescentados, como o relevo, os recursos hídricos, proximidade de recursos minerais muito utilizados na produção agrícola, o clima, a infraestrutura de transporte bem como o uso e a ocupação intensiva dos solos, incluindo-se a irrigação que consome uma grande parte das águas na produção das culturas irrigadas. A partir desta escolha, criou-se uma lista provisória, com capítulos que poderiam fazer parte desta obra, até então em processo de construção. O número de capítulos dessa lista é bem maior do que a quantidade daqueles escolhidos, que se tornaram parte deste livro. Nesse processo, ficou claro para os autores que seria uma tarefa fácil preparar uma nova lista com outros capítulos de grande relevância para a área escolhida.

A BHRP abrange 197 municípios e o Distrito Federal. Ela drena uma área de 222.600 km<sup>2</sup> que corresponde a 2,60% do território nacional, e 63,30% dela estão no estado de Goiás seguido de 31,70% em Minas Gerais, 3,40% em Mato Grosso do Sul e 1,60% no Distrito Federal. Esta obra se restringe aos 70.564,20 km<sup>2</sup> em Minas Gerais. Com as devidas

precauções, as informações apresentadas têm utilidade para os demais 68,30% de territórios distribuídos por Goiás, Mato Grosso do Sul e o Distrito Federal. Os Biomas Cerrado e Mata Atlântica são predominantes nesta bacia. Contudo, uma considerável parte deles foi substituída pelas atividades agrossilvopastoris. As precipitações pluviométricas médias variam entre 1435 e 1592 mm, com valores médios de evapotranspiração de 909 mm.

Do total de 197 municípios, 64 encontram-se no estado de Minas Gerais, perfazendo um total de 70.564,20 km<sup>2</sup>, com população de 2.383.061 habitantes, o que resulta em uma densidade demográfica de 33,77 hab./km<sup>2</sup>, ligeiramente menor do que a do estado de Minas Gerais, que registra 36,50 hab./km<sup>2</sup>. Os dados utilizados para as densidades demográficas foram obtidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O leitor pode questionar a escolha parcial da BHRP, principalmente se ele for um habitante de uma região abarcada por essa bacia que esteja fora dos limites estabelecidos pelos autores. Não se trata de excluir nenhum dos habitantes dessa importante área do território nacional. Por isso, para aliviar qualquer sentimento indesejável, os autores recomendam aos leitores que comparem as suas áreas de atuação com a parte da BHRP que foi contemplada. Para a devida valorização de cada habitante, essa comparação pode começar pela semelhança dos costumes da população que habita a bacia. Cada habitante deve rever alguns pontos comuns da BHRP, tais como: o relevo, os recursos hídricos, proximidade de recursos minerais muito utilizados na produção agrícola, o clima, a infraestrutura de transporte bem como o uso e a ocupação intensiva dos solos. Desse modo, utilizando esses critérios, cada habitante pode fazer suas comparações e avaliar, até que ponto, este texto poderá ser útil em suas atividades profissionais e pessoais. Os trabalhos realizados em grandes áreas não conseguem dar o mesmo tratamento para todos os locais, mesmo que eles estejam dentro do polígono que está sendo discutido. As escalas numérica e gráfica devem fazer parte de todo mapa, e não podem ser ignoradas em suas análises. Algumas áreas só podem ser mapeadas se o seu tamanho for compatível com a escala. Antes de afirmar a identificação de algum equívoco, o observador deve verificar qual a escala e que área o mapa engloba.

Este capítulo é direcionado para a parte da BHRP localizada no estado de Minas Gerais (Figura 1.1), conforme já foi mencionado. A sub-bacia do Rio Araguari que faz parte da BHRP foi eleita para servir como uma área piloto, para os seguidos testes de procedimentos utilizados em laboratório. Um aspecto considerado importante é que nela há conflitos por recursos hídricos, em especial nas áreas de maior frequência dos pivôs

centrais, o que pode ser facilmente visualizado na Figura 1.1. No município de Santa Juliana e vizinhanças, há uma enorme concentração de pivôs centrais, que são grandes consumidores de água. Por essa razão, nessa área foram registrados conflitos por recursos hídricos.

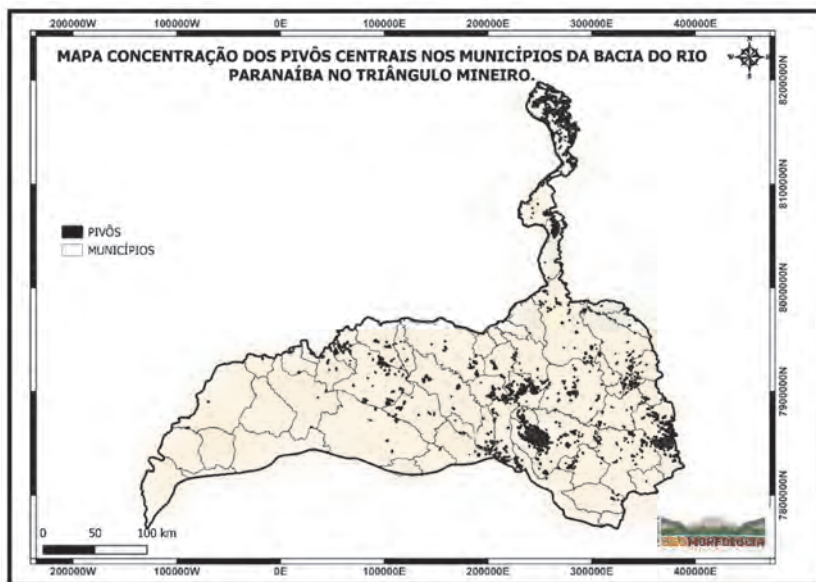


Figura 1.1 – Distribuição espacial dos pivôs centrais localizados território mineiro da bacia hidrográfica do rio Paranaíba

Toda população residente em determinada área tem um grande número de demandas por bens de consumo e, para satisfazer essa demanda, precisa utilizar os recursos naturais disponíveis localmente ou buscá-los fora da área, para suprir suas necessidades. Quando a produção é maior do que a demanda local, o excedente pode ser disponibilizado para outras regiões. Assim, por meio do comércio, as atividades de compra e venda passam a ter importância entre municípios das regiões produtoras e consumidoras, em nível regional, estadual e nacional.

Alguns autores desta obra tinham conhecimento prévio da área que serve de base para as discussões feitas a respeito da BHRP que se localiza em Minas Gerais. Mesmo assim, planejou-se uma viagem de seis dias para levantamento dos dados de campo, os quais se encontram no roteiro da Figura 1.2, complementares àqueles obtidos a partir de imagens de satélites, processadas no Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia da UFV. Tal planejamento mostrou-se uma iniciativa de grande alcance, que embasou as diversas discussões encontradas em todos

os capítulos que compõem este livro. Certamente, a experiência de cada um contribuiu para que esta obra pudesse ser concluída na forma como se encontra.

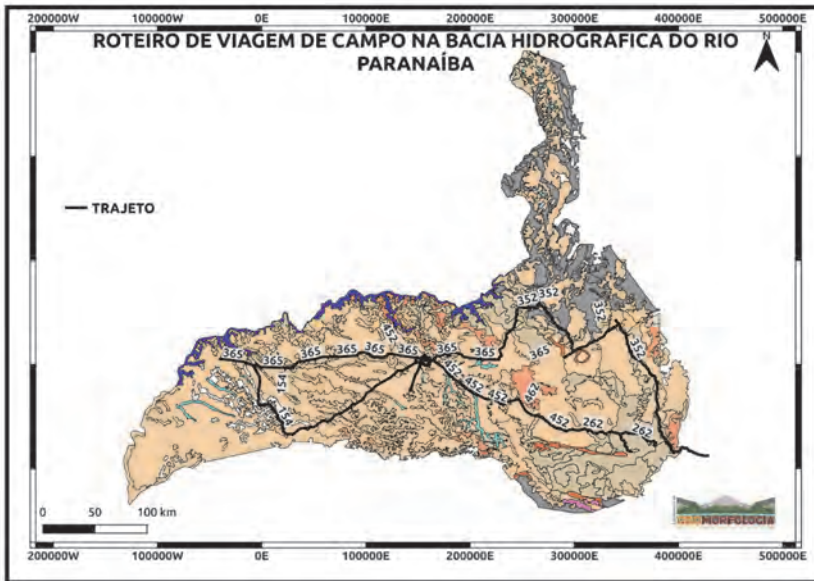


Figura 1.2 – Trajeto da campanha de campo realizado no período de 03 a 08/08/2022, por uma parte dos autores desta obra

Por meio de uma observação mais detalhada na hidrografia da BHRP, no território mineiro, é possível notar uma distribuição uniforme dos cursos principais de água e de seus tributários. Esse ponto é altamente relevante e permite afirmar que essa área é muito privilegiada no que se refere às diversas atividades humanas de uso e ocupação do solo. Por outro lado, esse privilégio exige um enorme compromisso de preservação para os residentes atuais e os que virão, compromisso em dar continuidade a um processo que impede a repetição de alguns equívocos que ocorreram no passado recente ou mais distante. Essa atitude deve ser direcionada para toda a sociedade, sem destacar os grupos que aparentemente devem responder pelos referidos equívocos. Assim, o zelo pelas questões ambientais firma-se como obrigação de todos. Os pontos ressaltados neste parágrafo podem ser extrapolados para toda a BHRP. Desse modo, para resumir o que está sendo discutido, a afirmativa a seguir deve ser considerada: “Quem não cuida do que tem, nunca tem nada”.

Nesse contexto, a distribuição dos recursos hídricos é considerada uniforme, o que não ocorre com a distribuição da população, que se

concentra apenas em alguns lugares. Apesar de não ser objetivo deste texto discutir as razões de tal desuniformidade, podem-se apontar alguns condicionantes, como relevo, condições climáticas, aptidão agrícola dos solos e distribuição das rodovias pavimentadas, os quais ajudam a entender a referida desuniformidade. Além destas, outras variáveis poderão participar desta lista. Com a desuniformidade da distribuição da população vai haver desuniformidade no consumo de água. Entre os principais cursos de água – os rios Araguari, Tijuco, Prata, Arantes e Dourado, que representam um pouco mais de 50% da vazão total –, está o rio Araguari, que chega a contribuir com quase 30% da vazão total. Esta sub-bacia deve receber atenção especial, considerando-se a concentração da população na parte mineira da BHRP. A sede do município de Uberlândia faz parte da bacia do rio Araguari, cuja população, em 2021, era de 706.597 habitantes. É importante ressaltar que existe uma área de conflito por recursos hídricos em Santa Juliana e municípios vizinhos, por motivo da concentração de pivôs centrais naquela área, que foi delimitada pelos órgãos oficiais responsáveis pelos recursos hídricos.

A localização da BHRP é muito privilegiada no que diz respeito às diversas atividades que são desenvolvidas nela. A bacia é um elo entre duas regiões, a Sudeste e a Centro-Oeste. A região Sudeste tem importância histórica para o Brasil, onde se encontra o principal centro industrial do país. Além disso, a população atual dessa região é de 89.056.696 habitantes, representando 41% da população brasileira, apesar de ocupar apenas 12% do território nacional. Trata-se de uma região populosa, que produz muito e também consome muito. Certamente, isso é um ponto positivo na localização da BHRP.

A região Centro-Oeste ocupa uma área de 1.606.454 km<sup>2</sup>, representando aproximadamente 19% do território nacional. A população estimada pelo IBGE é de 15.660.988 habitantes em 2016, e a densidade demográfica era de 9,75 hab. km<sup>-2</sup>, muito menor do que a densidade demográfica do Brasil, que é 24,41 hab. km<sup>-2</sup>. Para fins de comparação, a densidade demográfica da BHRP, no território mineiro, é de 33,77 hab. km<sup>-2</sup>.

## **1.2 Atribuições dos comitês das bacias hidrográficas (CBH)**

Julgou-se necessário fazer um relato resumido das atribuições dos Comitês das Bacias Hidrográficas para auxiliarem na gestão dos recursos hídricos. Dessa maneira, no final do século XX, a bacia hidrográfica do rio Paranaíba (BHRP) começou o processo de criação do Comitê da Bacia Hidrográfica (CBH), um órgão colegiado que atua na gestão dos recursos hídricos por meio de atividades consultivas e deliberativas. Além das

atividades consultivas, os CBH atuam na normatização, deliberação e proposição das atividades executadas nas bacias hidrográficas. Independentemente da área de cada uma, elas têm características específicas, que necessitam comitês que conheçam as condições de cada uma delas. Não se trata de uma proposição de CBH para microbacias pequenas ou muito pequenas. Assim, os comitês são constituídos pelo poder público, usuários das águas e as entidades civis. Todos os membros dos CBH devem ter conhecimento adequado da gestão de recursos hídricos, para que possam participar com eficiência de todas as discussões apreciadas pelo colegiado. Certamente, um comitê bem qualificado pode contribuir muito para que a água possa ser usada sem privilegiar pessoas ou grupos altamente integrados nas decisões políticas locais ou regionais ou em nível mais elevado. O espaço político deve ser ocupado pelos políticos sem perda das atribuições de cada grupo representado nos comitês. Ademais, espera-se que um comitê bem equilibrado possa prestar um relevante serviço à sociedade representada.

Na constituição dos CBH, reúnem-se pessoas de três estratos sociais, como: a) o Poder Público; b) Usuários da Água; e c) Entidades Civis. Espera-se que todos os membros da CBH tenham conhecimentos teóricos e aplicados sobre vários aspectos dos recursos hídricos que estejam relacionados aos seus conhecimentos sobre o assunto. Pelas recomendações publicadas pelos diversos comitês, nota-se que alguns pontos são comuns, entre eles a recomendação do uso racional da água em seus usos múltiplos nas bacias hidrográficas em que cada comitê tem suas atividades em andamento. Sabe-se que cada bacia tem características específicas naturais ou grandes obras que foram construídas pelos seus habitantes, como extensas áreas urbanas, bem como as grandes represas de usos múltiplos nas principais fontes de água de cada bacia, uma vez que as grandes obras interferem diretamente na dinâmica da água proveniente das chuvas e de grandes áreas de agricultura irrigada.

Desse modo, os CBH deve atuar junto às Secretarias de Educação em nível municipal e estadual, para que a educação no uso da água seja posta em prática de forma efetiva, criando-se uma cultura que zele pelo uso racional da água e metas que auxiliem na redução do consumo excessivo de todos os bens, inclusive da água. O consumismo e a sociedade do bota fora devem receber atenção daqueles que têm consciência dos limites da natureza no fornecimento dos bens demandados pelos consumidores desavisados, e o consumo desequilibrado da água em várias atividades deve ser bem avaliado, para que algumas medidas sejam adotadas. Para além disso, o desperdício da água, desde a captação até o seu uso, não pode ser negligenciado em hipótese nenhuma. Isso tem sido recomendado pelos CBH com uma boa frequência – alguns dados,

inclusive, começam a ser revelados aos diversos consumidores da água. O desperdício da água deve ser ressaltado com muito empenho em todas as ocasiões quando se fala em educação no uso da água. De mais a mais, fazer estimativas do desperdício deve ser uma meta dos CBH e da sociedade como um todo. Mesmo que se mostre baixa, a taxa de crescimento da população cresce continuamente, e cada habitante a mais em um determinado local tem suas demandas para manter uma boa qualidade de vida.

Os bens vitais como os alimentos, produtos industrializados e o consumo doméstico servem para ilustrar a demanda (direta ou indireta) contínua da água. Nesse sentido, conscientizar a sociedade por diversos meios tem importância capital. Por isso, os valores referentes ao consumo de água nas diversas atividades agrícolas tem sido fartamente publicado ao redor do mundo e precisam receber a atenção necessária, para que o desperdício seja minimizado, sem comprometer a segurança alimentar em todos os continentes. A própria consciência daqueles que habitam regiões semiáridas ou áridas é bem diferente dos que vivem em áreas onde o recurso água é abundante. Nesse caso, nota-se um controle/descontrole imposto pelas condições climáticas contrastantes, que funcionam como um sistema de educação/deseducação eficientes. Para mais, faz-se necessário conscientizar imediatamente os usuários das águas sobre sua quantidade e qualidade, para não se terem surpresas desagradáveis com a escassez e a qualidade dos recursos hídricos de cada local. A degradação dos recursos como o solo e a água tem que ser desacelerada para que o ambiente seja favorável a uma qualidade de vida não só do homem como de todas as espécies que compartilham uma determinada localidade ou região. Os mecanismos de controle estão disponíveis para embasar as decisões dos órgãos que atuam em diferentes níveis de competência, mas ainda é possível criar novos mecanismos para enfrentar qualquer fato desconhecido pelos membros de colegiados do poder público, dos usuários da água e das entidades civis, que são representados nos comitês das bacias hidrográficas. Por conseguinte, para um bom funcionamento dos CBH, os órgãos em instâncias superiores devem trabalhar em sincronia com eles.

A base de sustentação da sociedade como se encontra estruturada direciona o trabalho no sentido de manter ou melhorar a qualidade da água e do solo, para dar o suporte ao uso e à ocupação do solo, desde um pequeno trato de terra até todo o país. Seria quase impossível acreditar no futuro de um município, de uma bacia hidrográfica, de um estado ou de uma nação, em que os recursos hídricos e de solos estivessem altamente degradados. Nessa perspectiva, é preciso desenvolver novos mecanismos para controle da qualidade dos diversos ecossistemas, para evitar a

degradação que já se encontra em curso. Quando se aciona algum tipo de freio, espera-se que a velocidade seja reduzida, mas, em condições extremas, é desejável que o freio seja acionado para parar. Assim, para reduzir a velocidade de danos ou parar com eles, é necessário utilizar a ciência qual apresenta sinais claros de avanços em algumas regiões tropicais. Para a retomada de um objeto ou veículo parado, é preciso reavaliar o que foi feito para a redução ou parada dele e o que deve ser corrigido para que os freios não sejam acionados novamente para redução brusca ou parada do movimento.

Considerando-se que estão disponíveis uma gama enorme de mecanismos de controle de danos ambientais que podem e devem ser acionados, quando necessário, por órgãos oficiais e seus colegiados, acionar as formas de controle é recomendável, mas fazer cumprir as normas é o passo seguinte que não pode ser desconsiderado. Os danos causados pelo uso e ocupação do solo e da água devem ser monitorados até que sejam corrigidos, num intervalo de tempo considerado tecnicamente adequado. Ademais, o acompanhamento das etapas de recuperação dos danos deve ser incluído nos procedimentos que começaram com o diagnóstico estabelecido por pessoas e órgãos competentes para essa tarefa. A partir disso, os mecanismos de controle dos danos devem ser acionados para que sejam cumpridas as formas de reparação dos danos que podem ser discutidos entre as partes interessadas na solução do problema diagnosticado que deve ser de interesse de toda população diretamente afetada pelos danos. O acompanhamento da reparação dos danos é a etapa indispensável nos procedimentos acordados entre todos aqueles que se julgam prejudicados.

Entende-se que os Comitês de Bacias Hidrográficas podem dar uma excepcional contribuição na solução de problemas que ocorreram e ainda ocorrem nas áreas de atuação de cada CBH onde quer que ele se localize e atue em favor dos esclarecimentos das questões de cada comitê. Dessa forma, é recomendado que os CBH possam receber apoio das diferentes entidades que preocupam com a degradação dos recursos localizados no território abrangido pelos comitês.

### **1.3 Pontos relevantes que merecem a atenção da sociedade em relação aos recursos hídricos**

Os comitês de bacias hidrográficas têm contribuído bastante em vários aspectos relacionados ao uso e conservação dos recursos hídricos. No entanto, dada a importância dessa matéria, várias recomendações deveriam ser explicitadas aos consumidores de recursos hídricos em diferentes atividades de uso e ocupação dos solos nas bacias hidrográficas de características e tamanhos diferentes em todos os estados brasileiros.

Os principais usos da água são: abastecimento humano; indústria;



mineração; agricultura irrigada; e geração de energia. As atividades desenvolvidas em cada bacia hidrográfica são diferentes em função da população residente nela, das condições climáticas predominantes em cada local e dos recursos naturais presentes. Na BHRP, a fonte principal da água são as chuvas, que podem variar ao longo dos anos. A quantidade de água que precipita anualmente é muito grande, mas ela não tem sido devidamente aproveitada. Apenas para ilustrar, 1500 mm ano<sup>-1</sup> que precipitam na BHRP, e considerando-se 1 mm = 1 L m<sup>-2</sup>, esse valor corresponde a 1500 L m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>. Quando se transforma esse valor por hectare, tem-se 1500 L m<sup>-2</sup>.ano x 10000 m<sup>2</sup> = 15000000 L ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> ou 15000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Infelizmente, grande parte dessa água é interceptada pela cobertura vegetal nativa ou plantada e pelos diversos tipos de construções encontradas ao longo de ruas e avenidas nas áreas urbanas, muito impermeáveis à água. Nas bacias hidrográficas com extensas áreas urbanizadas, a infiltração de água no solo é muito baixa, e o escoamento superficial das águas é muito alto. Assim, a perda de água por escoamento superficial é muito grande e pode resultar em alagamentos e enchentes das áreas rebaixadas ao longo dos cursos de água, com vários prejuízos materiais e perdas de vida. Quanto mais populosa for uma bacia hidrográfica, maior será a demanda por água e outros bens de consumo. Entretanto, grande parte da população não tem a dimensão desses tipos de problemas, e, por isso, as pessoas não se importam com algo que elas desconhecem. Outras situações como solos descobertos, afloramentos de rochas, áreas declivosas, pastagens degradadas e uso agrícola intensivo dos solos são pontos que aumentam o escoamento superficial das águas. Todas essas questões devem receber o acompanhamento e o monitoramento dos comitês das bacias hidrográficas. O desperdício nas inúmeras atividades de uso da água não tem recebido a atenção de todos os usuários da água.

A agricultura tem sido apontada em todos os continentes como a atividade que mais consome água, contudo essa atividade não pode parar, porque o consumo de alimentos não pode ser interrompido. Essa afirmativa é real, mas ela não pode ser usada como justificativa para o uso irracional dos recursos hídricos. Tanto o produtor como o consumidor dos alimentos devem ter plena consciência da importância da água na produção de alimentos. Quando os consumidores desavisados souberem qual é o volume de água necessário para produzir um quilograma de alimento, eles vão pensar no mínimo duas vezes antes de jogar os alimentos fora. Quando o alimento estiver pronto para ser consumido e essa destinação não ocorrer, ele poderá transformar-se em lixo orgânico, caso não seja reaproveitado para a alimentação de alguns animais. A mudança de *status* do alimento para lixo é inconseável, principalmente quando se pensa numa considerável parte da população que não se

alimenta adequadamente. Sob essa ótica, melhorar o nível de percepção do produtor e do consumidor mostra-se uma tarefa de grande relevância no uso racional dos recursos hídricos. O consumo de alimentos faz parte da rotina de todas as classes sociais de qualquer população. Isso inclui todos os habitantes do planeta Terra e ninguém pode duvidar que esse é um problema de todos. Aqui não cabe qualquer desculpa para não participar de um esforço de todos.

Apenas para o consumo doméstico, de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), o consumo diário de 110 L habitante<sup>-1</sup> é adequado, mas esse valor fica bem abaixo da média de água consumida por habitante dia<sup>-1</sup> que se aproxima de 200 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Somente a diferença entre os dois valores pode dar a dimensão do que seria economizado de água por dia em uma população que se aproxima de 215 milhões de habitantes.

A seguir, apresenta-se a estimativa de consumo doméstico de água pela população brasileira que se aproxima de 215 milhões de habitantes:

$$215.000.000 \text{ hab.} \times 110 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1} = 2,365 \times 10^{10} \text{ L dia}^{-1} \text{ ou } 23.650.000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}.$$

$$215.000.000 \text{ hab.} \times 200 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1} = 4,30 \times 10^{10} \text{ L dia}^{-1} \text{ ou } 43.000.000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}.$$

$$\Delta = 43.000.000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} - 23.650.000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} = 19.350.000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}.$$

Ao passar de 110 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> para 200 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, o consumo de água vai aumentar 82%, o que representa um total de 19.350.000 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> a mais de consumo de água. Ao converter esse valor para habitantes por dia de acordo com o consumo indicado pela ONU, tem-se:

$$19.350.000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \div 0,110 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1} = 175.909.090,9 \text{ hab. dia}^{-1}.$$

Com a redução do consumo atual de 200 L/hab.dia para os 110 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (recomendação da ONU), a população brasileira poderia passar de 215.000.000 de habitantes para 390.909.090,9 habitantes. Por estas simples estimativas, pode-se economizar muita água, mas a população precisa dar a sua contribuição e pensar na coletividade e não no individualismo. Este último está arraigado na forma de viver adotada, desde a população local até a população mundial. Uma mudança dessa magnitude é muito pretenciosa, mas não deve ser considerada impossível, pelo menos a longo prazo. Combater o desperdício e racionalizar o consumo de água podem resultar em avanços na direção da sustentabilidade dos recursos hídricos.

A demanda de água para os animais domésticos é grande e precisa ser considerada na BHRP. O estado de Minas Gerais tem uma longa tradição nas atividades de pecuária e apresenta grandes áreas de pastagens,

nas quais grande parte do rebanho é criado, no sistema não confinado. O movimento contínuo dos animais tem grande importância na compactação superficial dos solos sob pastagem, especialmente quando o manejo da área promove a formação de manchas sem a cobertura do solo. Essas áreas associadas ao pisoteio dos animais reduzem drasticamente a infiltração de água no solo, provocando o escoamento superficial da água. Este escoamento pode ser observado pela grande variação da vazão dos cursos de água, cujas bacias têm extensas áreas de pastagem mal manejadas. O escoamento superficial de água, causado por redução da infiltração da água no solo, não pode ser desconsiderado no que tange aos problemas de recursos hídricos que estão enfocados nesta obra. O controle do escoamento superficial fica mais complexo à medida que a declividade dos solos aumenta. É perceptível que, quanto maior a declividade dos solos, menos profundos eles são, chegando até aos afloramentos de rochas. Os mapas de declividade das bacias hidrográficas têm muita importância na dinâmica da água na paisagem, destacando-se o escoamento superficial das águas que está sendo discutido neste capítulo. Desse modo, é preciso atentar-se ao número de animais por área, para que o superpastejo não seja instalado nas áreas em que a pecuária é uma atividade destacada. Assim, o manejo de solos sob pastagem tem que avançar o suficiente para que essa atividade contribua positivamente sobre o tratamento dos recursos hídricos nessa importante atividade desenvolvida pelos produtores.

É bem provável que na BHRP haja alguns confinamentos de bovinos. Essa é uma situação bem diferente com relação ao manejo de solos e água quando comparada às criações de animais não confinados. O número de animais por área é disparadamente maior do que a criação em pasto. A mobilidade dos animais confinados é muito menor, e os alimentos e a água são postos ao alcance dos animais com restrito movimento. O pisoteio dos animais é mínimo e não é direto no solo. A compactação do solo é feita mecanicamente para suportar a estrutura construída sobre a área, como o piso, as cercas, os cochos, os bebedouros e, quando cobertos, os galpões para sombrear os animais. O piso ajuda no manejo dos resíduos orgânicos dos alimentos e também nas fezes e urina produzidos pelos animais confinados. Os animais concentrados em pequena área produzem muitos resíduos orgânicos, que precisam ser adequadamente dispostos para que seus efeitos adversos nos ecossistemas sejam minimizados. Os animais confinados não têm acesso direto aos cursos de água, o contrário daqueles que não são confinados.

A qualidade das águas acessadas por animais pode piorar consideravelmente. Por isso, quando a qualidade da água é priorizada pelo pecuarista, ela é canalizada e levada aos animais em bebedouros

tecnicamente distribuídos na pastagem. Esse procedimento tem sido adotado em vários países para preservar a qualidade da água.

#### **1.4 Ocupação e uso dos solos com pastagens nativas e plantadas**

Na história da ocupação inicial dos solos ocorreu uma conversão da vegetação nativa por pastagens e outras plantas cultivadas. Algumas espécies de alto valor comercial eram retiradas da comunidade vegetal para diversas utilizações da população que ocupava as áreas em processo de colonização. As espécies menos valorizadas eram utilizadas para suprir as demandas menos nobres. Na época da ocupação, os cuidados com os ecossistemas eram quase inexistentes e dependiam da herança cultural daqueles que começavam os desbravamentos de novas áreas. A assistência técnica era muito precária, e o próprio acesso às áreas era muito difícil. O trabalho era braçal com alguma participação da tração animal. Para a manutenção dos animais, a formação de pequenas áreas de pastagem era parte do processo de ocupação, bem como o cultivo das espécies produtoras de alimentos. Um aliado na limpeza das áreas era o fogo que ainda é usado nos dias atuais. Em função da quantidade de biomassa queimada, a liberação de nutrientes era maior do que a necessidade nutricional das plantas cultivadas. No entanto, uma parte desses nutrientes era removida por erosão hídrica ou pelo vento, assim como pela lixiviação dos nutrientes para camadas mais profundas do solo, não alcançada pelas raízes das plantas cultivadas ou das espécies forrageiras. A liberação de nutrientes pela queimada era grande, mas o efeito era curto com reflexo rápido na produção das plantas cultivadas. Terminada a fase da abundância de nutrientes, as áreas eram ocupadas pelas pastagens, que aproveitavam o resíduo dos nutrientes provenientes da queima. Tais pastagens começavam a se degradar quimicamente a partir do início desse tipo de ocupação do solo. Assim, a degradação das pastagens faz parte da história de ocupação dos solos, após a remoção da vegetação nativa. Essa prática continuava até que as plantas forrageiras comessem a ser consideradas culturas que precisavam de corretivos e fertilizantes como outras plantas cultivadas. As pastagens sempre ocuparam áreas cultivadas durante o processo de ocupação e uso dos solos. Isso ocorreu em várias fases da história da ocupação dos solos.

Ao consultar os dados dos censos agropecuários do IBGE, é possível observar, no estado de Minas Gerais, uma grande queda na área de pastagens naturais nas últimas cinco décadas e um aumento que não compensa a queda das pastagens nativas. Houve uma destinação das áreas não compensadas para outros usos do solo. Tem-se observado a ocupação

de solos com baixa aptidão agrícola para pastagens plantadas em áreas mais declivosas. Para o preparo mecanizado dos solos nessa condição, ele é feito no sentido do declive e passa a ser um acelerador da erosão, onde são perdidos o solo e a água. A adoção dessa forma de preparar o solo não deve ser aceita. Nas pastagens plantadas, obedecendo as recomendações técnicas, o solo permanece bem coberto e protegido dos efeitos indesejáveis do escoamento de água e da erosão. Segundo Vilela et al. (2015), 53,2% das pastagens do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba foram classificadas como fortemente degradadas, e 25,8% foram classificadas como moderadamente degradadas. Essas informações são muito importante para a sustentação do rebanho bovino, atividade que afeta diretamente os recursos hídricos de uma agricultura de alta intensidade associada à irrigação.

## **Considerações finais**

Por ser esta obra dedicada aos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP), alguns pontos foram realçados neste primeiro capítulo. A escolha desta bacia demandou um bom tempo, considerando o fato de que os autores deste capítulo haviam estabelecido algumas condições essenciais que não são encontradas em todas as bacias com dimensões semelhantes a ela. A sua localização é privilegiada, uma vez que ela une duas importantes regiões brasileiras: a Centro-Oeste e a Sudeste. Deve-se acrescentar a sua riqueza em recursos hídricos e o relevo muito favorável às agriculturas intensiva e irrigada, bem como, a distância favorável aos grandes centros consumidores, associada a uma boa estrutura viária. Além disso, a BHRP se localiza no importante Bioma Cerrado.

Incluíram-se, neste capítulo, algumas atribuições dos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH). A contribuição que se espera desses comitês é muito grande, uma vez que eles podem ajudar muito na gestão dos recursos hídricos.

Por meio de algumas estimativas muito simples de consumo de água, procurou-se sensibilizar os consumidores sobre pontos relevantes que podem contar com a cooperação deles na gestão dos recursos hídricos. Para conseguir avançar nessa direção, faz-se necessário sair da zona de conforto de cada um, para mudar do individual para o coletivo. Essa é uma meta que será atingida apenas em longo prazo, por tratar-se de um nível de consciência muito ambicioso, porém é preciso acreditar que isso não é impossível.

As pastagens nativas ou plantadas ocupam grandes áreas do território nacional e, por essa razão, não podem ficar fora de qualquer obra que trata dos recursos hídricos. A BHRP não é uma exceção e conta com expressiva área de pastagens fortemente degradadas, situação que afeta diretamente os seus recursos hídricos.

## Referência

VILELA, P. S; RIBEIRO, T. R; DELLA LÚCIA, M.; SANTOS, G. Estado da arte das pastagens em Minas Gerais. MAPA-Inaes. 2015. 206 p.

## CAPÍTULO 2. Importância das veredas na disponibilidade de água em nível local, regional, estadual e federal

*Liovando Marciano da Costa*  
*Araína Hulmann Batista*  
*André Luiz Lopes de Faria*  
*Diogo Antônio da Silva*  
*Elias Nascentes Borges*  
*Fernando Cesar Ferreira*

### 2.1 Introdução

As veredas são locais onde as imponentes palmeiras buritis – *Mauritia flexuosa* – se destacam, acompanhadas por diversas espécies arbustivas e herbáceas que formam uma cobertura densa na superfície. Essas áreas surgem em vales abertos, com formato em U ou, menos frequentemente, em V, revelando o lençol freático que aflora na maior parte do ano. No entanto, para os observadores mais atentos, há uma infinidade de aspectos que podem ser apreciados nesse subsistema do Bioma Cerrado. Além da beleza incomum dos buritis, todas as outras espécies presentes desempenham papel importante na composição das inúmeras imagens e funções ecossistêmicas ao longo de cada vereda. A combinação dessas espécies varia em qualidade e quantidade à medida que o observador se desloca, resultando em expressiva diversidade de imagens. Por razões bastante evidentes, os buritis acabam monopolizando a atenção de quem observa as veredas. Mas como seria essa imagem se todas as outras espécies componentes dessa paisagem fossem excluídas?

Nesse contexto, as veredas têm sido consideradas como subsistemas do Bioma Cerrado e se destacam na diversidade de imagens obtidas nesse Bioma. Durante os períodos secos do ano, quando há déficit hídrico, as espécies vegetais dessas comunidades permanecem verdes, enquanto outras, nas proximidades, mostram sinais evidentes de escassez de água, condição que pode ser útil para distinguir as veredas na paisagem, por meio de imagens de satélite. Além disso, as áreas apresentam uma forma

alongada, seguindo o curso em que a água flui em direção ao desnível do terreno, o que dá origem a muitos córregos, riachos e rios. Trata-se de nascentes das águas, o que justifica *per se* todos os esforços para as preservar. Sua localização em vales rasos e abertos facilita o acesso, e, devido à leve inclinação, a velocidade de escoamento de água no leito é bastante baixa. Essa característica, comum nas veredas, desempenha um papel crucial no armazenamento das águas, razão pela qual são chamadas de “caixas d’água”, que mantêm as bacias hidrográficas às quais pertencem. As águas que chegam às veredas percorrem um longo trajeto, que tem início nas partes mais altas, e sua qualidade e quantidade dependem, portanto, das características dos solos e dos sedimentos que sustentam a vegetação típica desse ambiente. A compreensão adequada da dinâmica da água nesse subsistema do cerrado é essencial para que se possa evitar sua degradação ou descaracterização devido ao uso e ocupação inadequados do solo ao redor.

Como verdadeiros mananciais de água, as veredas atraem os habitantes das regiões onde ocorrem. Além de sua importância para toda a bacia hidrográfica, como fonte hídrica, essas áreas fornecem alimentos de origem vegetal e animal, naturais desse ecossistema. Para garantir sua sobrevivência, os moradores locais, conhecidos como veredeiros, cultivam algumas espécies de plantas e criam animais para o seu consumo. A partir da década de 1970, houve um notável avanço das atividades agrossilvipastoris no cerrado, resultando em transformações significativas no Bioma. Áreas naturais deram lugar a cultivos diversificados, especialmente nas regiões planas dos planaltos do Brasil central. A atratividade desses planaltos para a ocupação humana ocorre em virtude do relevo suavemente ondulado, que permitiu a mecanização agrícola em larga escala. Além disso, a abundância de água para irrigação e outros usos foram fatores decisivos na exploração e ocupação dessas áreas. No entanto, os solos destas regiões são altamente intemperizados, de natureza distrófica, o que torna essencial a correção e fertilização para alcançar as altas produtividades.

A geologia do Grupo Bambuí, que contém depósitos de calcário, especialmente nas bordas dessa importante bacia sedimentar, tem fornecido constantemente o material necessário para a correção desses solos. Além disso, as reservas de fosfato em Araxá, Patos de Minas, Serra do Salitre e Catalão, em Goiás, têm desempenhado papel fundamental nessa questão. Esses recursos naturais combinados têm sido essenciais para a utilização e ocupação sustentável dos solos do Bioma Cerrado.

O Grupo Bambuí, composto pelas formações Três Marias, Serra da Saudade, Lagoa do Jacaré, Serra de Santa Helena, Sete Lagoas e Jequitaiá, desempenha um papel fundamental na região. O calcário, encontrado



principalmente nas formações Lagoa do Jacaré e Sete Lagoas, é um recurso mineral que tem contribuído de forma contínua para a ocupação dos solos do cerrado, sendo utilizado não apenas para a agricultura, mas, ainda, na produção de cimento e na indústria de siderurgia do minério de ferro da região do Quadrilátero Ferrífero. Inicialmente, a siderurgia do minério de ferro utilizava carvão proveniente da vegetação local, no entanto essa fonte de energia foi substituída pelo carvão proveniente das florestas plantadas, principalmente do eucalipto, em extensas áreas. Essa mudança permitiu um uso mais sustentável dos recursos naturais.

A produtividade dos solos do cerrado – naturalmente pobres em fósforo – depende diretamente dos fosfatos de cálcio encontrados em Araxá, Patos de Minas, Serra do Salitre (MG) e Catalão (GO). Esses municípios estão localizados dentro do Bioma Cerrado e desempenham um papel crucial na melhora dos atributos químicos desses solos. Além dos recursos minerais, o relevo, os recursos hídricos e a decisão de transferir a capital do Rio de Janeiro para Brasília também desempenharam um papel inquestionável no uso e ocupação dos solos na região. Esses elementos foram essenciais para o desenvolvimento e transformação da região, incluindo o subsistema das veredas.

As alterações químicas nos solos e em outros componentes do Bioma Cerrado foram significativas, resultando na substituição de numerosas espécies nativas por plantas cultivadas, como gramíneas forrageiras e culturas anuais, incluindo milho, soja, feijão, sorgo, algodão e trigo. Algumas hortaliças também são cultivadas sob pivôs de irrigação, como alho, cebola, cenoura e batata inglesa. A expansão da cana-de-açúcar tem ocupado, também, vastas áreas na região, e o café desempenha um importante papel nessas extensas áreas dos planaltos destinadas aos cultivos mencionados, além de extensas áreas de florestas plantadas.

As veredas são feições naturais e encontram-se relacionadas com todas as atividades de uso e ocupação já citados. O equilíbrio delas com o Bioma Cerrado era muito diferente do atual. Isso ocorreu na década dos anos setenta do século passado, quando a ocupação intensiva do Cerrado se iniciou. A partir de então, foram usadas as mais variadas práticas de manejo do solo adotadas na agricultura, pecuária e na silvicultura. As principais modificações no uso do solo ocorreram nos últimos 50 anos, quando a vegetação do Cerrado começou a ser substituída de forma contínua e crescente. Nesse período, algumas áreas foram cultivadas com as diferentes culturas já reportadas. Todavia, a rotação de culturas tem sido uma boa prática de manejo dos solos. Admitindo-se que esta afirmativa seja verdadeira, não se pode negar que ela também causa mudanças no ambiente cultivado.

Para viabilizar a agricultura nos solos reconhecidamente pobres em nutrientes do Bioma Cerrado, alguns pontos devem ser explicitados:

- Avanços das Ciências Agrárias a partir da segunda metade do Século XX. O reconhecimento da aquisição de conhecimento científico nas atividades agrossilvopastoris pelas sociedades brasileira e internacional. Intensa fase de treinamento de professores universitários e dos pesquisadores dos centros de pesquisas, que, inquestionavelmente, resultou no progresso dos programas de pós-graduação. A evolução da produção científica brasileira em quantidade e qualidade, que ocorreu num período relativamente curto. O destaque da contribuição dos estudantes de pós-graduação e seus respectivos orientadores na produção científica.
- A necessidade de evidenciação e entendimento dos riscos inerentes, associados à produção agrossilvipastoril, por toda a sociedade. Todos devem saber que, para satisfazer a demanda interna de alimentos e produzir para a exportação, só é possível com aplicação das tecnologias de produção que têm avançado continuamente.
- A importância dos investimentos feitos pelos órgãos de fomento, para suportar os gastos necessários para que os dados obtidos contribuíssem de forma adequada para o desenvolvimento pretendido.
- O desmonte impiedoso de grupos de pesquisa que contribuíram de forma exemplar para o progresso científico do país, por meio da descontinuidade das políticas governamentais para o desenvolvimento científico.
- A necessidade de uma avaliação criteriosa da reduzida inserção de professores e pesquisadores em órgãos que definem as políticas necessárias ao desenvolvimento científico; a assunção de outros quando falta pessoal qualificado, bem como os resultados obtidos, que nem sempre agradam àqueles que poderiam ter contribuído no momento certo e no órgão encarregado de tarefa muito importante para a sociedade.

## **2.2 Aspectos importantes das veredas no uso e na ocupação dos solos no Bioma Cerrado**

As veredas merecem destaque especial devido à sua imensa importância na ocupação dos solos dentro do cerrado. A presença dessas áreas úmidas desempenhou papel crucial no avanço de uma agricultura altamente desenvolvida. A água armazenada nas veredas possibilitou o crescimento e a sustentabilidade das atividades agrícolas. Assim, para garantir que as veredas permaneçam desempenhando esse valioso papel, é essencial que sejam cuidadosamente estudadas e compreendidas. Aliás, o

entendimento desses ambientes é fundamental para a sua preservação e correto manejo.

Infelizmente, o uso das águas nas veredas nem sempre tem sido realizado com os devidos cuidados para sua sustentabilidade. É preciso reconhecer que a água disponível nessas áreas é um recurso limitado e frágil, e, por isso, seu uso deve ser realizado de forma consciente e responsável. Atualmente, essas áreas são protegidas pela legislação (Lei 12.651 de 2012, conhecida como novo Código Florestal), que as considera como sendo áreas de preservação permanente (APP's).

Dessa forma, é imprescindível que sejam adotadas medidas adequadas de gestão e conservação dos solos, uso eficiente da água para sistemas irrigados e controle no uso de agroquímicos, uma vez que o uso das áreas que tangenciam as veredas influencia em sua qualidade. Somente por meio dessas ações cuidadosas, será possível garantir que as veredas continuem a desempenhar seu importante papel na agricultura e preservação de todo o Bioma Cerrado.

Neste capítulo, serão elencados alguns aspectos que são considerados essenciais para que a agricultura no Bioma Cerrado seja perenizada. A seguir, estão os pontos a serem elencados e discutidos individualmente:

2.3 Evolução do uso e ocupação do solo no Bioma Cerrado e algumas implicações na preservação das veredas.

2.4 Conversão da vegetação do Bioma Cerrado pelas atividades agrossilvopastoris e as modificações causadas no ambiente.

2.5 Declividade do leito das veredas em relação ao fluxo superficial e subsuperficial das águas.

2.6 Modificações químicas pelo uso e ocupação dos solos do Bioma Cerrado, com ênfase no subsistema veredas.

2.7 Barramento e drenagem das veredas e suas consequências na macro e microflora, na macro e na microfauna e nos microrganismos.

2.8 Microfósseis e carvões depositados nas veredas – fitólitos, pólenes e fragmentos de carvão vegetal.

2.9 Sedimentos provenientes da erosão hídrica nas bordas das veredas. Segregação dos sedimentos por tamanho das partículas.

Além desses, outros pontos podem ser incluídos para que a sociedade, em geral, possa entender, ainda que parcialmente, a importância e a complexidade da produção de alimentos que atendam às demandas local, regional, estadual, federal e mundial. Agricultores, professores e pesquisadores precisam receber reconhecimento da sociedade, para que se mantenham como participantes ativos do ensino, pesquisa e extensão. Tanto os produtores agrícolas como os produtores de

conhecimento devem continuar acreditando que é possível produzir alimentos e ciência, mesmo com a limitação de recursos para financiamento da produção e do conhecimento científico.

A busca por dias melhores envolve a superação de políticas equivocadas, e aqueles que têm conhecimento e compreendem as complexidades dos problemas enfrentados pela sociedade têm um papel crucial a desempenhar na promoção de mudanças positivas. Afinal, com o compartilhamento de conhecimento, argumentação com embasamento e promoção do diálogo construtivo, é possível criar um ambiente propício para o avanço e o desenvolvimento. De mais a mais, é fundamental não desistir da busca por uma sociedade mais informada e consciente – única forma de contribuir para que as futuras decisões dos gestores públicos e privados sejam baseadas em evidências e não em pensamentos e ideias meramente especulativas.

As áreas úmidas, popularmente chamadas de pântanos ou brejos, áreas encharcadas, inundadas ou alagadas exercem importantes funções nos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos onde elas se localizam. Elas influenciam os padrões das vazões dos cursos de água de todas as dimensões. É evidente que o padrão das chuvas locais ou regionais tem importância destacada na vazão dos rios, mas outros fatores devem ser considerados, como o relevo, classes de solos, uso e ocupação dos solos e o escoamento superficial e subsuperficial relacionado à capacidade de infiltração de água nos solos. Além desses aspectos, seria conveniente acrescentar as áreas úmidas localizadas nas bacias hidrográficas, que funcionam como sistemas de tamponamento ou controladores no armazenamento das águas dos cursos de águas. Deve-se ressaltar, ainda, a quantidade e distribuição das áreas úmidas numa dada bacia hidrográfica. Dessa forma, os estudos hidrológicos precisam ser cada vez mais valorizados para que os recursos hídricos sejam usados de forma racional.

Nesta obra, incluiu-se um capítulo dedicado à educação sobre o uso responsável da água, com o objetivo de conscientizar a população sobre a importância desse recurso e promover a adoção de práticas sustentáveis. Isso porque se observa, de maneira preocupante, que muitas pessoas utilizam a água de forma inadequada, desperdiçando esse precioso recurso e restringindo as garantias do acesso à água em quantidade e qualidade adequada para as diversas finalidades.

O desperdício de água tornou-se parte da cultura de muitos países, especialmente naqueles em que esse recurso natural é mais abundante, como é o caso do Brasil. No entanto, é crucial destacar que a disponibilidade de água não deve ser tomada como garantia de que é ilimitada. Nesse sentido, compreender a importância da conservação e uso responsável da água é essencial, a fim de preservar os ecossistemas

aquáticos, garantindo o abastecimento futuro e evitando impactos negativos para as gerações vindouras. A sociedade precisa estar engajada nesse processo de conscientização e educação, a fim de promover uma mudança de mentalidade e cultivar uma cultura de valorização e uso responsável desse recurso. Dessa maneira, somente por meio da colaboração de todos e da adoção de medidas adequadas será possível garantir a disponibilidade de água para as necessidades atuais e futuras.

### **2.3 Evolução do uso e ocupação do solo no Bioma Cerrado e algumas implicações na preservação das veredas**

As veredas são um dos componentes das *wetlands*, ou áreas úmidas, importantes fontes de água nos locais nos quais fazem parte da paisagem. Elas são consideradas como um subsistema do Bioma Cerrado, em que as atividades agrossilvopastoris tiveram início em meados da década dos anos 70 e se intensificaram ao longo dos últimos 50 anos. O uso intensivo desse ecossistema está associado à riqueza em água, topografia adequada à mecanização agrícola, insumos agrícolas para correção e fertilização dos solos e à tecnologia desenvolvida pelas diversificadas áreas das Ciências Agrárias, conforme foi mencionado anteriormente, neste capítulo. A riqueza em água foi citada em primeiro lugar, pois sua importância é indiscutível no suporte das atividades produtivas em andamento. Assim, para que essas atividades continuem progredindo, é necessária a compreensão cada vez maior da importância da água, sem a qual os demais fatores de produção se tornam inviáveis.

Para ilustrar esse ponto, basta citar os conflitos pelo uso de água – já mapeada em Minas Gerais e outras regiões brasileiras. Essa experiência é real e não precisa ser testada em novas áreas com potencial de conflitos pelos recursos hídricos. As razões dos referidos conflitos variam de uma para outra área. Isso cria uma demanda imediata, que precisa ser avaliada por meio de estudos bem embasados, que podem ser realizados por quem se dedica à pesquisa científica nas diferentes instituições de pesquisa do território nacional.

Evidentemente, é inegável que os recursos financeiros são essenciais para a realização de estudos e projetos, e essa realidade não é diferente no Brasil. No entanto, é importante considerar que os recursos disponíveis são finitos e devem ser gerenciados com sabedoria e visão estratégica. É compreensível que políticas públicas priorizem áreas que possam trazer retornos financeiros imediatos e ambientais, pois isso impulsiona o desenvolvimento econômico do país. Ainda assim, é necessário avaliar cuidadosamente essas prioridades e garantir que sejam tomadas decisões embasadas em critérios sólidos. Infelizmente, é frequente observar

equivocos na alocação de recursos, que se repetem mesmo quando os resultados negativos dessas escolhas se tornam evidentes.

A preservação das veredas tem início em locais relativamente distantes delas. A dinâmica da água nesse subsistema do Bioma Cerrado deve ser muito bem entendida antes que ele seja degradado ou descaracterizado pela ocupação inadequada dos solos ao seu redor. Nesse caso, a avaliação das atividades agrossilvopastoris, em áreas de ocorrência das veredas, deve ser considerada como modificadoras das relações solo-planta-atmosfera. Certamente, o tempo de uso do solo nas proximidades das veredas já deixou seus registros de alteração nelas. A partir de tais registros, é possível avaliar os efeitos das diferentes atividades antrópicas já realizadas nesses ambientes em processo de mudanças. Assim, as veredas, como importantes recursos hídricos, devem receber a atenção dos órgãos que cuidam das questões ambientais e da água.

Além dos cultivos de grãos, olerícolas e espécies florestais, a pecuária é uma atividade de grande expressão no cerrado. Por consequência, o escoamento superficial da água em solos sob pastagem representa uma grande perda de água, não sendo pior apenas porque muitas pastagens encontram-se localizadas em áreas planas e suave onduladas. Esse uso do solo merece cuidados especiais quando as pastagens se encontram em relevo ondulado, forte ondulado e até montanhoso, uma vez que essas condições associam-se a solos rasos com baixa taxa de infiltração de água e maior perda de água e de solo por erosão hídrica. Esse ponto já foi discutido em outro capítulo desta obra, que trata da relação das classes de solos e recursos hídricos.

Nos estudos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, o uso do solo deve receber cada vez mais atenção dos estudiosos da Hidrologia. O escoamento superficial das águas tem se destacado, mesmo em Latossolos sob pastagens nativas ou plantadas por motivo de aumento da densidade do solo nestas condições. Em áreas mais planas, a água escoou a menores distâncias até encontrar pequenas depressões, onde se acumula em pequenas poças e começa outro tipo de perda, por meio da evaporação. As pastagens constituem um tipo de uso do solo expressivo na paisagem do Triângulo Mineiro e no Alto Paranaíba, e a sua participação nos recursos hídricos daquela área deve merecer a devida atenção.

Em algumas áreas, as pastagens são intercaladas com as veredas, e a interação entre elas deve ser levada em conta. O aumento do escoamento superficial das águas da pastagem vai alcançar as veredas arrastando para elas os materiais de solos desagregados pelos choques das gotas de água da chuva. Durante esse movimento, pode ocorrer arraste de fezes de animais para o entorno das veredas. Em países onde a qualidade da água é muito importante, a água é bombeada para a dessedentação dos animais com

uma distância mínima de proteção da fonte. Isso poderia ser adotado para a proteção das veredas, evitando-se o contato dos animais diretamente com a água. Não é difícil entender que o contato direto dos animais com as fontes de água tem um potencial poluente considerável.

As veredas, que são feições naturais, encontram-se relacionadas com todas as atividades de uso e ocupação acima citados. O equilíbrio delas com o Bioma Cerrado era muito diferente do atual, onde são usadas as mais variadas práticas de manejo do solo adotadas na agricultura, pecuária e silvicultura. As principais modificações no uso do solo ocorreram nos últimos 50 anos, quando a vegetação do cerrado começou a ser substituída de forma contínua e crescente pelas espécies cultivadas. Vale destacar que manejos conservacionistas têm sido cada vez mais adotados pelos produtores rurais, estimulados pela demanda da sociedade e por dispositivos legais compulsórios que contemplam normas para recuperação e preservação ambiental.

## **2.4 Importância dos fluxos superficial e subsuperficial das águas nas veredas e sua relação com a declividade do leito das veredas**

Ao percorrer o vale o Rio Paranaíba, na campanha de campo para observar o uso do solo e da água nas diferentes paisagens, observou-se que a distribuição das veredas na região ocorre em diferentes altitudes, que chamaremos, neste texto, de patamares. Depois das observações feitas visualmente, com altímetro e GPS, a partir dos dados levantados e registrados em caderneta de campo, gastou-se um bom período de discussões entre aqueles que participaram desta etapa. Por conseguinte, plotaram-se os pontos georreferenciados sobre os mapas hipsométricos gerados no laboratório e confirmou-se a distribuição espacial das veredas em patamares.

Em seguida, verificaram-se os intervalos de altitudes para cada patamar, sendo: i. Patamar 1: 400 a 500 m; ii. Patamar 2: 500 a 600 m; iii. Patamar 3: 600 a 700 m; iv. Patamar 4: 700 a 800 m; v. Patamar 5: 800 a 900 m; vi. Patamar 6: 900 a 1000 m. Por várias vezes, discutiu-se a existência de uma importante variável que deveria ser estimada, ou seja, a declividade do leito das veredas nos pontos georreferenciados. Arquivaram-se, temporariamente, outras informações sobre as veredas, para uso em estudos que devem ser iniciados em breve. A equipe entendeu que a interpretação dos dados demandaria mais tempo do que aquele que se dispunha para a conclusão desta obra. Além disso, naquele momento, não havia nenhuma justificativa para apressar a equipe, impondo-lhe uma pressão que poderia resultar em algum atropelo, mais prejudicial do que útil.

Ao longo do trajeto percorrido, georreferenciaram-se 78 pontos nas veredas, com registro de coordenadas geográficas e da altitude por meio

de GPS, checadas com altímetro de mão. Esses pontos foram plotados em um mapa digital de elevação para proceder à estimativa da declividade das veredas em cada um dos pontos.

De acordo com os resultados encontrados na Tabela 2.1, a declividade do leito das veredas varia entre 0,77 e 2,39%. Esses valores estão enquadrados na classe de relevo plano (0,00 a 3,00%), adotada pelos estudos da Ciência do Solo. Esses resultados confirmam as expectativas daqueles que desenvolvem trabalhos relacionados às veredas, ou residem perto delas. A média de declividade de todas as veredas dos seis patamares é 1,71%. Encontraram-se declividades diferentes entre os patamares, mas a diferença é muito pequena. Não se pode questionar que as veredas georreferenciadas, no trajeto percorrido, têm baixa declividade e, ao mesmo tempo, apresentam muita uniformidade nesta variável, o que é fundamental para os estudos de recursos hídricos. Isso ocorre porque reduzem a velocidade de escoamento das águas superficiais e subterrâneas. A água que se desloca em baixa velocidade tem maior chance de infiltrar no solo e manter as fontes de água em plena atividade, diferentemente da drenagem artificial das veredas, que promove uma rápida saída da água. O desejável é que a água permaneça por maior tempo possível em alguns dos locais, onde ela é armazenada, como nos solos, nas plantas, nos aquíferos, nas veredas e nos seres vivos associados a elas.

**Tabela 2.1 – Classificação das veredas em patamares e suas declividades**

Identificação de Patamar	Intervalo de Altitude (m)	No de Veredas Georreferenciadas	Declividade Média (%)
1	400 - 500	8	0,77
2	500 - 600	25	1,72
3	600 - 700	15	1,78
4	700 - 800	10	2,39
5	800 - 900	16	1,80
6	900 - 1000	4	1,82
$\Sigma$ /Média	-	78	1,71

Fonte: dados obtidos pelos autores (2023).

As águas provenientes das chuvas ou de outras fontes, ao entrarem em contato com a superfície, parte se infiltra no solo, enquanto outra é interceptada pela cobertura do solo, que pode ser natural, como a vegetação, ou artificial em áreas urbanizadas que são impermeabilizadas.



Qualquer impedimento à infiltração resulta em escoamento superficial na direção da declividade ou empoçamento quando a área é plana ou apresenta leve depressão. Ao chegar às veredas, a água segue a baixa declividade do leito.

Estimaram-se as declividades de 78 veredas identificadas e georreferenciadas por meio de GPS durante a campanha de campo realizada entre 3 a 8 de agosto de 2022. Plotaram-se as veredas no MDE obtido a partir de imagem de satélite para a determinação de suas declividades, que variaram entre 0,77 e 2,39%. Todas elas enquadram-se em relevo plano (0,00 a 3,00%). Assim, a declividade do leito das veredas é muito baixa, tornando esta a variável que mais contribui para o armazenamento de água nesse subsistema do Bioma Cerrado. Esses dados confirmam o nome de ‘caixa de água’ nesse importante Bioma.

Além da declividade do leito, a vegetação típica das veredas, quando bem preservada, ajuda a reduzir o fluxo superficial da água. Como a distribuição espacial das plantas de diferentes portes não segue linhas de plantio, mas distribuem-se de maneira natural e aleatória, conforme sua adaptação às condições de habitat, elas funcionam como obstáculos ao fluxo lento das águas, que é controlado principalmente pela declividade, acima discutida. A biodiversidade da flora e da fauna tem sido ressaltada nas publicações sobre este importante tema diretamente relacionado aos recursos hídricos. As plantas adaptadas aos solos hidromórficos são dotadas de mecanismos morfológicos e fisiológicos que facilitam a sua sobrevivência em solos deficientes em arejamento permanente ou temporário, causado pelo excesso de água. Por outro lado, as plantas cultivadas raramente suportam essas condições, porque não foram “domesticadas” ou melhoradas para suportarem condições adversas de baixo arejamento. Desse modo, a substituição da vegetação nativa das veredas por plantas cultivadas não tem chances de dar certo, ainda que a área tenha sido drenada artificialmente. Mesmo a remoção parcial dos diferentes estratos vegetais representa um risco evidente para a biodiversidade da fauna e flora das veredas. Essa discussão pode ser considerada inoportuna, uma vez que as veredas são reconhecidas como áreas de preservação permanente.

Entre os fatores que contribuem para a redução da velocidade de escoamento superficial e subsuperficial da água nas veredas, a declividade de seus leitos merece destaque especial. A partir dos conhecimentos do fluxo de água nos deltas dos rios é possível importar alguma informação que possa embasar as discussões do fluxo superficial da água nas veredas. Essa utilização deve ser criteriosa para evitar possíveis equívocos ao se transferirem conhecimentos dos inúmeros deltas dos rios de dimensões incomparáveis às das veredas. De imediato, pode-se destacar a diferença

na declividade entre os inúmeros canais dos deltas e as veredas, estas últimas de tamanho muito menor. Em ambos os casos, a declividade é muito baixa. Dessa forma, o poder de transporte dependerá muito mais da massa ou volume da água em movimento, o que pode variar ao longo das estações do ano. Enquanto nos deltas o nível do mar pode variar diariamente ou em períodos mais longos e influenciar o processo de deposição ou remoção de sedimentos em direção aos oceanos, nas veredas essa situação não é comum, a menos que sejam barradas para o uso das águas em diversas finalidades.

Certamente, o uso e a ocupação dos solos, nas proximidades das veredas, podem causar muitas mudanças nos fluxos das águas superficiais e subsuperficiais. O barramento provoca modificações de grande impacto no fluxo da água das veredas, a começar pela profundidade da lâmina de água que tem efeito imediato na vegetação. Muitas espécies vegetais não sobrevivem às condições de alagamento permanente, incluindo-se a palmeira buriti, típica das veredas. A vegetação nativa das veredas adaptou-se a um ambiente com excesso de água, mas não se adapta em áreas de barragens.

As veredas possuem uma biodiversidade de espécies vegetais, animais, e microrganismos que deve ser preservada com a devida urgência. As atividades agrossilvopastoris, desenvolvidas no sistema de uso intensivo do solo com a adoção da irrigação, podem causar danos significativos ao ecossistema das veredas. Por isso, o impacto do uso e ocupação do solo nessas condições requer monitoramento frequente.

O perfil longitudinal e a declividade do leito das veredas são muito úteis no entendimento da velocidade do escoamento das águas que precipitam sobre elas ou daquelas que escoam superficial e subsuperficialmente em direção às veredas. Assim, a dinâmica da água no leito das veredas depende principalmente dessas duas variáveis, e quanto menor for a declividade, mais lenta será a saída do grande volume de água armazenado nas veredas. Desse modo, há um controle da vazão dos cursos de água que têm veredas em suas cabeceiras. Pode-se afirmar que esse é um processo de tamponamento natural do sistema hídrico em que as veredas estão presentes. Essa é mais uma razão que permite uma recomendação de conservação das veredas como controladoras das vazões a jusante delas. A redução da saída de água das veredas torna-se evidente quando se determina sua declividade e seu perfil, conforme discutido acima. Ao contrário disso, os canais retilíneos dos cursos de água de uma bacia hidrográfica facilitam a saída de água de uma bacia. Grande parte das veredas observadas em campo apresentam leitos retilíneos, o que deveria facilitar a saída de água, mas as baixas declividades deles superam em muito os efeitos dos leitos retilíneos.

A condição de solo saturado por um longo período do ano é uma característica das veredas. Essa condição é responsável pelo acúmulo de matéria orgânica em seus solos, que ocorre pela deficiência de arejamento. A restrição em oxigênio causa modificações na população dos organismos decompositores dos materiais orgânicos, provenientes da parte aérea e do sistema radicular das plantas adaptadas a tais condições. Espera-se que a composição química da biomassa adicionada varie em relação à população das plantas, onde não são esperadas restrições de arejamento. Para determinar o volume de água armazenada nas veredas, é necessário determinar o volume de solo mais o volume dos sedimentos que suportam a água e a vegetação. Por meio das técnicas de geoprocessamento, é possível determinar a área que deve ser multiplicada pela profundidade que varia transversalmente de um lado ao outro da vereda.

Um dos empecilhos a serem vencidos no estudo das veredas é o difícil acesso. Essa característica tem dificultado os estudos nesses ambientes, e, além disso, a amostragem de solos e sedimentos em locais onde o lençol freático está próximo à superfície ou acima dela é extremamente desafiadora, exigindo muita criatividade nessa etapa.

Após obtidas as amostras, elas saem de um ambiente com arejamento muito restrito e são expostas ao ar, onde a concentração de oxigênio é significativamente maior. No ambiente aerado, diversas reações químicas, influenciadas pelo oxigênio, buscam o equilíbrio nessa nova condição ambiental. Deve-se considerar que essa mudança tem efeito nas reações microbiológicas, cuja população é alterada quando se passa da condição anaeróbica para aeróbica. Para minimizar os problemas após a retirada das amostras, tem sido recomendado o congelamento imediato após a coleta. Desse modo, o cuidado com as amostras é considerado como um grande problema para que os estudos das veredas sejam feitos dentro de padrões confiáveis. Ressalta-se que, além das dificuldades acima mencionadas, a determinação da profundidade constitui-se em considerável empecilho – a começar pelo acesso e por procedimentos viáveis para a obtenção desse dado.

O Arquiteto, Mestre de Obras ou a própria Natureza que idealizou as Veredas demonstrou uma habilidade que está distante da capacidade humana de entender, começando pelo posicionamento das camadas das rochas com a inclinação apropriada, com a menor porosidade na base e maior no topo, o que possibilita o controle do movimento vertical e lateral das águas das chuvas. Para completar essa sequência, as camadas de sedimentos e os horizontes dos solos cobrem os dois estratos de rochas encarregados de dar sustentação às veredas, constituídas por água em abundância, substância vital a todos os seres vivos, independentemente de tamanho, forma ou cor, formando combinações únicas e harmônicas.

Para comprovar isso, em cada pequena parcela de metros quadrados das veredas, um especialista em botânica encontrará uma combinação única de espécies. Certamente, algumas espécies são comuns dentro de diferentes parcelas, mas ocorrem incontáveis combinações, a partir de uma grande biodiversidade vegetal e animal. A mobilidade dos animais entra em cena para a composição de diferentes cenários, dando a oportunidade ao observador de apreciar o palco formado pelas plantas e pelos artistas representados pelos animais que chegam e saem por terra ou pelo ar, em movimento contínuo ou intermitente. Não são poucos os observadores que destinaram uma fração de seu tempo para ver um excepcional subsistema do Bioma Cerrado chamado Vereda. As apresentações humanas normalmente são acompanhadas por canções e músicas, o que também acontece nos shows da natureza com as canções de pássaros e outros animais complementados pelo som do vento, que movimenta as copas das árvores, dando contribuição no conjunto dos diversos sons. Quando a água se movimenta apressadamente, ela contribui para esse sistema sonoro bem diversificado. No entanto, nas veredas a água não tem pressa, por razões já comentadas. O resultado é que essa formação é essencial no armazenamento da água, com um papel importantíssimo na dinâmica dos recursos hídricos.

Na elaboração das paisagens encontradas na superfície terrestre, o tempo gasto é desproporcionalmente maior do que nas edificações que compõem uma cidade, mesmo que ela seja muito grande. O homem está sempre correndo contra o tempo, por isso as suas obras devem ser bonitas e construídas no menor tempo possível. Já na Natureza, o tempo leva à perfeição de suas obras, e pouco importa quanto será necessário para formar os ecossistemas, em uma combinação de tentativas e erros que resultam no recorte que a humanidade pode observar na atualidade. As veredas, como parte da paisagem do Bioma Cerrado, enquadram-se como construção natural, que nunca seguiu qualquer norma dos contratos entre as partes interessadas.

As obras construídas pelo homem se degradam rapidamente e precisam de manutenção para que possam permanecer úteis por um maior período. Em relação às obras construídas pela Natureza, elas se modificam com o passar do tempo, e algumas delas ficam mais bonitas e funcionais ao envelhecer, desde que a interferência humana seja a menor possível. Para que uma obra feita pelo homem seja demolida, ele deve seguir todo o protocolo de demolição. Trata-se de um processo longo que deve ser totalmente cumprido. Na destruição parcial ou total de uma beleza natural como uma vereda, o homem deveria seguir alguns procedimentos legais. No entanto, o processo de destruição adotado pode ser lento ou quase imperceptível. Aliás, a degradação contínua de uma vereda pode

levar muito tempo para ser concluída. Em alguns casos, o proprietário da terra pode não ter a compreensão necessária para avaliar o mal que está causando ao ambiente. De qualquer forma, essa situação não deve ser usada como justificativa para a degradação causada nesses ecossistemas ao longo do tempo.

A partir de tantas informações disponíveis a todos, é preciso que toda a sociedade demonstre sabedoria ao interagir com os recursos naturais, especialmente os de maior fragilidade, como são as veredas. Somente sua preservação é capaz de mantê-las com a denominação de caixas de água – o que é imprescindível para as gerações atuais e futuras. A forma engenhosa e atual de armazenar água, combinada com a beleza incontestável, é justificativa mais do que suficiente para que todos os esforços necessários sejam feitos para as conservar.

## **2.5 Conversão da vegetação do Bioma Cerrado pelas atividades agrossilvopastoris e as modificações causadas no ambiente**

Muitas modificações ocorreram durante a substituição da vegetação nativa pelas espécies cultivadas. A composição química das plantas nativas é muito variável e isso se amplia, em função da diversidade de espécies encontradas na época que ocorreu a substituição. Dependendo do procedimento utilizado na remoção da vegetação nativa, o revolvimento do solo pode ser mais drástico, caso o sistema radicular seja mais profundo e abundante. Para preparar o solo para a mecanização intensiva, a movimentação e a mistura do solo são muito severas, o que gera muitas modificações que descaracterizam os horizontes dos solos. O grau de distúrbio do solo ocorre em área e em profundidade no perfil do solo a ser submetido ao cultivo. Essas alterações promovidas no preparo do solo e condução dos cultivos podem ter atingido as veredas, principalmente aquelas mais próximas das áreas que sofreram os distúrbios acima referidos. Para que a mecanização agrícola seja adotada, o relevo deve ser predominantemente plano ou suave ondulado. Essa exigência pode concorrer para que as veredas não recebam grande quantidade de solos e sedimentos transportados pela erosão.

Há quase uma década e meia, Augustin et al. (2009) registraram processos de assoreamento das veredas estudadas por eles, localizadas no município de Buritizeiro num planalto arenítico do norte do estado de Minas Gerais. Essa situação deveria servir de alerta para todos aqueles que se interessam por recursos hídricos associados às veredas. Especialmente os solos de textura arenosa são muito susceptíveis à erosão tanto hídrica como eólica, principalmente os desenvolvidos de arenitos constituídos de grãos de areia arredondados, que demandam menos energia durante o seu

transporte pela água ou pelo vento. O assoreamento pode causar muitas modificações nas veredas, e para entender os danos, é preciso considerar ainda a espessura das camadas que provocaram os assoreamentos, pois, quanto mais espessas, maior será a descaracterização desses ecossistemas. Apesar de tanta pesquisa realizada ao longo do território nacional, incluindo estudos muito detalhados no Bioma Cerrado, pouco ou nada é relatado sobre esse problema com as veredas.

Durante a substituição da vegetação natural do Bioma Cerrado, uma parte da biomassa foi transformada em carvão – muito utilizado na indústria siderúrgica do minério de ferro em ferro metálico, localizada no Quadrilátero Ferrífero e em suas proximidades. A madeira aproveitável foi utilizada para algumas finalidades das propriedades rurais e para produção de carvão. Os galhos finos e folhas, bem como outros resíduos das plantas, possivelmente foram queimados após a retirada da madeira, usada para os fins já indicados.

Apesar da vegetação não ser de cerrado, os dados da Tabela 2.2, obtidos a partir dos resíduos de biomassa provenientes da queima de uma floresta tropical aberta, ilustram a porcentagem de seis nutrientes nas cinzas, no carvão e na coivara de acordo com Sampaio (1997). Neste estudo, o autor determinou a massa bem como os nutrientes em kg/ha dos referidos resíduos. Em termos da remoção de nutrientes que foram acumulados na biomassa ao longo do tempo e que foram removidos do sistema solo-planta durante a substituição da vegetação natural pelas plantas cultivadas, é possível estabelecer um paralelo entre a floresta tropical aberta e a vegetação do cerrado. Deve-se considerar que a composição química dos dois tipos de vegetação natural é apenas semelhante. É inegável que a perda de nutrientes acumulados na vegetação nativa, ao longo de décadas ou séculos, pela remoção da vegetação, deve ser levada em conta.

Os dados apresentados na Tabela 2.2 são provenientes de queimada da biomassa e não devem ser confundidos com a carbonização da madeira para a obtenção do carvão vegetal. Apesar das cinzas representarem apenas 2,5% do resíduo da queima, é importante perceber que a concentração dos nutrientes nelas é bem maior do que nos demais resíduos. A perda de nutrientes nesse resíduo é muito maior do que no carvão e na coivara, uma vez que ela pode ser removida por vento ou pela água. O transporte pela água pode ser em solução ou o arraste da fração insolúvel para fora do local onde ela foi produzida. A deposição vai ocorrer nas partes mais baixas da paisagem, que pode coincidir com os leitos das veredas. Esse tipo de transporte pode carregar os fragmentos de carvão que representam 5,5% dos resíduos da queima.

Tabela 2.2 – Resíduos de biomassa, concentração e quantidade de nutrientes no sistema após a queima de uma floresta tropical aberta na região de Ji-Paraná, RO

Resíduos	Massa	Nutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S
-----%-----							
<b>Cinzas</b>	-	<b>1,136</b>	<b>0,359</b>	<b>2,048</b>	<b>3,586</b>	<b>0,391</b>	<b>0,175</b>
<b>Carvão</b>	-	0,091	0,034	0,271	0,092	0,155	0,063
<b>Coivara</b>	-	0,311	0,098	0,153	0,382	0,068	0,071
-----kg ha <sup>-1</sup> -----							
<b>Cinzas</b>	5.500	62,48	19,75	112,65	197,24	21,51	9,64
<b>Carvão</b>	11.800	10,77	4,01	31,98	106,47	18,25	7,43
<b>Coivara</b>	198.730	617,85	19,48	303,6	758,55	135,53	141,50
<b>Total</b>	216.030	691,10	43,24	448,2	1.062,26	175,29	158,57

Fonte: Sampaio, (1997).

Os resíduos de carvão são muito estáveis e podem permanecer no ambiente por muito tempo, servindo para marcar a forma como se deu a substituição da vegetação natural antes da implantação das atividades agrossilvopastoris. Mesmo sendo um resíduo de um processo destrutivo, que é a queima, ele pode servir na identificação das espécies queimadas, quando analisadas em laboratório especializado em Antracologia, que estuda os restos de madeira carbonizada que são encontrados em solos ou em sedimentos que foram depositados em vários locais, incluindo-se os sedimentos depositados no fundo das represas de variados tamanhos. Dada a grande estabilidade do carvão, ele pode ser considerado como forma recalcitrante de carbono que se transforma em gás carbônico muito lentamente. Já a coivara, definida como pilha de gravetos e galhos que foram parcialmente queimados e representam 92% dos resíduos, de acordo com os dados da Tabela 2.2, de Sampaio (1997), predomina sobre os outros dois e dificulta enormemente as atividades de cultivo das áreas queimadas. As coivaras não têm um visual agradável às vistas do observador, pela carbonização parcial ao redor dos galhos de diferentes diâmetros. Essa carbonização externa dos galhos dificulta muito a decomposição da madeira parcialmente carbonizada, cuja decomposição é bastante lenta e contribui para a retenção do carbono, impedindo que este se transforme em gás carbônico.

Tanto o carvão como a coivara, que juntos somam 97,5%, são resíduos com grande potencial de armazenamento de carbono. Na agricultura tradicional, em que se utiliza pouca tecnologia, esses resíduos permanecem no solo por muito tempo, e neles armazenam-se nutrientes que podem ser liberados lentamente para as plantas cultivadas ou nativas. Já foram observadas raízes de plantas como a cana-de-açúcar penetrando nesses resíduos. Assim, na agricultura em que se utiliza alta tecnologia, esses resíduos devem ser retirados da área para facilitar as atividades mecanizadas. Para livrar-se da biomassa da parte aérea, adotou-se sua carbonização, o que promoveu empobrecimento dos nutrientes contidos nela. Se isso não bastasse, o sistema radicular aparece como mais um obstáculo a ser vencido pela mecanização agrícola, que pode ter sido submetido à queima ou carbonização. Nesse caso, surge mais uma oportunidade de perdas de nutrientes que foram transferidos para outros locais, podendo ser as veredas um dos pontos de recepção do produto dessas queimas.

No Bioma Cerrado que faz parte das Formações Savânicas, tem sido reportado por alguns autores que a relação da biomassa do sistema radicular é maior do que a biomassa da parte aérea. Desse modo, Miranda (2012) determinou a relação biomassa radicular/biomassa aérea que é variável entre as formações vegetais. A autora preparou um quadro a partir de 33 referências bibliográficas e obteve as seguintes relações: Formações Campestres (3,30); Formações Savânicas (1,40) e Formações Florestais (0,22). O conhecimento adquirido sobre a parte aérea é muito maior do que o da biomassa radicular. Isso se deve à dificuldade de amostragem e de limpeza das raízes para realização dos estudos pretendidos. Essa limitação coloca em risco os estudos das formações Campestres e Savânicas, ambas com um considerável predomínio da biomassa subterrânea sobre a biomassa aérea. A agricultura altamente tecnificada causou perdas dos constituintes da biomassa aérea e subterrânea existentes nos locais ocupados por ela. De fato, isso não pode ser revertido, mas também não deve ser repetido a partir de agora. Em termos ambientais, essa forma de substituição do uso do solo da vegetação nativa para os diversos cultivos certamente deixou vestígios, que podem ser encontrados por meio de trabalhos científicos bem embasados. Nesse sentido, os dados obtidos por Sampaio (1997) em Ji-Paraná, RO, há pouco mais de duas décadas, são muito úteis para o entendimento das perdas que ocorreram no preparo das áreas ocupadas por vegetação nativa em processo de substituição pelas atividades agrossilvopastoris.



## 2.6 Modificações químicas pelo uso e ocupação dos solos relacionadas à queima das plantas do Bioma Cerrado e às adições frequentes de fertilizantes e corretivos

Até o momento, a queima tem sido utilizada como uma forma de limpeza de áreas quando se faz a substituição de um uso do solo por outro. Trata-se de uma prática antiga e tradicional na agricultura que vem passando de uma para outra geração mesmo antes da chegada dos colonizadores portugueses. É do conhecimento de todos que ela tem custo zero, ou seja, com apenas um palito de fósforo é possível queimar milhares de toneladas de biomassa morta ou viva bem como os animais que se encontram na área atingida e não conseguem escapar com vida. Os órgãos governamentais têm mecanismos adequados para fazer a fiscalização dos diversos tipos de problemas ambientais, incluindo-se as queimadas nos diversos Biomas, inclusive no Bioma Cerrado.

No Tabela 2.3, nota-se que somente a água representa três quartos ou 75% da biomassa fresca, que, ao ser queimada, libera uma grande quantidade de vapor de água para a atmosfera. O vapor pode transportar elementos químicos e algumas substâncias orgânicas, ambos voláteis, e, ao ser lançado na atmosfera, pode espalhá-los pelo vento a grandes distâncias do local onde ocorre a queimada. As veredas podem ter recebido diretamente esses materiais ou indiretamente por meio do escoamento superficial na ocasião das chuvas, acompanhadas pela condensação do vapor de água produzido pelas queimadas. No caso da biomassa seca, a água é perdida por evaporação lenta à temperatura ambiente.

É possível que o vapor de água de evaporação seja menos carregado de elementos químicos e demais compostos orgânicos voláteis. Nos dados do Tabela 2.3, a água, o carbono e o oxigênio somados atingem 96% da biomassa fresca. Na biomassa seca, a soma do carbono com o oxigênio chega a 84%. Apesar de simples, essa tabela ilustra bem a composição da biomassa que pode ser transformada pela queima. Quanto maior o teor de água da biomassa mais incompleta será a queima, deixando diferentes quantidades de resíduos sobre a superfície atingida pelo incêndio. Além disso, o consumo de oxigênio ( $O_2$ ) é grande quando se tem uma enorme quantidade de massa a ser queimada, e o suprimento de oxigênio pode estar abaixo do necessário para que a combustão seja completa. Quanto menor for a quantidade de oxigênio, mais incompleta será a combustão. O próprio calor proveniente da queima reduz a aproximação dos gases atmosféricos nos pontos mais quentes, incluindo-se o oxigênio, que é vital na combustão da biomassa. A distribuição da biomassa não é uniforme, o que também gera pontos de temperaturas desuniformes. Essa

desuniformidade resulta em variação na combustão diretamente relacionada à disponibilidade de O<sub>2</sub>. A escassez desse gás é responsável pela maior produção de resíduo, especialmente de carvão, que é uma forma de carbono bem estável em contato com solos e sedimentos. Por essa razão, ele é utilizado para datação de horizontes de solos e camadas de sedimentos.

Tabela 2.3 – Composição química da biomassa vegetal fresca e seca

Componente	biomassa Fresca (%)	biomassa Seca (%)
Água	75	
Carbono	11	44
Oxigênio	10	40
Hidrogênio	2	8
Cinzas	2	8
Total	100	100

Fonte: Adaptado pelos autores.

É desejável que se discuta um pouco mais sobre a composição química da biomassa das plantas, uma vez que, além dos dados da Tabela 2.3, apresentou-se outra ilustração sobre a composição da biomassa em porcentagem: carbono (44%); hidrogênio (6%); nitrogênio (0,22%); oxigênio (48%) e enxofre (0,35%), que perfazem 98,57%.

Os principais compostos orgânicos da biomassa vegetal são a celulose (42%); hemicelulose (20%) e lignina (27%), que somados atingem 89%. Pela predominância da celulose sobre os outros dois compostos, entende-se que seria interessante calcular a porcentagem dos três elementos que compõem a glicose, que é o constituinte da celulose. Assim, a glicose é composta de 40% de carbono, 6,7% de hidrogênio e 53,3% de oxigênio, valores que se aproximam da composição química da biomassa seca (Tabela 2.3). Pela importância da glicose na constituição da celulose, decidiu-se que a equação química que representa a combustão da glicose é uma ilustração importante para alguns leitores, que estão distantes da química. Ademais, a apresentação dessa reação se justifica pela discussão sobre a queima que foi e ainda é utilizada na substituição de um para outro uso do solo, conforme já foi mencionado.



Esta é a combustão de uma substância considerada pura, o que não ocorre com a biomassa vegetal, que tem uma enorme variedade de compostos orgânicos, bem como a fração inorgânica que é representada pelas cinzas, especialmente dos elementos químicos pouco voláteis nas temperaturas atingidas durante a combustão, que nem sempre é completa. Em condições de campo, é possível observar que o resíduo da queima é constituído de cinzas, fragmentos de carvão e partes das plantas parcialmente carbonizadas. Os fragmentos muito pequenos de carvão podem ser removidos por vento e pela água das chuvas durante o escoamento superficial. Esse movimento é facilitado pela baixa densidade do carvão, permitindo que este resíduo seja transportado a longas distâncias até que a energia do vento e da água sejam muito baixas e os fragmentos sejam depositados em áreas planas, com ou sem depressões. Nesse caso, as veredas podem ser pontos que receberam e continuam recebendo essas frações muito pequenas de carvão, enquanto as queimadas são praticadas. Essa fração granulométrica é muito difícil de ser separada dos solos ou sedimentos para ser estudada. Desse modo, ela passa a ser ignorada ou considerada inexistente. A estabilidade química dessa fração deve ser menor do que daqueles fragmentos visíveis sem auxílio de lupas ou de microscópio ótico.

Não há dúvida de que a biomassa vegetal é um material essencialmente orgânico, uma vez que quase a metade desse material é constituída de carbono (44%), que, inclusive, faz parte da estrutura das inúmeras moléculas orgânicas dos seres vivos. Ele se associa a outros elementos químicos, como hidrogênio, nitrogênio, oxigênio e enxofre na formação das referidas moléculas orgânicas, que juntos somam 98,57%. Durante a queima, esses elementos podem ser perdidos por volatilização – vapor de água ( $H_2O$ ), gás carbônico ( $CO_2$ ), monóxido de carbono ( $CO$ ), metano ( $CH_4$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e óxidos de enxofre ( $SO_x$ ). Quando a combustão for incompleta, o carbono pode ficar no resíduo como carvão. A madeira parcialmente carbonizada (coivara), que contém vários elementos químicos provenientes das espécies vegetais presentes na área queimada (Tabela 2.2), pode ficar no resíduo.

Na maioria das vezes, nas queimadas em condições de campo, a combustão dos compostos orgânicos da biomassa é incompleta, isso porque, além das cinzas, são encontrados fragmentos de carvão de tamanhos variados, assim como partes das plantas superficialmente carbonizadas. Quando sobram apenas as cinzas na superfície queimada, pode-se afirmar que a combustão do material orgânico foi completa. A cor cinza varia desde o branco ao preto, e quanto mais claras forem as cinzas, mais completa foi a combustão. Quando elas estão muito escuras, a presença de carvão de diferentes granulometrias está misturada com as

cinzas. Têm-se observado cinzas claras e escuras próximas umas das outras, o que indica combustão completa e incompleta intercaladas. Nota-se que o teor de umidade da biomassa pode interferir no grau de combustão: material mais úmido tem combustão lenta. Quando há predomínio de gramíneas na biomassa, a cor das cinzas é mais escura. Tudo indica que a riqueza em sílica biogênica nessas plantas e em outras monocotiledôneas interfere na combustão. Nas veredas, encontram-se muitas plantas acumuladoras de sílica, como as ciperáceas e as gramíneas, bem como as palmeiras do buriti. As observações de campo e de laboratório indicam uma relação entre o conteúdo de sílica biogênica e a tendência à carbonização de uma parte da biomassa vegetal provocando o escurecimento das cinzas. As queimadas nas veredas produzem cinzas escuras ou muito escuras (Figuras 2.1 e 2.2).

No entanto, conforme Figuras 2.1 e 2.2, é possível observar alternância de cinzas claras e escuras na mesma área queimada. Inegavelmente, estas figuras ilustram que plantas diferentes produzem cinzas de coloração diferente. Assim, o conteúdo de carvão das cinzas aumenta à medida que a cor se torna mais escura. Como já foi comentado, o carvão é uma forma recalcitrante de carbono do resíduo da combustão incompleta da biomassa. Isso se comprova em trabalhos de laboratório realizados por um membro da equipe, em que a remoção do carvão contido nas cinzas se mostrou uma tarefa muito difícil, a não ser quando são usadas temperaturas mais altas do que os 500°C para a combustão do carbono contido no carvão, na presença do gás oxigênio. A fração inorgânica das cinzas pode sofrer modificações com formação de minerais que não são encontrados nas cinzas. Em caso de baixa disponibilidade de oxigênio na câmara de combustão, o próprio carvão pode ser grafitizado. Ao adotar algum procedimento de laboratório, o encarregado deve ser capaz de prever mudanças não recomendadas no processo adotado. Essa tarefa demanda uma longa experiência de laboratório que não permite confundir os métodos utilizados com receitas de bolo. Nesse sentido, Costa et al. (2019) chamam a atenção para os usuários da calcinação como forma de extrair fitólitos de várias partes das plantas. Nas plantas que sintetizam o oxalato de cálcio, é necessário saber que ele se transforma em carbonato de cálcio no intervalo de temperatura de 346 a 420°C. O oxalato de cálcio pode ser formado a partir do gás carbônico produzido na calcinação e reage com o cálcio da biomassa, formando carbonato de cálcio. Nesse caso, a planta não produz esse mineral, que se forma durante a calcinação a 500°C.

As Figuras 2.1 (A e B) e 2.2 ilustram o que foi discutido sobre a coloração das cinzas observadas em veredas e em laboratório. A cor cinza

pode indicar a biodiversidade da biomassa queimada, a umidade do solo e do material queimado, biomassa morta ou viva, presença do lençol freático na superfície, como nas veredas, e plantas acumuladoras de sílica biogênica, como nas monocotiledôneas. A queima de uma monocultura de gramíneas forrageiras ou produtoras de grãos produz cinzas bem homogêneas e de cor escura. Quando era permitido a colheita da cana-de-açúcar queimada, os pequenos fragmentos de cinzas muito leves eram arrastados pelo vento e depositados nas áreas urbanas, o que causava reclamações por parte dos habitantes daquelas localidades. Essa deposição também ocorria nas áreas rurais, na trajetória dos ventos.



Figura 2.1 – Queimada em uma Vereda no município de Uberlândia – MG, fotografada logo após o incêndio: cinzas claras intercaladas com cinzas escuras.

Fonte: Batista (2022).

Neste texto, nota-se que o carvão foi mencionado algumas vezes como um dos resíduos da combustão incompleta da biomassa vegetal que promove mudanças para tons mais escuros da cinza. Há uma estreita associação do carvão com a cinza nos resíduos produzidos pela combustão incompleta. Ele será discutido em um item que se refere aos materiais que compõem os fósseis depositados tanto nos sedimentos como nos solos que suportam as veredas.



Figura 2.2 – Coloração das cinzas de duas espécies vegetais do Bioma Caatinga: *Acalypha brasiliensis* (cinza clara) e *Campomanesia eugenioides* (cinza escura), calcinadas em forno mufla a 500°C por duas horas.

Fonte: Fonseca (2022).

As modificações químicas que começaram com a substituição da vegetação do Bioma Cerrado pelas atividades agrossilvopastoris continuam acontecendo continuamente. Sem a adição de corretivos e fertilizantes aos solos, não se podem esperar as altas produtividades obtidas até o momento. Certamente, eles promovem mudanças químicas que devem ser monitoradas não só no solo como em todos os constituintes desse importante e extenso ecossistema. Como já foi citado nesta obra, as plantas cultivadas com alto potencial produtivo estão sujeitas a modificações químicas em sua constituição, visto que elas estão em processo de melhoramento genético direcionado para maior produtividade. Esses materiais genéticos são muito dependentes dos cuidados que o homem disponibiliza para que, no ambiente cultivado, as plantas tenham condições ótimas de crescimento e desenvolvimento, visando sempre a maior produtividade possível. É inegável a importância dos corretivos e dos fertilizantes nas mudanças químicas em curso nas áreas onde se pratica a agricultura intensiva e nos seus entornos, que não estão livres de tais influências, considerando-se que o sistema é aberto entre as áreas cultivadas e aquelas que são ocupadas com outras atividades.

Embora a Figura 2.3 apresente as porcentagens de cinzas sejam 2% e 8% na biomassa fresca e na biomassa seca respectivamente, esses valores

podem variar muito. No trabalho de tese de Martins (2012), nota-se uma grande variação (5% a 31%) do teor total de cinzas em 11 espécies de plantas das Formações Estacionais da região semiárida de Minas Gerais e do Sul da Bahia (Figura 2.3). A autora dessa pesquisa subdividiu as cinzas em três grupos: solúvel/insolúvel em HCl 0,5 mol/L, em NaOH 0,5 mol/L e em H<sub>2</sub>O destilada. Esse é um ponto que deve ser considerado quanto às perdas por lixiviação. Quanto mais solúveis as cinzas, especialmente em água, mais rápido elas deixam os locais onde ocorreu a queimada. As perdas tornam-se mais prejudiciais em áreas declivosas ou naqueles solos de textura arenosa. Nos solos com alto grau de distrofia, a natureza gasta um longo tempo na acumulação de nutrientes, e as queimadas fazem a dispersão em tempo muito curto. Em áreas planas ou suave onduladas, o escoamento superficial das águas é reduzido, mas a energia dos ventos é maior. A remoção das cinzas pelos ventos é muito ativa. Em áreas planas, é notório que os ventos praticamente não encontram barreiras que poderiam reduzir suas velocidades. Tanto a remoção como a dispersão das cinzas precisam ser consideradas nas modificações químicas em discussão neste item.

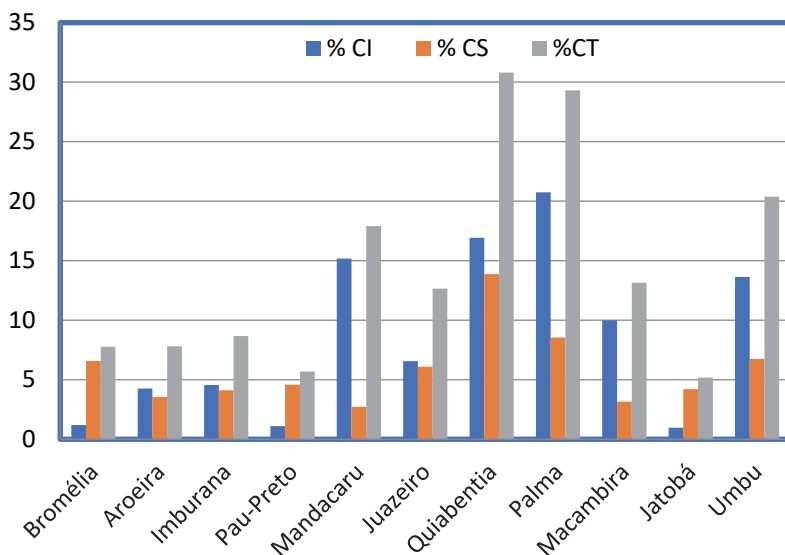


Figura 2.3 – Porcentagem da massa de cinza insolúvel (CI) e solúvel (CS) em HCl 0,5 mol/L e cinza total (CT) da parte aérea das espécies estudadas em relação a massa da matéria seca.

Fonte: Martins (2012).

Tabela 2.4 – Cinza insolúvel (CI) e solúvel (CS) em HCl 0,5 mol/L, NaOH 0,5 mol/L e água destilada da parte aérea das espécies estudadas

Espécie	HCl		NaOH		H <sub>2</sub> O	
	% CI*	% CS*	% CI*	% CS*	% CI*	% CS*
Bromélia	15,47	84,53	61,58	38,42	48,90	51,10
Aroeira	54,54	45,46	96,73	3,27	86,18	13,82
Imburana	52,57	47,43	75,06	24,94	79,50	20,50
Pau-Preto	19,43	80,57	98,36	1,64	84,03	15,97
Mandacaru	84,80	15,20	99,82	0,18	99,37	0,63
Juazeiro	51,88	48,12	94,41	5,59	86,41	13,59
Quiabentia	54,95	45,05	76,49	23,51	75,30	24,70
Palma	70,80	29,20	96,85	3,15	89,10	10,90
Macambira	75,97	24,03	93,28	6,72	88,92	11,08
Jatobá	18,65	81,35	99,50	0,50	87,01	12,99
Umbu	66,90	33,10	99,77	0,23	95,39	4,61

Fonte: Martins (2012).

Este capítulo não tem por objetivo discutir os aspectos contraditórios dessa atividade de limpeza de áreas para mudança de uso do solo. Juntamente com muitos aspectos negativos, é possível citar pontos positivos, mas esse não é o foco a ser seguido. Dito isto, neste item, serão discutidas as modificações químicas provenientes da queima da biomassa vegetal que foi substituída pelas atividades agrossilvopastoris. Não se pode negar que ocorreu acúmulo de diversos elementos químicos nas diferentes partes das plantas que compõem a flora do Bioma Cerrado. Esse acúmulo varia entre as espécies de cada sítio, e a biomassa produzida em cada um também é variável. Dessa forma, espera-se que a quantidade acumulada de cada elemento químico varie com a biomassa por área a ser considerada.

As modificações químicas dos solos foram muito grandes, partindo-se da substituição das inúmeras espécies vegetais do Bioma Cerrado pelas plantas cultivadas, como as espécies plantadas de gramíneas forrageiras, as culturas anuais de milho, sorgo, cana-de-açúcar, trigo e as extensas plantações de soja, feijão, algodão e café. Algumas plantas olerícolas têm sido cultivadas sob pivôs centrais, como o alho, batata inglesa, cebola e cenoura.

A transferência de elementos químicos considerados nutrientes e aqueles que não são considerados essenciais às plantas ocorriam de forma natural, num ritmo muito mais lento em comparação com o que ocorreu



quando começou a ocupação acelerada do Bioma Cerrado. A acumulação de vários elementos químicos nas inúmeras espécies do referido Bioma aconteceu lentamente. Desse modo, houve transferência de elementos entre o solo e as plantas de forma bem equilibrada. Quanto maior a biodiversidade de um local, espera-se uma ciclagem de elementos químicos mais completa, já que as plantas têm exigências e tolerâncias diferentes. Além disso, o sistema radicular, com morfologia própria de cada espécie, atinge diferentes profundidades nos perfis de solos. Alguns elementos químicos que não foram absorvidos nas camadas superficiais poderiam ser aproveitados pelas raízes mais profundas. Esse é um mecanismo importante em solos muito pobres. Para ilustração, espécies nativas de leguminosas do Bioma Cerrado são capazes de concentrar cálcio de um solo onde alguns instrumentos de análises químicas de laboratório indicam que o referido elemento está abaixo do seu nível de detecção.

Em geral, as espécies nativas são capazes de absorver nutrientes, indicados como não disponíveis às plantas cultivadas pelos extratores comumente utilizados nos laboratórios de solos. Em ecossistemas de alta biodiversidade, as plantas se completam nessa tarefa de absorção. Quando esses nutrientes passam para a biomassa vegetal, parte deles volta ao solo, por meio da decomposição microbiana, cuja liberação é controlada pelas condições climáticas da área. Ressalta-se aqui a importância da umidade do solo, visto que, sem água, a decomposição é muito reduzida. No período seco, há acúmulo de restos vegetais das diferentes espécies nativas. A liberação de nutrientes pela atividade microbiana não é rápida e depende de umidade, temperatura e composição da biomassa dos resíduos vegetais caídos sobre o solo ou nele contidos, como as raízes mortas. Essa liberação pode ser mais rápida quando se têm mais umidade e altas temperaturas, havendo maior liberação e maior crescimento e desenvolvimento das plantas. Nota-se que há uma boa sincronia entre a liberação e a absorção dos nutrientes contidos nos resíduos orgânicos das plantas.

Quando se leva em conta a liberação promovida pela queima, é preciso considerar que ela ocorre com mais frequência no período seco e tem participação direta do ser humano como iniciador desse processo. É possível fazer uma lista enorme de razões que levam o homem a usar o fogo. Os argumentos apontados para justificar essa decisão são muitos, mas a capacidade de convencer alguém é pequena. Por isso, há muita controvérsia no uso da queima. Não há nenhuma dúvida sobre a velocidade de liberação dos elementos químicos contidos na biomassa viva ou morta, e a queima pode ser considerada uma liberação imediata que quase sempre ocorre no período seco do ano. Nessa época do ano, os resíduos mortos das plantas encontram-se secos, e sua combustão torna-se muito fácil. As baixas umidades do solo, das plantas e do ar permitem

que a combustão comece rapidamente, e a velocidade da queima é muito alta. Nas veredas, a água está presente mesmo no período seco, e sabe-se que o calor específico da água é muito alto (1,00 cal/g °C). Essa propriedade faz com que a elevação de temperatura seja menor quando comparada com outros componentes do ambiente, onde o teor de água é muito baixo. Em ambientes muito úmidos ou encharcados, a velocidade da queima é lenta, como no caso das veredas, em que o lençol freático é alto ou o nível da água está acima do solo. Pode-se classificar a queima em completa ou parcial. Na queima completa, as cinzas ficam muito claras; já na queima parcial, uma parte da biomassa transforma-se em carvão, e a cor das cinzas vai de cinza escura à cor escura. Quanto maior presença de carvão, menor será liberação dos constituintes químicos existentes na biomassa que deu origem ao carvão. Para o ambiente, a queima parcial é menos prejudicial, pois uma parte da biomassa permanece sem liberar os elementos químicos contidos nela. Na liberação instantânea ou imediata, pode ocorrer perda considerável das cinzas arrastadas pelos ventos ou pela água por meio de escoamento superficial ou subsuperficial. Quanto mais completa a queima, maior será a perda dos elementos voláteis.

Os incêndios considerados naturais são aqueles causados por descargas elétricas antes ou durante as chuvas, normalmente de grandes intensidades. Estes podem ser muito influenciados pela quantidade de água de chuva precipitada. Pela presença da água, a combustão pode ser incompleta, conforme foi mencionado acima. Os resíduos da queima incompleta, para áreas mecanizadas, são indesejáveis, especialmente os galhos, os tocos e raízes carbonizados, que demoram muito mais tempo para decomposição microbiana, uma vez que a decomposição de carvão vegetal é muito lenta. Sabe-se que a agricultura intensiva é acompanhada pela mecanização, a qual fica inviabilizada pelos resíduos dos incêndios, sejam eles provocados pelas atividades de cultivo ou por descargas elétricas. Essa situação faz com que os fragmentos de carvões permaneçam como testemunho por muito tempo depois que os incêndios atingem determinados locais. Os elementos químicos voláteis podem ser transportados a grandes distâncias até que a energia do vento se reduza e os constituintes voláteis sejam depositados nos solos e nas águas. Assim, o raio de influência dos incêndios é muito maior do que a área que fica coberta de cinzas.

## **2.7 Microfósseis e carvões depositados nas veredas – fitólitos, pólenes e fragmentos de carvão vegetal**

Os recursos hídricos são os pilares principais deste livro direcionado para a parte da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, localizada no estado de Minas Gerais, e dada a grande importância das veredas nas áreas onde

elas ocorrem, decidiu-se que, nesta obra, deveria incluir-se um capítulo dedicado a elas. As veredas têm sido consideradas como um subsistema do Bioma Cerrado e destacam-se como grandes armazenadoras de água. Não é necessário um grande esforço para entender que existe uma estreita relação entre a água e as comunidades de plantas e animais contidas nelas, o que já é suficiente para justificar todo esforço para conservá-las. No entanto, outras razões devem ser acrescentadas a esse esforço conservacionista, como a beleza natural e a sua capacidade de conservar diversos tipos de microfósseis como a sílica biogênica, especialmente os fitólitos, as espículas de esponjas de água doce e as frústulas das diatomáceas. As veredas ainda preservam os grãos de pólen e os fragmentos de carvão das diversas espécies vegetais da vereda e das plantas da vizinhança. O escoamento superficial lento das águas nas veredas, associado aos fluxos lateral e vertical das águas igualmente lentos, resulta em baixa remoção de sílica solúvel. Nessa condição, a dissolução da sílica biogênica é reduzida, o que concorre para a conservação dos corpos silicosos. A disponibilidade de sílica solúvel nas veredas é alta porque a remoção é baixa, motivada pela drenagem deficiente desse sistema. Dessa maneira, o teor de sílica nas plantas de veredas é alto. Esse é um ambiente rico em gramíneas e ciperáceas, principalmente das espécies com boa tolerância aos solos encharcados, e propício para as palmeiras como o buritizeiro, que é típico das veredas. Estas são algumas das razões que podem atrair os estudiosos na biogeoquímica do silício.

Esse item não tem por objetivo discutir procedimentos usados em estudos de microfósseis nas veredas ou em outras áreas úmidas. O enfoque principal é a preservação das veredas como repositório dos microfósseis para estudos atuais e futuros, uma vez que elas ocupam áreas típicas de deposição de sedimentos provenientes da erosão hídrica ou eólica causada por uso e ocupação dos solos em suas proximidades. A interferência antrópica nessas áreas pode descaracterizar o modo como ocorreu a deposição dos sedimentos e dos solos que suportam as veredas. A deposição começou pelas camadas mais antigas na base das veredas e prosseguiu para as mais recentes na superfície, e a composição de seus sedimentos traz informações ou registros da forma como os solos estão sendo cultivados. Esses registros podem comprovar os acertos e erros cometidos pelas atividades agrossilvopastoris em andamento. Muitos registros são transitórios pela possibilidade de degradação por mecanismos que a própria natureza dispõe. No entanto, a Ciência de Materiais vem produzindo um grande número de produtos utilizados em inúmeras atividades da sociedade como está estruturada até a data. A persistência ou estabilidade de cada produto é variável, por isso muitos podem permanecer por períodos longos e outros por períodos curtos. Apenas para

ilustrar, muitos produtos orgânicos podem ser decompostos pela radiação solar, e outros são decompostos pela atividade microbiana. As atividades humanas, por sua vez, deixam pegadas que podem ser encontradas por técnicas e equipamentos cada vez mais precisos.

Os avanços científicos têm auxiliado sobremaneira no entendimento de várias questões relacionadas aos danos ambientais. Consequentemente, com informações seguras, fica mais fácil convencer os interessados a participarem de atividades que evitem os danos ou possam auxiliar na correção de problemas que já estão instalados. A produção de conhecimento é uma forma eficiente de instruir a população para participar da conservação ambiental. Afinal, convencer por meio de informações concretas é bem mais fácil do que pelo discurso vazio.

Com um pouco mais de entendimento da biogeoquímica do silício, nota-se que a interação planta-ambiente é indiscutível. Isso reforça a grande importância dos estudos dos microfósseis silicosos encontrados nas veredas e em outras áreas úmidas. Há uma grande variedade de morfologia de fitólitos nas plantas, havendo ainda vários tipos de fitólitos em uma mesma espécie de planta. Como se isso não bastasse, o mesmo tipo de fitólito apresenta dimensões variadas em uma única espécie. Esta situação fica bem evidente no trabalho de Pasqua et al. (2017), em que utilizaram fitólitos de arroz para obter informações sobre cultivo de arroz há dois séculos atrás no litoral da Georgia, EUA. Esses autores calcularam a relação comprimento/largura de fitólitos bulbiformes de cinco variedades de arroz do Brasil e sugeriram a relação entre 0,85 e 1,15 como identificadoras de fitólitos de arroz. Os autores mostram 49 micrografias de fitólitos bulbiformes das cinco variedades de arroz com morfologias diferentes. Por outro lado, a relação comprimento/largura permitiu a identificação dos fitólitos encontrados no solo, onde supostamente foi cultivado o arroz. Por algum tempo, havia a expectativa de identificação de plantas em nível de espécie por meio dos fitólitos. Na identificação de várias famílias botânicas, esses corpos silicosos têm sido usados com sucesso. A utilidade da sílica biogênica deverá aumentar à medida que seja adquirido mais conhecimento sobre esse material. Continuar estudando apenas a morfologia de fitólitos não parece ser uma boa alternativa para se obterem novos avanços científicos. A estabilidade de fitólitos em condições de laboratório pode ser uma alternativa a ser seguida para ajudar na análise de assembleias de fitólitos encontradas em ambientes naturais. Isso porque, quanto mais longa a permanência deles em um ambiente, maior é a possibilidade de que os menos estáveis desapareçam, com prejuízos na interpretação dos dados. Em locais de reação alcalina, a sílica dissolve-se com maior velocidade do que em meio ácido.

A dificuldade de amostragem de solos e sedimentos das veredas tem concorrido para atraso de aquisição de novos conhecimentos de um ambiente muito interessante da paisagem do Bioma Cerrado. A sequência

de camadas de sedimentos, encontradas abaixo do perfil dos solos de veredas, devem receber a atenção daqueles que se dedicam a essas áreas. A descrição morfológica dessas camadas pode trazer informações de grande interesse científico, desde que elas sejam amostradas com muito rigor. Aliás, qualquer amostra obtida inadequadamente pode ser mais prejudicial do que útil para fins científicos. Além do acesso difícil aos locais a serem amostrados, a instrumentação usada pode promover algum tipo de contaminação entre as camadas de sedimentos e, também, dos horizontes de solos. Essas contaminações promovem distorções nas informações coletadas. A exposição de perfis em canais de drenagem ou alguma movimentação de terra nas veredas, para construção de estradas ou expansão da área urbana, tem dado oportunidade para examinar o arranjo natural das camadas e dos horizontes de solos em alguns pontos das veredas (Figura 2.5). Nem sempre esses locais são os mais indicados para observações desejadas por aqueles que querem conhecer esse sistema relativamente pouco conhecido.



Figura 2.5 – Aprofundamento da drenagem de um curso de água de uma vereda na periferia de Uberlândia – MG

Fonte: Batista (2022).

Há muita informação armazenada em apenas um perfil desta vereda que foi exposta no canal de drenagem de um curso de água. A variação das cores desse perfil chama a atenção de qualquer observador, mesmo daqueles que não se dedicam a estudar os diferentes ramos da Ciência da

Terra. As frações granulométricas de cada camada podem ter algum significado sedimentológico relacionado às condições climáticas e à cobertura da superfície da bacia que drenava na direção da vereda. Um perfil de carbono orgânico pode auxiliar no fornecimento de biomassa para a composição de cada camada ou horizonte a partir da vegetação que existia na época da deposição de cada camada com as suas respectivas espessuras. Com a ajuda dos microfósseis a serem estudados, é possível estabelecer uma relação entre o carbono orgânico, a vegetação fornecedora da biomassa e as condições climáticas predominantes na região durante a deposição de cada camada. Além disso, as subcamadas de pequenas espessuras indicam mudanças pouco expressivas no clima. As formas dos grãos de quartzo podem indicar a fonte dos sedimentos, e a homogeneidade deles indica a predominância de um dado material de origem, ou a mistura indica mais de uma fonte fornecedora dos sedimentos. Os arenitos da região são os grandes fornecedores dos sedimentos encontrados nas áreas de deposição. Assim, esperam-se formas com grau diferente de arredondamento. As veredas encontram-se em locais apropriados para a deposição de sedimentos, que trazem registros importantes para a compreensão dos principais fatores que atuaram e que ainda atuam na sua formação. Este é mais um importante ponto que deve ser considerado nos estudos e na conservação das veredas.

Passando para a espessa camada escura do perfil da Figura 2.5, alguns comentários devem ser feitos. Com uma observação mais detalhada, pode-se constatar que ela também deve ser composta de subcamadas, conforme discutido nas camadas claras. Na constituição dessa camada, um ingrediente muito importante foi encontrado: a grande disponibilidade de biomassa na bacia que drenava em direção a essa vereda. Para produção de biomassa, a água deve estar disponível em quantidade que não restrinja o crescimento e desenvolvimento das plantas, que são as mais importantes fontes do carbono orgânico, que, por sua vez, é a matéria-prima necessária para um grande acúmulo de matéria orgânica dos solos (MOS) e sedimentos. Além da quantidade de biomassa, o ambiente encharcado tem um papel importante no acúmulo da MOS. A drenagem deficiente abaixo dessa camada é um pré-requisito indispensável que pode ser relacionado a uma camada de sedimentos argilosos ou uma camada de rocha de baixa inclinação e baixa porosidade para garantir a acumulação da água e da MOS. Para completar, essa camada escura deve ter armazenado uma grande quantidade de microfósseis que estabelecem ligação com os vegetais produtores deles. Os fragmentos de carvão indicam a presença de incêndios ocorridos ao longo da formação da camada escura em discussão. Para produzir carvão, é preciso ter o combustível ou a biomassa vegetal que tem relação direta com as condições climáticas úmidas, fornecedoras

de água, para que a fotossíntese não seja limitada por esse fator. Caso sejam identificadas as subcamadas da camada escura, elas podem ter estágios de humificação diferentes, bem como variações nas demais variáveis discutidas neste parágrafo. Seria esperado encontrar variações nos microfósseis e nos fragmentos de carvão nas subcamadas? Caso a resposta seja positiva, outras perguntas podem ser formuladas. O leitor precisa ter o hábito de fazer perguntas durante os seus estudos, leituras e durante o trabalho de laboratório. Por isso, essas possíveis perguntas vão ficar a cargo do leitor. Infelizmente a sociedade está sempre com muita pressa e tem pouco tempo para meditar sobre o pequeno universo que se encontra em volta de cada um.

A camada escura em questão deu muito o que falar, ou escrever a seu respeito. Apesar de conter apenas 111 palavras, acredita-se que o parágrafo anterior seja um muito denso e pode ser de utilidade em estudos das veredas. Nesse sentido, procurou-se sumarizar, em um parágrafo, o que foi escrito no item denominado: Microfósseis e Carvões Depositados nas Veredas – Fitólitos, Pólens e Fragmentos de Carvão Vegetal. Descrever uma foto ou imagem não é algo tão fácil e depende do estado de espírito de quem assume esse risco. Isso porque, além da sensibilidade momentânea associada à experiência de vida, ainda é necessário algum conhecimento científico que possa dar suporte ao assunto discutido.

## **2.8 Barramento e drenagem das veredas e suas consequências para os organismos deste ecossistema**

O número de barragens construídas nas veredas de diversos tamanhos precisa ser mais bem estudado, especialmente quando se considera a área coberta pela água. O alagamento promove inúmeras modificações no ambiente, que afeta todos os seres vivos que não têm mecanismos para suportar locais alagados. O arejamento do solo e da água com restrita movimentação é muito reduzido, e isso promove muitas alterações tanto na água como no solo, e em todas as formas de vida relacionadas a eles. As modificações no ambiente são incontáveis, e muitas desconhecidas. Apenas para ilustrar, as águas que se movem em pequenas ou grandes cachoeiras são muito mais arejadas do que aquelas que fluem lentamente pelos seus canais em pequenas declividades. Assim, todos os animais aquáticos que demandam alto arejamento na água não se adaptam nesta condição. Há 40 anos, Sete Quedas foram totalmente cobertas pelas águas de Itaipu que transformaram as águas altamente arejadas pela água pobremente arejada do reservatório implantado naquele local. As mudanças do ambiente foram muito expressivas. São esperadas mudanças marcantes quando um curso de água é barrado, e muitas são

desconhecidas. Em termos de arejamento, é preciso considerar a profundidade da lâmina de água que interfere na difusão dos gases atmosféricos na água, especialmente o oxigênio, que é vital para todos os organismos aeróbicos. A difusão de gases na água é muito lenta, principalmente nas águas represadas, que têm movimento muito restrito.

A emissão de metano, ou gás dos pântanos, merece destaque nas áreas represadas. Esse é um gás de efeito estufa que não pode ser negligenciado. Sua produção depende de várias fontes de carbono que podem vir dos solos ou dos sedimentos alagados, além de toda a biomassa que foi inundada durante a construção e o fechamento das comportas. Após a inundação, dada a abundância de carbono da biomassa, espera-se maior produção do metano. Todavia, o fornecimento de carbono é contínuo, pois, durante o escoamento superficial, as águas transportam resíduos vegetais vivos ou mortos que são depositados nas represas. Além disso, os sedimentos transportados pela erosão carregam matéria orgânica humificada, contida nos complexos argilo-orgânicos, provenientes dos solos erodidos. Essa é uma fonte contínua de carbono que se deposita no fundo da represa e mantém a produção de metano.

Em caso de barramento das águas das veredas, dependendo da profundidade da lâmina de água, ocorre o aumento do poder de redução com aumentos consideráveis das formas reduzidas que podem causar diferentes níveis de toxicidade às diferentes espécies vegetais endêmicas ou não. As diminuições do arejamento associadas ao aumento de elementos químicos tóxicos podem esclarecer a supressão da vegetação que existia no local transformado em barragem. A química dos solos ou sedimentos submersos pode ser complexa devido à dificuldade de acesso na obtenção das amostras, que normalmente são expostas ao ar, a menos que sejam imediatamente congeladas em nitrogênio líquido. Todavia, durante o congelamento, ocorre mudança do volume coletado, uma vez que a água da solução do solo, contida entre os agregados e no interior deles, aumento de volume e pode causar ruptura da estrutura. Isso é ainda pior quando se pretende ter amostras indeformadas.

A deposição de sedimentos argilosos ricos em óxidos de ferro nas veredas pode tornar esse ambiente inadequado ao crescimento de plantas cultivadas, indevidamente plantadas nas APPs. Com o aumento da espessura da camada de sedimentos nas veredas, ocorre a redução do ferro, e os danos às plantas cultivadas ou nativas ficam mais evidentes. Esse problema poderia ser minimizado, caso houvesse uma bordadura de proteção de plantas nativas em volta das veredas. Dada a importância das veredas como fonte de água para diferentes finalidades, essa proteção pode ser interrompida nos locais da captação da água. Em volta de muitas veredas, são encontrados as moradias e seus ocupantes bem como o



plântio de culturas de subsistência e a criação de animais necessários à sobrevivência das famílias de veredeiros. Essa ocupação é bem mais antiga do que a transformação da vegetação arbórea – arbustiva em carvão vegetal, seguida pela formação de pastagem e plântio de floresta para energia e, depois, a agricultura intensiva. Atualmente, esse tipo de agricultura é mesclado com áreas reflorestadas e pastagens nativas ou plantadas. As áreas de pastagens mal manejadas, em torno das veredas, merecem atenção especial, pois o escoamento de água delas para as veredas deve ser um motivo de preocupação, tanto no que se refere à quantidade quanto no que diz respeito à qualidade da água. Da mesma maneira, a água que não se infiltra no solo não passa pela filtração promovida por ele. Trata-se de um processo natural de purificação da água que vai depender do tipo, do diâmetro e da tortuosidade dos poros do solo. Quanto mais longa a trajetória da água no perfil do solo, mais completa será a limpeza dos componentes que interferem na qualidade da água, sendo este o principal componente da solução do solo.

Apesar de baixa solubilidade, o ferro trivalente pode ser removido também por meio de complexos orgânicos que são mais estáveis que o complexo orgânico de ferro bivalente. Certamente, a estabilidade de um complexo depende do complexante, da valência de cada metal a ser complexado e do pH do meio. Ao consultar a literatura pertinente, percebe-se que, nos gráficos de estabilidade em relação ao pH do meio, o campo de estabilidade de cada complexo é variável. É necessário que sejam acrescentadas as solubilidades dos cátions bivalente e trivalente do ferro. O bivalente é bem mais solúvel do que o trivalente, o que facilita a sua remoção, especialmente nos ambientes de baixo potencial redox, como naqueles encontrados nas veredas.

Além dos pontos já discutidos sobre o barramento das veredas, outros aspectos devem ser adicionados. As modificações químicas causadas pelo uso intensivo do solo, que inclusive já foram consideradas, merecem destaque novamente. O contato da água com a atmosfera, com as plantas nativas e cultivadas, com o solo e com as rochas é contínuo, e, em cada interação, a água pode mudar de composição química por meio de trocas de elementos químicos contidos nas partes que estão interagindo. A água, sem a qual a vida não é possível, é denominada de solvente universal e, em movimento, transporta íons dissolvidos, substâncias orgânicas solúveis, microrganismos e seus propágulos. Para que os solos continuem no ritmo de produtividade atual, as adições de fertilizantes e corretivos devem continuar. A água em equilíbrio com os solos que não receberam esses tratamentos em comparação com aqueles que recebem anualmente a correção e adubação vai indicar, por meio de análises químicas, que o contato foi identificado. Isso é válido para os nutrientes e para os contaminantes.

O barramento de cursos de água tem sido realizado em especial para armazenamento de água nos períodos de baixas precipitações pluviométricas, para garantir o abastecimento de água ao longo do ano. No início, as barragens eram construídas com a finalidade principal de fornecer água para a dessedentação da população e de seus animais domésticos. Todavia, com os inúmeros usos da água em várias atividades desenvolvidas pela sociedade, a demanda tem crescido assustadoramente. Para disciplinar essa demanda, criaram-se órgãos que se encarregam da administração dos recursos hídricos em diferentes níveis administrativos. O volume armazenado de água varia com o tamanho da obra a ser construída. Quanto maior a represa, mais complexo é o processo de construção que deve atender muitos requisitos, a começar pelo tamanho da área a ser ocupada pelo lago artificial que se forma. O impacto ambiental tem que ser avaliado com muito detalhe antes de iniciar a obra. Ademais, a saída dos proprietários da área a ser alagada tem gerado muitas dificuldades para os envolvidos nesse processo de desocupação.

Quando se refere à construção de barragens nas veredas, a escala certamente é outra. No entanto, isso não garante que tais obras sejam de simples execução ou que os problemas sejam proporcionais ao tamanho delas. Dessa maneira, alguns pontos devem ser discutidos para que essas obras possam causar o menor impacto ambiental possível. Normalmente, as veredas encontram-se em leitos rasos em forma da letra U; em menor frequência, elas podem ter canais em forma de V. Esse formato de leito em U dificulta a construção de barragens com maior volume de água armazenado, que é o principal objetivo dos barramentos de cursos de água de diversos tamanhos. Além disso, os leitos amplos e rasos, quando barrados, resultam em lagos artificiais espalhados que ocupam grande área e baixo volume de água armazenado. As baixas declividades dos leitos são indicadores de ambiente propício para a deposição de sedimentos provenientes da erosão hídrica. Nesse caso, a energia da água é baixa, o que dificulta o transporte dos sedimentos de granulometria grosseira que compõem as frações areia, assim denominados: areia muito grossa (2,00 a 1,00 mm); areia grossa (1,00 a 0,50 mm); areia média (0,50 a 0,25 mm); areia fina (0,25 a 0,105 mm) e areia muito fina (0,105 a 0,053 mm). A baixa velocidade da água em múltiplos canais entrelaçados podem facilitar a deposição das partículas de tamanho silte (0,053 a 0,002 mm) e parte da argila dispersa. A deposição de sedimentos somente não é maior por causa do bom estado de preservação da vegetação que protege com eficiência a chegada dos sedimentos ao seu leito. Quando a vegetação se apresenta degradada, o efeito de proteção praticamente não é observado. A deposição dos sedimentos ao redor das veredas precisa ser monitorada, considerando-se as atividades da agricultura intensiva praticada entre elas.

As preocupações explicitadas podem parecer inócuas ao leitor, pois as veredas localizam-se nas áreas de preservação permanentes (APPs) e, por isso, não devem ser destinadas a qualquer uso que não seja a preservação.

A posição das veredas na paisagem indica que é um local propício para a deposição de sedimentos, a começar pelas camadas mais antigas da base para o topo onde são encontradas as mais jovens. Acima destas estão as classes de solos encontradas nas veredas. Nas camadas dos sedimentos e nos horizontes dos solos, estão guardadas muitas informações, como sílica biogênica, pólen e carvão vegetal. As veredas preservam esses materiais para pesquisas relacionadas à dinâmica da vegetação e do clima atual e passado. Entretanto, qualquer distúrbio na ordem de deposição das camadas de sedimentos pode colocar tudo a perder. Essas informações arquivadas nos sedimentos/solos não podem ser destruídas, por mais convincentes que sejam os argumentos. Esse ambiente conserva tais informações porque tem baixa permeabilidade à água, e os fluxos vertical, lateral e superficial dela são considerados lentos. Essa condição dificulta as reações químicas e as macros e microbiológicas, especialmente as reações de oxidação, pela baixa pressão parcial do  $O_2$ . Têm sido recomendados medicamentos antioxidantes para os seres humanos com o objetivo de reduzir a oxidação de substâncias que são vitais para o bom funcionamento do corpo humano. Nesse caso, é possível admitir-se que as veredas são dotadas de condições conservadoras por controlarem várias reações de oxidação.

Os baixos fluxos vertical, lateral e superficial reduzem a remoção de elementos químicos e substâncias orgânicas solúveis em água. O maior tempo de contato entre os produtos das reações permitem recombinações entre eles, podendo dar origem a formas menos solúveis, cuja mobilidade é bem menor do que seus precursores. Isso tem efeito direto nas perdas e ganhos no sistema onde elas ocorrem. Certamente, há muita coisa a ser aprendida nos solos alagados antes que eles sejam degradados pela fúria consumista da sociedade. Outro ponto que não pode ser negligenciado é a presença prolongada da água com alguma intermitência nestes ambientes. É inquestionável a importância da água nas inúmeras reações que ocorrem na litosfera, na biosfera e em suas interações. Dessa forma, a drenagem artificial deve ser considerada como a negação total da importância da água. A drenagem de áreas alagadas e suas consequências ambientais devem ser analisadas de maneira muito criteriosa, para além das questões da engenharia de drenagem. Essa área conta com critérios bem estabelecidos para a realização de seu trabalho, mas remover água não pode ser o único foco dessa importante atividade.

A deposição das camadas de sedimentos segue uma ordem natural que não pode ser perturbada, para que a história registrada nelas não seja perdida. Essa é uma forte razão para que as veredas sejam conservadas.

Cada interferência humana, quase sempre mal planejada, deixa cicatrizes na paisagem em processo de transformação, pelo desordenado uso e ocupação do solo no local ou em suas vizinhanças. A demanda crescente por recursos hídricos leva aos conflitos generalizados, desde aqueles localizados até os internacionais. As veredas, como excelentes fontes de água, não conseguem escapar a esta realidade. Dessa forma, os órgãos governamentais encarregados da gestão dos recursos hídricos, associados à sociedade, devem exercer seu papel na proteção das veredas como fonte de água e de abrigo para as plantas e para os animais desse subsistema do Bioma Cerrado.

A deposição das camadas de sedimentos com interferência antrópica desprezível já foi comentada. A deposição recente de sedimentos nas veredas, que vem ocorrendo nas últimas cinco décadas, deve receber a atenção daqueles que se encarregam das pesquisas sobre esse assunto. Estes deverão produzir dados para suportarem as ações a serem adotadas pelos órgãos da gestão dos recursos hídricos. O uso intensivo dos solos, ao redor das veredas, pode estar criando condições de deposição acelerada dos sedimentos provenientes da erosão hídrica. Em função da baixa declividade, a erosão hídrica é menos atuante. Essa situação deve receber alta prioridade pelos órgãos de apoio e de financiamento de pesquisas para viabilização da obtenção de dados necessários à orientação de políticas de conservação dos solos e dos recursos hídricos. A deposição dos sedimentos da erosão atual deixa informações que podem ser úteis, caso seja possível entender como ela se processa nessa nova fase erosiva relacionada ao uso atual do solo.

Nas veredas onde foram construídas barragens, a forma de deposição dos sedimentos conta com mais um fator promotor da deposição. Como já foi relatada anteriormente, a declividade do leito das veredas é baixa, o que afeta a velocidade das águas que se movimentam em muitos canais estreitos, rasos e entrelaçados, resultando em baixa capacidade de transportar sedimentos ou outros materiais encontrados ao longo de sua trajetória. Quando as veredas são represadas, essa capacidade de transporte se reduz ainda mais. As águas de lagos naturais ou artificiais aparentam-se, às nossas vistas, paradas, exceto quando são formadas pequenas ondas pelo vento que tangencia a superfície da água. Os sedimentos de maiores granulometrias se depositam assim que a água perde energia ao encontrar com a água do lago. Os sedimentos finos somente são depositados quando a água está praticamente parada. Isso gera uma segregação do tamanho de partículas contidas na suspensão em que se encontram os sedimentos. Além do tamanho, os minerais da fração areia são, predominantemente, constituídos de quartzo, cuja reatividade é muito baixa. Na granulometria de argila e parte do silte, os minerais são constituídos de óxidos de ferro e

alumínio e alguma argila silicatada. Destes, os óxidos de ferro podem sofrer redução, chegando a causar toxicidade às plantas por excesso de ferro bivalente. Isso pode acontecer com o manganês, tornando-o tóxico para as plantas aquáticas. Uma das causas da supressão da vegetação das veredas represadas pode ser a toxicidade por espécies químicas reduzidas de ferro e de manganês associadas à reduzida disponibilidade de oxigênio para o sistema radicular submerso. Essa camada de sedimentos finos, depositados no fundo da represa, pode bloquear, temporariamente, a emissão de gases como metano e gás sulfídrico, produzidos a partir de matéria orgânica dos solos e sedimentos das veredas. Pode-se observar, na Figura 2.6, que ocorreu total supressão da vegetação na área ocupada pela vereda represada.



Figura 2.6 – Vereda com total supressão da vegetação nativa na área ocupada pela represa

Fonte: Costa (2018).

Nos solos e nos sedimentos abaixo da área represada, as reações químicas são predominantemente de redução associadas ao arejamento deficiente. Este é um ambiente inóspito para os organismos aeróbicos. As veredas dão suporte para uma grande biodiversidade vegetal e animal, mas, quando elas são submetidas ao represamento, essa afirmativa não se sustenta. A demanda crescente por recursos hídricos tem pressionado no

sentido de construção de represas de vários tamanhos para atender às diversas necessidades. Por outro lado, as veredas devem ficar fora dessa preocupação por serem consideradas áreas de preservação permanente.

Os animais aquáticos de portes maiores dependem de volume maior de água para serem protegidos de seus inimigos naturais, incluindo-se aqui o homem. Nas veredas represadas, é possível abrigar animais como sucuris, jacarés e capivaras. Acredita-se que nas veredas sem barramentos, os citados animais podem ficar mais expostos aos perigos. Esse pequeno parágrafo pode ser considerado como uma curiosidade a ser testada por aqueles que se interessam por aprender mais sobre as preciosas veredas que são típicas de condições especiais.

A drenagem artificial das veredas e de outras áreas úmidas foi feita por um programa governamental chamado Provárzeas, comentado com mais detalhes no capítulo de amostragem de solos, desta obra. É inegável que esse programa tenha dado sua contribuição na sistematização de várzeas para irrigação, mas algumas cicatrizes ficaram marcadas na sistematização, na drenagem e na própria irrigação de solos de várzeas. Esse não é o único programa na história da agricultura brasileira que apostou em erros e acertos. Apesar de tudo, os avanços da agricultura brasileira são reconhecidos aqui e fora do Brasil.

A drenagem das veredas deve ser considerada uma prática na contramão dos conflitos e das demandas de recursos hídricos não só no Brasil, mas em todo o planeta terra. A escassez de água varia entre países ou regiões, onde esse problema é crônico. Todavia, o desperdício desse bem é mais comum do que se imagina. O desperdício de água tem relação direta com a falta de educação no seu uso racional. À vista disso, a reeducação precisa ser acionada imediatamente para transformar a sociedade consumista em conservadora de todos os bens que ela utiliza, incluindo-se a água.

Julgou-se necessário compartilhar a experiência de um dos autores desta obra com aqueles leitores que possam se interessar pela drenagem de veredas. Uma grande empresa, sediada no município de Goianésia-GO, estava interessada em saber se a drenagem das veredas de suas propriedades poderia ou não ser realizada. O consultor começou pelas observações em veredas recém-drenadas. A partir deste ponto, algumas perguntas foram formuladas, uma delas sobre observar a variação dos solos ao longo dos canais de drenagem. O consultor notou que havia uma considerável variação das cores, da textura, do acúmulo de matéria orgânica e do grau de humificação delas. Além disso, a hidrofobia do horizonte superficial era muito alta. A drenagem rápida da água pelos drenos gerou alta hidrofobicidade da matéria orgânica. A demonstração da repelência de água pela matéria orgânica (hidrofobia) foi usada para impactar um dos

proprietários da empresa, que indagou se a hidrofobia poderia ser revertida. A resposta foi positiva, e, neste momento, notou-se que o impacto fora menor do que era esperado pelo consultor. Depois disso, retiraram-se várias amostras por meio de trado para as observações acima citadas. Quando se afastava do dreno, a hidrofobia se reduzia rapidamente, mas a heterogeneidade das amostras era muito comum. A espessura do horizonte escuro e rico em matéria orgânica era variável de um para outro ponto que fora trado, nos locais onde o acesso era possível.

As veredas são locais onde predominam as reações redutoras de compostos orgânicos e inorgânicos e com a remoção da água pelos drenos, o ambiente passa para a condição de oxidação, principalmente nas áreas arejadas ao longo dos canais de drenagem. A nova condição de arejamento, promovida pela drenagem, ajuda na oxidação da matéria orgânica, muito defendida por aqueles que estudam matéria orgânica dos solos. Com a rápida remoção da água, a oxidação microbiana se reduz por escassez de água, que saiu pelos drenos ou foi evaporada. A atividade dos organismos decompositores da matéria orgânica aumenta quando se tem água suficiente para dar suporte aos microrganismos. Sem ela, a atividade microbiana se reduz drasticamente, tendo como consequência a redução na decomposição. Além disso, a repelência entre a água e a matéria orgânica é outro importante fator que reduz a decomposição. Inicialmente, a drenagem aumenta a decomposição, mas, com a rápida redução da água, ocorre o inverso.

Em solos alagados, ocorre emissão de metano, ou gás dos pântanos. Ao adotar a drenagem, a emissão passa a ser de gás carbônico. Ambos os gases são de efeito estufa, e suas emissões devem ser consideradas na decisão de drenar ou não os solos sob as veredas e outras áreas úmidas. Ao adotar a drenagem, o local passa da condição redutora para oxidada, e a população microbiana é modificada para se adaptar a essa situação. As reações químicas e as microbiológicas caminham em direções opostas, e os produtos das reações são indicadores dessa situação. Isto posto, é indiscutível que essa mudança ambiental traga modificações consideráveis no solo drenado.

A missão do consultor era a avaliação de 16 veredas para a possibilidade ou não de adotar a drenagem. É importante afirmar que essa atividade foi realizada há 30 anos. De forma resumida, os trabalhos de campo foram realizados na seguinte ordem: os canais de drenagem serviram como perfis para uma descrição morfológica dos principais atributos; foram registradas mudanças de textura em profundidade e em área; em alguns perfis, a presença de seixos rolados de vários diâmetros foi anotada e fotografada. Estes seixos tinham diâmetros maiores em baixo e

diminuíam em direção à superfície, mas eles não eram encontrados na superfície dos perfis. Esta sequência de deposição lembrava o enchimento de vasos com seixos ou brita com granulometria maior no fundo do vaso e menores logo acima para que a drenagem do excesso de água pudesse ocorrer, com facilidade, e não causar problemas de encharcamento para as plantas cultivadas em vasos. O acúmulo de matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição foi relatado. Quanto maior o grau de humificação, maior era hidrofobia. Esta descrição foi complementada por meio de tradagem nos locais acessíveis que confirmaram a alta heterogeneidade dos solos ou sedimentos de todas as veredas avaliadas. Além das diferenças entre pontos da mesma vereda havia diferença entre as veredas. Assim, a heterogeneidade era a regra e a homogeneidade a exceção. Na drenagem de solos e sedimentos muito heterogêneos corria-se um grande risco de adotar um sistema de drenagem adequado para determinadas condições, mas inadequado para outros pontos da mesma vereda. O mais preocupante é a utilização de um mesmo sistema de drenagem para veredas diferentes umas das outras. Idealmente, a drenagem deve remover apenas o excesso de água considerado prejudicial para as plantas cultivadas. A condição ideal podia ser considerada inatingível, uma vez que a drenagem de solos heterogêneos não conseguia uma remoção ideal da água.

Para que a drenagem fosse minimamente racional, os técnicos encarregados dela deveriam ter conhecimento dos solos submetidos a essa prática complexa aplicada num ambiente complexo. Drenar não significa remoção do excesso de água de uma área da qual se modificará a utilização. Essa prática desencadeia várias alterações no ambiente drenado. Com as informações coletadas, o consultor apresentou um relatório que não recomendava a drenagem de 12 veredas de um total de 16. Se fosse hoje, depois 30 anos após a recomendação, seria possível que ele não recomendasse drenar nenhuma vereda. Apesar desse esforço, chegou ao conhecimento do consultor que todas as veredas avaliadas foram drenadas. Mais uma vez o conhecimento científico foi vencido pelos interesses econômicos. Felizmente as veredas passaram, em boa hora, para áreas de preservação permanente (APPs), ou seja, elas não podem ser drenadas. Não obstante, esse é um resumo histórico que ecoa nos dias atuais.



## **2.9 Sedimentos provenientes da erosão hídrica que são depositados nas bordas das veredas. Segregação dos sedimentos e seus efeitos na qualidade da água**

As veredas ocupam as posições na paisagem que facilitam a deposição de sedimentos provenientes de suas proximidades. Esse processo somente não é mais prejudicial porque elas estão associadas ao relevo plano e suave ondulado dos Latossolos. Há algumas delas em vales mais profundos, condição que facilita a deposição dos sedimentos transportados pela erosão hídrica. A deposição dos sedimentos começa a acontecer antes que água e os sedimentos entrem em contato com o leito da vereda por onde escoar a água a ela pertencente. A deposição das diferentes granulometrias da fração areia acontece fora do leito das veredas e pode-se transformar em um pequeno dique de material arenoso que cresce lentamente em função da quantidade desse material que é depositado ao longo do tempo. Em Latossolos com estrutura forte, os microagregados podem ser depositados juntos ou próximos da fração areia que participa da formação do referido dique. O material em suspensão entra em contato com corretivos e fertilizantes e pode transportá-los para as proximidades das veredas, ou a parte solúvel vai ser incorporada aos componentes das veredas. Isso não deve servir como argumento para instalar-se o alarmismo, que vem a ser muito pior do que os possíveis danos da agricultura intensiva praticada nos solos do Bioma Cerrado. Os pontos abordados aqui teriam efeitos desprezíveis se as veredas fossem respeitadas como áreas de preservação permanentes (APPs), conforme a legislação vigente.

A cobertura vegetal nativa dos solos do Bioma Cerrado foi muito descaracterizada ao ser trocada pela cobertura dos solos por espécies cultivadas. Esse aspecto já foi comentado em outro item deste capítulo e, desse modo, pouca coisa falta para acrescentar. Para a sobrevivência das espécies, elas devem passar por mudanças genéticas contínuas e harmônicas. Cada espécie de planta tem uma população constituída por um número total de indivíduos que, certamente, diminuiu com a redução da cobertura vegetal nativa. Essa é a condição esperada para as plantas de todos os Biomas, incluindo-se aqui o Bioma Cerrado. Para evitar perdas consideráveis ou mesmo a extinção de espécies, o homem faz o monitoramento das populações. A perda de cobertura vegetal, ou mesmo a sua mudança, pode acelerar a degradação do ambiente por processos erosivos, em que ocorre perda de água e de solos.

As veredas encontram-se circundadas por diferentes plantas cultivadas e, principalmente, por pastagens plantadas ou nativas. Para atingir altas produtividades, as plantas cultivadas têm várias exigências que

precisam ser supridas nas diferentes etapas de cultivos. Por conseguinte, para atender às demandas da sociedade consumista, o produtor rural precisa de vários insumos, entre eles a irrigação, que tem recebido atenção especial, uma vez que o consumo de água nessa atividade é muito grande. Tal atividade envolve uma tecnologia muito cara, e, para o seu enfrentamento, o produtor rural aumenta a intensidade de uso do solo. Este, por sua vez, pode degradar o ambiente, causando prejuízos na qualidade e na quantidade de água. Em locais onde a erosão hídrica é muito ativa, os sedimentos em suspensão degradam a qualidade da água. Essa é uma variável que torna o tratamento da água para consumo mais oneroso. As veredas são importantes fontes de recursos hídricos em quantidade e em qualidade e, por esse motivo, devem ser conservadas para que mantenham o fornecimento de água para as diversas finalidades.

Segundo os dados publicados por Rosa e Sano (2014), as pastagens ocupam 41,1% de área da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. Essa porcentagem refere-se apenas à parte da bacia no território mineiro, representada pelas sub-bacias do Alto Paranaíba, do Rio Araguari e do Baixo Paranaíba, cuja soma é de 31,7% da área total da bacia do Rio Paranaíba. As pastagens representam o maior uso do solo e, por isso, devem receber destaque em relação à quantidade e qualidade dos recursos hídricos das citadas sub-bacias. Certamente, boa parte das pastagens ocupam os Latossolos, que são predominantes no Triângulo Mineiro e no Alto Paranaíba. Esses solos são muito importantes no armazenamento de água das chuvas, quando não estão com seus atributos físicos degradados pelo uso. A maior parte deles ocupa relevos plano e suave ondulado, o que resulta em menor escoamento superficial da água. Apesar desses aspectos positivos, tem sido observada redução na infiltração de água devido ao adensamento ou compactação do solo, utilizados para pastagens. Alguns pecuaristas têm adotado práticas de manejo do solo cultivado com as plantas forrageiras, para aumento da lotação das pastagens, visto que, para aumentar o número de animais por hectare, é preciso aumentar a oferta de alimento. As análises dos níveis de fertilidade dos solos são úteis, mas quando as limitações físicas dos solos são muito altas, as plantas respondem menos às adições de fertilizantes e corretivos. O aumento na produção de biomassa protege a superfície do solo e reduz o escoamento superficial das águas. O pisoteio contínuo dos animais causa compactação do solo, especialmente quando solo está com a umidade ótima para compactação. Para o maior armazenamento de água nos solos, recomenda-se escarificação em nível que pode danificar algumas plantas forrageiras, mas a disponibilidade de água aumenta, e as plantas parcialmente danificadas recuperam-se bem rápido. Além disso, o escoamento superficial das águas e as suas consequências diminuem. Com

a adoção dessa prática, é possível observar que a água começa a ressurgir em antigas minas das propriedades rurais.

Não é desejável denegrir as pastagens, pois elas são muito importantes na produção de bovinos e outros animais que consomem as plantas forrageiras, incluindo-se alguns animais silvestres. Por outro lado, as pastagens demandam um manejo adequado para que respondam às relações solo-planta-água. Nesse contexto, as veredas podem ser muito beneficiadas numa condição adequada de manejo das pastagens que intercalam as veredas. Para atender à demanda atual de alimento os recursos naturais devem ser utilizados, de tal maneira que o ecossistema produtivo não seja degradado. Sabe-se que grande parte da biomassa fresca é constituída de água, aproximadamente 75%, um fator de produção que não pode ser negligenciado.

Em alguns países onde a preocupação com a qualidade da água é muito alta, tem-se adotado a ida da água aos animais e não a ida dos animais às fontes de água, visto que o contato direto dos animais com a água causa muito prejuízo na sua qualidade. Para pequenos grupos de animais, essa preocupação não teria sentido, mas ao longo de um curso de água, incluindo-se as veredas, são vários grupos de animais que acessam os recursos hídricos durante um dia, e cada grupo contribui na deterioração da qualidade da água.

O trânsito de animais nas proximidades dos recursos hídricos também pode prejudicar a qualidade da água nos diversos locais de acesso à água, com a formação de trilhos ou caminhos que facilitam o escoamento de água carregada de sedimentos que são lançados diretamente na água em movimento em seu caminho natural. Nas áreas encharcadas, o pisoteio contínuo provoca compactação, que modifica a infiltração da água que, normalmente, é lenta, com possibilidade de reduzi-la mais ainda. No período seco, essas áreas podem fornecer alguma alternativa de alimento fresco, um atrativo que causa aumento do pisoteio dos animais. Essa é uma situação que ocorre com maior frequência ao longo das veredas, e o pisoteio frequente pode danificar as plantas rasteiras.

O fluxo lento das águas nas veredas depende muito da declividade do leito de cada uma delas. Isso já foi discutido, mas esse aspecto afeta a distribuição dos sedimentos provenientes do escoamento superficial. O fluxo lento somente é capaz de transportar sedimentos de granulometria muito fina da fração argila. Esta é mais uma vantagem das veredas como fornecedoras de água de boa qualidade; dessa forma, elas devem ser muito bem conservadas.

## Considerações finais

É quase impossível imaginar alguém que não se impressione com a beleza das veredas. Elas fracionam, de forma harmônica, a suposta uniformidade do Bioma Cerrado, em especial no período de pouca ou nenhuma chuva, quando o contraste do verde das veredas se destaca em relação às demais plantas que passam por um acentuado déficit hídrico, em sua vizinhança. Esse mesmo efeito continua sendo notado em grandes áreas de monoculturas de plantas anuais ou das espécies perenes, como as culturas de cafeeiro, das plantas frutíferas como os citros, as pastagens plantadas ou nativas e os reflorestamentos. Nas monoculturas, o verde varia pouco por se tratar de uma população homogênea também em cor. É sabido que a mesma espécie de planta cultivada tem seus diversos cultivares que podem contribuir um pouco na redução da monotonia de grandes áreas cultivadas. Adiciona-se a isso, a precocidade de cultivares que têm ciclos curto, médio e longo, que também contribui na redução da monotonia da cor verde. A descontinuidade promovida pelas veredas nas áreas cultivadas deve ser considerada como mais uma importante razão para conservá-las.

É desejável que alguma pergunta seja formulada para aqueles que acessarem esta obra. Seria possível imaginar que as veredas funcionem como abrigo para os inimigos naturais de pragas e doenças das plantas cultivadas? É bem provável que algum pesquisador tenha obtido resultados sobre esta indagação. Ou, ainda, pode haver informações não publicadas que ajudem nesta questão.

Neste capítulo bem como em toda a obra, o maior destaque foi direcionado à importância das veredas nos recursos hídricos por todas as áreas de ocorrência delas. Somente por essa razão, elas tornam-se merecedoras da proteção de toda a sociedade. Além disso, uma excepcional importância, que nem sempre tem sido levado em conta, é a sua função como repositório de microfósseis, para finalidades diversificadas.

Apesar de as veredas serem protegidas legalmente, como áreas de preservação permanente (APPs), muitas foram drenadas. Esta é uma prática oposta à função armazenadora de água das veredas. De outra forma, o barramento delas tem efeitos indesejáveis e pouco conhecidos para os vários organismos adaptados em ambientes úmidos e não alagados continuamente com lâminas de água muito acima da capacidade de suportá-las. Nesse contexto, é possível verificar a morte das palmeiras, símbolos desse ecossistema em águas represadas.

Finalmente, a convivência entre o complexo sistema composto de água-plantas-animais-atmosfera encontrado nas veredas e nos demais sistemas naturais na sua vizinhança devem ter sido muito longa. E a

interação das veredas com os diversos usos e ocupação do solo que vem ocorrendo nos últimos cinquenta anos? Entender e atender esses dois cenários será uma enorme tarefa para a pesquisa. No entanto, os pesquisadores não devem ter medo de enfrentar este longo desafio ou estrada a ser percorrida.

## Referências

- AB'SÁBER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil**. 6. ed. São Paulo: Ateliê, 200p.
- AUGUSTIN, CHRR.; MELO, DR; ARANHA, PRA. *Aspectos geomorfológicos de veredas: um ecossistema do Bioma Cerrado.*, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 1, p. 103-114, 2009.
- COSTA, L. M; REIS, A. L. M; FONSECA, C. F. Estabilidade de biominerais com ênfase em sílica biogênica e a sua importância em estudos do Quaternário. **Revista Ciências Humanas**, v. 19, n. 1, p. 111-125, 2019.
- GONÇALVES, R. V. S., CARDOSO, J. C. F.; OLIVEIRA, P. E.; RAYMUNDO, D.; OLIVEIRA, DC. The role of topography, climate, soil and the surrounding matrix in the distribution of Veredas wetlands in central Brazil. **Wetlands Ecol Manage**, v. 30, p. 1261–1279, 2022.
- MARTINS, C. M. (2012). **Gênese, formas de carbono e sílica biogênica de solos sob Formações Estacionais do semiárido de Minas Gerais e Bahia**. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2012. 115p.
- MIRANDA, S. C. (2012) **Variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de Cerrado**. Programa de Pós-Graduação em Ecologia (Tese de Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília. 2012.143 p.
- PASQUA, A.; COSTA, L. M.; GARRISON, E. Phytolith evidence of historical rice cultivation at Wormsloe Historic Site, Georgia, USA. *Journal of Archaeological Science: Reports*. n. 14, p. 557-574. 2017.
- ROSA, R.; SANO, E. E. Uso da terra e cobertura vegetal na bacia do Rio Paranaíba. **Campo-Território – revista de geografia agrária**, v. 9, n. 19, p. 32-56. 2014.
- SAMPAIO, F. A. R. (1997) **Balço de nutrientes em um sistema de agricultura migratória no município de Ji-Paraná, RO**. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1997.



## CAPÍTULO 3. Efeitos do uso intensivo dos solos em relação à qualidade e quantidade dos recursos hídricos

*Liovando Marciano da Costa  
Elias Nascentes Borges  
Araína Hulmann Batista  
Lucas Righetti Arnaut  
André Luiz Lopes de Faria*

### 3.1 Introdução

A adoção do uso intensivo do solo tem sido cada vez mais comum na agricultura brasileira, caracterizada por mais de um cultivo/ano, na mesma área. Nas regiões onde o inverno é bem mais seco do que o verão, pode haver demanda pela irrigação. No entanto, com dias um pouco mais curtos e temperaturas mais baixas, as plantas cultivadas demandam menores quantidades de água para completarem seus ciclos produtivos. Para não correr risco com acentuados déficits hídricos do inverno, no cultivo deste período é necessário a suplementação de água pela irrigação. A agricultura irrigada demanda muita água, que deve estar disponível durante o período seco em muitos casos, possível em solos planos e profundos, como os Latossolos do Bioma Cerrado. Além da disponibilidade da água, o custo dessa prática é elevado e requer recursos financeiros para viabilizá-la. Acrescenta-se a isso, uma demanda de pessoal bem qualificado tecnicamente para que a irrigação seja bem-sucedida tanto em termos de produtividade como da conservação dos recursos naturais sensíveis às ações antrópicas. Com o suprimento de água e com o sistema de irrigação em funcionamento, é natural que o uso do solo seja intensificado para que os custos sejam distribuídos entre as produções obtidas em duas ou mais safras por ano.

Numa análise aprofundada da agricultura intensiva, é possível considerá-la como mais um avanço desse tipo de atividade agrícola. Tudo indica que uma avaliação criteriosa dessa prática seja necessária para que ela possa ser adotada, ou não. Para uma avaliação qualificada, é necessário que os vários componentes dos ecossistemas sejam considerados de modo

a torná-la a mais completa possível. Por serem os solos a base de sustentação das atividades agrícolas, eles serão destacados neste capítulo. As suas interações com os demais componentes dos ecossistemas vão receber a atenção necessária para dar uma visão holística do conjunto das variáveis que afetam o uso intensivo dos solos. Faz parte deste livro um capítulo que relaciona as classes de solos com os recursos hídricos. Essa é uma iniciativa que procura identificar e mostrar a íntima relação de dois importantes recursos naturais que participam diretamente na manutenção das diversas formas de vida animais e vegetais no planeta Terra. As relações solos-plantas-animais-climas precisam ser muito bem entendidas para que as interferências, por meio de usos equivocados, feitas pelo ser humano não provoquem mais prejuízos nesse equilíbrio dinâmico da natureza.

O foco deste capítulo será direcionado para as diferentes classes de solos encontradas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba BHRP e na BHR do rio Araguari. Quanto maior for o conhecimento de cada classe, mais informações serão disponibilizadas sobre a capacidade de cada classe suportar os estresses causados pela forma como cada solo é manejado numa agricultura intensiva.

O desenvolvimento científico das várias áreas do conhecimento passou por um processo de organização do conhecimento por meio de classificação de tudo que poderia ser agrupado em classes. Apenas para ilustrar, o homem classificou os elementos químicos, as estrelas, os seres vivos, animais e vegetais, os microrganismos, as rochas, os solos etc. Classificar significa reunir em classes com base em critérios bem estabelecidos, com o nível de conhecimento de cada período ou época. Desse modo, a classificação é dinâmica e muda na medida em que a instrumentação evolui e gera níveis de observações cada vez mais detalhados. Isso explica por que os indivíduos mudam de classe.

Conforme já discutido, as quatro principais classes de solos, destacadas no Capítulo 4, ou seja, os Latossolos, os Argissolos, os Cambissolos e os Neossolos, que são as classes dominantes de solos brasileiros, quando somadas, atingem: 79,75% no Brasil; 95,43% em Minas Gerais; 99,12% no Alto Paranaíba e 96,06% no Triângulo Mineiro. Os Latossolos são a classe predominante de solos no Brasil, em Minas Gerais, no Alto Paranaíba e no Triângulo Mineiro. Esses são os solos mais cultivados sob o sistema de agricultura intensiva, e alguns aspectos já foram relatados no Capítulo 4. Tais solos têm uma importância primordial na disponibilidade dos recursos hídricos. Dessa forma, eles devem receber muita atenção para que continuem desempenhando esse importante papel nos ecossistemas encarregados de fornecer água em quantidade e qualidade para inúmeros usos. Dito isso, a discussão será direcionada para as quatro classes predominantes no território brasileiro.



## 3.2 Modificações dos solos em função dos usos

### 3.2.1 Modificações químicas, físicas e biológicas causadas pelo uso

Grande parte dos avanços tecnológicos nos solos brasileiros está relacionada aos Latossolos, que ocupam a maior área no Brasil e localizam-se, em sua maioria, em relevo plano e suave ondulado. O relevo é muito importante no uso e na ocupação dos solos, especialmente no sistema de agricultura intensiva. Uma considerável porcentagem dos Latossolos é distrófica e precisa ser adaptada para produção intensiva.

Com a adição de corretivos e fertilizantes, esses solos são modificados química, física e biologicamente para que a produtividade atinja os níveis adequados e compatíveis com a tecnologia aplicada na prática da agricultura intensiva. Pela pobreza acentuada nos Latossolos, a necessidade de fertilização e correção acaba tornando-se uma rotina, com custos financeiro e ambiental que não podem ser negligenciados. O Brasil é um grande consumidor desses insumos, especialmente daqueles que fornecem nitrogênio, potássio e fósforo. A dependência da importação do nutriente potássio é muito alta, e isso representa um considerável aumento no custo de produção. Por ser um elemento muito móvel no solo, o manejo dele é muito importante para evitar a perda por lixiviação e por erosão e, ainda, seu efeito dispersante das partículas que compõem os agregados, dada sua condição de catiônico monovalente. O controle da lixiviação não é fácil, mas precisa ser bem estudado para que essa perda seja minimizada. O controle da erosão, diretamente relacionada ao escoamento superficial das águas, reduz as perdas de água e de nutrientes contidos na água e nos sedimentos que são transportados pela erosão. Ao controlar o escoamento superficial das águas, as perdas de água e nutrientes são também controladas. Pelo arraste do material em suspensão e em solução, a erosão retira da área cultivada a água e os nutrientes que são essenciais na produção agrícola. Durante a deposição dos sedimentos e da água nas partes mais baixas da paisagem, ocorrem danos visuais e ambientais por acúmulo de sedimento e de água. Quando a água turva – pelo aumento das partículas que saíram dos agregados pelo efeito defloculante do íon potássio – é descarregada nos córregos e rios, ela danifica a qualidade dos recursos hídricos.

Quanto ao fósforo, os danos são outros, mas a perda de um nutriente muito importante é provocada pela transformação de fosfato solúvel em fosfato adsorvido pelas partículas que compõem a fração coloidal do solo, em especial as oxídicas. A elevada adsorção de fosfato promove uma demanda muito alta desse nutriente, que se torna indispensável às plantas, em especial nos solos oxídicos que apresentam alta capacidade de adsorção

de fosfato. A demanda de fosfato pelas plantas é bem menor do que a quantidade aplicada para cada ciclo da planta. Dados disponíveis na literatura indicam que raramente a planta extrai mais do que 20% do total aplicado durante seu ciclo completo, ficando os outros 80% fixado pelo sistema coloidal do solo. As perdas, quando ocorrem, se dão basicamente pela erosão do solo. Como se trata de um nutriente exigido em maiores quantidades relativas ao N e K pelas plantas, a rápida fixação pelo sistema coloidal presente no ambiente tropical, as doses recomendadas geralmente são elevadas. Desse modo está ocorrendo um acúmulo de fosfato para cada aplicação desse insumo. A Ciência do Solo tem um grande desafio a ser vencido, isto é, reverter a indisponibilidade de fósforo que se acumula no solo numa forma não disponível para uma condição de pronta acessibilidade para as plantas cultivadas.

Essa situação vai demandar um estudo aprofundado para que a reversão do fósforo aplicado ao longo das cinco últimas décadas seja disponibilizada para as plantas. A perda de fósforo ocorre na fase sólida do solo por meio dos sedimentos que eram solos e foram arrastados pela erosão. A baixa concentração de fosfato na solução dos solos inviabiliza sua perda na forma solúvel, contrário ao potássio e aos fertilizantes nitrogenados, principalmente os mais solúveis.

Transformar nitrogênio atmosférico em fertilizantes demanda muita energia para desfazer as três ligações covalentes entre os dois átomos de  $N_2$  ( $N \equiv N$ ). A transformação do gás  $N_2$  em fertilizantes é muito dispendiosa em termos de energia. Os três principais nutrientes, N, P e K, quando adicionados aos solos, apresentam trajetórias diferentes por serem elementos químicos com características bem diferentes, inclusive em densidade das partículas puras. No Brasil, a maioria das indústrias que fornecem o fertilizante NPK o fazem por misturas de grânulos individuais de cada nutriente, e não por ter no mesmo grânulo os três nutrientes. Esse fato potencializa a perda por lixiviação e outros processos do N e K e a fixação praticamente irreversível do fósforo. Além deles, o cálcio e o magnésio são adicionados ao solo por meio dos variados tipos de calcários. A abundância dessas rochas para correção dos solos não traz muita preocupação em termos de custo e grande quantidade delas nas regiões onde a agricultura intensiva é praticada. Os calcários são chamados de corretivos da acidez do solo, promovendo a precipitação do alumínio trocável, responsável pela manutenção do poder de tamponamento de elevada acidez do solo. Ao promover a correção da acidez do solo, dois dos principais elementos essenciais são fornecidos como nutrientes para as plantas, animais e microrganismos dos solos e de outros compartimentos dos ecossistemas.

A substituição das plantas nativas pelas culturas agrícolas causa

grandes modificações no sistema solo-planta-água. As plantas cultivadas são muito mais dependentes do homem do que aquelas que passaram por um processo de mudanças genéticas de adaptação mais lento e sem a participação direta da intervenção antrópica. Assim, as plantas cultivadas apresentam constituição química diferente das plantas nativas, porque estas devem sobreviver sem a constante utilização dos fertilizantes e dos corretivos fabricados tecnologicamente. Trocar uma população heterogênea de plantas nativas por plantas da mesma espécie ou variedade, as vezes denominadas de monoculturas, que apresentam uma composição química muito mais homogênea do que as n-espécies encontradas na população das plantas nativas. Essa variedade de espécies promove um balanço dos diversos elementos químicos com o ambiente onde elas são encontradas. Essa condição não deve ocorrer nas monoculturas conduzidas pelos produtores rurais.

### 3.2.2 Pobreza química dos solos e a frequência das fertilizações e correções

A pobreza química dos solos tem recebido uma grande atenção dos produtores de alimentos, porque eles sabem que as plantas cultivadas estão se tornando cada vez mais dependentes das fertilizações e das correções dos solos com acentuada distrofia. De modo geral, os pesquisadores do ambiente tropical avançam muito mais rápidos em adequar a fertilidade do solo às necessidades das plantas cultivadas do que daqueles que procuram adaptar as plantas aos nutrientes disponíveis no solo nas condições naturais. Não há como continuar produzindo alimentos se ocorrer falta dos insumos essenciais que são os fertilizantes e os corretivos. Quanto maior a pobreza química dos solos, maior será a demanda por esses insumos. Com isso, o produtor rural acaba tornando-se refém das grandes empresas produtoras e distribuidoras desses insumos. A eficiência dos fertilizantes e dos corretivos depende das condições climáticas, especialmente da quantidade e distribuição das chuvas, para que os nutrientes possam desempenhar suas funções no crescimento e no desenvolvimento das plantas cultivadas e para que a produtividade esperada seja conseguida. O produtor rural pode e deve entender que, para obter crescimento contínuo na produtividade, ele deve combinar, da melhor forma possível, todos os fatores de produção. Apesar da pobreza química, os Latossolos apresentam atributos físicos altamente favoráveis ao cultivo intenso, mas que mudam a depender do uso e manejo aplicados neles, inclusive advindos com a prática da sua melhoria química.

O grande desafio é a preservação dos atributos físicos, para que a agricultura praticada neles não sofra descontinuidade por degradação causada pelo manejo empregado na produção de alimentos e no

armazenamento de água, que são vitais na produção agrossilvopastoril. A correção da pobreza química dos solos encontra-se em um estágio bem desenvolvido. Quanto à reversão da degradação física dos solos, há muita coisa a ser realizada. A correção dos problemas físicos é mais demorada e difícil do que a correção química, sem querer desfazer do trabalho daqueles que lidam diretamente com essa questão.

Não se pode negar que há uma preocupação da humanidade no fornecimento de alimentos para uma população que cresce continuamente em demografia e exigências do bem-estar. Como se o crescimento não bastasse, ainda ocorrem desperdícios em diversas etapas da produção, no beneficiamento, no armazenamento, na industrialização, na distribuição, na comercialização e no preparo dos alimentos para o consumo. Além de tudo isso, ainda ocorre desperdício dos alimentos na hora das refeições. O leitor pode acrescentar outros itens que conduzem ao desperdício. Mais uma vez a falta de consciência e de educação dos consumidores demanda muita atenção, para que as perdas sejam reduzidas ao mínimo possível.

A pobreza química pode causar mais problemas ao ambiente quando são adicionados ao solo os fertilizantes e corretivos de qualidades questionáveis. O controle de qualidade desses insumos não admite descuidos no uso de produtos fora do padrão adequado à produção de alimentos. No entanto, esses produtos podem servir de veículos, na adição aos solos cultivados, de elementos químicos indesejáveis à saúde humana e aos ecossistemas onde eles são adicionados. Resíduos industriais têm sido destinados aos solos como fertilizantes ou corretivos. Antes de serem aplicados aos solos, eles devem passar por análises químicas ou físico-químicas rigorosas para a avaliação das possíveis impurezas encontradas neles. Dependendo do tipo de impurezas encontradas, elas podem acumular-se nos solos e participar da cadeia alimentar, causando prejuízos a todos os seres vivos de um dado ecossistema.

A fiscalização da qualidade dos fertilizantes, corretivos e dos resíduos industriais aplicados aos solos deve desempenhar o seu papel no controle do ambiente que se destina à nobre função de produzir alimentos de boa qualidade. A frequência de aplicação desses insumos deve passar por controle para evitar-se a aplicação de excesso desses produtos. Além disso, é preciso definir bem a dose que dê o maior rendimento, pois com a menor dose aplicada tem-se duplo efeito, econômico e ambiental.

O aumento da população mundial demanda cada vez mais alimentos e muitos outros bens de consumo. Isso promove o uso intensivo dos solos, muitas vezes incluindo-se solos marginais na produção de alimentos. Esses solos podem acelerar danos ambientais como a erosão e suas consequências na qualidade e na quantidade dos recursos hídricos.

### 3.2.3 Uso racional da água superficial e subterrânea na agricultura irrigada

Em primeiro lugar, a água deve ser considerada como bem finito, mesmo no Brasil, que é muito rico em água doce. O consumo da água de irrigação é muito alto, e essa situação não deve ser ignorada em nenhum lugar do mundo. Grande parte desta obra está sendo direcionada para várias questões do consumo de água, em especial nas atividades agrícolas. Para evoluir na conservação da água, é necessário aprender sobre as suas infinitas aplicações e usos. Com um mínimo de entendimento sobre a água, espera-se que os seus consumidores tenham mais consciência e educação ao consumi-la.

Racionalizar o uso da água em qualquer atividade humana tem que ser uma prioridade, que deve vir da formação em educação ambiental em todos os níveis, para incutir no cidadão a conscientização de como tratar de um recurso finito, de qualidade e quantidade facilmente alteradas. Certamente, há uma competição entre os diversos usos da água, tanto superficial como subterrânea. Todos os usuários da água têm suas exigências tanto em relação à quantidade quanto à qualidade da água. Ao se referir à conservação e ao uso da água, o interesse dos usuários não se destaca. Quase todas as atividades que consomem água causam degradação em sua qualidade, especialmente aquelas em que a água é usada para a limpeza. Os processos industriais, em grande parte, demandam água para limpeza. Desse modo, muitas indústrias despejam seus resíduos nos corpos de água. As atividades industriais produzem alguns tipos de resíduos, porque elas trabalham com uma variedade de matérias-primas que têm composição química variável. O número de processos industriais é muito grande. Como se isso não fosse suficiente, a área da ciência dos materiais produz um grande número de compostos orgânicos e inorgânicos que não são encontrados na natureza. O número de resíduos produzidos em cada etapa industrial precisa ser considerado, dada a quantidade de resíduos transportados pelas águas de escoamento superficial, bem como aqueles que fluem nos canais de todos os sistemas hídricos de uma bacia hidrográfica. Parte desses poluentes podem atingir os recursos hídricos subterrâneos, incluindo-se aqui os aquíferos, que podem armazenar volumes inacreditáveis de água.

As áreas irrigadas no Brasil têm aumentado muito, e essa expansão precisa ser monitorada criteriosamente para que as surpresas indesejáveis não sejam apresentadas aos usuários. O monitoramento de águas superficiais tem sido realizado nas estações fluviométricas, cujo número está aquém do recomendado. Nesse sentido, para fazer um planejamento e gestão dos recursos hídricos, o monitoramento das águas superficiais e subterrâneas é indispensável. Os equipamentos utilizados no

monitoramento das águas superficiais e nas subterrâneas são mais elaborados do que aqueles utilizados nas estações meteorológicas tradicionais. Tanto as estações fluviométricas como as estações meteorológicas devem receber manutenção em seus diversos equipamentos continuamente para que não sejam deixados períodos sem os registros esperados delas. Não se pode esquecer de que as normas de instalação de cada aparelho têm que ser seguidas. Para que a água seja usada racionalmente na irrigação e em outros usos, a estimativa de sua disponibilidade deve ser a mais correta possível. O planejamento no uso da água, feito com informações de baixa confiabilidade, vai ter pouca ou nenhuma confiabilidade para os usuários da água.

### 3.2.4 Susceptibilidade dos solos às modificações causadas pelo uso

Cada classe de solo reage ao uso intensivo de acordo com suas propriedades e características. Essas diferenças geram respostas diferentes ao uso e à ocupação dos solos. Quanto maior for a intensidade de cultivo dos solos, mais o homem interfere neles para que sejam adaptados para atender às exigências das várias espécies cultivadas na mesma área. As diversas etapas utilizadas ao longo de cada cultivo podem ser consideradas interferências no sistema solo-planta-clima, que podem ser potencializadas exponencialmente, dada a enorme interrelação/interdependência dos diversos atributos físicos do solo que controlam sua qualidade ambiental. Para ilustração, na situação em que o solo recebe a água das chuvas, em comparação com as águas fornecidas pela irrigação, certamente são águas de qualidade diferentes. A água das chuvas é bem mais pura do que aquela proveniente dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos. A qualidade da água das chuvas é muito melhor, especialmente quando ela se movimenta em uma atmosfera pouco poluída. Assim, a qualidade do ar tem efeito na qualidade da água precipitada. Já a qualidade da água captada em diferentes fontes tem composição química variável. Sua qualidade é bem inferior à água das chuvas. Além disso, a qualidade da água varia ao longo do ano devido à carga de poluentes contida em cada fonte de água superficial. As águas subterrâneas podem ter melhor qualidade do que as águas superficiais, considerando-se que elas passam pelos solos, por saprolitos e fraturas de rochas que podem funcionar como filtros, especialmente nos solos profundos. Contudo, isso pode variar com as características físico-químicas dos solos por onde a recarga da água ocorre.

Outra ilustração sobre a interação dos solos com o ambiente ocorre quando são encontradas áreas com grande variedade de classes de solos. Quanto mais heterogênea em solos for a área cultivada, maior será a heterogeneidade das respostas dos solos ao uso intensivo. Alguns deles não suportam esse tipo de manejo e, com isso, tais solos, quando são danificados, podem interagir com os seus vizinhos, provocando danos

neles. Nas proximidades de Três Marias-MG, num cultivo de eucalipto num Latossolo em contato com Cambissolo, notou-se que a área cultivada termina no contato entre os dois solos. Nesse ponto, foram construídos os aceiros para controle de incêndios. Os aceiros são mantidos limpos e localizam-se no Cambissolo, onde foi observada alta intensidade de erosão, chegando à formação de voçorocas. Essa é uma enorme fonte de sedimentos que são arrastados para os córregos que drenam esse local. Desse modo, a qualidade da água é muito afetada pela erosão, que transporta materiais de granulometrias diferentes. O material argiloso se mantém em suspensão por mais tempo e provoca prejuízos na qualidade das águas em movimento ao longo dos canais dos cursos de água.

### **3.2.5 Avaliações químicas e físicas de solos sob cultivo intensivo**

Todos os solos deveriam passar por avaliações químicas, físicas e biológicas, com frequência que precisa ser definida por meio de critérios apropriados. Essa prática deveria ser adotada em áreas em que o cultivo intensivo é utilizado, porque a aplicação de vários insumos é comumente realizada. Ademais, a qualidade dos insumos pode variar de acordo com a fonte fornecedora.

As avaliações físicas dos solos são bem menos frequentes do que as químicas. Tradicionalmente, elas não são adotadas ou são feitas em situações muito raras. Quando são identificadas degradações físicas dos solos cultivados, normalmente a correção é demorada, complexa e dispendiosa. Nesse caso, evitar a degradação é altamente recomendável. Para evitá-la, é necessário que se conheça com o maior detalhe possível a sua causa. Neste capítulo, serão apontadas algumas informações julgadas úteis para o entendimento deste problema, cada vez mais presente no uso intensivo do solo.

As avaliações biológicas são ainda mais raras do que as avaliações físicas. Novamente, há uma enorme falta de tradição nesse tipo de avaliação em todos os tipos de uso e ocupação dos solos. Elas podem ser encontradas em estudos de qualidade dos solos, os quais são de grande utilidade para se detectarem as modificações provenientes das mudanças no uso e no manejo do solo. As avaliações mencionadas precisam ser adotadas, especialmente, para as áreas onde o uso do solo é intensivo.

### **3.2.6 Resultados e danos observados em solos submetidos ao uso intensivo**

Desagregação do solo: a intensidade de desagregação ocorre com a mobilização contínua do solo cultivado intensivamente. Ela acontece quando a estabilidade da estrutura é baixa e quando os agregados são desfeitos pelos choques mecânicos realizados pelos implementos agrícolas

durante a movimentação das máquinas e do solo. As partes cortantes, como os discos, as aivecas e outras partes, deformam os solos por contato direto. Pela pressão das partes que se apoiam e se movimentam sobre os solos, os agregados podem ser quebrados ou deformados. Ainda pode ocorrer a quebra pelo contato direto com a água sem choque. Os choques da água da chuva e da irrigação que caem diretamente sobre os agregados contidos na massa do solo promovem desagregação. Os ciclos de umedecimento e secagem (U/S) dos solos provocam ruptura dos agregados pela expansão e contração volumétrica das partículas coloidais causadas pela atração pela água, tanto da chuva como da irrigação.

Redução da Matéria Orgânica do Solo: a redução do teor da matéria orgânica do solo (MOS) pelo uso intensivo tem sido observada, especialmente, quando os resíduos das culturas são removidos para outros usos, como produção de energia, alimentação de animais, queima dos resíduos para controle fitossanitário ou trituração excessiva dos restos culturais. A redução da MOS pode também acontecer quando a matéria orgânica incorporada possuir relação C:N baixa, ou até mesmo na adequação química com fertilizantes solúveis, capazes de estimular a atividade da população de organismos vivos, principalmente dos microrganismos aeróbicos mais exigentes em nitrogênio, capazes de fazer a decomposição incorporando os nutrientes na sua massa e liberando CO<sub>2</sub> e água para o meio. Uma fertilização e uma correção bem equilibradas do solo em cultivo intensivo afetam a população dos microrganismos, que, por sua vez, acelera a decomposição dos resíduos adicionados ao solo em cada colheita. Essa decomposição pode atingir os complexos argilo-orgânicos que formam a agregação e estrutura encontrados nos solos. Todo o sistema de manejo que promove um bom arejamento ajuda na decomposição da MOS, que, por sua vez, é bem influenciada pela umidade do solo. Nos períodos quentes e úmidos, a atividade microbiana aumenta. Os complexos argilo-orgânicos já referidos dão estabilidade à MOS, que, por isso, é protegida. A adição de água no solo pela irrigação aumenta a produção de biomassa, mas pode aumentar, também, a sua decomposição.

O estoque de carbono do solo tem recebido a atenção de muitos pesquisadores que desejam entender o balanço de carbono nos diversos solos associados a diversas condições climáticas. Os diferentes usos e manejos dos solos devem receber a atenção da pesquisa para que o estoque de carbono no solo seja monitorado, para se evitar o aumento do gás carbônico na atmosfera e o seu indesejável efeito estufa. Manter o carbono na forma orgânica no solo e nos seres vivos vegetais e animais deve ser uma busca permanente. Nas rochas carbonáticas que armazenam carbono inorgânico e nas formas orgânicas nas rochas pelíticas e nos combustíveis



fósseis o carbono causa pouca preocupação para o ambiente. Em algumas rochas pelíticas, é possível encontrar carbono orgânico e inorgânico.

Revolvimento do solo promovido pelo uso intensivo: quando se prepara o solo para a semeadura ou plantio de diferentes espécies cultivadas, ele pode ser revolvido por completo, incompleto ou ficar sem o revolvimento. As exigências dependem do tipo de cultura a ser implantada, das características edafológicas de uma determinada área e da vontade do produtor. Muitas culturas perenes são plantadas em covas com revolvimento localizado somente onde irá ser depositada a muda ou semente. Para as plantas, cuja parte colhida encontra-se no solo, na forma de raízes ou tubérculos, o preparo do solo tende a ser mais refinado. Como a rotação de culturas é comum em áreas de uso intensivo, as exigências de preparo do solo variam por vários motivos. A rotação tem sido muito recomendada para auxiliar no controle de pragas, doenças e espécie de plantas daninhas. A cada dia, essa rotação ganha mais importância para preservação de maiores e mais equilibrados teores da MOS. A rotação de leguminosas, fixadoras de nitrogênio, com as gramíneas, além de melhorar os níveis quantitativos e qualitativos da matéria orgânica ativa do solo, contribui, de modo efetivo, no aumento da capacidade de troca catiônica dependente de pH do solo (CTC), tornando os solos oxidicos e/ou arenosos de baixa CTC em solos com razoável ou até mesmo boa capacidade de reter, de modo disponível, os nutrientes presentes nos fertilizantes aplicados, garantindo, assim, melhor equilíbrio físico-químico dessas cargas no sistema coloidal, importante para as plantas cultivadas. Desse modo, o uso de defensivos agrícolas, principalmente para controle dos nematoides de solo, tende a ser bem menor, o que resulta em menor aplicação de produtos que danificam o ambiente em cultivo.

Em geral, os solos mais argilosos que não são revolvidos podem tornar-se fisicamente inadequados a algumas culturas. A degradação física de alguns solos pode interferir na redução de infiltração de água no solo ou no escoamento superficial das águas de chuva ou da irrigação. Esses dois problemas, aceleradores de processos erosivos, já foram bastante discutidos pelos seus efeitos indesejáveis na qualidade e na quantidade dos recursos hídricos.

O contínuo revolvimento do solo causa danos consideráveis na sua estrutura por diversos motivos, mas, sem dúvida, os mais importantes dizem respeito à contribuição para a redução dos teores de MOS pela fragmentação e incorporação da matéria orgânica. Não há uma receita para revolver ou não os solos, porque, afinal, eles respondem de forma diferente a essa prática de cultivo.

Redistribuição de nutrientes e da matéria orgânica nos perfis de solos: em solos tropicais, pobres em nutrientes, há uma clara concentração

deles nos primeiros centímetros superficiais. Esse é um mecanismo natural, denominado reciclagem de nutrientes, para que pelo menos um dos horizontes seja dotado de nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Em condições naturais ou não cultivadas, a concentração superficial dos nutrientes é evidente. Todavia, o revolvimento de uma camada mais profunda do solo promove uma diluição daqueles nutrientes concentrados na superfície do solo. Esse revolvimento dilui a MOS que também fica concentrada nos primeiros centímetros do solo não cultivado. No solo pobre, a diluição de nutrientes e de matéria orgânica não deve ser executada, porém, quando executada, deve ser tecnicamente planejada para não levar à redução excessiva dos teores da MOS. O aumento de volume do solo feito com a mesma concentração de nutrientes torna esta camada revolvida mais pobre e menos apta a fornecer os nutrientes que foram diluídos pelo revolvimento.

A modificação do perfil de nutrientes pode ser feita por meios químicos. Com a adição de gesso na camada superficial, pode ocorrer movimento de nutrientes para camadas mais profundas do solo, desde que não haja impedimento de drenagem no perfil.

As plantas com sistema radicular profundo são capazes de redistribuir nutrientes em horizontes do subsolo, quando não houver impedimentos físicos ou químicos ao aprofundamento das raízes.

A solubilidade interfere na distribuição dos elementos químicos em profundidade. Quanto mais solúveis forem os elementos, mais profundos eles podem chegar no perfil, ficando fora do alcance do sistema radicular da planta em crescimento. Alguns elementos podem ser mobilizados pela formação de complexos orgânicos, cuja estabilidade depende do pH dos diferentes horizontes. A estabilidade dos complexos orgânicos varia bastante com o pH do meio. Assim, foram discutidos alguns aspectos da redistribuição de elementos químicos associados aos usos dos solos, incluindo-se os usos intensivos que tornam os perfis modificados química e fisicamente.

### **3.3 Capacidade dos solos cultivados em suportar estresse**

São muitas as atividades ou interferências que os solos sofrem para que sejam preparados para o cultivo. Além das interferências anuais, elas se repetem por longos períodos de cultivos. Infelizmente, as atividades não são registradas, a não ser na memória dos proprietários das terras, pelo menos enquanto eles administram suas propriedades. O uso e a ocupação dos solos são muito dinâmicos, porque ocorrem muitas mudanças no uso propriamente dito, como aquelas relacionadas aos avanços tecnológicos dos insumos, equipamentos e máquinas e, também, relacionadas às

plantas cultivadas que são produzidas de acordo com a demanda local, regional e mundial. Desse modo, o cultivo do solo é muito dinâmico e complexo. Além disso, a demanda por alimentos continua com o crescimento da população mundial, que chegou aos oito bilhões de habitantes, anunciados recentemente.

Para alimentar uma população desse tamanho, os países produtores precisam aumentar a produtividade das plantas e ocupar novas áreas, às vezes marginais, que são mais vulneráveis à degradação. Como já foi discutida, a educação do consumidor de alimentos precisa ser trabalhada, no sentido de conscientizá-lo de que não se podem desperdiçar alimentos e tanto outros bens demandados pela sociedade, como é o caso da água.

### 3.3.1 Compactação e adensamento dos solos cultivados associados à mecanização agrícola

Os solos cultivados são submetidos a procedimentos mecânicos para torná-los cultiváveis. A mecanização tem sido muito utilizada para produzir cada vez mais os alimentos demandados diariamente, desde agricultores familiares até a população mundial, em se tratando de agricultura comercial.

O trabalho realizado pelas máquinas, de tamanhos e pesos diferentes, que se movimentam sobre os solos, para realizar os trabalhos nas diversas fases do cultivo das plantas promovem vários distúrbios. A maior parte das máquinas tem restrições de relevo e requerem o relevo plano ou suave ondulado. A agricultura tecnológica depende de relevo mecanizável e de disponibilidade de água das chuvas suplementada pela irrigação em pelo menos numa época do ano.

A compactação e o adensamento podem ser denominados de densificação do solo, apesar de serem originados de diferentes formas. A compactação ocorre por pressão, que é definida por  $P = F/S$ , onde  $F$  = força e  $S$  = superfície. A pressão gerada pelo peso e pelo movimento das máquinas sobre o solo causa deformação ou quebra dos agregados de diferentes tamanhos e formas. O teor de água dos agregados pode auxiliar na quebra ou na deformação deles, especialmente nos solos argilosos. Em solos arenosos, essa explicação não se aplica, e, nesse caso, o rearranjo das partículas primárias pode alterar a densidade do solo pela redução do volume. Quanto mais heterogêneas forem o tamanho e a qualidade físico-químicas das partículas, maior e mais fácil vai ser a densificação do solo. As partículas menores preenchem os espaços vazios deixados pelas maiores e pelos agregados, causando redução do volume total e dos macros vazios do solo, podendo, inclusive, estabelecer um ambiente de maior poder redutor do solo. Quando isso ocorre, a densidade aumenta. O movimento de máquinas sobre o solo provoca vários tipos de estresses nos pontos de

contato máquina-solo. A pressão exercida sobre a superfície varia ao longo da trajetória da máquina. Nas trilhas formadas pelos pneus ou pelas esteiras, a compactação é bem maior do que entre elas, e isso vai alterar a velocidade de infiltração da água que chega ao solo. O descompasso na infiltração muda o movimento da água, porque ocorre redução da macroporosidade da trilha compactada. Os macroporos são encarregados do movimento mais rápido da água no perfil do solo. Assim, o fluxo de água vai ser diferente sob a trilha em comparação com o solo entre as trilhas.

O adensamento causa aumento da densidade do solo sem a participação direta da pressão. Ele pode ser superficial ou subsuperficial e tem efeito semelhante à compactação que modifica a velocidade de infiltração de água no solo. O empoçamento de água nas áreas planas ou o aumento do escoamento superficial da água são bons indicadores da baixa velocidade de infiltração de água no solo. Ao contrário da compactação, o adensamento não é localizado como nas áreas sob trilhas deixadas por pneus ou esteiras das máquinas. Desse modo, a dinâmica do fluxo de água no perfil não deve apresentar a mesma variação que foi discutida na compactação localizada.

Quanto mais mobilizado for o solo mais danos podem ser observados na estrutura do solo, principalmente nos solos que apresentam baixa estabilidade da estrutura. Solos com agregados pouco estáveis não suportam o uso intensivo, porque em curto período eles estarão desagregados fisicamente. Ao contrário, aqueles solos com cultivo intensivo e com poucos danos nos atributos físicos indicam que a sua estrutura é capaz de conviver com esse tipo de manejo que promove estresse continuamente sobre o solo.

### **3.4 A Estrutura e sua relação com os estresses sofridos pelos solos**

A estrutura do solo é um aspecto altamente importante na agricultura tecnificada e intensiva. Por esse motivo, decidiu-se escrever um capítulo sobre a estrutura dos solos. Mesmo assim, ela, também, será tratada nesta subseção por ter um papel destacado no suporte do solo às atividades adotadas no uso intensivo dos solos.

A descrição da estrutura em campo, ou no laboratório, ou em ambas tem importância primordial no uso racional do solo, para que a sua degradação seja a menor possível. Quando a descrição é bem-feita, o usuário fica muito bem-informado e pode decidir qual o manejo mais adequado para uma determinada classe de solo. Para tomar uma decisão sobre esse aspecto, o usuário precisa conhecer o significado de cada dado posto à sua disposição. Logo, a utilidade das informações para o usuário demanda muito conhecimento sobre o assunto. A estabilidade da

estrutura precisa ser bem avaliada para que ela possa orientar o usuário sobre as vantagens e desvantagens do sistema de manejo a ser adotado para cada condição.

Além da estabilidade, a forma e o tamanho dos agregados têm efeito sobre a densidade do solo, a porosidade e a velocidade de infiltração básica da água. Quanto mais bem avaliada for a estrutura, maior será sua importância nos estudos sobre os recursos hídricos de uma propriedade agrícola ou numa bacia hidrográfica. Além dessas, outras informações serão discutidas no capítulo dedicado à estrutura dos solos para conservá-la adequadamente.

### **3.5 Mineralogia da fração argila relacionada à estrutura dos solos cultivados**

A mineralogia da fração argila é um tópico que precisa ser muito bem estudado para dar suporte à conservação da estrutura dos solos, cuja recomposição, em caso de degradação, será muito difícil. A mineralogia da fração argila tem auxiliado muito nas áreas de Química e Mineralogia do Solo, na Gênese e Classificação dos Solos e na Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, e, por isso, a interação entre as citadas áreas precisa ser exercitada. Todavia, a falta de conhecimento do todo, tem limitado o diálogo entre os possíveis interessados. O diálogo entre as citadas áreas é bem incipiente com aqueles que se consideram especialistas em Manejo e Conservação do Solo e Água. Para essa área evoluir mais rápido, o suporte deve ser buscado nas demais áreas da Ciência do Solo. Além disso, a Microbiologia do Solo deve ser vista e entendida como uma aliada muito forte da conservação do solo e da água. Posto isto, a mineralogia da fração argila vai ser abordada no capítulo sobre a estrutura do solo.

### **3.6 Intensidade de uso e ocupação do solo e suas consequências**

#### **3.6.1 Demanda contínua por alimentos e outros bens de consumo**

Como já foi citada, a demanda por alimentos não para de crescer porque a população mundial cresce continuamente e boa parte da agricultura de hoje é empresarial, ou seja, o agricultor procura gerar excedentes financeiros para comprar outros bens que não sejam alimentos. É evidente que a demanda não é apenas de alimentos, mas de outros bens como a água, que está relacionada diretamente à produção de alimentos. O consumidor, chamado de desavisado nesta obra, precisa tomar conhecimento sobre os limites da natureza no fornecimento de alimentos e de água bem como sobre os inúmeros bens demandados pela população crescente.

Para atender ao consumo de alimentos e de água, alguns solos com baixa aptidão agrícola são usados para ajudar no suprimento desses bens vitais. Por conseguinte, para viabilizar a produção desses solos, é necessário adaptá-los para tal finalidade. Ao adicioná-los para esse fim, os custos de produção serão elevados, e os custos ambientais seguem a mesma tendência. Em geral, os solos menos aptos são mais susceptíveis à erosão, que causa vários danos ambientais. Suas limitações podem se dar devido ao relevo que dificulta a mecanização, ou, ainda, condições climáticas inadequadas para alguns tipos de culturas que produzem alimentos. Por fim, os solos podem ter limitações de nutrientes para a produção de alimentos, ou, ainda, solos fisicamente inadequados para cultivar plantas.

O uso contínuo associado às práticas de manejo inadequadas é capaz de provocar uma profunda degradação nos solos bem como danos praticamente irreversíveis. Caso houvesse necessidade de readaptá-los para produção de alimentos, essa seria uma tarefa muito difícil. Tudo isso inviabiliza a produção de alimentos com custos compatíveis ao poder aquisitivo de uma grande parte da população mundial. Conseqüentemente, o manejo inadequado dos solos não deve ser considerada uma alternativa na produção de alimentos.

### **3.6.2 Qualidade da água para a irrigação e outras finalidades**

O foco principal deste livro é a água, porque o uso intensivo do solo tem efeito marcante na qualidade e na quantidade da água para os diversos usos. Mesmo sendo uma repetição, não se pode deixar de lembrar o leitor sobre este aspecto. A água de boa qualidade é sempre desejável para todos os usos, especialmente aqueles que exigem o tratamento da água. Quanto mais pura for a água, menor será o custo do referido tratamento. As atividades humanas nas bacias de captação têm muita influência na qualidade da água. As áreas urbanizadas e industrializadas numa bacia de captação de água devem receber muita atenção, principalmente quando os esgotos e os resíduos das fábricas não são devidamente tratados. Por fim, o uso agrícola intensivo do solo merece atenção quanto à qualidade e quantidade da água a ser captada.

### **3.6.3 Adição de fertilizantes e corretivos para a obtenção de alta produtividade**

As plantas cultivadas passaram por vários ciclos de melhoramento genético e foram condicionadas às produtividades máximas. Para isso, as exigências em fertilizantes e corretivos foram cada vez mais altas. Sabe-se que os solos tropicais de climas quentes e úmidos são, naturalmente, pobres em nutrientes. Assim, a experimentação agrícola teve que receber muita atenção até que os solos pobres em nutrientes pudessem fornecê-los

em quantidade suficiente para que as plantas cultivadas alcançassem alta produtividade. Esse foi um trabalho demorado, mas a correção dos níveis de nutrientes nos 20 a 30 cm superficiais deu bons resultados. Esse volume de solo corrigido causa a concentração do sistema radicular entre zero e trinta centímetros. Em anos nos quais a distribuição das chuvas for irregular, pode ocorrer déficit de água nos primeiros 30 cm superficiais e prejuízos na produtividade das plantas. A distribuição dos nutrientes em todo volume do solo até 20 ou 30 cm de profundidade ou localizada nos sulcos ou nas covas pode diluir ou concentrá-los. Isso pode ser mais expressivo quando o cultivo é feito com o mínimo de revolvimento do solo. Com o passar do tempo de cultivo, essa distribuição dos nutrientes pode ser homogeneizada. Nas plantas com o sistema radicular abundante, os nutrientes podem movimentar-se por meio do crescimento das raízes, das quais os nutrientes são liberados por meio da decomposição microbiana das raízes. Quanto mais raízes por volume de solo, mais movimento de nutrientes ou outros elementos químicos vão ocorrer. Na agricultura intensiva, essa transferência de elementos químicos vai ocorrer mais vezes por um dado período de tempo. Uma observação um pouco detalhada sobre a agricultura intensiva pode ajudar na compreensão da dinâmica química no sistema solo-água-planta. A movimentação dos elementos químicos na solução do solo depende das características do sistema poroso de cada solo e dos horizontes que o compõem. A mobilidade dos elementos mais solúveis vai ser modificada com o número de colheitas e seus ciclos de crescimento em cada área, por menor que ela seja. Essa mobilidade não pode ser avaliada quando se tem uma amostra de 1 kg ou 1 L de solo, mesmo que a análise seja feita em poucos  $\text{cm}^3$  ou g de solo. Reduzindo ainda mais a amostra e fazendo-se um mapa microquímico de um cristal de caulinita ou de goethita, é possível observar que a distribuição ainda não seja uniforme. Na natureza, a heterogeneidade é a regra, e a homogeneidade, a exceção.

### **3.7 Avaliação da densidade do solo em condições de campo**

A avaliação da densidade do solo pode ser realizada visualmente no campo, desde que o avaliador tenha experiência adequada para essa atividade – de grande utilidade quando bem-feita.

Conforme já foi citado, a compactação ocorre pela pressão exercida sobre o solo durante o movimento de máquinas ou pisoteio feito pelos animais, especialmente nas pastagens. O adensamento é causado por ciclos de umedecimento e secagem, por raízes em crescimento, ou pelo ajuste de partículas do solo, ou pelos agregados de diferentes tamanhos. A água desempenha papel fundamental nos ciclos de umedecimento e

secagem dos referidos ajustes. O uso intensivo do solo causa mudanças na dinâmica da relação solo-planta-água-atmosfera. O número de ciclos está diretamente relacionado às condições climáticas de cada localidade. A suplementação de água por meio da irrigação aumenta os citados ciclos. Por conseguinte, a adoção dessa prática aumenta a intensidade de uso do solo, cujos resultados têm sido discutidos ao longo deste texto.

A medição da velocidade de infiltração de água no solo auxilia na avaliação da densidade do solo. À medida que a velocidade diminui em consequência do uso e manejo, espera-se que a densidade do solo aumente. Com o aumento do escoamento superficial da água, também se infere que a densidade do solo esteja aumentando. Se a observação do campo for feita depois que a chuva parou, notam-se sinais de arraste/deposição de solo no trajeto percorrido pela água. Com o uso de um enxadão para cavar uma minitrincheira, pode-se notar a resistência do solo. Para completar a observação, o avaliador pode usar uma piseta com água a ser esguichada na parede da minitrincheira. Mais tempo para a água infiltrar significa que o fluxo de água está sendo restringido pela maior densidade do solo. Esse mesmo teste pode ser realizado em torrões retirados nos primeiros 20 cm, onde as modificações são muito atuantes. A velocidade de infiltração de água no perfil do solo é altamente dependente dos atributos físicos dos primeiros 20 cm ou menos a partir da superfície do solo. Desse modo, solos profundos, como os Latossolos, podem funcionar como solos rasos, quando essa camada está fisicamente degradada.

Em áreas de relevo plano ou suave ondulado, a água empoça nas depressões dos solos cultivados ou não. Assim, o empoçamento de água é um excelente indicador de campo. Quanto mais tempo a água permanecer sem infiltrar, piores são as condições físicas do solo sob a água empoçada, já que o ambiente redutor indesejável para a maioria dos seres vivos pode aparecer. A distribuição e o tamanho das poças de água devem ser observados como indicadores da frequência dos problemas físicos do solo. O solo coberto por água apresenta deficiência de arejamento com efeitos no sistema radicular bem como na interação da biosfera com a microbiota do solo. Nessas condições, é possível notar-se toxicidade de ferro e manganês nas plantas cultivadas. Isso pode afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas cultivadas ou das espontâneas, que resulta em menor produtividade das plantas cultivadas.

Outra forma de avaliar a densidade do solo é a morfologia dos sistemas radiculares deformados das plantas cultivadas ou das espontâneas. A raiz pivotante não se destaca das demais, e, além disso, as outras raízes cresceram paralelas à superfície do solo. Essas plantas podem apresentar murchamento temporário nas horas mais quentes do dia ou murchamento permanente quando o déficit hídrico se acentua.



### 3.8 Constatação, medição e causas do adensamento e da compactação

O aumento de densidade do solo pode ser constatado por meio da morfologia do sistema radicular das plantas, visto que, quando a raiz pivotante encontra obstáculos físicos, ela começa a crescer paralelamente ao obstáculo. Outros obstáculos limitam o aprofundamento das raízes no solo, como rochas, lençol freático elevado, ou toxicidade, causada por alumínio trocável ou outros elementos tóxicos que não devem ser confundidos com os efeitos restritivos de horizontes, ou camadas densas do solo.

A medição mais comum é realizada por meio de anéis volumétricos ou por torrões parafinados. Na terra fina seca ao ar ou em estufa, pode-se medir o volume do solo em uma proveta e determinar a massa por meio de uma balança bem regulada. A resistência à penetração pode ser avaliada por meio de penetrômetro ou penetrógrafo. A resistência é muito influenciada pela umidade do solo. Sem controle dela, a medida da resistência do solo fica comprometida. A comparação do perfil de resistência do solo no mesmo local quando o solo tiver níveis variáveis de umidade tem pouca validade.

Como a principal causa da compactação, cita-se o movimento de máquinas sobre o solo cultivado ou de animais em pastagens. O efeito dos animais na compactação depende da população de animais por área e da permanência deles em cada pasto. Outro aspecto a ser levado em conta é que os animais se movimentam em trilhas onde a compactação torna-se mais evidente. Eles movimentam-se continuamente sobre o solo, que apresenta níveis variáveis de umidade. Em algum momento, os animais estão em movimento quando o solo está no nível ótimo de umidade para a compactação.

Como já foi discutido neste capítulo, o adensamento é o aumento da densidade do solo sem a participação direta da pressão, que é o principal fator que controla a compactação. Os ciclos de umedecimento e secagem (U/S) são muito importantes no rearranjo das partículas ou dos microagregados dos solos. Esses ciclos são controlados pela água, que provoca contração e expansão de um dado volume de solo de textura argilosa. Esse processo tem pouca importância nos solos de textura arenosa, devido ao baixo teor de argila contido neles. No entanto, a contração e expansão em solos arenosos são controladas pela variação térmica do solo. Por ser o quartzo o mineral primário predominante na fração areia dos solos tropicais, as propriedades térmicas desse mineral são importantes na expansão e na contração da fração areia. O efeito térmico é muito superficial porque os solos são corpos porosos que dificultam a condutividade térmica em profundidade. A contração e a expansão da

fração areia nos solos arenosos podem contribuir para o rearranjo das partículas no solo, causando alguma modificação em sua porosidade.

As condições climáticas de cada local variam quanto à distribuição anual, à intensidade e ao total de chuvas precipitadas durante o ano. Em função das condições climáticas, os ciclos de U/S variam com o teor de água do solo. Esses ciclos têm relação direta com o clima de cada localidade. Durante a expansão e contração, os agregados podem ser fragmentados, resultando em preenchimento dos espaços porosos com material fino, proveniente da referida fragmentação. Essa situação pode ser agravada, caso a irrigação seja adotada, aumentando o número de ciclos U/S. Conforme já foi citado, com a irrigação, o solo passa a ter uso intensivo, com as consequências dessa prática de manejo. Em solos com grande heterogeneidade de tamanho de agregados, seu rearranjo seria inevitável, o que provocaria aumento da densidade do solo.

### **3.9 Manejo de solos compactados ou adensados**

Algumas recomendações de manejo de solos podem ser adotadas pelos proprietários de áreas cultivadas quando se identifica a compactação ou o adensamento. Manter o solo coberto com cobertura viva, ou morta, ou ambas, auxiliam muito na proteção do solo contra a sua densificação. A exposição do solo ao sol acelera a perda de água por evaporação, o que aumenta o número de ciclos de U/S e as suas consequências, anteriormente mencionadas.

O perfil de resistência do solo, avaliado por penetrômetro ou petrógrafo, identifica a profundidade de maior resistência. Contudo, ao proceder essa medida de resistência com penetrômetros portadores de agulha de cone metálica – portanto de configuração diferente de uma raiz que desenvolve seus próprios mecanismos para se fazer crescer em ambientes restritivos a ela, especial atenção deve ser dada ao teor de umidade no momento da determinação, já que esta interfere, de forma significativa, na resistência do solo. A partir do conhecimento do estado de resistência à penetração em que se encontra o solo para um teor de umidade próximo a sua capacidade de campo, podem-se indicar algumas alternativas para rompê-la, como a realização do rompimento por intermédio de um subsolador, dependendo da profundidade. Caso seja nos primeiros 20 cm, a resistência pode ser rompida por escarificador. A quebra da resistência do solo, a depender da sua gênese, por processos mecânicos pode não ser suficiente para garantir efeito mais duradouro da prática. Especial atenção deve ser dada à gênese da densificação que está presente ou que ocorre no solo. Se for por compactação (P/S), essa ruptura pode facilitar o movimento da água em profundidade, e a prática pode até ser efetiva por mais tempo, com uso do subsolador ou escarificador.

Entretanto, se a origem for por adensamento, ou seja, deposição de partículas no interior dos vazios do solo, geralmente localizada em camada subsuperficial, entre os contatos de maior atividade mecânica/edáfica e a camada onde se inicia o repouso do solo, a quebra dessa camada precisa ser acompanhada por manejos que aumentem a capacidade de reagregação/estruturação do material adensado, para se ter efetividade por maior tempo. O uso de espécies de plantas com raízes com mais capacidade subsoladora e de maior poder reestruturador, seja por aporte de matéria orgânica ou incentivo à atividade biológica do solo, é uma alternativa interessante.

A infiltração de água no solo mais rápida ajuda no armazenamento de água que poderia ser perdida por escoamento superficial ou pela evaporação da água empoçada nas depressões. É necessário que se observe a contração do solo que pode neutralizar o efeito da ruptura recomendada, desfazendo o espaço deixado pelo subsolador ou pelo escarificador.

A mobilização excessiva por meio da gradagem deve ser minimizada, pois ela pode pulverizar o solo e aumentar a sua densidade por rearranjo de partículas e dos microagregados que suportarem essa forma de manejar o solo. Essa pulverização depende dos atributos físicos de cada solo, tais como a estabilidade dos agregados, que será discutida no Capítulo 5, sobre estrutura do solo.

Manter o solo coberto, como já foi citado, é uma medida que reduz a evaporação de água do solo. A umidade deve ser mantida, ou, também, manter o solo seco por um período mais longo controla a contração e expansão do solo – conseqüentemente é uma forma de reduzir os ciclos de U/S. Por meio desse controle, espera-se que a desagregação do solo seja reduzida.

A cobertura, viva ou morta, do solo auxilia na preservação da estrutura do solo que, por sua vez, influencia no movimento da água que se infiltra nele. Essa água faz parte do armazenamento, que tem sido mencionado com frequência neste texto. O papel dele é manter a vazão dos cursos de água mais uniforme durante o ano. Sem um armazenamento adequado da água, no período seco, quando ocorre maior demanda de água, será difícil fornecê-la a todos que dela necessitam. Dessa maneira, a baixa velocidade de infiltração da água no solo vai causar restrições ao seu uso devido à deficiência de seu armazenamento no solo. Para garantir a disponibilidade de água, o solo não pode restringir a sua infiltração. Aqui, começam os conflitos hídricos que têm preocupado todos os usuários da água. Se os solos estão com boas condições de infiltração de água, os referidos conflitos devem ser minimizados, até que eles deixem de perturbar os usuários dos recursos hídricos, uma vez que a água precipitada é enormemente maior do que àquela armazenada no solo. O

armazenamento deve ser uma preocupação de todos que usam a água, não sendo aceitável qualquer tentativa de culpar os proprietários de terra na área de captação de água das bacias hidrográficas. Em resumo, cuidar da água é uma responsabilidade de todos os seus consumidores, e cada um deve assumir a sua parte nessa missão de preservá-la para todos.

A direção das linhas de plantio tem um papel destacado no sombreamento do solo, pois a sombra atenua a evaporação da água pela redução da temperatura do solo. Além disso, a temperatura do solo é influenciada pelo seu teor de umidade. A água apresenta um calor específico de 3 a 5 vezes o calor específico dos constituintes da fração sólida do solo. Assim, o solo seco se aquece muito mais do que quando está úmido; daí entende-se que a sombra ajuda a regular a temperatura do solo e a evaporação no sistema solo-água-planta-atmosfera. Pelas razões acima apontadas, a direção das linhas de plantio em solos planos pode ser ajustada para aumentar o sombreamento do solo. Quando as linhas de plantio seguem as curvas de nível, em áreas com maior declividade, elas podem expor mais os solos em determinados pontos. Quando as linhas têm direção Leste-Oeste, a exposição do solo ao sol é muito grande, e seus efeitos na evaporação da água são evidentes. A direção das linhas de plantio combinadas com o ciclo de cada cultura resulta em diversas condições de sombreamento ou exposição do solo. Segundo Oliveira et al. (2005), os resultados experimentais mostraram que a natureza da cobertura do solo e o nível de sombreamento influenciam diretamente nas flutuações de temperatura e umidade do solo. A mudança na direção das linhas influencia também na captação da energia solar para a realização da fotossíntese, que é uma reação vital para que a vida seja possível no planeta Terra. No trabalho desses autores, observou-se que as folhas do milho mudaram um pouco a direção para que a fotossíntese não fosse prejudicada.

Quando se faz uma gradagem rasa (< 10 cm) no final do período chuvoso, ocorre redução na perda de água do solo pela evaporação. Ela acontece porque o revolvimento do solo quebra a sua capilaridade, dando descontinuidade ao movimento ascendente da água do solo. Deve esclarecer-se que a porção revolvida do solo perde água rapidamente, mas o solo solto bloqueia a perda de água da parte não revolvida do solo. Além disso, o material revolvido é muito poroso e reduz a condutividade térmica para a parte não revolvida do solo. Essa recomendação foi feita e testada por um dos autores deste capítulo no município de Goianésia-GO. Observou-se que, no período seco, as sementes germinaram, e as plantas emergiram e sobreviveram na área gradeada, mas isso não ocorreu ao lado, no solo não gradeado. Neste, as plantas murcharam, morreram e secaram por falta de água. Desse modo, essa é uma estratégia muito útil para reduzir a perda de água no período seco, com baixa umidade relativa do

ar. Todavia, se o perfil do solo estiver seco, a gradagem rasa não tem serventia. Essa gradagem deve ser feita imediatamente após a colheita da planta cultivada, para se aproveitar a água que ainda se encontra no solo.

O fornecimento de água de boa qualidade à população demanda desde pequenas até grandes obras que se constituem em sistemas complexos. Essa afirmativa não deve ser usada como argumento para não se dar nenhuma contribuição para que o sistema possa continuar prestando os serviços necessários a todos. Com pequenas atitudes, como evitar o desperdício da água em cada residência, pode-se fazer a diferença. Aliás, a relevância dessa pequena atitude é muito grande e não deve ser considerada como algo muito difícil de ser adotado, desde que o consumidor tenha consciência de seu papel na sociedade. Outras atitudes desse tipo podem ser citadas, mas, para seguir nesta linha, o consumidor deve entender onde se deseja chegar.

### **3.10 Recursos hídricos em relação ao manejo do solo**

Grande parte desta obra discute as práticas de manejo e conservação do solo e da água relacionadas aos recursos hídricos. Nessa perspectiva, a infiltração de água no solo e o escoamento superficial da água são dois aspectos que merecem a atenção de toda a sociedade consumidora de água, que nem sempre é conscientizada ou mesmo se importa em conservá-la. Muitos ignoram o assunto e não se sentem estimulados em auxiliar na conservação do solo e da água. Outros têm alguma percepção do problema, mas são incapazes de oferecer os seus préstimos para o uso racional da água, a partir do uso doméstico da água. Há uma pequena porcentagem da população que compreende bem esta situação e procura ajudar na mudança de comportamento dos usuários desavisados. Sem o entendimento da dimensão do problema, será difícil convencer aqueles que não se preocupam com os recursos hídricos, cada vez mais escassos e poluídos por uma grande variedade de poluentes. Espera-se que esta situação seja revertida o mais rápido possível, para que não chegue ao ponto de poluição quase irreversível.

Com o monitoramento das vazões nas diversas bacias hidrográficas, é possível perceber que, em algumas delas, ocorre uma enorme variação de vazão ao longo do ano. Esse deveria ser considerado um importante sinal de alerta, visto que está demonstrando a necessidade de ações urgentes para a correção de rumo dos problemas relacionados aos recursos hídricos. O manejo e a conservação dos solos e da água na bacia de captação da água precisam ser bem avaliados para que esta situação não se agrave ainda mais.

Consequentemente, o monitoramento de recursos hídricos precisa continuar prestando informações de grande valia para todos. O número

das estações fluviométricas – normalmente instaladas em bacias que apresentam grandes vazões – não é suficiente para uma avaliação adequada às várias demandas de informações que permitam estimativas do passado, do presente e a projeção para usos futuros da água.

## **Considerações finais**

Para atender à demanda de alimentos para uma população em crescimento, o uso intensivo do solo e de outros recursos naturais é inevitável. Especialmente nos trópicos, dadas as condições de baixa oscilação nas temperaturas, é possível cultivar os solos de janeiro a dezembro, desde que se atente para o suprimento de água. Para viabilizar essa situação, torna-se necessário incluir a irrigação em períodos secos do ano ou quando os déficits hídricos ocorrerem. A irrigação representa mais um importante item no custo de produção. Em razão disso, o produtor aumenta o número de cultivos por ano, o que ajuda a suportar o total de gastos. É preciso considerar que nem todos os solos são capazes de resistir ao uso intensivo sem serem degradados. Assim, a decisão de adicionar novas áreas ao cultivo deve ser bem planejada para que o produtor não tenha surpresas desagradáveis quando ele expandir sua área de produção.

Os danos causados nos solos pelo uso intensivo devem ser monitorados, principalmente os atributos físicos, uma vez que sua correção será muito difícil e demorada, caso sejam danificados. O monitoramento dessas propriedades não tem sido feito com a frequência necessária. Aliás, alguns proprietários, sistematicamente, não fazem esse monitoramento.

A degradação dos solos cultivados provoca redução na velocidade de infiltração de água no solo e aumenta o escoamento superficial. Esses dois problemas afetam a quantidade e a qualidade das águas nas bacias hidrográficas. Desse modo, o produtor deve concentrar esforços nesses dois problemas, para que a conservação do solo e da água não seja afetada.

## **Referência**

OLIVEIRA, M. L.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFFER, C. E. G. R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental.** v. 9, n. 4, p.535-539, 2005.

## CAPÍTULO 4. Recursos hídricos relacionados às principais classes de solos em Bacias Hidrográficas

*Liovando Marciano da Costa  
Araína Hulmann Batista  
André Luiz Lopes de Faria*

### 4.1 Introdução

As publicações têm dedicado a maior parte do tempo na relação dos recursos hídricos com precipitação pluviométrica e com a vazão dos principais cursos de água que compõem as bacias hidrográficas de diferentes tamanhos. Certamente, são dois pontos que devem continuar no foco das discussões dos recursos hídricos. No entanto, outros pontos devem participar desta discussão, que passa a demandar informações de áreas que ajudam no entendimento dos resultados das vazões que são monitoradas continuamente em rios ou riachos distribuídos em bacias hidrográficas com características distintas e que se localizam em regiões que formam um estado ou um país. Os limites entre as bacias são naturais e se diferem dos municípios e outras unidades administrativas criadas pelo homem, que usa alguns limites naturais como rios, serras ou outros pontos distintos encontrados na paisagem. Os limites entre as unidades administrativas dentro de mesmo estado ou país dependem de negociações entre os habitantes daquelas localidades, mas também envolvem interesses econômicos e políticos. Certamente, os limites, a partir de um lote urbano, sítios, fazendas, municípios e um estado, têm histórias variadas sobre disputas atuais e passadas de territórios. Isso não acontece com as bacias hidrográficas, que têm seus limites definidos pela natureza. Os divisores de águas, apesar de naturais, sofreram alguns ajustes para chegarem à forma atual de cada bacia. O homem sente-se no direito de fazer modificações até nos limites das bacias, independentemente de seus tamanhos. Para a ocupação de um território, em vários locais do planeta Terra, o homem tem desrespeitado os limites da natureza ao realizar algumas obras.

Antes de passar para as classes de solos, alguns pontos devem ser destacados. As estações climatológicas e as fluviométricas prestam um grande serviço à sociedade, em especial àqueles que demandam os dados obtidos pelas referidas estações para servirem de base para inúmeros trabalhos que necessitam dos dados do monitoramento das variáveis climáticas e fluviométricas. Os registros atuais são muito importantes, mas os registros anteriores são de grande valia para os diversos estudos necessários para dar respostas a várias indagações da sociedade sobre temas diversificados, ainda mais considerar-se que determinados eventos, entre os quais os climáticos, tendem ocorrer de forma anormal em período de retorno, que varia de 5 a 10 anos. Entre eles, a disponibilidade de recursos hídricos para os mais variados usos tem se tornado um questionamento muito frequente. Esses dados são de grande utilidade para informar à população que é preciso reduzir, efetivamente, o consumo demasiado de água, que ocorre como se ele fosse um recurso infinito. A educação no uso racional da água será discutida em um capítulo desta obra, dedicado a um tema que precisa ser ensinado nas escolas de diferentes níveis. Essa tarefa deve ser assumida pelos professores, mas deve ser iniciada com as crianças em nível familiar. Além dos professores e dos pais, outros profissionais devem dar sua contribuição em um assunto muito importante, para que não falte água de boa qualidade para todos os consumidores, incluindo-se os animais domésticos e os selvagens. É hora de fazer um esforço global para que o consumo de água seja racional e consciente. Para contribuir em qualquer assunto, é necessário que se tenha conhecimento sobre a matéria em discussão, isso também se aplica aos recursos hídricos. Sem um conhecimento mínimo sobre eles, qualquer discussão tem pouca chance de avançar na direção adequada. Dada a importância cada vez maior dos recursos hídricos, é importante que não falem recursos financeiros para a aquisição e manutenção das estações climatológicas e fluviométricas para o monitoramento, tanto das condições climáticas como das vazões dos principais rios que compõem as bacias hidrográficas que cobrem todo o território nacional. São inúmeras as aplicações dos dados registrados nas estações acima referidas. A Agência Nacional das Águas (ANA) tem disponibilizado muitas informações aos usuários desses dados. Além da ANA, outros órgãos oficiais têm posto à disposição esses dados. Todo interessado em recursos hídricos deve conhecer no maior detalhe possível as informações que a ANA e os outros órgãos disponibilizam a respeito dessa matéria. Deve-se ressaltar a importância dos Comitês das Bacias Hidrográficas, que têm dado uma contribuição expressiva àqueles que demandam diversas informações de grande valia para bacias hidrográficas específicas.

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade depende do



conhecimento sobre a quantidade de água superficial e subterrânea disponíveis para atender as inúmeras demandas por todos os habitantes vegetais, animais e os seres humanos. Esses seres vivos coabitam uma unidade administrativa como os municípios ou outras unidades mais extensas, ou ainda, em uma bacia hidrográfica localizada num Estado ou num país. A demanda por recursos hídricos está incluída no Capítulo 10: Educação no Consumo de Água e de Outros Bens, em que serão estimados os consumos de água para várias atividades humanas, como:

- Consumo Doméstico ou Residencial
- Produção Vegetal
- Produção Animal

Depois de conhecer a demanda das principais atividades acima citadas, a etapa seguinte é a gestão de águas, para um atendimento mais equilibrado possível, em que todas as atividades possam contar com a quantidade de água necessária e suficiente e, assim, nenhuma delas tenha que parar por falta de água. Os órgãos públicos municipais, estaduais e federais devem estar aparelhados com a infraestrutura e pessoal para mediar os conflitos que possam aparecer advindos dos consumidores dos diferentes grupos.

Para que a gestão seja adequada, são necessários conhecimentos, mais detalhados possíveis, sobre a Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação Natural e os dados obtidos pelas estações climáticas e fluviométricas. Acrescentam-se a isso todas as atividades humanas necessárias para a sobrevivência da população instalada na bacia hidrográfica. As diversificadas demandas da população dependem do número de habitantes por área e suas exigências acima da capacidade do ambiente em fornecê-las. Assim, quanto maior for a população por área, maiores serão os danos causados nos ecossistemas urbanos ou rurais. O despreparo de muitos habitantes de áreas com alta densidade demográfica não permite que eles tenham a dimensão real dos problemas ambientais causados pela concentração humana em pequenas áreas. A falta de compreensão pode associar-se ao consumo exagerado de diversos bens, que é comum na sociedade consumista. Há uma parcela considerável de consumidores desavisados e insensíveis aos problemas do crescimento populacional e aumento da demanda por inúmeros bens disponibilizados pela própria sociedade. Com isso, surge uma incoerência entre o discurso e a prática do consumo exagerado de bens. O consumo de água é um ótimo exemplo dessa falta de consciência coletiva. Quanto maior for o número de habitantes por área, maior será a pressão de uso e ocupação do solo para a obtenção de bens necessários, como a água, alimentos e produtos industrializados. É evidente que nem tudo que se precisa vem do mesmo município ou do estado onde se reside.

Deve-se ressaltar que a água é um composto químico essencial para infinitas atividades humanas associadas à indústria, à urbanização e à produção agropecuária. Por essas razões, a água merece total atenção das comunidades de diversos tamanhos, para que os conflitos entre os usuários sejam minimizados. A educação dos consumidores no uso da água deve ser priorizada, pois seu desperdício pode ser observado nas mais diversas situações. Pessoas que vivem em áreas com recursos hídricos limitados tendem a ser mais conscientes na utilização da água. Quanto mais abundante esse recurso, mais desleixadas são as pessoas na conservação da água. Independente da abundância ou escassez de água, a sociedade precisa investir na educação dos usuários da água para as diversas finalidades, como nas residências, nas indústrias e na agropecuária.

Além da quantidade de água, os usuários também não podem se esquecer da qualidade das águas que são captadas, tratadas e distribuídas nas residências, nas indústrias e na agricultura. De um modo geral, a água utilizada nas atividades agropecuárias é denominada água bruta. Ela é captada e usada sem nenhum tratamento, a menos que a fonte seja poluída e que possa prejudicar a qualidade dos produtos produzidos pelo seu uso. Tratar a água para irrigação não é uma prática comum na produção de culturas irrigadas, até porque, mesmo que não necessite de tratamento, o custo de produção sempre aumenta com a adoção da irrigação.

Independente da forma como a água vai ser utilizada, na captação, ela se desvia temporariamente de seu movimento e toma um destino diferente da trajetória natural que a levaria ao mar. No contato com tubulações e nos armazenamentos que antecedem o tratamento, a água pode ter algumas modificações promovidas pelo contato com materiais diferentes dos canais naturais por onde flui. Durante seu armazenamento, algumas reações continuam ocorrendo, mesmo que ela esteja praticamente parada no reservatório. Na natureza, a água flui em contato com as rochas ou os sedimentos por onde se movimentam nos citados canais. Em cursos de água com muitas quedas, é arejada, e materiais orgânicos podem ser oxidados por microrganismos contidos nela e, também, no ar atmosférico que se mistura com ela nas quedas de água. Em tais condições, a carga de poluentes orgânicos pode ser reduzida com melhoria de sua qualidade durante o movimento natural das águas em sua trajetória. Em águas bem arejadas, alguns elementos em solução podem ser oxidados e passam para a fase sólida, quase sempre na forma de gel. Assim, a concentração de tais elementos podem ser reduzida ainda que temporariamente. Os elementos químicos ferro e manganês podem passar da forma solúvel para a fase sólida e vice-versa, dependendo das condições de pH e Eh da água. Qualquer mudança na velocidade das águas de um rio pode mudar as condições de arejamento da água que, por sua vez, pode causar

modificações na concentração dos citados elementos químicos. Isso pode ajudar a entender a variação da concentração dos dois elementos no período seco e chuvoso do ano. Desse modo, a morfologia e a declividade dos canais condutores das águas dos diversos rios que compõem uma bacia hidrográfica devem receber a atenção daqueles que se dedicam aos estudos hidrológicos.

Depois dessas considerações sobre os limites territoriais das unidades administrativas ou das bacias hidrográficas, a educação dos consumidores de água e sobre a gestão dos recursos hídricos, o próximo passo é a inclusão das principais classes de solos e seus efeitos nos recursos hídricos, uma vez que este é o ponto central deste capítulo. Para a reflexão dos leitores, julgou-se necessário adicionar um pequeno trecho, entre aspas e em itálico, do autor Schroeder (1984):

“Não existe nada em toda a natureza que é mais importante ou que mereça mais atenção do que o solo. Em verdade, é o solo que faz do mundo um meio ambiente amigável para os seres humanos. É o solo que alimenta e fornece para toda a natureza; toda criação depende do solo que é a base de nossa existência.”

Este trecho ajuda a justificar a construção de um capítulo dedicado ao solo. O uso e ocupação dos solos tem recebido atenção daqueles que se dedicam às diversas facetas referentes aos recursos hídricos. Os mapas das diversas classes de uso do solo têm sido incluídos em relatórios, ou mesmo em trabalhos publicados em periódicos especializados sobre os recursos hídricos. Em função da enorme disponibilidade de dados coletados por satélites, em diferentes bandas ou comprimento de ondas, associados aos laboratórios de geotecnologias, têm sido gerados muitos mapas em épocas diferentes do ano para atenderem às necessidades de uma gama de usuários. Certamente, esse trabalho de laboratório é muito rápido, porque os computadores são capazes de processar um grande volume de dados em um intervalo pequeno de tempo. Isso pode reduzir o trabalho de campo em relação ao modo exaustivo como era realizado há algumas décadas. Mesmo assim, o trabalho de campo não pode nem deve ser abolido a curto e médio prazo. Inclusive, esse trabalho deve ser executado por aqueles que têm uma boa experiência de trabalhos de campo.

Além dos satélites, os drones, cada vez mais acessíveis e portáteis, podem ser utilizados para a obtenção de dados úteis para áreas menores, como as propriedades agropecuárias que não sejam exageradamente grandes. Tanto a acessibilidade como a portabilidade dos drones permitem que eles sejam deslocados, por meio de transporte terrestre, para as áreas a serem imageadas. A autonomia de voo dos drones tem aumentado, e,

neles, são embarcados os equipamentos para a obtenção de imagens de alta qualidade. Com o advento dos satélites e dos drones, o trabalho de escritório tem sido feito com rapidez e boa qualidade. Assim, as empresas aéreas que faziam a cobertura de aerofotos foram, por várias razões, substituídas. Apenas para citar uma delas, o custo de um voo para obtenção de fotos aéreas era muito caro, pois a aeronave tinha de deslocar-se da sua base para o local onde seria feita a cobertura aerofotográfica, um processo muito dispendioso e caro. Somente as grandes empresas e os órgãos governamentais podiam suportar esses grandes gastos.

Os mapas hipsométricos ou de declividade têm sido incluídos nos estudos de recursos hídricos e são de grande utilidade nesses trabalhos, na obtenção de classes de declividade e na obtenção de várias estimativas da morfometria de bacias hidrográficas. Essa parte será analisada com mais detalhes no capítulo sobre geoprocessamento desta obra.

Quanto aos solos, os estudos limitam-se em mencionar as classes de solos de uma dada área, e alguns aspectos de fertilidade de solos são adicionados a essas classes. Esse assunto deveria receber mais atenção daqueles que se ocupam com estudos hidrológicos que têm inúmeras aplicações na irrigação, geração de energia, consumo urbano, navegação, controle de enchentes e cheias e suas consequências, vazões de cursos de água, disponibilidade hídrica e outras demandas de recursos hídricos pela sociedade.

Os solos, como parte dos ecossistemas, devem receber mais atenção daqueles que se dedicam à Hidrologia. O solo tem papel muito importante no ciclo hidrológico, especialmente na capacidade de armazenamento da água, na sua velocidade de infiltração e no escoamento superficial. O uso e a ocupação do solo merecem ser destacados, uma vez que podem modificar positiva ou negativamente a infiltração e o escoamento de água no solo. Nas áreas urbanas, a construção civil e a pavimentação de ruas, avenidas e praças reduzem drasticamente a infiltração e aumentam o escoamento da água não infiltrada no solo. Quanto maior a área urbanizada, maior será seu efeito na quantidade e na qualidade dos recursos hídricos. O armazenamento da água em solos urbanizados não se destaca, já que a impermeabilização do solo não permite a chegada nos solos sob intenso bloqueio da água precipitada sobre as cidades de diferentes tamanhos. A impermeabilização causada pela urbanização não é a única forma de reduzir a disponibilidade hídrica de uma área, pois outras atividades humanas também causam redução na infiltração de água no solo. Assim, o manejo inadequado dos solos e das culturas implantadas neles podem causar degradação nos atributos físicos diretamente relacionados à infiltração e ao escoamento superficial das águas. Uma descrição criteriosa da macro e da microestrutura do solo é

útil na avaliação preliminar de campo e de laboratório. A referida descrição da estabilidade da estrutura, no campo e no laboratório, vai ajudar no entendimento do movimento de água nos solos. Dada a importância da estrutura, esse assunto será tratado em outro capítulo desta obra, com o devido detalhamento, embasado nos avanços conquistados pela Ciência do Solo nos climas tropicais e subtropicais.

## 4.2 Classes de solos brasileiros

São encontradas 13 grandes classes de solos no território brasileiro. Nessa população de solos brasileiros, quatro classes são predominantes, tais como os Latossolos, os Argissolos, os Neossolos e os Plintossolos. Estes últimos são mais encontrados no Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Na Tabela 1, do Capítulo 1, apresentada por Manzatto et al. (2002), as 13 classes são apresentadas em área (km<sup>2</sup>) e porcentagem para o Brasil e as respectivas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Nota-se que as porcentagens das classes variam entre as referidas regiões, como seria esperado em função dos fatores de formação dos solos e as dimensões continentais do Brasil. A classe predominante é a de Latossolos que varia de 24,96% no Sul a 56,30% no Sudeste. Já os Argissolos variam de 13,77% no Centro-Oeste a 24,40% no Norte. Esses solos figuram em segundo lugar nas regiões Norte, Sudeste e Sul. Quanto aos Neossolos, na região Norte, são encontradas as menores ocorrências: 8,47%, e no Nordeste são 27,55%, as maiores ocorrências no território brasileiro. Em quarto lugar, aparecem os Plintossolos, que não foram registrados nas regiões Sudeste e Sul (0,00%). As quatro classes de solos totalizam 79,23% no Brasil. Para as cinco regiões brasileiras, esse total é de 72,70% na região Norte, 80,44%, na região Nordeste, 91,72%, na região Centro-Oeste, 86,36% na região Sudeste e 62,96% na região Sul. Os Latossolos são predominantes no Brasil, ocupando 38,73% de seu território e em todas as regiões: N (33,86%), NE (31,01%), CO (52,81%), SE (56,30%) e S (24,96%). Essa é uma informação de grande significado para aqueles que se dedicam aos recursos hídricos nas diversas subáreas. A maior porcentagem de Latossolos encontra-se na região Sudeste, seguida de perto da região Centro-Oeste. Enquanto no Estado de Minas Gerais, tem-se as seguintes porcentagens dos solos predominantes: Latossolos (53,97%), Cambissolos (17,32%), Neossolos (12,52%) e Argissolos (11,62%), cujo total das quatro classes é de 95,43%, as demais classes somam 4,75%. Minas Gerais está um pouco abaixo da porcentagem de Latossolos na região Sudeste (56,30%); mais da metade do território mineiro é coberto por Latossolos. Utilizando-se os dados contidos no Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Triângulo Mineiro (Embrapa,

1982), somaram-se as porcentagens das unidades de solos contidas no referido levantamento, obtendo-se os seguintes resultados: Latossolos (87,73%), Argissolos (5,25%) e Cambissolos (2,40%). Quando são somadas as três classes de solos, obtém-se 95,38%. Os Latossolos são altamente predominantes no Triângulo Mineiro, e essa informação deve estar presente na mente de todas as pessoas que se dedicam aos recursos hídricos, não só no Triângulo Mineiro como em todo o território nacional. Essa é uma das riquezas do Triângulo Mineiro que não tem recebido a atenção apropriada dos consumidores de água nos seus inúmeros usos. **Como primeiro recado, a responsabilidade de conservar esses solos em condições de participarem efetivamente do armazenamento das águas que chegam neles, por meio das chuvas, é mais do que um dever e uma obrigação de todos, sem exceção de ninguém. Que isso sirva de alerta máximo para todos que consomem água direta ou indiretamente. Todos os seres vivos, inclusive o homem, são consumidores desse composto químico insubstituível para a sobrevivência de todas as espécies existentes no planeta Terra.** Esse pequeno trecho poderia ser destacado neste texto de alguma forma. Os autores desta obra decidiram destacá-lo em negrito, para que ele possa, justamente, impactar os leitores que acessarem esta obra.

O foco desta obra foi direcionado para o sistema hidrográfico situado no estado de Minas Gerais, contudo as informações podem ser utilizadas para outras áreas da bacia do rio Paranaíba, que se estende pelo sul de Goiás, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul. A seguir, agrega-se ao capítulo uma rápida recordação sobre as três principais classes de solos que predominam na bacia hidrográfica do rio Paranaíba e na sub-bacia do rio Araguari, bem como na área do Alto Paranaíba. Pela importância dos Latossolos destacada acima e considerando o predomínio em extensão e a localização privilegiada na paisagem, eles serão apresentados em primeiro lugar.

#### 4.2.1 Latossolos

Latossolos são solos altamente intemperizados, profundos e porosos, constituídos dos horizontes A, B e C e suas subdivisões. O horizonte diagnóstico dessa classe é o B latossólico (Bw). Trata-se de um horizonte muito lixiviado, com perdas contínuas de bases com dessilificação intensa. Assim, eles são normalmente distróficos. Há uma concentração de sesquióxidos de ferro e alumínio e argilas silicatadas do tipo 1:1. A espessura mínima do Bw é 50 cm, e a textura é franco arenosa ou mais fina e com baixo teor de silte. Dada a intensidade do intemperismo sofrido durante a formação dos Latossolos, eles são constituídos de perfis homogêneos em cor, textura, estrutura, porosidade e permeabilidade, com

pouca ou nenhuma restrição física ao crescimento radicular em profundidade, especialmente os não cultivados. A macroestrutura, em geral, é fraca ou moderada, e a microestrutura, forte ou muito forte. A descrição da estrutura merece ser repensada, porque é comum a descrição no campo como sendo fraca ou moderada, o que não é compatível com o suporte dessa classe ao uso intensivo do solo. Caso a microestrutura fosse fraca ou moderada, a agricultura intensiva praticada nos Latossolos não teria sobrevivido por meio século. Dado ao grau avançado de intemperismo, os Latossolos são geralmente distróficos. Historicamente, os Latossolos eutróficos foram submetidos aos diversos usos agrícolas na época em que os solos eram selecionados pela fertilidade natural, independentemente do relevo onde eles estavam localizados. Com os avanços da fertilidade do solo e nutrição de plantas, os Latossolos distróficos passaram a ser cultivados intensivamente. Entre eles, os Latossolos Amarelos, tipicamente caulíníticos, têm demonstrado degradação dos atributos físicos com poucos anos de cultivo. Em função do predomínio da caulinita na fração argila, a estabilidade da estrutura dificulta o uso intensivo desses solos. A mineralogia da fração argila será discutida no capítulo sobre a estrutura dos solos. O uso e a ocupação dos Latossolos para a agricultura intensiva estão associados ao relevo plano e ao suave ondulado, assim como a abundância de água para a agricultura intensiva.

#### 4.2.2 Argissolos

Argissolos são solos que apresentam o horizonte B textural (Bt) e a seqüência de horizontes A, Bt e C. Uma característica marcante desses solos é o incremento de argila no horizonte B proveniente do horizonte A, dando origem ao horizonte diagnóstico Bt. A diferença do teor de argila entre os horizontes A e B pode controlar o fluxo de água entre eles. O fluxo vertical da água é, predominantemente, controlado pelo horizonte Bt. Durante as chuvas de alta intensidade, é inevitável o escoamento superficial das águas, o que causa perdas em quantidade e qualidade das águas.

Apenas nas regiões Norte e Sudeste, essa classe ocupa o segundo lugar em área ou em porcentagem. Essa posição é ocupada pelos Neossolos nas demais regiões, ou seja, no Nordeste, Centro-Oeste e Sul. O gradiente textural ocorre nessa classe porque, na superfície, a textura varia de arenosa a argilosa, e, nos horizontes subsuperficiais, ela varia de média a muito argilosa. Esse gradiente textural que faz parte dessa classe afeta a velocidade de infiltração da água entre o horizonte A e o B. Ela é mais rápida na superfície e mais lenta na subsuperfície, e, quando ocorrem chuvas intensas, é possível ocorrer saturação de água na superfície, e o escoamento

superficial de água torna-se ativo. Dependendo da declividade, a erosão hídrica torna-se mais ativa, e os prejuízos causados por ela tornam-se evidentes. Dessa forma, os Argissolos são considerados mais susceptíveis à erosão do que os Latossolos. Sabe-se que a erosão tem efeito direto na quantidade e na qualidade das águas que precipitam sobre os diversos solos, inclusive nos Argissolos. Assim, o controle da erosão hídrica nesses solos não permite descuidos. Esses solos ocupam relevos mais acidentados do que os Latossolos, informação que pode ser vista na Tabela 4.2 deste capítulo. Nos Latossolos do Triângulo Mineiro e no Alto Paranaíba, esses solos localizam-se preferencialmente nos relevos planos e suave ondulados. No entanto, eles podem ser encontrados nos topos e nas encostas em relevos ondulado e forte ondulado dos mares de morros na Zona da Mata Mineira e no Sul de Minas. Mesmo nessas condições, os Latossolos são capazes de armazenar um bom volume de água quando são manejados adequadamente.

A mineralogia da fração argila dos Argissolos é predominantemente caulínica, o que confere a eles menos estabilidade dos agregados em relação aos Latossolos Oxídicos. Assim, os Argissolos requerem mais cuidados no manejo e conservação de solos e da água.

#### 4.2.3 Neossolos

Os Neossolos são solos pouco desenvolvidos, pouco profundos, em especial os Neossolos Litólicos com profundidade menor que 50 cm. A caixa de armazenamento de água é reduzida pela pequena profundidade, o que afeta diretamente os recursos hídricos de uma dada área. Esses solos ocupam quase 15% do território brasileiro, e, por esta razão, eles devem ser mais bem estudados, principalmente na região Nordeste e na região Sul, onde apresentam áreas acima de 20%.

#### 4.2.4 Cambissolos

O horizonte B incipiente (Bi) é típico do Cambissolos. São encontrados solos rasos e profundos, associados às áreas mais declivosas. A caixa de armazenamento de água destes é pequena, principalmente nos solos rasos. Quando eles ocorrem em áreas com declives acentuados combinados com solos rasos, a perda de água das chuvas é bem acentuada pelo alto escoamento superficial que afeta a erosão hídrica. Isso tem efeito indesejável nos recursos hídricos de áreas onde eles ocorrem em porcentagem considerável, como é o caso dos solos do Alto Araguari.

No Brasil, os Cambissolos ocupam apenas 2,73%, mas, na região Sudeste, eles atingem 8,64%, que representam 3,16 vezes mais área do que no Brasil. Excepcionalmente, na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (BHR Araguari), eles alcançam 57,07% no Alto Rio Araguari, mas reduzem para 6,30% no Médio Rio Araguari e 7,42% no Baixo Rio Araguari.



Conforme já foi mencionado, a sub-bacia do rio Araguari foi selecionada para um estudo mais detalhado em relação à Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHR Paranaíba), a começar pelas classes de solos encontradas no Alto, no Médio e no Baixo rio Araguari. A predominância dos Cambissolos no Alto Araguari é um caso incomum que merece um destaque especial em relação a pontos importantes para os recursos hídricos da BHR Araguari. Pelas condições de relevo e profundidade dos Cambissolos, espera-se que a infiltração de água seja menor e que o escoamento superficial e a erosão hídrica sejam maiores do que no Médio e no Baixo rio Araguari, onde os Latossolos são predominantes. Toda condição que ative a erosão hídrica aumenta a perda de água e os sólidos totais em suspensão.

### **4.3 Dados obtidos a partir dos levantamentos de solos do Alto Paranaíba, do Triângulo Mineiro e do Mapa de Solos de Minas Gerais**

No pé das Tabelas 4.1 e 4.2, registraram-se as fontes de dados utilizados na obtenção dos valores que compõem essas tabelas. Entende-se que as informações estimadas para as oito localidades e cinco classes de solos sejam úteis para aqueles que se dedicam às várias áreas dos recursos hídricos.

Na Tabela 4.1, são apresentadas cinco classes de solos – Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos – considerados importantes para esta obra. A soma das porcentagens desses solos representa no mínimo 83,2% de cada localidade, assim distribuídas: Brasil, Minas Gerais, Alto Paranaíba, Triângulo Mineiro, Bacia Hidrográfica do Rio Araguari – dividida em Alto, Médio e Baixo e rio Araguari. Esse resultado foi obtido pela soma dos demais solos subtraídos de 100 ( $100 - \sum \text{Demais Solos}$ ). Em todas as localidades, os Latossolos são predominantes, variando de 31,61% a 87,73%. Conforme já foi discutido, essa classe de solos é muito importante para a manutenção dos recursos hídricos, visto que ela funciona como reguladora do movimento vertical da água bem como armazena grande volume de água em seus sistemas porosos. Mais uma vez, é preciso manejar adequadamente esses solos para que tais funções não sejam interrompidas ou degradadas.

Para destacar os valores mais importantes, nesta discussão, usou-se o sombreamento dos dados das duas classes predominantes para cada localidade, assim distribuídas: 4 Cambissolos para 8 Latossolos e 4 Argissolos para 8 Latossolos. Os oito Latossolos indicam que eles são predominantes nas oito localidades registradas na Tabela 4.1 – que apresenta informações relevantes das classes de solos relacionadas aos recursos hídricos.

Tabela 4.1 – Principais classes de solos, Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos no Brasil, em Minas Gerais e em suas correspondentes localizações

Localidade das Áreas	Argissolos (Arg)	Cambissolos (Camb)	Gleissolos (Glei)	Latossolos (Lat)	Neossolos (Neo)	Demais Solos (DM)	Classes Predominantes
(%)							
Brasil(1)	29,64	5,26	4,69	<b>31,61</b>	13,24	15,56	Lat+Arg (61,25)
<b>Minas Gerais(2)</b>	<b>11,62</b>	<b>17,32</b>	<b>0,4</b>	<b>53,97</b>	<b>12,52</b>	<b>4,17</b>	<b>Lat+Camb (71,29)</b>
Alto Paranaíba(3)	3,27	31,21	0,8	<b>49,07</b>	15,57	0,08	Lat+Camb (80,28)
Triângulo Mineiro(4)	5,25	2,4	1,1	<b>87,73</b>	0,68	2,84	Lat+Arg (92,98)
BH Rio Araguari(5)	5,86	27,8	1,92	<b>61,82</b>	0	2,6	Lat+Camb (89,62)
Alto	0	57,07	0,39	<b>37,86</b>	0	4,68	Camb+Lat (94,93)
Médio	11,36	6,3	0,2	<b>81,96</b>	0	0,18	Lat+Arg (93,32)
Baixo	8,75	7,42	1,85	<b>65,18</b>	0	16,8	Lat+Arg (73,93)

Fonte: informações estimadas pelos autores desta obra (2023), a partir das publicações que se seguem: (1) Santos et al. (2011); (2) e (5) Mapa de Solos de Minas Gerais (2010); (3) EMBRAPA Solos - AP (2004); e (4) EMBRAPA Solos – TM (1982).

Organização: Costa, 2023

As classes de solos e o relevo onde elas se localizam são de grande importância para a distribuição das águas das chuvas na paisagem. Essas variáveis do meio físico devem receber mais atenção daqueles que estudam os recursos hídricos. Tanto o escoamento superficial como a infiltração de água no solo são diretamente relacionadas aos recursos hídricos. Utilizaram-se as cinco classes de relevo, registradas nos levantamentos de solos do Alto Paranaíba, do Triângulo Mineiro e, também, no Mapa de Solos de Minas Gerais. A partir desses dados, estimaram-se as porcentagens de cada uma das quatro classes de solos e os seis tipos de relevo. A combinação dos Latossolos com o relevo plano e com o suave ondulado resulta na melhor combinação para fins de conservação de água e de solos, desde que esses solos não estejam com as propriedades físicas

em processo avançado de degradação. O uso intensivo desses solos pode participar fortemente na degradação de suas propriedades físicas. O oposto da citada combinação são os solos rasos em relevos forte ondulado e montanhoso, em que a caixa de armazenamento dos solos é muito reduzida, e a declividade, juntamente com o relevo, acelera fortemente o escoamento superficial da água, causando perdas consideráveis da água precipitada. Acrescenta-se a essa condição uma pobre cobertura do solo ilustrado pela Figura 4.1, pela escassez de água, que não consegue sustentar uma cobertura adequada do solo. Mesmo que chova bastante, a água sofre uma enorme perda e não permanece numa paisagem com essas características. No caso de um relevo ondulado (Figura 4.1) com cobertura do solo muito baixa, a perda de água também é elevada. Fica evidente a importância da cobertura do solo na perda de água pela baixa infiltração e o relevo, que potencializa o escoamento superficial das águas de chuva.

É possível notar, na Tabela 4.2, que os Latossolos se concentram em relevo plano e suave ondulado, enquanto os Argissolos e os Cambissolos estão associados aos relevos suave ondulado, ondulado e forte ondulado. Finalmente, os Neossolos, quando presentes, localizam-se nos relevos de ondulado a escarpado. Nessa Tabela, os solos mais rasos e susceptíveis à erosão encontram-se em segmentos da paisagem de alta vulnerabilidade à perda de água e à erosão, dois problemas afetam a quantidade e a qualidade das águas. Nessa Tabela, reuniram-se informações que auxiliam na gestão dos recursos hídricos, mesmo que o nível de detalhe dos levantamentos consultados não forneça o detalhe desejado para um trabalho dessa natureza.

Tabela 4.2 – Argissolos, Cambissolos, Latossolos e Neossolos e seus respectivos relevos – Plano, Suave Ondulado, Ondulado, Forte Ondulado, Montanhoso e Escarpado no Alto Paranaíba (AP), Triângulo Mineiro (TM) e na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (BHR Araguari) no estado de Minas Gerais

Classes de Solos	Plano	Suave Ondulado	Ondulado	Forte Ondulado	Montanhoso	Escarpado	∑Dois/Três Relevos
	(0 a 3%)	(3 a 8%)	(8 a 20%)	(20 a 45%)	(45 a 75%)	(> 75%)	(%)
AP - Argissolos	7,5	30	35	27,5	X	X	65
AP - Cambissolos	2	15,5	42,6	31	8,9	X	73,6
<b>AP - Latossolos</b>	<b>39,5</b>	43,5	10	11	X	X	83
AP - Neossolos	4	7	33,5	44,5	11	X	78
TM - Argissolos	18	53	18	11	X	X	89
TM - Cambissolos	7,7	38,6	23	23	7,7	X	84,6
<b>TM - Latossolos</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>85</b>

Classes de Solos	Plano	Suave Ondulado	Ondulado	Forte Ondulado	Montanhoso	Escarpado	ΣDois/Três Relevos
TM - Neossolos	33,3	33,3	X	11	16,7	16,7	66,6
BHR Araguari - Alto:							
Argissolos	X	X	X	X	X	X	0
Cambissolos	X	20	60	20	X	X	100
<b>Latossolos</b>	<b>47,5</b>	<b>47,5</b>	<b>5</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>95</b>
Neossolos	X	X	X	X	X	X	0
BHR Araguari - Médio:							
Argissolos	X	X	X	100	X	X	100
Cambissolos	50	50	X	X	X	X	100
<b>Latossolos</b>	<b>42</b>	<b>42</b>	<b>16</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>84</b>
Neossolos	X	X	X	X	X	X	0
BHR Araguari - Baixo:							
Argissolos	X	33,33	33,33	33,33	X	X	100
Cambissolos	X	25	25	37,5	12,5	X	87,5
<b>Latossolos</b>	<b>43,5</b>	<b>48</b>	<b>8,5</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>91,5</b>
Neossolos	X		X	X	X	X	0

Fonte: informações estimadas pelos autores desta obra (2023), a partir das publicações que se seguem: (1) Santos et al. (2011); (2) e (5) Mapa de Solos de Minas Gerais (2010); (3) Embrapa Solos - AP (2004); e (4) Embrapa Solos – TM (1982). Organização: Costa, 2023



Figura 4.1 – Paisagem de solo exposto no município de Lagoa Formosa-MG  
 Fonte: Souza (2017).

## Considerações finais

A relação das classes de solos com os recursos hídricos deve ser mais bem entendida por aqueles que desejam ter uma compreensão mais ampla dos recursos hídricos e que não se limitam às precipitações pluviométricas e às vazões monitoradas pelas estações fluviométricas. A influência do uso e a ocupação dos solos têm sido incluídas em estudos sobre os recursos hídricos, bem como as informações sobre a Geologia e a Geomorfologia têm sido adicionadas aos relatórios e nos trabalhos publicados em periódicos especializados da área. Quanto ao uso das informações de solos, nota-se que essa área pode contribuir mais nos estudos hidrológicos.

Este texto pode dar algum tipo de contribuição no que diz respeito ao aumento da infiltração de água no solo e à redução do escoamento superficial – duas situações que se relacionam com os atributos físicos em processo de degradação. Além disso, a localização das várias classes de solos na paisagem não pode ser negligenciada pelos gestores de recursos hídricos, considerando-se as diferenças das propriedades e características de cada classe de solo.

## Referências

- EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais. Paulo Emílio Ferreira da Mota e outros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 238p.
- EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento de média intensidade e aptidão agrícola dos solos do Triângulo Mineiro. Idarê Azevedo Gomes e outros. Rio de Janeiro: Embrapa SNLCS, 1982. 526p.
- MANZATTO, C. V., FREITAS JUNIOR, E., PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174p.
- SANTOS, H. G. et al. **O novo mapa de solos do Brasil: Legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67p.
- SCHROEDER, D. **Solos – Fatos e Conceitos**. 244p. 1984. Versão traduzida por A. S. Lopes. 2017.
- SOUZA, L. F. T. 2017. **Modelagem de processos erosivos em áreas de contatos geológicos no Alto Paranaíba**. Dissertação (MS do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 133p. 2017.
- UFV. **Mapa de Solos de Minas Gerais: escala 1:500000**. UFV/UFLA, FEAM, CETEC. Governo do Estado de Minas Gerais. 2010.



# CAPÍTULO 5. Importância da estrutura e da textura dos Latossolos nos recursos hídricos

*Liovando Marciano da Costa  
Araína Hulmann Batista  
Elias Nascentes Borges*

## 5.1 Introdução

Esta obra foi direcionada para os Latossolos das bacias hidrográficas dos rios Araguari e Paranaíba. As informações utilizadas encontram-se nas descrições morfológicas contidas nos levantamentos de solos das referidas bacias, publicados pela Embrapa em 1982 e 2004.

Na descrição dos perfis em campo, inclui-se a estrutura quando as condições de umidade do solo no perfil estiverem apropriadas. Deve-se evitar a descrição da estrutura em alta umidade, visto que ela dificulta a separação dos agregados para proceder a descrição. Caso as condições de umidade das amostras não sejam favoráveis, o trabalho pode ser feito em laboratório, antes da trituração das amostras para as demais análises físicas e químicas. É importante que os agregados sejam preservados, especialmente aqueles de tamanhos menores. Para obter a terra fina seca ao ar (TFSA) em solos cujos tamanhos dos agregados sejam  $> 2,00$  mm, é pouco provável não quebrar tais agregados para obter-se a TFSA ( $< 2,00$  mm). Esse tipo de problema tem menor significado quando se têm amostras de Latossolos com estrutura granular pequena (1,00 a 2,00 mm) e muito pequena ( $< 1,00$  mm). Não se faz esse tipo de recomendação para todas as análises que não requerem amostras indeformadas para os procedimentos analíticos.

### 5.1.1 A construção de Brasília e seus efeitos no uso e na ocupação dos solos do Bioma Cerrado

A construção de Brasília, iniciada no final da década de cinquenta, atraiu o desenvolvimento para a região dos Cerrados e possibilitou a implantação de atividades agropecuárias em extensas áreas cujo uso era

pouco expressivo. Para a construção da nova capital, era necessária mão de obra com menor e com maior especialização na construção civil, situação que atraiu um grande número de pessoas de diferentes regiões brasileiras. A demanda por material de construção era altíssima, e todo material produzido pela indústria teria que ser transportado das regiões industrializadas para Brasília. Assim, a infraestrutura de transportes deveria dar o suporte necessário, e, para isso, a construção de rodovias tinha que ser priorizada. Para viabilizar a construção, a energia elétrica era indispensável. A demanda por alimentos aumentava continuamente, e uma porção destes poderia vir das áreas produtoras mais próximas, que supririam parte das necessidades da população encarregada de uma obra gigantesca. Os habitantes da região, antes da implantação do enorme canteiro de obras, tinham um ritmo de vida totalmente diferente daquele que estava sendo implantado. O meio físico foi desfigurado em um tempo muito curto, trazendo mudanças nunca imaginadas pelos nativos daquela área. O suprimento de alimentos provenientes das proximidades da capital era impossível pelo nível de agricultura praticada naquela época, mesmo nas áreas de agricultura mais desenvolvida do Brasil. A agricultura praticada dependia grandemente da fertilidade natural dos solos, independentemente do relevo, pois a mecanização agrícola era muito incipiente. A partir da década de 1970, as novas tecnologias de correção e fertilização dos solos foram surgindo nas universidades e nos centros de pesquisas brasileiros, para que fosse viabilizada a ocupação de solos muito intemperizados ou pobres quimicamente. Aliados a isso, os avanços na mecanização agrícola participaram diretamente na ocupação dessa imensa área, antes considerada inadequada à agricultura de grande escala. As mudanças causadas nos sistemas solo – água – planta – atmosfera são inquestionáveis e não devem ser desconsideradas. Certamente, as condições mencionadas geram instabilidades nos ecossistemas naturais, e, por isso, o monitoramento das modificações deve ser adotado para evitar-se o avanço dos processos de degradação dos solos. A localização da nova capital, inegavelmente, teve um efeito marcante tanto no Triângulo Mineiro como no Alto Paranaíba, dada a sua proximidade – a bacia do Rio Paranaíba estende-se pelos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e o Distrito Federal.

Na Tabela 5.1, a seguir, nota-se que a classe predominante de solos no Brasil, em Minas Gerais e na Mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba é o Latossolo, exceto no Alto Rio Araguari, onde predominam os Cambissolos. As classes predominantes nas localidades registradas nessa tabela são os Latossolos, os Cambissolos e os Argissolos. Quando são somadas as duas classes predominantes de solos de todas as localidades, encontram-se no mínimo 61,25% (Latossolos + Argissolos), que são referentes ao Brasil. A partir dessa tabela, é possível perceber que os Latossolos devem ser sempre priorizados para qualquer tipo de estudo em



que o solo seja incluído. Esta obra foi direcionada para o Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e a Bacia Hidrográfica do Rio Araguaari, cuja participação dos Latossolos é a seguinte: Triângulo Mineiro 87,73%, Alto Paranaíba 49,07% e a Bacia do Rio Araguaari 61,82%.

Tabela 5.1 – Principais classes de solos, Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos no Brasil, em Minas Gerais, no Triângulo Mineiro, no Alto Paranaíba e na Bacia Hidrográfica do Rio Araguaari

Localização	Argissolos (Arg)	Cambissolos (Camb)	Gleissolos (Glei)	Latossolos (Lat)	Neossolos (Neo)	Demais Solos (DM)	Classes Predominantes
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Brasil (1)	29,64	5,26	4,69	<b>31,61</b>	13,24	15,56	Lat+Arg (61,25)
<b>Minas Gerais (2)</b>	<b>11,62</b>	<b>17,32</b>	<b>0,4</b>	<b>53,97</b>	<b>12,52</b>	<b>4,17</b>	<b>Lat+Camb (71,29)</b>
Alto Paranaíba (3)	3,27	31,21	0,8	<b>49,07</b>	15,57	0,08	Lat+Camb (80,28)
Triâng.Mineiro (4)	5,25	2,40	1,1	<b>87,73</b>	0,68	2,84	Lat+Arg (92,98)
Rio Araguaari (5)	5,86	27,8	1,92	<b>61,82</b>	0	2,60	Lat+Camb (89,62)
Alto	0	57,07	0,39	<b>37,86</b>	0	4,68	Camb+Lat (94,93)
Médio	11,36	6,30	0,2	<b>81,96</b>	0	0,18	Lat+Arg (93,32)
Baixo	8,75	7,42	1,85	<b>65,18</b>	0	16,80	Lat+Arg (73,93)

Legenda: Os dados sombreados representam as classes de solos predominantes.

Fonte: Informações estimadas pelos autores desta obra (2023), a partir das publicações que se seguem: (1) Santos et al. (2015); (2) e (5) Mapa de solos de Minas Gerais; (3) EMBRAPA Solos –AP (2004); EMBRAPA Solos –TM (1982).

Organização: Costa, 2023.

Nas discussões realizadas neste trabalho, há um claro destaque para os recursos hídricos em relação às classes de solos. Além disso, há um capítulo que foi dedicado a esta importante relação dos recursos hídricos com os solos. Nessa discussão, incluíram-se outras classes de solos, mas os Latossolos foram sempre realçados pela sua importância em várias utilizações do recurso solo, incluindo-se a sua importância inquestionável nos recursos hídricos demandados por uma infinidade de atividades da sociedade.

O manejo dos solos e das águas deve ser considerado como um conjunto de tecnologias aplicadas com o objetivo de se obter a contribuição de ambos no sistema produtivo. Esse manejo será sustentável caso ele conserve ou melhore a capacidade do solo em desempenhar as suas funções nos ecossistemas. A conservação do solo tem sido confundida como sinônimo de práticas mecânicas de controle da erosão. Para uma compreensão adequada desse tema, é preciso conhecer bem a classificação, a gênese e a mineralogia do solo, a química, a biologia, a física e a sua fertilidade. Acrescentam-se a isso os aspectos climáticos e características das plantas cultivadas. Em condições naturais, os Latossolos dos Cerrados possuem propriedades físicas que não limitam o desenvolvimento das raízes, especialmente no início das atividades agrossilvopastoris.

### 5.1.2 Limitações causadas pela baixa fertilidade dos Latossolos

As principais limitações, comuns na maioria dos solos da região, são as decorrentes da elevada acidez, de alta saturação de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes. Desse modo, os esforços iniciais das pesquisas sobre o manejo desses solos, naturalmente, voltaram-se para resolução dos problemas de fertilidade e mecanização agrícola. No entanto, as pesquisas demonstraram que as propriedades físicas originais dos solos podem ser degradadas, e, como a natureza não é estanque, também as reações químicas do solo podem ser afetadas por suas propriedades físicas. Com as modificações na densidade do solo, a porosidade do solo se altera, e a drenagem da água fica mais lenta, podendo chegar ao acúmulo de água não drenada. Essa drenagem parcialmente interrompida promove redução no arejamento, tendo como consequência a redução do potencial redox, onde a drenagem se encontra deficiente.

Na Figura 5.1, a seguir, representa-se o manejo de solos do Bioma Cerrado por um grande X, no qual as limitações de fertilidade são muito altas e tendem a ser reduzidas ao longo do tempo de cultivo, pelas adições frequentes de fertilizantes e corretivos aplicados aos solos. Por outro lado, as propriedades físicas dos solos podem piorar, de maneira mais rápida quando se adota o uso intensivo do solo, muito comum no referido Bioma. A estabilidade da estrutura de cada solo pode controlar a velocidade com que as limitações são observadas. A referida figura é uma forma fácil e direta de entender como o manejo dos solos atua nas mudanças químicas e físicas dos solos sob cultivo. Certamente, apenas um X não pode representar todos os solos cultivados, partindo-se do princípio de que cada solo reage aos diversificados sistemas de manejo aplicados neles.

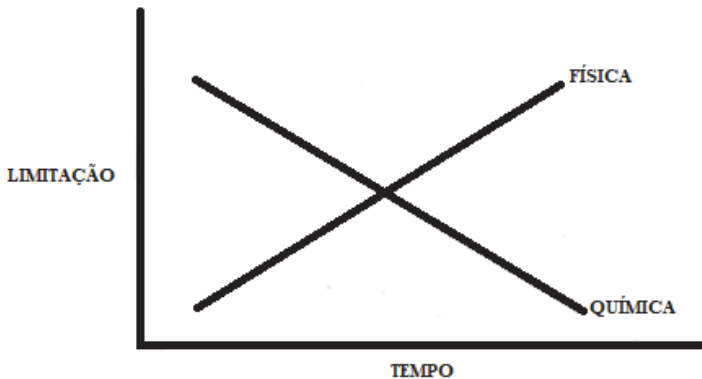


Figura 5.1 – Representação gráfica da degradação física e melhoria química dos solos distróficos do Bioma Cerrado

Fonte: Costa (1985) e Costa et al. (1996).

### 5.1.3 Atributos físicos dos solos

O arranjo das partículas primárias e agregados dos solos define uma geometria de poros e estabelece, dessa forma, as relações massa/volume em cada situação específica (classes de solos, horizontes, ambientes e manejo). Esse arranjo das partículas é fundamental para descrição das fases sólida, líquida e gasosa dos solos e suas inter-relações. A qualidade dos atributos físicos dos solos dos Cerrados pode deteriorar-se por processos relacionados a estresses mecânicos ou físico-químicos. No entanto, é possível afirmar que a grande estabilidade dos agregados dos solos dessa região tem possibilitado a instalação de uma agricultura intensiva sem danos ainda maiores ao ambiente. Nesses solos, os altos teores de óxidos de ferro e alumínio, agentes cimentantes de alta eficiência, na fração argila, exercem um papel fundamental na estabilidade desses agregados, que tem sido definida como a resistência dos agregados quando submetidos a qualquer agente desagregador.

O uso de calcário calcítico ou dolomítico pode proporcionar alterações na dinâmica de dispersão e floculação do solo. Quando se tem aumento do pH em solos álicos, pode ocorrer um distanciamento em relação ao ponto de carga zero. Isso promove modificações na dinâmica de cargas do sistema, o que poderá implicar na dispersão de um determinado percentual da argila do solo (JUCKSCH, 1987; GJORUP, 1992). Sabe-se que o efeito da calagem se restringe à profundidade de incorporação, onde a argila, uma vez dispersa, poderá movimentar-se em

profundidade até encontrar uma camada do solo onde o pH não foi afetado pela calagem e o  $Al^{3+}$  é mais alto – condição favorável à floculação da argila dispersa, causando assim obstrução dos poros do solo e aumento da densidade naquela posição do perfil (COSTA et al., 1996).

Proporções de partículas de diferentes tamanhos e formas que se ajustam contribuem significativamente para a formação de camadas adensadas (MALTONI, 1994). Esta autora encontrou correlações positivas e significativas para sete perfis de solos de cerrado entre a densidade aparente máxima estimada e os microagregados menores que 0,053 mm. Para a autora, esses microagregados contribuem para a elevação da densidade do solo por se alojarem nos poros, formados entre os agregados de maior diâmetro.

Nesses estudos, a morfologia dos agregados pode ter um papel muito importante. Quando submetidos às pressões e mudanças físico-químicas, a resposta da estrutura dos solos será, em última análise, por meio de modificações no seu espaço poroso e nas formas dos seus agregados, seja por ruptura ou dispersão de uma porção dos seus colóides. OLSZEWSKI (2000) estudou, por meio de um programa computacional, vários parâmetros relacionados à forma de agregados de um Latossolo Vermelho do município de Sete Lagoas-MG, submetido a diversos tratamentos. Entre os parâmetros analisados, estavam o índice de alongamento (relação entre o comprimento de menor eixo e o comprimento de maior eixo) e o índice de arredondamento. Os dados apresentaram uma tendência na qual os sistemas de manejo com menor revolvimento do solo apresentariam menores valores de alongamento e de arredondamento.

De acordo com Carvalho et al. (2014), a estrutura dos Latossolos confere a estes solos algumas peculiaridades quanto à retenção de água. Em um Latossolo Vermelho Distrófico de Sete Lagoas (MG), os autores verificaram que, em média, 79% da água foram retidas no interior dos agregados, e os 21% restantes, no espaço poroso interagregados, os quais permaneceram no sistema em valores apreciavelmente baixos de potencial. Segundo os autores, tal resultado confere a esses solos uma disponibilidade de água relativamente baixa para as plantas. As práticas agrícolas devem estar em sintonia com a manutenção da boa estabilidade estrutural desses solos, e, portanto, as indicações tecnológicas devem basear-se no conhecimento científico adquirido sobre as propriedades dos solos tropicais.

Outro ponto que merece relevo é a elevada adsorção de fosfatos em solos dos Cerrados, que cria uma demanda real de conhecimento sobre esse tema, que afeta a produtividade das plantas cultivadas nessas áreas. Acrescenta-se a isso uma demanda dos principais nutrientes para a produção de alimentos do modo como está sendo conduzida – isso tem

gerado muita inquietação no meio científico e no setor empresarial produtivo. Essa alta demanda associada à necessidade de importação desses insumos causa insegurança naqueles responsáveis pela produção agrossilvopastoril brasileira. Segundo Jucksch (1987) e Gjorup (1992), a correção do solo relacionada a uma possível dispersão das argilas dos solos, promovida pelo calcário, torna-se prática necessária, mas pode não ser benéfica. As adições frequentes de fertilizantes e corretivos aos solos precisam ser bem compreendidas, por meio de estudos básicos, para que os efeitos indesejáveis sejam muito pequenos ou insignificantes. Quanto mais intensivo for o uso e a ocupação dos solos, maiores serão os danos esperados.

A compactação ou adensamento de solos de pastagens cultivadas ou nativas já vem sendo notada porque, em muitas áreas, a produtividade das forrageiras vem diminuindo rapidamente. Sinais de degradação de pastagens são vistos com mais frequência, e a infiltração de água no solo tem-se reduzido, resultando em escoamento superficial de água e arraste de solo pela erosão. Com o adensamento ou compactação do solo, as áreas descobertas tornam-se cada vez mais endurecidas, chegando a não ocorrer cobertura do solo sem que haja intervenção do homem (COSTA; JUCKSCH, 1992).

## **5.2 Descrição da estrutura do solo**

A estrutura do solo tem sido definida como o arranjo de partículas primárias de areia, silte e argila, incluindo a matéria orgânica do solo, resultando em agregados, que, por sua vez, são classificados de acordo com o tipo, grau e tamanho. A descrição da estrutura deve ser muito criteriosa para que não se tenha surpresa desagradável a partir do momento que o solo passa a ser cultivado com o manejo diferenciado para os diversos cultivos. Quando se realiza uma descrição criteriosa, os dados poderão ser usados com o sucesso esperado no manejo adequado dos solos. O uso intensivo do solo tem sido adotado frequentemente e demanda muito cuidado para que não entre em processo de degradação acelerada. Cada solo tem uma capacidade de suportar as atividades impostas pelo tipo de cultivo, e a inobservância desse ponto pode gerar danos de difícil correção. No entanto, não é conveniente seguir mecanicamente os procedimentos estabelecidos nos manuais de descrição dos perfis de solos.

Com o objetivo de recordar, a estrutura é descrita quanto ao tipo – laminar, granular, blocos subangulares, prismática e colunar. Cada tipo tem semelhança com figuras geométricas que lhes emprestaram o nome. É improvável que se encontre no solo algum prisma ou qualquer outra figura geométrica típica. Quanto ao grau, a estrutura é descrita como fraca, moderada ou forte. Essa descrição não deve ser confundida com a

estabilidade dos agregados, contudo ela pode induzir, de algum modo, a esse tipo de entendimento os usuários das informações encontradas nas descrições de perfis contidas em relatórios de levantamento de solos, em dissertações e teses, bem como em artigos científicos. Durante a descrição de perfis, os encarregados dessa tarefa observam a nitidez dos agregados que foram identificados. Se não for possível identificar nenhum tipo de agregado, a amostra é denominada sem agregação. Quando for identificado algum tipo agregação na amostra, mas com pouca nitidez, a estrutura é classificada como fraca. No caso de estrutura muito pequena (< 1 mm) e pequena (1 a 2 mm) granular ou laminar, o observador pode ter dificuldades na identificação delas e também da nitidez dessas dimensões. Assim, sem usar algum tipo de lupa, esse trabalho pode ser prejudicado. Além disso, sem o auxílio da lupa, é possível confundir um microagregado como sendo agregados fragmentados provenientes daqueles de tamanhos maiores, equívoco que pode ser prejudicial aos usuários da informação que fica registrada e não merece o crédito. Essa condição precisa ser bem avaliada para não conduzir o usuário a erros na utilização da informação publicada sobre os solos de uma área a ser usada para cultivos. No caso da estrutura moderada, a nitidez dos agregados torna-se facilmente identificada durante a descrição, mas é possível observar uma porção de material não agregado. A estrutura forte tem agregados facilmente identificáveis e o material não agregado é mínimo. É necessário reforçar que, na estrutura granular pequena e muito pequena, as recomendações já apresentadas devem ser levadas em conta. A classe de estrutura é definida por meio de tamanhos em mm e classificada como muito pequena, pequena, média, grande e muito grande. Para o uso e a ocupação dos solos, a estabilidade da estrutura deve ser avaliada por meio de procedimentos confiáveis, que são realizados em laboratórios de Física do Solo, por meio de amostras indeformadas que precisam ser, cuidadosamente, obtidas em campo. A obtenção de amostra indeformável não é uma tarefa fácil, pois, durante a retirada da amostra, alguma deformação pode ocorrer, uma vez que é necessário introduzir o amostrador no local. Qualquer movimento que cause rearranjo do volume do solo, como as vibrações durante a retirada da amostra, precisa ser minimizado. Durante o transporte das amostras para os laboratórios, o rearranjo das partículas não agregadas torna-se inevitável. Dessa maneira, quanto maior a distância entre a área amostrada e o laboratório, podem-se esperar rearranjos da amostra. Amostras com número reduzido de agregados, ou constituídas preponderantemente por material não agregado, sem agregados, ou ainda aqueles em que predominam os grãos simples, são facilmente desarranjadas. Logo, o encarregado da amostragem deve ter conhecimento adequado para não cometer equívocos no momento de interpretar os resultados. Além disso, nas anotações de campo devem constar as possíveis fragilidades apontadas.

A descrição macro e micromorfológica da estrutura pode dar um grande suporte para a destinação de uso a ser dada às diferentes classes de solos. Por ser um procedimento de laboratório mais elaborado, a aplicação da micromorfologia tem sido reduzida. Espera-se mais evolução na avaliação da estabilidade da estrutura, para que se tenha mais segurança no momento de decidir quais o uso e a ocupação recomendados para cada cultivo a ser implementado para cada classe de solo.

Na Figura 5.2, a seguir, mostram-se as imagens obtidas pelo MEV de dois microagregados granulares de tamanho muito pequeno ( $< 1$  mm) de Latossolo Vermelho Distrófico. Usando-se a escala gráfica ou barra de cada imagem, os diâmetros estimados, da esquerda para a direita, são  $304 \mu\text{m}$  ou  $0,304$  mm e  $313 \mu\text{m}$  ou  $0,313$  mm, respectivamente. Esses dois microagregados têm forma muito bem definida no MEV, mas eles podem ser vistos em campo como material não agregado, uma vez que têm dimensões menores do que  $1/3$  mm. Nesse caso, a estrutura granular muito pequena pode ser descrita equivocadamente por limitação dos olhos humanos em relação à nitidez desses agregados.

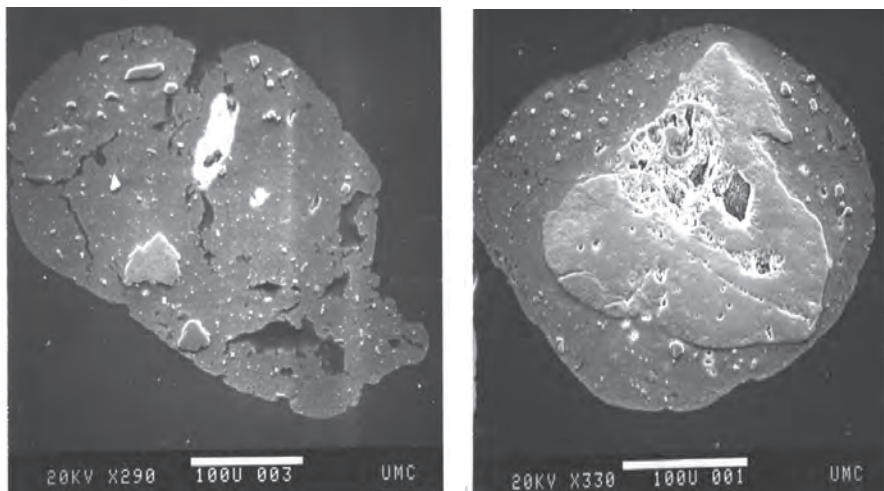


Figura 5.2 – Visão interna de um corte de microagregados de Latossolo Vermelho Distrófico do município de Capinópolis-MG

Legenda: imagens obtidas em microscópio eletrônico de varredura.  
Fonte: Costa (1988).

Passando para o interior dos agregados, nota-se a existência de partículas de tamanhos diferentes em sua constituição, que se espalham na matriz que, por sua vez, mantém os agregados sem se desfazerem. Essa matriz é constituída de uma mistura de óxidos de ferro, alumínio e argila silicatada, como a caulinita, que é encontrada com frequência nos Latossolos. Como pode ser observado na Tabela 5.2, o alumínio e o silício detectados na matriz originam-se da caulinita. O alumínio está presente, tanto em seus óxidos como na argila. Não foi obtido nenhum mapa microquímico da matéria orgânica por limitação do procedimento MEV-EDS.

A imagem da Figura 5.3, a seguir, mostra a distribuição de Si em um corte longitudinal de um microagregado, de tamanho muito pequeno, de um Latossolo Vermelho Distrófico de Capinópolis-MG. Cada ponto indica a presença do Si, que pode ser separado em quartzo na forma aproximada de um quadrado. Nos pontos mais espaçados, a concentração do Si é menor e pode estar na estrutura da caulinita, constituída principalmente de Al, Si e O. Ele ainda pode estar na forma de óxido amorfo. Essas formas misturadas na matriz de cada microagregado, juntamente com os óxidos de Fe e Al, são as responsáveis pela agregação dos solos. Nas áreas claras das imagens (Figuras 5.3 e 5.4), o Si e o Al são desprezíveis ou podem ser considerados como impurezas durante o corte dos agregados.

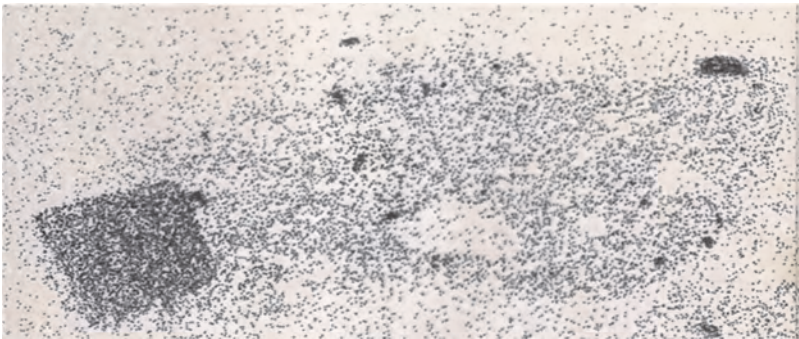


Figura 5.3 – Mapa microquímico de Si em seção cortada longitudinalmente em um microagregado de LVd: 400 X 150  $\mu\text{m}$

Legenda: área quase quadrada mais escura é identificada como um grão de quartzo.

Fonte: Costa (1988).



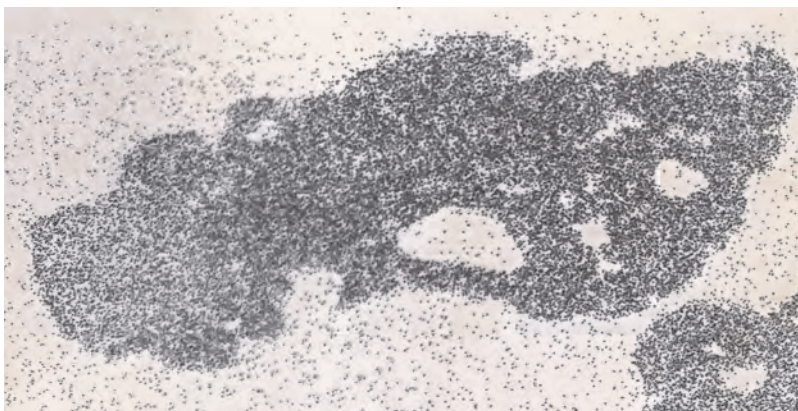


Figura 5.4 – Mapa microquímico de Al em secção cortada longitudinalmente em um microagregado de LVd: 400 X 150  $\mu$ m

Fonte: Costa (1988).

A descrição da estrutura dos Latossolos está reunida na Tabela 5.2 para o horizonte diagnóstico Bw desta classe de solo. Os Latossolos são muito homogêneos em vários atributos físicos e químicos, o que se confirma a partir das descrições colocadas na Tabela 5.2 Para ilustrar, apresenta-se esta afirmativa: “aspecto de maciça que se desfaz em pequena granular” (Embrapa, 1982; 2004). Os tipos de estruturas predominantes nos solos são maciça, granular e blocos subangular. Um ponto de grande relevância é o grau de estrutura quando se submete o solo ao uso intensivo. Quanto ao grau, a estrutura é classificada como fraca, moderada, forte e muito forte. Leva-se em conta a nitidez e a proporção de agregados em relação ao material desagregado. Na avaliação visual pode ocorrer algum equívoco sobre o material desagregado, considerado como agregados muito pequenos (< 1,00 mm), caso a estrutura seja granular, o que é muito comum em Latossolos. A estrutura de grau fraca é comumente encontrada em solos que têm horizonte B incipiente. Essa afirmativa não é consistente com a descrição encontrada nos horizontes Bw dos referidos levantamentos de solos.

Tabela 5.2 – Latossolos do Alto Paranaíba com destaque para o horizonte diagnóstico Bw – tipo, grau e tamanho da estrutura, incluindo-se altitude, relevo e mineralogia da fração argila

Solo	Bw	Ma- ça	Gran- lar	Bloco Su- bangular	Fraca	mp <sup>1</sup>	p <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	Alti- tude(m)	Relevo	Mineralo- gia
LVAw	X	X	X		X	X	X		1100	plano	Gb-Ox
LVAw	X	X	X		X	X	X		1080	plano	Gb-Ox
LVw1	X	X	X	X	X		X	X	800	plano	Kt
LVw1	X	X			X		X	X	780	plano	Kt
LVd4	X	X	X		X		X	X	820	sond <sup>4</sup>	Gb-Ox
LLVw3	X	X			X	X	X		935	sond	Gb-Ox
LVw3	X			X	X		X	X	983	sond	Gb-Ox
LVd	X		X		X	X			900	plano	Kt-Ox
LVj1	X	X	X		X	X	X		850	ondulado	Kt-Ox
LVwf1	X	X	X		X	X			880	sond	Gb-Ox
LVAw	X	X	X	X	X	X	X		1000	plano	Gb-Ox
LAw1	X	X			X	X			1000	plano	Gb-Ox
LAw1	X	X	X		X	X			1010	plano	Gb-Ox
LVd2	X	X	X		X	X		X	1120	plano	Kt-Ox
LVA6	X	X			X	X	X		700	plano	Kt
LVd4	X	X	X	X	X	X	X	X	960	plano	Kt

Legenda:<sup>1</sup>mp = muito pequena; <sup>2</sup> p = pequena; <sup>3</sup>m = média; <sup>4</sup>sond = suave ondulado; Gb-Ox = gibbsitica-oxidica; Kt = caulínica; Kt-Ox = caulínica-oxidica.

Fonte: Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais (2004).

Organização: Costa, 2023

Os Latossolos dos chapadões das duas bacias estão submetidos ao uso intensivo por aproximadamente 50 anos, quando se iniciou este procedimento denominado uso intensivo do solo com diversas culturas agrícolas anuais, incluindo-se também algumas culturas perenes. Os Latossolos têm sido utilizados, também, com pastagens plantadas e com reflorestamentos. Algumas tentativas de uso intensivo em outras classes de solos não foram bem-sucedidas, tais como em Cambissolos e Neossolos Litólicos. Isso não foi observado para os Neossolos Quartzarênicos, especialmente aqueles que ocupam relevo plano ou suave ondulado, onde o escoamento superficial de águas é reduzido. A retenção de água em solos arenosos é baixa, a menos que a fração areia predominante seja a areia fina (0,25 a 0,105 mm) e areia muito fina (0,105 a 0,053 mm). Sabe-se que

quanto menor o diâmetro da fração areia, menores serão os poros intergranulares ou entre grãos simples formados entre eles. As cinco granulometrias que compõem a fração areia podem resultar em grande número de combinações entre elas que são capazes de ajustarem-se por meio de preenchimento de espaços vazios que separam os grãos de sua vizinhança. A separação da fração areia pode ser feita utilizando-se grupos de peneiras de acordo com as exigências de cada trabalho específico. Contudo, a fração areia tem sido separada nas seguintes classes; areia muito grossa (2,00 a 1,00 mm); areia grossa (1,00 a 0,50 mm); areia média (0,50 a 0,25 mm), areia fina (0,25 a 0,105 mm) e areia muito fina (0,105 a 0,053 mm). Quando o solo tiver mais de 50% de areia, seria prudente subdividi-la nas cinco classes acima referidas. Todavia, a areia é separada em areia grossa (2,00 a 0,21 mm) e areia fina (0,21 a 0,053 mm) independentemente do total de areia de cada solo.

Na Tabela 5.2, obtiveram-se os dados do horizonte Bw do Relatório do Levantamento da Região do Alto Paranaíba (2004). Dos 16 Latossolos selecionados, apenas quatro têm mineralogia caulínica (Kt), nove em 16 apresentam mineralogia gibbsítica-oxídica (Gb-Ox), e os últimos três em 16 têm mineralogia caulínica-oxídica (Kt-Ox). Focando apenas na mineralogia da fração argila, os solos são separados em três grupos e espera-se que cada grupo responda diferentemente quando são submetidos ao uso agrícola intensivo. Observações de campo têm indicado que a estrutura dos solos oxídicos é mais estável e suporta os diversos estresses provenientes dos diferentes usos que são submetidos ao longo dos ciclos das plantas cultivadas. Outras considerações sobre mineralogia serão apresentadas posteriormente, neste capítulo. A estrutura maciça predomina sobre a granular e em blocos subangulares. A estrutura maciça assim como a denominada como grão simples têm sido utilizadas quando os solos não apresentam desenvolvimento de estrutura. Todavia, a distinção torna-se difícil quando se tem solos sem estrutura e estrutura fraca. Esses argumentos colocam em dúvida a classificação de estrutura maciça e fraca nos Latossolos descritos no Levantamento de Solos do Alto Paranaíba (Tabela 5.2).

Acredita-se que uma revisão nos procedimentos de descrição de perfil, em especial na descrição maciça e fraca, utilizados para os Latossolos seria muito útil para os futuros trabalhos de campo. Sem nenhuma exceção, a estrutura foi considerada de grau fraca e os tamanhos muito pequeno e pequeno são predominantes. Como já foram discutidos, esses tamanhos, quando observados a olho nu, podem levar a erros na descrição. Na Figura 5.2, que mostra o corte de dois microagregados de aproximadamente 300  $\mu\text{m}$  ou 0,300 mm, a morfologia é muito bem definida e não pode ser confundida como material não agregado. Dessa

forma, a descrição de estrutura a olho nu precisa ser reavaliada, mormente para os agregados granulares dos tamanhos pequeno e muito pequeno.

Essa mesma questão foi encontrada no Relatório do Levantamento do Triângulo Mineiro (Tabela 5.3). Dessa maneira, as observações podem ser estendidas para os Latossolos daquela área. No Relatório do Levantamento de Solos do Alto Paranaíba, foram identificadas, nos Latossolos, três tipos de mineralogia – Gibbsítica-Oxídica (Gb-Ox); Caulinítica-Oxídica (Kt-Ox) e Caulinítica (Kt) de 16 perfis. A altitude média dos oito perfis Gb-Ox em 16 perfis foi de 978,6 m. A mineralogia Kt-Ox foi encontrada em quatro perfis de 16, numa altitude média de 956,6 m, e a mineralogia caulínítica foi identificada em três perfis de 16, localizados numa altitude média de 810 m. Nota-se que há uma estratificação dos tipos de mineralogia em relação à altitude. O tempo de atuação da pedogênese está relacionado ao tempo de exposição de cada segmento da paisagem. Certamente, nas áreas mais elevadas, ela atuou por muito mais tempo e conduziu o solo a um estado mais avançado de intemperismo, que foi confirmado pelos tipos de minerais encontrados na fração argila. A altitude é um atenuante das condições climáticas locais e regionais. Assim, há uma expectativa de encontrar os solos em condições mais preservadas nas maiores altitudes. Na medida em que a altitude diminui, a participação da caulinita é maior nos Latossolos daquela área. Esse é um ponto que merece uma consideração especial, ou um alerta no manejo adequado dos solos, para que a degradação deles seja minimizada, pois, nos solos caulíníticos, ocorre uma redução na estabilidade dos agregados. Esse assunto será retomado na parte final deste capítulo. Essas observações são válidas para os Latossolos do Triângulo Mineiro.

Infelizmente, pouca ênfase tem sido dada à mineralogia nos trabalhos diretamente relacionados ao uso e manejo do solo e da água. Essa área tem valorizado muito a parte de Engenharia de Conservação do Solo e da Água, que focaliza muito as estruturas construídas para servirem de obstáculos físicos ao escoamento superficial das águas. Não se pode negar a importância das referidas estruturas, mas elas poderão funcionar ainda melhor quando o conhecimento adequado dos solos for adicionado a elas. Apenas para reflexão, é recomendável que, para conservar algo, se conheça bem o que se pretende conservar, neste particular, o solo. A sociedade atual é muito individualista, e a associação de profissionais tem ocorrido quando os interesses financeiros se tornam mais importantes do que os avanços científicos. No entanto, o sucesso financeiro de um profissional pode durar pouco tempo, enquanto o científico dura a vida toda.

Na Tabela 5.3, a seguir, encontram-se os dados coletados a partir do Relatório do Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade

dos Solos do Triângulo Mineiro (Embrapa, 1982). Nas duas últimas colunas, aparecem os índices de intemperismo  $K_i$  e  $K_r$  que se relacionam com a mineralogia da fração argila dos Latossolos. Caso haja interesse do leitor, esses índices podem ser usados para uma avaliação indireta da mineralogia dos Latossolos. Estão disponíveis na literatura, publicações que suportam essa afirmativa, como pode ser constatado no trabalho de Ferreira et al. (1999). Esses autores afirmam que, no grupo de sete Latossolos da região sudeste dos referidos solos, três são caulínticos, que apresentaram maior densidade do solo, menor estabilidade de agregados em água e menor permeabilidade em comparação com os quatro Latossolos gibbsínicos. Essas informações obtidas pelos citados autores auxiliam no entendimento da relação dos solos com os recursos hídricos.

Há uma considerável variação dos valores de  $K_i$  e  $K_r$  nos Latossolos do Triângulo Mineiro ( $K_i$ : 0,41 a 2,31;  $K_r$ : 0,35 a 1,40). Isso pode indicar variação na mineralogia de argila desses solos. Espera-se que esses solos apresentem diferenças na capacidade de suportar os estresses causados pelo seu uso e ocupação. Num total de 22 Latossolos do Triângulo Mineiro, 17 deles apresentaram  $K_i$  entre 1,16 e 2,31, e localizam-se em altitude média de 537 m, num intervalo de 390 a 910 m. Para os valores de  $K_i$  menores do que 1,00, a altitude média é de 876 m, entre 780 a 970 m. Apenas seis perfis de Latossolos encontram-se nesta situação. A altitude foi incluída nas duas tabelas porque, em maiores altitudes, o clima é amenizado, e a frequência dos ciclos de umedecimento e secagem é menor. Os referidos ciclos participam na formação de agregados, mas podem contribuir na ruptura de agregados por meio da expansão e contração deles. Pelos valores menores do  $K_i$  nas posições mais altas da paisagem, são esperados solos oxidícos que têm agregados mais estáveis, que, combinados às menores frequências dos ciclos de umedecimento e secagem, resultam em menor desagregação dos solos.

Nas duas Tabelas 5.2 e 5.3, os Latossolos do Alto Paranaíba e os do Triângulo Mineiro ocupam preferencialmente o relevo plano, mas são também encontrados em relevo suave ondulado. O uso e a ocupação desses solos são fortemente influenciados por essas duas classes de relevo. Este também é muito importante na redução do escoamento superficial, desde que esses solos não se encontrem fisicamente degradados e permitam que a água se infiltre regularmente.

Tabela 5.3 – Latossolos do Triângulo Mineiro com destaque para o horizonte diagnóstico Bw – tipo, grau e tamanho da estrutura, incluindo-se altitude, relevo e os índices Ki e Kr

Solo	Bw	Ma- ça- ça	Gra- nular	Blocos Suban- gular	Fraca	p <sup>1</sup>	p <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	Alti- tude(m)	Re- levo	Ki	Kr
LVAa1	X		X		X	X	X		900	plano	1,16	0,98
LVAa2	X		X		X		X		950	plano	0,97	0,72
LVAa3	X		X		nd	X		X	800	plano	0,72	0,59
LVAa4	nd		nd		nd		nd	nd	810	plano	nd	nd
LVAa2	X		X		X			X	970	sond <sup>4</sup>	0,41	0,35
LVd1	X		X		X	X			850	pl/ sond <sup>5</sup>	1,26	1,01
LVa1	X	X	X	X	X	X			380	sond	1,95	1,24
LVa3	X	X	X		X	X			480	plano	1,70	1,10
LVa1	X	X	X		X	X			480	sond	1,85	1,19
LVa3	X	X	X		X	X			450	sond	1,76	1,21
LVa3	X	X		X	X	nd	nd		480	plano	1,83	1,16
LVd4	X	nd	nd		nd	nd	nd		630	plano	1,68	1,04
LVa3	nd	nd	nd		nd	nd	nd		902	plano	nd	nd
LVa3	nd	nd	nd		nd	nd	nd	X	780	plano	nd	nd
LVd2	X			X	X	X	X		390	plano	1,95	1,39
LVa1	X	X	X		X	X		X	570	plano	2,12	1,22
LVa2	nd	nd	nd		nd	nd	nd		445	plano	1,29	0,92
LVd4	nd	nd	nd		nd	nd	nd		430	plano	1,75	1,07
LVd4	nd	nd	nd		nd	nd	nd		430	plano	2,28	1,54
LVd3	X	X	X		X	X			420	plano	1,81	1,10
LVa3	nd	nd	nd		nd	nd	nd		880	sond	0,90	0,81
LVd3	nd	nd	Nd		nd	nd	nd		910	sond	1,21	0,88
LVd2	nd	nd	nd		nd	nd	nd		592	plano	nd	nd
LVd2	nd	nd	nd		nd	nd			360	plano	nd	nd
LVd4	nd	X	nd		nd	nd			460	plano	2,31	1,40
LELR	nd	nd	nd		nd	nd			510	plano	nd	nd
LVd4	X	nd			X				570	plano	nd	nd
LVdf2	X	nd	X		nd				550	sond	nd	nd
LVdf1	X	X	X	X	X				480	plano	nd	nd
LVdf	X	X	X		X				560	sond	nd	nd
LVdf4	X	X	X		X				480	sond	Nd	nd
LVdf3	X	nd	X						480	sond	nd	nd
LVdf	X	nd	X						780	sond	0,86	0,36
LVdf2	nd	nd	nd		nd				380	plano	nd	nd
LVdf	nd	nd	nd		nd				850	plano	nd	nd
LVef1	nd	nd	nd		nd				427	plano	1,42	0,83
LVef	nd	nd	nd		nd				660	plano	nd	nd

Legenda: <sup>1</sup>mp = muito pequena; <sup>2</sup> p = pequena; <sup>3</sup>m = média; <sup>4</sup>sond = suave ondulado; nd = não determinado.

Fonte: Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Triângulo Mineiro (1982).

Organização: Costa, 2023

Nas análises granulométricas, enfatiza-se, especialmente, a fração argila, seguida pela fração silte, e, finalmente, alguma atenção tem sido dada à fração areia. A areia tem sido considerada como material quase inerte em muitos estudos de solos e isso tem passado de geração para geração. Essa visão tem servido de obstáculo para que o interesse pelo assunto seja cada vez menor. Nos solos de textura arenosa, a fração areia pode atingir de 90 a 95%. Pergunta-se: qual a proporção da areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina para cada solo arenoso? São inúmeras as possíveis combinações, e, com isso, espera-se que cada uma delas tenha característica própria. A morfologia de cada grão de areia deve ser levada em conta, ou seja, a proporção de grãos arredondados em relação aos arredondados. As proporções de cada grupo podem variar.

Essa discussão pode ser estendida aos agregados granulares dos Latossolos, quando se leva em conta apenas a morfologia. São encontrados neles uma mistura das diferentes frações do solo, como argila, silte e areia; logo, eles estão sujeitos à expansão e contração por meio de calor ou de umidade. Isso pode ocorrer com os grãos de areia de mesma dimensão dos agregados, de forma mais discreta, dependendo da mineralogia dos grãos de areia, cujas propriedades térmicas diferem entre os minerais. Os agregados são sólidos com poros intragranulares que podem sofrer deformações mais acentuadas do que os grãos de areia. As areias são sólidos bem mais compactos e não são porosas, exceto algum tipo de fratura, já que são formadas por minerais primários, como o quartzo e outros minerais, resistentes ao intemperismo que atua na formação dos Latossolos.

Tanto os agregados como os grãos de areia, de dimensões correspondentes, ajustam-se de forma semelhante durante a mobilização do solo. Em termos de morfologia, o ajuste depende apenas do tamanho e do grau de arredondamento da areia e dos agregados. Quanto maior a massa de areia, ou de agregados, por volume, maior será a densidade encontrada. A ruptura dos agregados é possível pelo choque entre os agregados e as partes cortantes dos implementos que mobilizam o solo. Essa situação é pouco provável quando tais choques ocorrem com os grãos de areia. Entretanto, a susceptibilidade a essa ruptura vai depender da mineralogia dos constituintes dos agregados. Para ilustração deste ponto, ressalta-se que os agregados de solos oxidícos são bem mais resistentes do que aqueles constituídos por argilas silicatadas, especialmente a caulinita, que é mais frequente nos Latossolos. Outras ilustrações serão apresentadas neste capítulo.

O desgaste das peças utilizadas para o revolvimento do solo é muito mais ativo em solos arenosos do que nos argilosos, porque o atrito da areia é muito maior do que dos agregados, cuja deformação alivia o atrito. Quanto mais esféricos forem os grãos de areia ou os agregados, menores

serão as áreas de atrito a serem vencidas. Assim, a ruptura dos agregados será menor devido aos reduzidos pontos de atrito. Esse aspecto tem importância na mobilização dos solos, pois o movimento de uma esfera sobre uma superfície demanda muito menos energia do que o movimento de um paralelepípedo do mesmo material com a mesma massa. Assim, o contato entre duas esferas é um ponto, ou mesmo uma área muito reduzida em relação à superfície das esferas que estão em contato, ao passo que, quando se considera um cubo ou um paralelepípedo com seis faces e arestas, elas apresentam uma enorme área de possíveis contatos. As áreas de contatos podem ser consideradas efetivas ou aparentes, conforme é discutido na Física. Essa separação é difícil de ser feita, o que dificulta tanto a explicação como o entendimento dos referidos tipos de contatos. As partículas de areia e os agregados dos solos são muito variáveis em morfologia na constituição química e mineralógica. Além disso, suas superfícies são muito irregulares, conforme pode ser observado na Figura 5.6 (ROCHA, 2012). Para a denominação dos tipos de estrutura, são utilizados corpos geométricos como grãos simples, laminar, granular, blocos subangulares e angulares, colunas e prismas. É evidente que os agregados se assemelham aos corpos geométricos regulares, que funcionam como referências apenas. A irregularidade pode ser observada na Figura 5.2. Quanto menor o tamanho dos agregados, mais difícil se torna a sua visualização a olho nu, podendo dificultar a descrição feita no trabalho de campo. As irregularidades observadas nos grãos da fração areia geram um grande aumento da superfície específica de cada grão, que, normalmente, serve de pontos de depósito das frações finas, como argila e matéria orgânica, que são os principais constituintes dos capeamentos encontrados nos referidos grãos. Esses capeamentos podem participar de várias reações físico-químicas, porque eles formam camadas pouco espessas que possibilitam grande contato com a solução do solo. Ao contrário, as partículas de argila, no interior dos agregados granulares dos Latossolos, são muito menos acessíveis, pois os poros encontrados nos microagregados têm diâmetro muito pequeno. Mesmo que a mineralogia da fração argila seja a mesma, a acessibilidade é muito diferente nas condições apontadas. A importância do capeamento dos grãos de areia é muito grande e precisa ser mais bem entendida. Assim, a remoção do capeamento por meio do manejo inadequado do solo poderá resultar em surpresas desagradáveis. As cavidades encontradas na superfície dos grãos de areia podem desempenhar papel de grande relevância na conservação do referido capeamento, que é relativamente pouco conhecido. Espera-se que isso seja tomado como alerta no manejo dos solos de textura média e arenosa.



### 5.3 Fração areia na constituição de solos: grãos simples e formação de agregados nos solos

Quando ocorre predominância da fração areia sobre silte e argila, parte dos grãos de areia pode ser descrito como grãos simples, com pouca associação com as partículas mais finas, que podem capear as superfícies dos grãos com uma camada muito fina. Não é conveniente chamar esse arranjo de agregado, porque o volume da referida camada pode ser considerado desprezível em relação aos grãos capeados. No entanto, não se pode negligenciar essa camada em termos de reatividade com a solução do solo que se encontra em contato íntimo uma com a outra. Além disso, a exposição dos constituintes da superfície capeada é muito maior do que se este material estivesse localizado no interior de um microagregado, que dificulta a entrada ou saída da solução do solo, cujo acesso é muito dificultado pelo predomínio de microporos sobre os macroporos.

Os grãos de areia capeados devem receber mais atenção de várias áreas da Ciência do Solo. Isso pode ajudar a entender a causa de baixas correlações de alguns atributos dos solos com o teor de argila total, sem levar em consideração a acessibilidade das partículas de argila que, supostamente, deveriam participar ativamente de algumas importantes reações, como a adsorção de fosfatos. Além da acessibilidade, a estabilidade da microestrutura de vários Latossolos não pode ser desconhecida. A composição e estabilidade do material, que forma o capeamento, merecem a atenção nos diversos estudos de solos. Os grãos de areia atuam como importantes suportes do capeamento encontrado neles. Por isso, a remoção natural ou promovida pelo manejo adotado nos diferentes usos do solo deve ser acompanhada cuidadosamente. Seria recomendada mais ousadia nos estudos de vários ramos da ciência, incluindo-se aqui a área de solos. Até o momento, uma fina camada das frações silte, argila e matéria orgânica, que constituem o capeamento dos grãos de areia, continua não atraindo a atenção daqueles que estudam solos. Com os avanços dos instrumentos utilizados em laboratórios, as possibilidades de observações cada vez mais detalhadas são consideradas quase infinitas. Para isso, é necessário que o ensino, nos vários níveis, deve priorizar o entendimento e não a memorização, que é largamente usada até nos programas de pós-graduação em nível de mestrado e doutorado. Copiar e colar são recursos muito usados na tecnologia de informação e podem ser muito úteis para a sociedade como um todo. Todavia, o seu uso nos diversos procedimentos científicos não deve ser adotado. Todo solo com mais de 50% de sua massa ou volume, representado pela fração areia, precisa receber mais atenção quando submetido ao uso agrícola, seja ele intensivo ou não. Para fazer parte de um agregado, o grão de areia deve ser menor do que o referido agregado. Quando ele tiver a mesma dimensão

do agregado, ele passa ser descrito como grão simples. Nem todo agregado é constituído pelas três principais frações do solo – argila, silte e areia. Nos Latossolos com estrutura granular pequena e muito pequena, os grãos de areia encontrados são também de dimensões compatíveis com tamanhos acima citados.

Algumas ilustrações de tamanhos e morfologias de grãos de areia foram adicionadas a este capítulo por entender-se que elas possam ajudar na compreensão deste texto. As imagens foram obtidas por meio de microscópios ótico e eletrônico de varredura. As imagens permitem ao leitor observar detalhes que nem sempre são devidamente descritos com palavras. Na Figura 5.5, nota-se a diferença de tamanho, uniformidade e grau de arredondamento de grãos de areia. A desuniformidade dos grãos permite um arranjo mais compacto dos solos arenosos, e isso pode influenciar no movimento da água através desses solos, por meio dos poros formados entre os grãos simples. O diâmetro dos poros depende da granulometria da fração areia, e quanto mais fina ela for, menores serão os poros intergranulares. O transporte dos grãos pela água ou vento ou por implementos que removem o solo depende do tamanho, da constituição mineralógica dos grãos, do atrito entre os grãos e do seu grau de arredondamento.

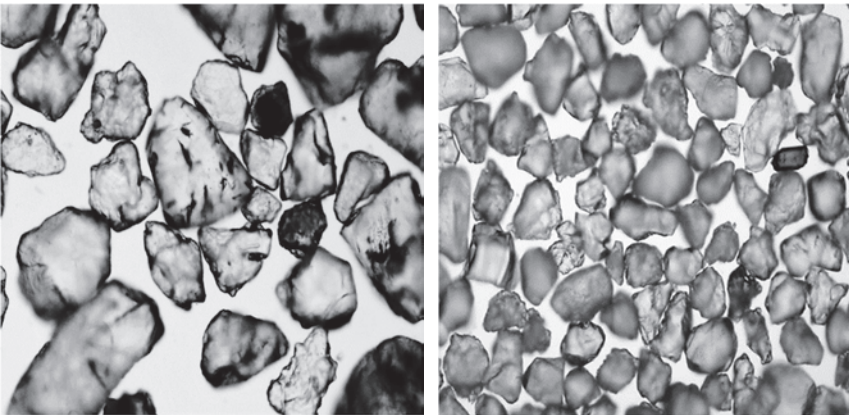
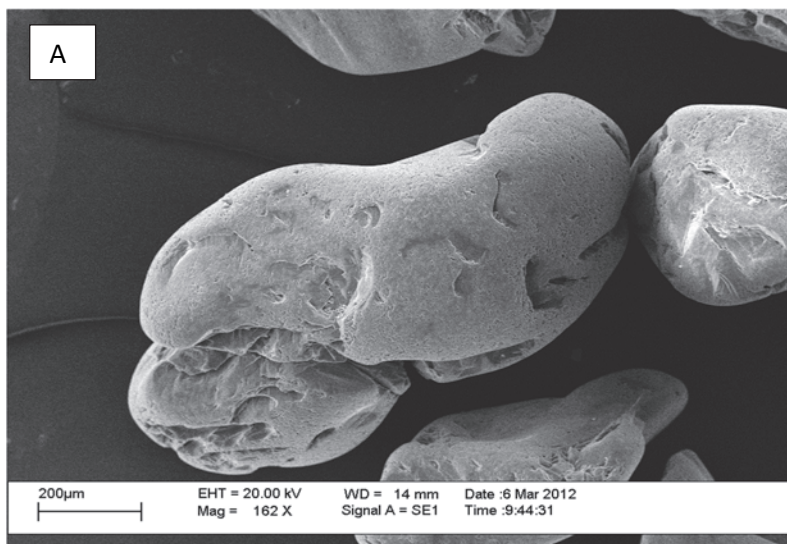


Figura 5.5 – Morfologia dos grãos de areia provenientes de Neossolo Flúvico das margens do rio Araguaia, município de Xambioá-TO

Fonte: Costa (2009).

Um aspecto muito importante a ser considerado na análise dos grãos de areia refere-se à superfície deles. Para isso, o uso da microscopia eletrônica de varredura (MEV) é indispensável. Algumas imagens são apresentadas para evidenciar a paisagem dessas superfícies. As imagens

obtidas pelo MEV demonstram que a superfície é muito desuniforme, e as depressões são distribuídas irregularmente, cuja profundidade é muito variável. Mesmo não havendo um padrão das depressões na superfície dos grãos, elas representam um aumento considerável na superfície específica de cada grão. Essas reentrâncias podem ser preenchidas com partículas de silte, argila e matéria orgânica, que são os constituintes do capeamento, já discutido anteriormente. As depressões voltadas para a superfície do solo são capazes de armazenar a água, que se movimenta em profundidade. Além da forma da depressão, pode ocorrer retenção de água pelas partículas finas da camada de capeamento. Em última análise, elas podem ser consideradas como poros externos dos grãos de areia. Essas feições na superfície dos grãos podem ser denominadas como depressões, reentrâncias ou poros. As imagens da Figura 5.6 – A, B e C – demonstram que elas fazem parte da fração areia e não devem ser ignoradas nos estudos, em especial dos solos de textura arenosa (ROCHA, 2012). É importante destacar, na Figura 4-C, o detalhe das cavidades alongadas na superfície imageada, cuja escala gráfica ou barra é de apenas 10  $\mu\text{m}$ . Na superfície aparentemente lisa, quando se aumenta a magnificação no MEV, são notadas inúmeras cavidades alongadas que são capazes de armazenar partículas de argila fina ou água. Essa visão ampliada da superfície pode ser muito importante para entender o capeamento nas cavidades muito estreitas e alongadas, bem como sua importância na sustentação da microbiota e de suas relações com a macrobiota dos solos arenosos.



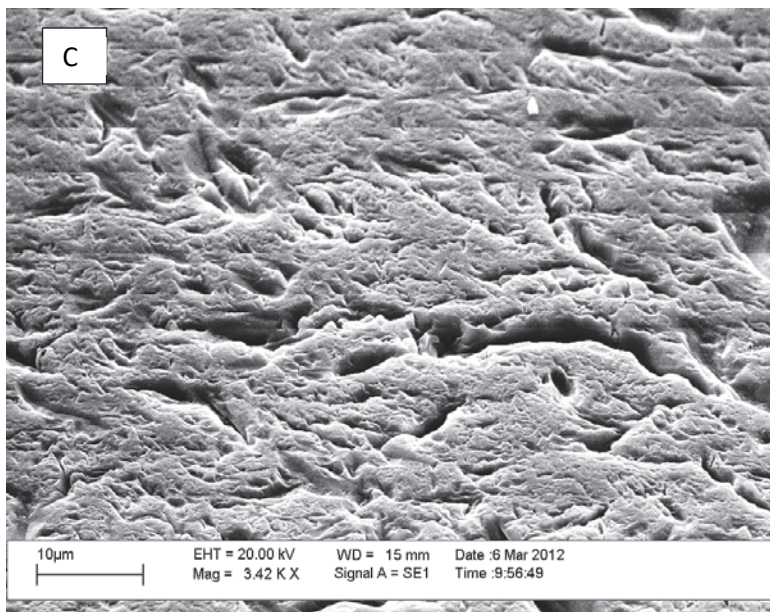
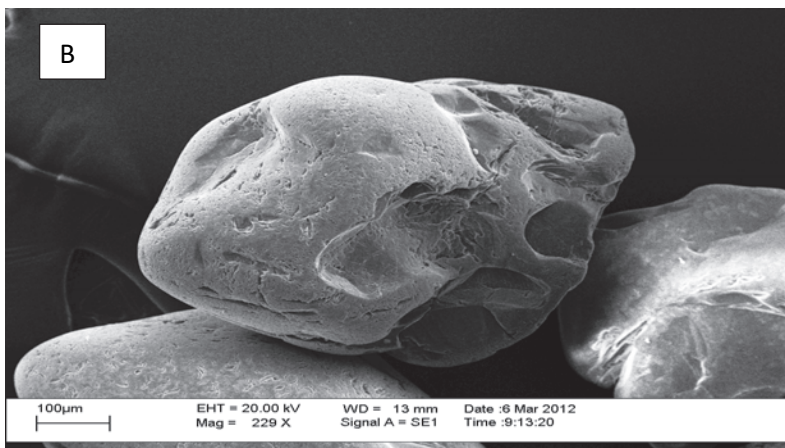


Figura 5.6 – Visão exterior de dois grãos de areia (A e B) e detalhamento de uma área menor, com cavidades alongadas na superfície do grão de areia, proveniente de um Espodossolo do município de Guarapari-ES (C)

Legenda: imagens obtidas em microscópio eletrônico de varredura.

Fonte: Rocha (2012).

Pode-se observar, na Figura 5.7, a seguir, sem remoção do capeamento, que as reentrâncias se encontram parcialmente preenchidas pelas partículas das frações finas, anteriormente discutidas. Os filamentos estendidos na superfície do grão de areia foram identificados como bactérias filamentosas no trabalho de pesquisa de Rocha (2012). A remoção das superfícies capeadas por descuido ou desconhecimento da importância desta película pode inviabilizar o crescimento de plantas em solos arenosos, de um modo geral, ou nos solos de restingas que recebem adições contínuas de alguns nutrientes provenientes da evaporação da água salgada do mar. Ou, ainda, naqueles locais onde as ondas podem atingir, os nutrientes chegam diretamente pela elevação das ondas em determinados períodos do dia ou das estações do ano. É importante ressaltar que, nos procedimentos analíticos de laboratórios, o capeamento pode ser removido, mesmo que seja parcialmente. Dado o desconhecimento desta camada, formada naturalmente, os laboratórios não se importam com a remoção ou não dela. Pode afirmar-se que pouco ou nada é conhecido sobre a sua importância, e isso conduz a um descaso daqueles que têm dedicado algum tempo aos solos de textura arenosa.

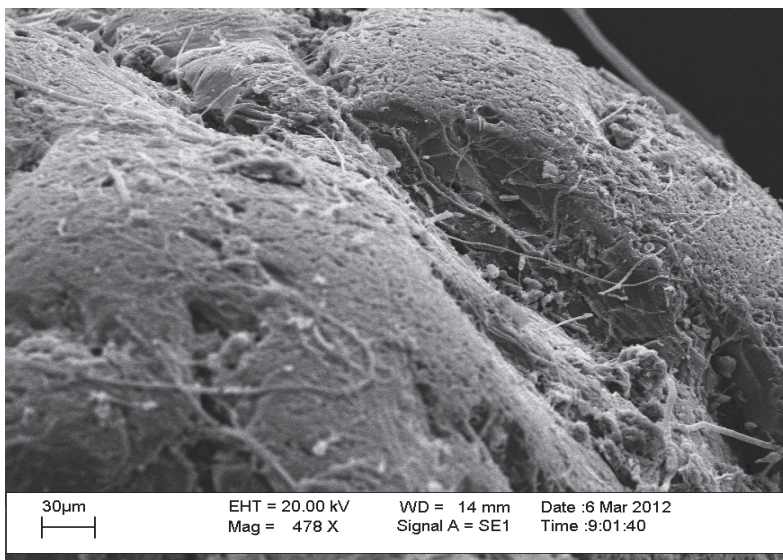


Figura 5.7 – Visão externa de uma parte de um grão de areia, sem remoção do capeamento, proveniente de um Espodossolo do município de Guarapari-ES

Legenda: imagem obtida em microscópio eletrônico de varredura.

Fonte: Rocha (2012).

Apesar de se observar um descaso em relação aos solos de textura arenosa, em 2017, realizaram-se a V Reunião Paranaense de Ciência do Solo e o II Simpósio Brasileiro de Solos Arenosos, com o seguinte tema: *Solos de Arenito: usos, desafios e sustentabilidade*. Essa iniciativa é digna de registro porque propiciou a discussão de temas importantes relacionados ao uso e ocupação dos solos desenvolvidos dos arenitos. As rochas sedimentares cobrem aproximadamente 75% dos continentes e, por esse motivo, são muito importantes como material de origem da maior parte dos solos. Há uma estreita relação dos solos de textura arenosa com os arenitos, quartzitos e sedimentos arenosos. Por sua vez, os arenitos representam 15% das rochas sedimentares. No entanto, a fração areia dos solos origina-se a partir das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. A morfologia dessa fração tem relação estreita com as rochas que lhes deram origem. Os grãos de areia dos solos originados de rochas ígneas ou metamórficas são muito mais arestados, especialmente nos solos formados nas proximidades dessas rochas. Neste caso, o transporte dos grãos de areia foi muito reduzido.

Na Geologia, as areias e os arenitos têm recebido muito destaque em diversas publicações, como nos livros e nos artigos científicos. Há uma grande disponibilidade de textos sobre as rochas sedimentares. Entre as obras, existe um texto clássico sobre areias e arenitos publicado por Pettijohn et al. (1972). Entende-se que a Ciência do Solo poderia seguir os passos da Geologia, dedicando-se mais tempo aos solos de textura arenosa.

Os solos arenosos têm sido discriminados dos demais solos por serem considerados de baixa aptidão agrícola. Por essa razão, esses solos são destinados ao uso e ocupação por atividades menos nobres. Esse preconceito da comunidade científica precisa ser reavaliado para que os referidos solos possam ser melhor entendidos por meio de trabalhos científicos realizados nessa classe de solos. Espera que esta discussão possa atrair a atenção dos estudiosos de solos.

#### **5.4 Estrutura de solos argilosos**

Como já foi mencionado anteriormente, a estrutura do solo é constituída pelo arranjo das partículas do solo e do espaço poroso entre elas para a formação dos diferentes tipos, tamanhos e graus dos agregados. Ela tem sido considerada como uma das propriedades mais importantes dos solos. Os solos argilosos são menos densos do que os arenosos, já que estes últimos são constituídos, principalmente, por minerais primários resistentes, como o quartzo ou outros minerais com alta resistência ao intemperismo. Por outro lado, os agregados são formados por minerais

secundários organizados na sua matriz constituída de óxidos de ferro e alumínio, bem como das argilas silicatadas, matéria orgânica e grãos das frações silte e areia irregularmente distribuídos na matriz argilosa (Figura 5.2). Essas combinações de partículas, de variados tamanhos e diferentes minerais, possibilitam a formação de poros intragranulares.

Tanto os minerais secundários como a matéria orgânica e os poros contribuem para a redução da densidade dos solos argilosos. Algumas plantas cultivadas não conseguem romper horizontes ou camadas a partir de determinados valores de densidades. Dependendo da profundidade onde a alta densidade for detectada, isso pode limitar o volume de solo explorado pelas raízes, além de bloquear o fluxo de água em profundidade. Pode antever-se que o déficit hídrico ocorra e o armazenamento de água no solo fique restrito pelo aumento da densidade do solo. As densidades que restringem o rompimento pelas raízes variam entre plantas, ou, até mesmo, entre variedades da mesma espécie. Em solos arenosos, as plantas rompem camadas de densidades maiores do que nos solos argilosos, porque os poros entre os grãos de areia predominam sobre os poros no interior dos grãos, que podem ser considerados desprezíveis. Como foi discutido, os grãos de areia apresentam depressões ou reentrâncias ou poros superficiais ou periféricos (Figura 5.6). Essas cavidades, quando preenchidas com partículas muito finas, podem causar uma ligeira redução na densidade do solo, mas pode não ser detectada pelos métodos usuais de determinação dessa densidade.

As fotos das Figuras 5.8 (A e B), obtidas por meio de lupa binocular com aumento de quatro vezes e registradas por Batista (2022) em amostras de Latossolo Vermelho Eutroférico típico, ilustram as formas predominantes dos agregados com nitidez suficiente para serem classificados como grau forte. Conforme já foi mencionado, as formas dos agregados somente assemelham-se com as figuras geométricas típicas de fotografias ou de objetos encontrados frequentemente. Assim, os agregados granulares são semelhantes às esferas, e os blocos angulares e subangulares são parecidos com paralelepípedos com arestas distintas ou com arestas deformadas, respectivamente. A estrutura das duas amostras pode ser classificada primeiramente como granular forte, entretanto, com uma observação mais demorada e atenta, é possível classificá-la secundariamente como blocos subangulares. Em resumo, a estrutura das duas amostras pode ser descrita como granular/subangular de grau forte. Quanto menores os tamanhos dos agregados, maior será a necessidade de usar-se uma lupa de bolso de boa qualidade ou uma lupa binocular, que pode ser encontrada em laboratório de solos.



Figura 5.8 - (A e B) – Estrutura granular de um Latossolo Vermelho Eutroférico típico

Legenda: amostra peneirada entre 2,00 a 0,4 mm.

Fonte: Batista (2022).

Depois de feitas algumas considerações sobre a importância da descrição da estrutura, com ênfase em Latossolos, a próxima etapa a ser considerada é a estabilidade dos agregados dos diferentes Latossolos brasileiros, cuja importância começa pela sua predominância em área quando comparada com as demais classes de solos. É indiscutível a sua importância para a sociedade em suas inúmeras atividades de uso e ocupação desses solos. Esses dois destaques são mais do que suficientes



para que todos tenham consciência da importância de manter os Latossolos produtivos. A agricultura praticada em grande escala localiza-se predominantemente nesses solos, portanto de grande importância econômica e social para o País. As descrições macro e micromorfológicas são fundamentais para dar o suporte necessário às diversas áreas da Ciência do Solo. Muitas informações já foram obtidas nesta matéria, mas são esperados mais avanços na avaliação da estabilidade da estrutura durante os trabalhos de descrição realizados no campo. De um modo geral, os procedimentos utilizados em Física do Solo são demorados e, em muitos casos, caros, porque dependem de equipamentos igualmente caros. Com base nos citados entraves, a busca por procedimentos alternativos, no sentido positivo do termo, precisa ser atendida para que as avaliações de atributos físicos possam ser realizadas com maior rapidez e com custos que não afastem os clientes dessa importante função técnico-científica.

## **5.5 Informações obtidas pela experimentação**

A degradação dos atributos físicos tem sido constatada em vários tipos de usos e ocupação dos solos. Depois de constatado um problema, o normal é que sejam realizadas medições por intermédio de instrumentação apropriada. Com os dados em mãos, é necessário que eles sejam interpretados criteriosamente para a busca de solução para o problema que se deseja resolver. Cada etapa deve cumprir seu papel para que a correção seja alcançada. Fazer um diagnóstico correto demanda muito conhecimento teórico e prático para que seja recomendada a maneira mais adequada.

A Física do Solo deve ser o ponto de partida para solucionar duas questões principais, isto é, a redução na infiltração de água nos solos cultivados e nas áreas urbanizadas e o escoamento superficial das águas. Estes são dois problemas intimamente relacionados que causam grandes prejuízos nas atividades agrossilvipastoris. As perdas de quantidade e da qualidade desses dois componentes dos ecossistemas terrestres – solo e seus nutrientes e água – é uma ameaça constante à sobrevivência humana e dos demais seres vivos vegetais e animais que coabitam o planeta Terra. Grande parte da população mundial não tem a devida compreensão do tamanho e das consequências que as perdas de solo e água poderão causar para tudo que depende direta ou indiretamente de ambos. A conscientização das pessoas sobre a necessidade de preservar esses dois recursos naturais é tarefa primordial, pois todos dependem deles diariamente para sobreviverem.

Algumas ilustrações, relacionadas à baixa velocidade de infiltração de água no solo, serão apresentadas aos leitores. No capítulo sobre a amostragem de solos para a avaliação dos atributos físicos, explicitou-se que as dificuldades são muitas para essa avaliação, que só ocorre em casos

especiais. Essas avaliações dependem de pessoal treinado para a escolha dos locais para a retirada das amostras. Os procedimentos de laboratório são lentos e, normalmente, têm custo alto. Na maior parte do tempo, os laboratórios de Física do Solo são usados para trabalhos de pesquisa. Além disso, há uma perceptível falta de tradição na avaliação física dos solos cultivados.

A redução na velocidade de infiltração pode ser constatada no campo por meio do empoçamento das águas de chuva ou em áreas irrigadas nos canais dos terraços e/ou entre os terraços, o que pode ser observado logo após as chuvas de alta intensidade. Canais de terraços com água empoçada, por muito tempo, são fortes indicadores de alto escoamento entre os terraços, evidenciando que a velocidade de infiltração da água nos canais é muito baixa. Outro ponto que pode auxiliar no diagnóstico de redução na infiltração da água no solo é a desuniformidade das plantas cultivadas. As diferenças em seu crescimento podem indicar que elas estão sob algum tipo de estresse, por exemplo, o sistema radicular estar confinado por camada de solo adensada ou compactada. No campo, o aumento da densidade do solo em áreas compactadas pode ser avaliado por meio de algum tipo de penetrômetro ou penetrógrafo.

Outra forma de determinar a densidade dos solos é por meio de anéis volumétricos, obtendo-se um volume conhecido de solo que será relacionado à massa da amostra coletada. Para retirada de um volume de solo, ou para medir a resistência ao penetrômetro, o solo deve estar com umidade próxima à capacidade de campo. Tanto a resistência como o volume de solo são muito influenciados pelo teor de água no solo.

A degradação física do solo avaliada pelos meios acima citados pode indicar que o solo está mal manejado ou que a estabilidade da estrutura não é capaz de suportar o grau de estresse ao qual o solo encontra-se submetido. O solo pode ainda ter sido excessivamente utilizado.

### 5.5.1 Avaliação da estabilidade da estrutura do solo

A estabilidade dos agregados tem sido definida como a resistência dos agregados quando submetidos a qualquer agente desagregador ou distúrbio de diferentes tipos e intensidades. O uso de amostras secas ou imersas em água tem sido utilizado para avaliar a resistência dos agregados, simulando efeitos das diversas práticas adotadas no cultivo das plantas para o atendimento das demandas cada vez mais diversificadas da sociedade. A simulação deve ser simples, rápida e facilmente executável. Seria desejável que algum tipo de simulação a ser criada pudesse ser realizada durante a descrição morfológica feita no campo. Apenas para ilustração, a mecanização agrícola torna-se cada vez mais complexa pela disponibilidade de diversos tamanhos de máquinas e seus respectivos

implementos. Elas se movimentam sobre o solo para o cumprimento de inúmeras tarefas necessárias para que a produção seja alcançada. Além disso, os indispensáveis insumos utilizados na produção agrossilvopastoris não podem ser negligenciados. Cada planta cultivada tem suas exigências para que a produção não seja prejudicada no atendimento das necessidades dos consumidores. Não há razão em citar todas as etapas que entram no processo produtivo de cada planta, porque esse não é o escopo deste texto. No entanto, o consumidor precisa entender o grau de complexidade desse processo para que um dado alimento possa chegar à sua mesa. Isso porque um consumidor consciente pode contribuir para reduzir o desperdício dos alimentos e todos os gastos necessários em sua produção.

O cultivo do solo é um gerador de estresse ao ambiente de diferentes magnitudes. A avaliação do solo cultivado, por um dado período de tempo, deve ser considerada como maneira interessante de compreender a capacidade do solo de suportar os distúrbios a ele aplicados. Para adotar esse procedimento, o histórico de uso do solo deve estar mais próximo possível da forma como o solo foi cultivado durante o mais longo período de tempo. Usar essa situação como um grande experimento pode falhar, se as informações do histórico de uso não forem confiáveis. Desse modo, para aumentar a confiabilidade, o histórico deve ser rigorosamente registrado, se possível por pessoa com conhecimento adequado para desempenhar essa função. A criação de tabelas bem planejadas para facilitar os registros dos dados pode ser muito útil na compreensão da dinâmica de uso e ocupação dos solos de uma propriedade de um município ou de uma área mais extensa. Essa forma alternativa de avaliar as modificações de solos causadas pelo uso não satisfaz os requisitos adotados pela experimentação tradicional, que recomenda os trabalhos em condições controladas em vasos, em casas de vegetação ou em pequenas áreas experimentais. Indo um pouco além, a publicação de um trabalho realizado em tais condições, consideradas insatisfatórias pelos critérios adotados pelos periódicos especializados, teria pouca chance de ser publicado no formato de artigo científico.

Com relação ao histórico, é possível recuperar pelo menos parte dele por intermédio dos proprietários ou daqueles que trabalharam por um longo período na mesma propriedade agrícola. Esse tipo de registro vivo pode ser de grande utilidade na avaliação do uso, manejo e conservação do solo e da água numa dada área.

A avaliação denominada alternativa pode resultar em informações tão importantes quanto aquelas adquiridas pela experimentação tradicional, uma vez que ela visualiza a propriedade como um todo. Todavia, é importante que fique claro que não se pretende avaliar

qualquer trabalho que não seja realizado com a devida seriedade. A palavra alternativa tem sido imprópriamente usada para outras finalidades. A avaliação dos atributos físicos dos solos tem sido desestimulada por ser muito demorada e trabalhosa e por ter rendimento, na pontuação dos órgãos avaliadores, praticamente desprezível. A pontuação é toda feita por meio de número de artigos publicados formalmente, mesmo que a qualidade não seja reconhecida pelos pares. Os índices de impacto dos periódicos foram criados com o objetivo de corrigir as possíveis distorções, contudo têm recebido algumas críticas bem elaboradas – que não devem, porém, servir para se voltar à avaliação apenas numérica.

#### 5.5.1.1 Avaliação da estabilidade de agregados de solo para o uso, manejo e conservação do solo e da água

Se o leitor precisar de mais detalhes sobre os métodos analíticos, recomenda-se que busque as informações no *Manual de método de análise de solo da Embrapa Solos* (Teixeira et al., 2017). A estrutura e a textura têm recebido muita atenção ao longo deste capítulo e da obra como um todo. É inquestionável a contribuição das várias áreas da Ciência do Solo para utilização do recurso solo no Brasil. Todavia, ainda há muita estrada a ser percorrida. As interfaces do solo com a água e os recursos hídricos têm demandas concretas para aqueles que se dedicam a essa importante matéria.

A estabilidade de agregados tem sido avaliada por meio de peneiramento úmido e seco. Normalmente, recomenda-se a retirada de blocos no horizonte ou na camada que será avaliada, mantendo-se a estrutura indeformada. Depois de seco à sombra, o bloco é peneirado entre as malhas de 9,52 e 4,76 mm. Para a análise, retira-se uma subamostra dos agregados retidos na malha 4,76 mm para serem pré-umedecidos com água destilada. As amostras são mantidas por 2h em dessecador com atmosfera saturada. A seguir, os agregados são colocados em um grupo de peneiras de 2,0; 1,0; 0,5; e 0,105 mm e mergulhados em água por 15 minutos de agitação lenta, conforme Yoder (1936). Essa metodologia é clássica e considerada padrão e vem sendo citada até o momento em inúmeras publicações sobre esse importante tema.

Apesar de seu uso contínuo por mais de oito décadas, o esforço desagregador e o tempo da agitação parecem ser mais adequados aos solos de climas temperados. Para os solos tropicais, especialmente para os Latossolos, essas duas condições devem ser reavaliadas, uma vez que eles têm estrutura com alta estabilidade, exceto quando a caulinita é dominante na fração argila, especialmente nos Latossolos Amarelos. Como prova desta afirmativa, tem-se um grande experimento nos Latossolos do Bioma Cerrado, que começaram a ser cultivados há

aproximadamente cinco décadas. Ao longo desse período, o uso intensivo desses solos tornou-se prática comum. Isso não quer dizer que esses solos não tenham degradação de seus atributos físicos. Se a estabilidade da estrutura dos Latossolos fosse inferior àquela que eles apresentam, o estado de degradação desses solos teria chegado ao ponto de inviabilizar parte da agricultura intensiva que se pratica neles. Esta afirmativa não deve servir como argumento para continuar no mesmo ritmo de uso desses excepcionais solos. Deve-se deixar um grande questionamento desta matéria. Até que ponto esses solos serão capazes de suportar essa forma de usá-los?

Permita-nos fazer uma comparação com a rotina diária de uma residência, onde se tem muitos objetos com diferentes susceptibilidades à quebra como aqueles feitos de vidro e de cristal. Os choques bem leves podem trincar esses objetos que ainda podem prestar para enfeites, quando a trinca puder ser escondida. À medida que o poder destrutivo do choque aumentar, os objetos podem ser fragmentados em alguns pedaços e podem ser reconstituídos por meio de algum tipo de cola ou um agregante qualquer. Em caso de choques mais energéticos, os objetos vão ser fragmentados em muitos pedaços. Seria possível reconstituir um objeto nessas condições? Em resumo, seria possível reconstituir um solo altamente fragmentado pelo seu uso inadequado? Essa não parece ser uma escolha recomendada.

O emprego da agitação horizontal na avaliação da estabilidade de agregados de cinco solos da região sudeste foi estudado na dissertação de mestrado Carvalho (1991). Esse procedimento foi adotado mais tarde por Jucksch (1987) e depois por Souza (2017). Carvalho (1991) testou a estabilidade da estrutura de zero a 3h de agitação em agitador horizontal para avaliar a desagregação em relação à agitação feita em 200 ciclos por minuto. Ao terminar cada tempo de agitação, a suspensão foi passada em um grupo de peneiras de 1,0; 0,5; 0,25; 0,105; e 0,053 mm. A partir dos dados, o autor confeccionou um gráfico, comparando a desagregação dos diferentes solos estudados nos horizontes A, Bw e Bi (Figuras 5.9 e 5.10). Essas duas figuras ilustram como os solos reagem a diferentes tempos de agitação e quanto mais inclinada for a linha, menor é a estabilidade da estrutura do solo. No horizonte A, a matéria orgânica interfere na estabilidade dos agregados. Os solos LE e LV são oxidícos e mais resistentes à desagregação, mas o LA, reconhecidamente caulínítico, apresentou estabilidade entre os dois Latossolos oxidícos. Nesse caso, a matéria orgânica pode ter sido mais eficiente na estabilização da estrutura. O Latossolo Una e o Cambissolo, predominantemente caulíníticos, tiveram uma estabilidade bem menor do que os outros solos. Em uma área reflorestada, foi constatado que o Cambissolo estava muito compactado

ou adensado; por esse motivo ele foi incluído no trabalho de dissertação do Carvalho (1991). No trabalho de campo, esse solo foi classificado como Latossolo por ter um perfil bem semelhante aos Latossolos. Ele foi mudado para Cambissolo depois que os dados analíticos foram devidamente discutidos. Para o horizonte B, ocorreu uma separação de dois grupos de solos, os oxídicos (LV e LE) e os caulíníticos (LA, C e LU). Nos horizontes Bw e Bi, a interferência da matéria orgânica é bem menor, e a mineralogia da fração argila passa a ser o fator dominante da estabilidade dos agregados.

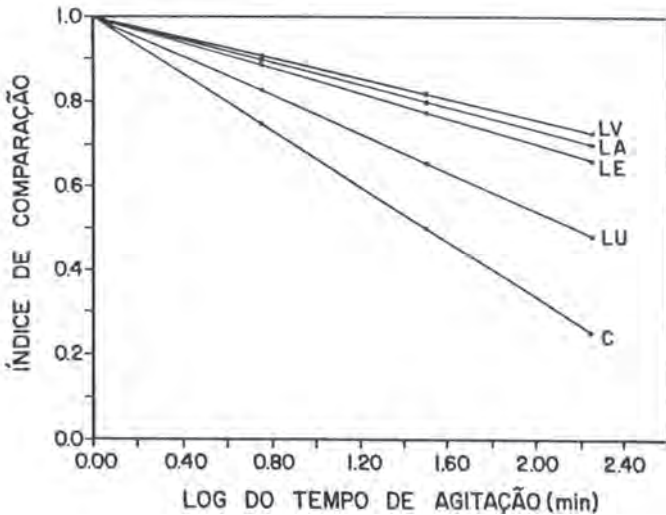


Figura 5.9 – Índices de comparação obtidos pelo método de agitação horizontal I para o horizonte A dos solos estudados

Legenda: Latossolo Vermelho-Amarelo (LV); Latossolo Una (LU); Latossolo Vermelho-Escuro; Latossolo Amarelo (LA) e Cambissolo (C). Antilog 2.40 = 251 minutos.

Fonte: Carvalho (1991).

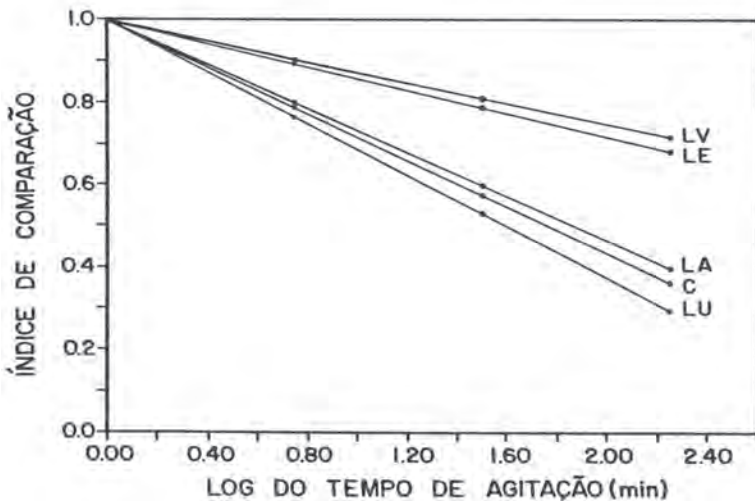


Figura 5.10 – Índices de comparação obtidos pelo método de agitação horizontal I para o horizonte B dos solos estudados

Legenda: Latossolo Vermelho-Amarelo (LV); Latossolo Una (LU); Latossolo Vermelho-Escuro; Latossolo Amarelo (LA) e Cambissolo (C). Antilog 2.40 = 251 minutos.

Fonte: Carvalho (1991).

No trabalho de dissertação feito por Souza (2017), a estabilidade de agregados determinada por via úmida seguiu o procedimento utilizado por Jucksch (1987), com poucas adaptações. Foram adicionadas 30 g de amostra de solo em recipientes plásticos com 200 mL de água deionizada que foram agitados por 3h a 40 hertz em mesa agitadora. O agitador horizontal utilizado por Jucksch (1987) foi regulado para 200 oscilações por minuto. Depois de terminado o tempo de agitação, a suspensão foi peneirada através dos seguintes diâmetros da malha: 1,00 mm; 0,50 mm; 0,25 mm; 0,105 mm; e 0,053 mm. Cada um desses intervalos constituiu um intervalo de classes de agregados. A estabilidade de agregados por via seca foi feita como o realizado por via úmida, porém sem nenhuma adição de água, e foram estabelecidas as mesmas classes de agregados.

Nota-se que nesse procedimento, a agitação é muito mais intensa, e o tempo de contato solo-água é muito maior quando se compara com a agitação lenta durante apenas 15 minutos, preconizados por Yoder (1936). As amostras com pouca desagregação podem ser consideradas de alta estabilidade, porque o sistema adotado por Carvalho (1991), Jucksch (1987) e Souza (2017) é muito mais desagregante do que o método clássico de Yoder (1936).

## 5.5.2 Alguns efeitos do uso do solo em seus atributos físicos

Com o uso da agitação das amostras de solos em água por 3h, combinado com um sistema de alto poder desagregador, Souza (2017) separou, por meio de um jogo de peneiras, cinco classes de agregados entre 2,00 e 0,053 mm. Foi quantificado o material que passou pela peneira de 0,053 mm (silte + argila). Seus resultados ilustram bem a estabilidade dos agregados de três Latossolos, contendo 10 horizontes, cujos resultados foram 23,19; 23,14; e 34,32%, que passaram pela peneira de 0,053 mm, sendo que a maior desagregação ocorreu no Latossolo Vermelho Amarelo caulínico. Os outros dois são Latossolos oxídicos que apresentam alta estabilidade dos agregados. Os resultados dos dois Neossolos foram 40,57 e 64,20%, e, no único Cambissolo, os resultados de desagregação atingiram 71,68%. Desse modo, a desagregação foi maior no Cambissolo, seguido pelos dois Neossolos. Os três Latossolos apresentaram desagregação bem mais baixas do que as outras classes de solos.

Esse procedimento de alto poder desagregador foi utilizado por Souza (2017), Jucksch (1987) e Carvalho (1991). Os resultados obtidos pelos três autores foram promissores, principalmente para os Latossolos, mas eles ficaram restritos em seus trabalhos de mestrado e não foram divulgados em periódicos da área de solos.

Souza (2017) submeteu as mesmas amostras à agitação por meio de via seca. Esse sistema não foi capaz de discriminar os solos como aconteceu na agitação por meio de via úmida. A desagregação completa do material que passou pela peneira de 0,053 mm foi muito mais baixa para os seis perfis e os 20 horizontes contidos neles. Apenas em um horizonte atingiu-se 12,86% de desagregação. A média de desagregação de todos os horizontes atingiu 3,82%. Essas informações foram muito úteis para se compreender a diferença de erodibilidade entre as três classes de solos, localizados em Lagoa Formosa-MG, no Alto Paranaíba.

Segundo Ferreira et al. (1999), a caulinita e a gibbsita são os constituintes que mais influenciam as propriedades físicas dos Latossolos do sudeste brasileiro. Desse modo, os Latossolos caulínicos têm maior densidade de solo, menor estabilidade de agregados em água, menor macroporosidade e menor permeabilidade em comparação com os Latossolos gibbsíticos. Essa informação vem sendo confirmada por trabalhos que relacionam a mineralogia da fração argila com a estabilidade da estrutura. Há uma tendência de se generalizar a informação de que os Latossolos oxídicos têm mais estabilidade do que os caulínicos. Em estudos da degradação dos atributos físicos, a mineralogia pode dar um grande suporte nas conclusões a serem obtidas em diversos tipos de experimentação. Há cinco décadas, Moura Filho e Buol (1972) afirmaram



que a mineralogia da fração argila de um Latossolo Roxo eutrófico (Latossolo Vermelho Eutroférico) do Triângulo Mineiro tem como minerais dominantes: caulinita, óxidos de ferro, material amorfo aos raios-X, gibbsita, óxidos de titânio e material intergradacional.

Na Figura 5.11, nota-se a diferença de respostas dos dois Latossolos quando foram submetidos a pressões crescentes (SILVA et al., 2007). O LA predominantemente caulinitico sofre mais o efeito da pressão quando comparado com o LV. Isto confirma os resultados obtidos por Ferreira et al. (1999). Essa é mais uma evidência da importância da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas dos solos cultivados.

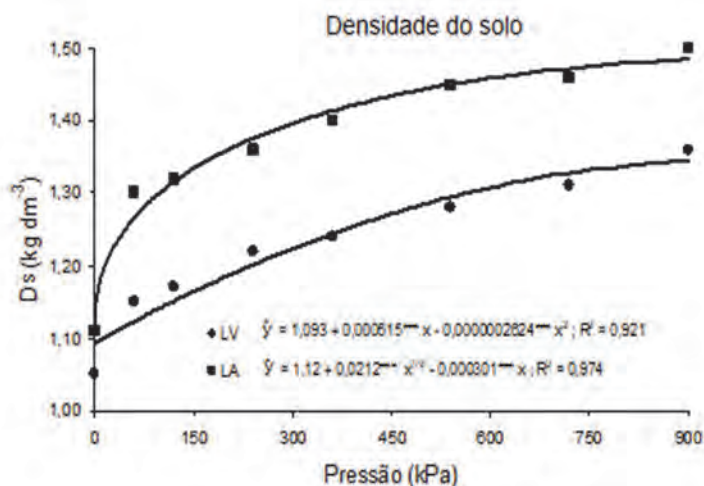


Figura 5.11 – Densidades de dois Latossolos submetidos a diferentes pressões

Fonte: Silva et al. (2007).

A figura 5.12 mostra o perfil da resistência do solo à aplicação de carga sobre ele. Isso simula o trânsito de máquinas na superfície, especialmente na época da colheita e transporte da madeira para a sua remoção posterior para o local onde ela será utilizada. Antes de discutir o aumento da resistência do solo pela carga aplicada, é importante perceber que, na testemunha, existe uma resistência apresentada por uma curva com formato semelhante às demais curvas, cujo solo recebeu os tratamentos da aplicação das cargas. A maior resistência localiza-se entre 5 e 15 cm de profundidade. Essa compactação certamente vai dificultar o fluxo vertical da água, tanto para cima como em sentido inverso. A partir

das curvas de resistência à penetração, espera-se um acúmulo localizado de água que vai reduzir a velocidade de infiltração e aumento do escoamento superficial e da erosão hídrica, que prejudica os recursos hídricos tanto na qualidade como na quantidade.

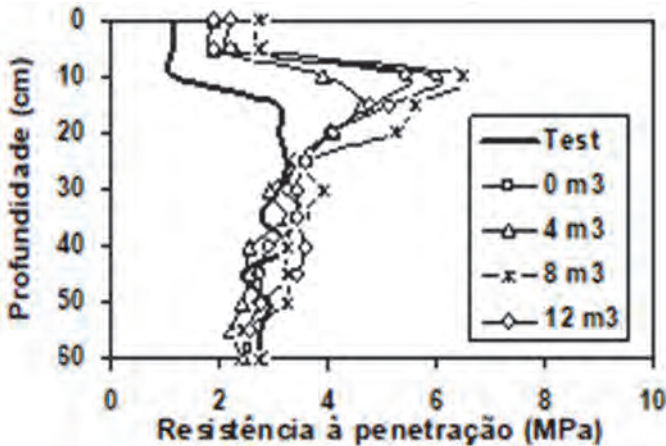


Figura 5.12 – Efeito da carga (0 a 12 m<sup>3</sup> de madeira) na resistência do solo à penetração

Fonte: Silva et al. (2007).

## 5.6 Argila dispersa em água e sua importância no manejo da estrutura dos solos cultivados: curto histórico sobre os estudos da dispersão de argila pela calagem

No início da década de 1980, foi realizada uma avaliação das propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de soja em uma extensa área de aproximadamente de 36000 ha na Fazenda Itamarati, localizada no município de Ponta Porã-MS. Havia um convênio entre a Universidade Federal de Viçosa e a Fazenda Itamarati para desenvolvimento de tecnologia para alguns aspectos da cultura da soja, como melhoramento genético, controle de plantas espontâneas, irrigação, fertilidade do solo e manejo e conservação de solo e da água. Este último item ficou sob a responsabilidade do Professor Liovando M. da Costa. O trabalho inicial focou-se em observações como morfologia do sistema radicular das plantas de soja e das plantas espontâneas. A deformação das raízes foi utilizada como a primeira evidência de degradação física dos solos cultivados. Observou-se, nos

canais de terraços, o acúmulo de água que ocorria pela baixa velocidade de infiltração. Em alguns locais, havia água acumulada ao longo de todo o ciclo da cultura. Isso causava a morte das fileiras de soja semeadas no canal dos terraços de base larga. O efeito imediato era a redução na produtividade da soja. Observou-se, também, empocamento entre os terraços que indicava áreas degradadas fisicamente. Abriam-se minitrincheiras entre 0-40 cm de profundidade para se observar a distribuição do sistema radicular das plantas. A restrição ao aprofundamento das raízes indicava que o solo apresentava densidade acima da capacidade das plantas de romperem o obstáculo encontrado. Essa condição se comprovou por meio de uma faca de pedólogo usada para avaliar a resistência do solo à penetração da ponta da faca. A profundidade da camada compactada ou adensada estendia-se de 10 a 25 cm. Além de restringir a penetração das raízes, ela tinha um papel principal de reduzir o fluxo de água em profundidade. Assim, a camada de 0 a 10 cm saturava-se de água, e o escoamento superficial dela era inevitável. Esse aspecto serviu para compreender a causa do acúmulo de água no canal dos terraços, acima referidos. Essa era uma situação que influenciava diretamente os recursos hídricos daquela propriedade e de suas proximidades. Apesar de a fazenda estar localizada no Mato Grosso do Sul, as informações coletadas ajudam concretamente nas questões dos recursos hídricos relacionados às classes de solos submetidas ao uso intensivo em qualquer local do Brasil, cujos olhos se assemelham aos daquela localização.

Com o apoio da administração da fazenda, lançou-se o desafio de reduzir ao mínimo possível o escoamento superficial das águas de chuvas ou da irrigação. Para ilustrar, a irrigação chegou a 7000 ha, por meio de pivôs centrais. Essa área irrigada permite avaliar a enorme demanda por água naquela época. Para atender à demanda de água, era necessário estabelecer formas para reduzir o escoamento superficial das águas das chuvas e da própria irrigação. Os pilotos das aeronaves agrícolas notavam que, naquela localidade, as águas dos rios eram menos turvas do que nos rios localizados entre a fazenda Itamarati e Campo Grande-MS. O administrador da fazenda citou que, em um período de 90 dias sem chuva, a água captada para irrigação não teve efeito observável no nível dos rios que forneciam a água para a irrigação. Esse é um caso concreto da capacidade do solo de agir como um enorme filtro da água de escoamento interno da água que se infiltra e aflora nos mananciais e leitos dos rios. Com o aumento do escoamento interno dos solos cultivados, reduz-se o escoamento superficial que produz uma grande carga de sedimentos que é lançada nos cursos de água. O escoamento superficial de água é causador de perdas tanto na quantidade como em qualidade de água.

Após a identificação do problema, por meio de observações de campo, que são feitas visualmente e avaliadas de forma mais simples e adaptadas às condições de campo, o próximo passo é a medição pelos equipamentos que podem ser levados ao campo. Ou ainda, são retiradas amostras que são analisadas em laboratórios de Física do Solo. Estes não são encontrados nem na fazenda Itamarati, mesmo com toda a infraestrutura existente naquela ocasião. Na sequência, surgiu o trabalho de Rosa Júnior (1984), que avaliou as alterações nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) e um Nitossolo Vermelho Eutrófico (NVe), ambos encontrados na fazenda Itamarati. Nesse trabalho, avaliaram-se a densidade do solo, a distribuição de poros e a análise de agregados. Essas análises evidenciaram, especialmente no LVdf, que houve redução do grau de floculação ou aumento da argila dispersa em água e aumento dos teores de cálcio e magnésio trocáveis nas camadas superficiais. Fez-se uma pergunta: Porque ocorreu aumento da argila dispersa em água no LVdf? A camada superficial está sujeita a várias modificações por intermédio de adições de insumos necessários para manter ou aumentar a produtividade. Além das adições, essa camada está em contato direto com a atmosfera que é muito dinâmica e variável em termos de umidade, temperatura, velocidade do vento e a radiação solar. Os íons provenientes dos calcários e dos fertilizantes substituem o alumínio dos sítios de troca de cargas dos solos. Elementos como cálcio, magnésio e potássio são agentes dispersantes em relação ao alumínio, uma vez que possuem maior raio iônico hidratado, além de aumentarem a espessura da dupla camada difusa, podendo ser responsáveis pela menor floculação desses solos.

Sabe-se que os solos com elevada saturação de alumínio trocável, anteriormente denominados álicos, são distróficos e precisam ser corrigidos quimicamente para atingirem alta produtividade. Por serem solos pobres, eles demandam adição de fertilizantes e corretivos com maior frequência. Com a necessidade do uso intensivo do solo, essa frequência passa ser ainda maior. Com base no aumento dos teores de cálcio e magnésio trocáveis na camada superficial obtidos por Rosa Júnior (1984), surgiu a necessidade de estudar o efeito da calagem no aumento da argila dispersa em água. Esse foi o trabalho desenvolvido por Jucksch (1987), realizado um pouco depois da pesquisa desenvolvida por Buttieres (1980). Nesse trabalho, estudou-se o efeito de calcário e de fosfato de potássio no ponto de carga zero e no grau de floculação de três solos do Rio Grande do Sul. Os dois tratamentos reduziram o grau de floculação. Em várias reuniões da Ciência do Solo, as duas dissertações foram muito criticadas, porque os críticos aprenderam que o cálcio e o magnésio trocáveis são floculantes, e, por esta razão, não seria possível aceitar a calagem como

uma forma de dispersar as argilas do solo, causando danos na estrutura dos solos. A calagem eleva os valores de pH, que, por sua vez, aumenta as cargas pH dependentes que podem alterar o PCZ. Assim, a calagem altera o balanço de cargas do solo, afetando a dispersão do solo.

Após vários anos de discussão, alguns críticos conseguiram entender, ainda que parcialmente, a razão da dispersão provocada pela calagem. Depois de um entendimento mínimo necessário, alguns profissionais da área repetiram, em laboratório, os trabalhos anteriormente realizados e, rapidamente, enviaram seus achados para publicação. Essa é apenas mais uma das ocorrências no meio científico. Esse assunto foi apresentado em dois seminários, um na Universidade de Missouri-Columbia em 1988 e o outro, alguns anos depois, na Universidade da Flórida, em Gainesville nos EUA, por Costa, orientador de Jucksch (1987). Não se espera dispersão de argila em resposta à calagem e adubação em regiões onde não são encontrados Latossolos com alta saturação por alumínio ou distróficos. Desse modo, esse não é um problema encontrado naquele país. A audiência nas duas universidades não questionou nem criticou o que foi apresentado. Com uma boa fundamentação teórica, o entendimento da dispersão parcial de argila contida nos agregados ou entre eles não causou nenhum tipo de comentário desnecessário. Apesar da demora, a compreensão da dispersão de argila pela calagem foi incorporada no conhecimento da Ciência do Solo no Brasil. Ela não acontece em todos os solos, mas nos distróficos com alta saturação de alumínio trocável ela pode ocorrer. Ninguém duvida que a aplicação de calcário seja recomendada para os solos ácidos. Os carbonatos são instáveis em meio ácido e são dissolvidos nesta condição com a liberação de cálcio e magnésio, que deslocam o alumínio trocável que vai ser precipitado quando o pH estiver entre 5,5 a 7,5. O alumínio trocável é trivalente e apresenta alto poder de floculação e passa para a forma precipitada. O poder de floculação dos cátions segue a relação  $(1/val)^6$ :  $(1/1)^6 = 1$ ;  $(1/2)^6 = 0,015$  e  $(1/3)^6 = 0,00137$  ou  $100 : 1,5 : 0,13$ , mono, bi e trivalente, respectivamente. Essa relação mostra a importância da valência no poder floculante dos cátions. Isso ilustra muito bem o poder floculante de solos com elevada saturação de alumínio trocável em equilíbrio com a solução do solo, que são naturalmente bem floculados. Contudo, quando alumínio é trocado por cálcio, ou magnésio, ou ambos, ocorre uma redução no poder floculante de um cátion trivalente por um ou dois que são bivalentes com menor poder de floculação – neste caso, ocorre dispersão parcial da fração argila. A argila na camada que recebe o calcário move-se em profundidade, e, em contato com a camada que não recebeu o corretivo, vai ocorrer floculação pelo predomínio do alumínio trocável que exerce seu poder floculante. Nessa situação, começa a obstrução dos poros do solo e inicia-se a formação de uma camada com maior densidade, que tem sido chamada, equivocadamente, de pé de grade ou pé de arado.

A pressão causada pelas peças de revolvimento do solo pode causar compactação com o aumento da densidade do solo. É plausível que o adensamento causado pela dispersão e floculação das partículas da fração argila possa estar associado à pressão promovida pelas partes revolvedoras do solo acima referidas. Essa camada dificulta o movimento vertical da água e o crescimento do sistema radicular das plantas cultivadas e das espontâneas. Quanto maior for a dispersão da argila de um solo, mais susceptível à degradação ele se torna.

Os solos distróficos e álicos são muito comuns no Bioma Cerrado, e, por isso, para cultivá-los, a adição do calcário é indispensável. A recomendação do calcário precisa ser bem refinada para que as doses indicadas não sejam exageradas a ponto de causar a dispersão, com as consequências apontadas neste capítulo. A argila dispersa em água movimenta-se em suspensão preferencialmente através dos macroporos, onde o fluxo de água é mais rápido, reduzindo o escoamento superficial das águas.

A capacidade de troca de cátions é classificada como permanente ou pH-dependente. Esta última origina-se pela dissociação dos grupos hidroxilas das argilas silicatadas e dos óxidos de ferro e de alumínio. Elas podem ocorrer nas hidroxilas encontradas em compostos orgânicos. A CTC pH-dependente é muito importante nos solos tropicais, onde predominam a caulinita e os óxidos de ferro e alumínio, bem como a matéria orgânica. Quando se adiciona calcário ao solo, tais cargas aumentam com a elevação do pH. Antes de se adicionar o calcário, existe uma dada proporção de cargas negativas e positivas. Geralmente, o número de cargas negativas é maior do que as positivas, e, por isso, os solos, em sua maioria, são eletronegativos. O balanço de cargas tem grande significado na dispersão/floculação dos solos. Para isso, tem sido determinado o ponto de carga zero (PCZ), que é o pH no qual as cargas negativas igualam-se às cargas positivas. Neste ponto, ocorre o máximo de floculação. Uma forma direta de determiná-lo é medir o pH em  $H_2O$  e o pH em  $KCl$  1 mol/L, onde o  $pHKCl - pHH_2O$  obtém-se o ( $\Delta pH = pHKCl - pHH_2O$ ). Quando o  $\Delta pH < 0$ , o solo tem predomínio de cargas negativas sobre as cargas positivas. Se o  $\Delta pH > 0$ , o solo é eletropositivo, cuja frequência é muito baixa. Para  $\Delta pH = 0$ , o  $pHKCl = pHH_2O$ , neste caso, o valor é denominado de ponto de carga zero. A dispersão de solos é afetada pela mineralogia da fração argila, pelo teor da matéria orgânica, especialmente a sua fração mais ativa, a calagem, a adição de fertilizantes fosfatados, a sílica amorfa e os ciclos de umedecimento e secagem, relacionados às condições climáticas locais, assim como o manejo da irrigação.

O trabalho de Rodrigues Netto (1996) destaca a mineralogia da fração argila de dez Latossolos do Brasil, onde foram identificados e quantificados os seguintes minerais: Hematita (0,0 a 24,2%); Goethita

(2,1 a 40,0%); Gibbsita (0,0 a 47,5%) e Caulinita (11,8 a 85,1%). Os PCZ desses solos variaram de 3,8 a 5,8, e os menores resultados foram encontrados nos solos com as maiores porcentagens de caulinita. Os menores valores de PCZ foram encontrados nos dois Latossolos Amarelo distróficos, cuja porcentagem de caulinita ficou entre 83,7 e 85,1%. Já o maior valor de PCZ foi encontrado no Latossolo Vermelho distrófico, cuja soma de Hematita (16,3%) + Goethita (16,3%) + Gibbsita (32,0%) = 64,6%, e a caulinita apenas 11,8% (Tabela 5.4). Espera-se que essa combinação de óxidos e caulinita resulte em agregados com grandes diferenças de estabilidade. Os Latossolos oxidícos têm apresentado agregados com maior estabilidade do que os seus pares caulíníticos. Esse aspecto será discutido novamente neste capítulo.

**Tabela 5.4 – Ponto de carga zero (PCZ) e composição mineralógica da fração argila**

Solo	PCZ	Ht	Gt	Gb	Kt
		------(%)-----			
LV	5,0	24,2	9,0	23,2	22,9
LV	4,6	20,8	2,1	0,1	68,7
LV	5,8	16,3	16,3	32,0	11,8
LV	4,8	10,3	11,6	47,5	19,0
LVA	4,7	0,0	40,0	9,7	40,9
LVA	4,7	1,2	22,3	1,4	66,2
LVA	5,1	0,6	20,6	11,4	61,6
LVA	4,5	1,6	13,1	23,9	53,2
LA	4,1	0,0	5,8	0,0	85,1
LA	3,8	0,0	6,7	0,0	83,7
PV	4,3	0,0	29,4	0,9	63,8
PA	4,3	0,0	2,0	0,0	87,1

Legenda: LV – Latossolo Vermelho; LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; LA – Latossolo Amarelo; PV – Argissolo Vermelho; PA – Argissolo Amarelo; PCZ –Ponto de Carga Zero; Ht – Hematita; Gt – Goethita; Gb – Gibbsita; Kt – Caulinita.

Fonte: Rodrigues Neto (1996).

## Considerações finais

Inicialmente, este capítulo deveria tratar apenas da estrutura dos solos, mas, ao longo da redação, surgiu a ideia de se incluírem imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície dos grãos de areia. A superfície deles observada nesse tipo de microscópio tem impressionado muito pelas depressões, reentrâncias, cavidades e poros na periferia dos grãos. Essas observações geraram alguns comentários que podem ser úteis para aqueles que têm dedicado algum tempo estudando os solos de textura arenosa. Tais superfícies são cobertas por uma fina camada que recebe o nome de capeamento, que, por sua vez, deveria ser mais bem estudado.

O tempo dedicado à estrutura foi generoso e não deveria ser diferente. A descrição tem evoluído muito, mas essa estrada é longa e precisa ser percorrida, o mais rápido possível, para embasar o uso intensivo do solo iniciado na década dos anos 1970, especialmente nos solos do Bioma Cerrado. A estrutura é incluída na descrição morfológica dos perfis. A ela junta-se a descrição micromorfológica, que tem dado uma boa contribuição para que a estrutura possa ser cada vez mais bem compreendida. Esses avanços têm recebido o suporte de instrumentos mais avançados de laboratórios. Para se chegar aos instrumentos mais modernos, é necessário que se conheça bem os desafios que são encontrados quando são deixadas, por algum tempo, as salas climatizadas.

A disponibilidade de instrumentos cada vez mais avançados não deve servir de justificativa para não se visitarem os locais onde se põem em prática os conhecimentos adquiridos nas universidades, nos centros de pesquisas e na experiência diária dos produtores, que têm dado uma inquestionável contribuição aos avanços da agricultura tropical brasileira. O sucesso dessa agricultura deve ser compartilhado entre todos os diretamente envolvidos nessa tarefa: as universidades, os centros de pesquisas e todos os produtores, independentemente do tamanho de suas propriedades rurais. Ademais, aconselha-se que não se rotule apenas um ou dois segmentos da sociedade como os responsáveis pelo referido sucesso, de modo que o individualismo pessoal ou institucional seja sempre questionado.

A grande estabilidade dos agregados dos solos dessa região tem possibilitado a implantação de uma agricultura intensiva sem danos ainda maiores ao ambiente. No entanto, mesmo esse sistema está sujeito a fenômenos de compactação e adensamentos mecânicos e físico-químicos. As principais limitações, comuns na maioria dos solos da região, são as decorrentes da elevada acidez, de alta saturação de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes, e isso pode gerar a necessidade de adições contínuas de fertilizantes e corretivos, as quais implicam mudanças físicas



e químicas nos solos. Essas mudanças devem ser monitoradas, uma vez que nem sempre elas se revelam positivas.

## Referências

- BATISTA, A. H. Fotos da Estrutura Granular de um Latossolo Vermelho Eutroférico. 2022.
- BUTIERRES, M. F. M. 1980. Efeito do calcário e fosfato de potássio no ponto de carga zero (PZC) e grau de flocculação em três solos do Rio Grande do Sul. 59f. Dissertação (Mestrado em Solos)-Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS. 1980.
- CARVALHO, A. F. 1991. **Emprego da agitação horizontal na avaliação da estabilidade de agregados de cinco solos da região sudeste.** Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Viçosa. 1991.
- CARVALHO, M. A; RUIZ, H. A; COSTA, L. M.; PASSOS, R. R.; ARAUJO, C. A. S. Composição granulométrica, densidade e porosidade de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1010-1016, 2014.
- COSTA, L. M. Aspectos de conservação do solo. In: I Encontro do uso da terra na região do Vale de Paranapanema, 1., 1985. Assis: Fundação Cargil, 1985. p. 71-84.
- COSTA, L. M.; JUCKSCH, I. Dia de campo sobre manejo e conservação de solos. Capinópolis-MG. **Boletim técnico.** CEPET/UFV, 1992. 28p.
- COSTA, L. M. JUCKSCH, I.; GJORUP, G. B. **Manejo de solos.** Brasília: ABEAS, 1996. 62p.
- Embrapa Solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade e aptido agrícola dos solos do Triângulo Mineiro por Idaré Azevedo Gomes e outros. Rio de Janeiro, 1982. 526 p. ilustr. (EMBRAPA. SNLCS. Boletim de Pesquisa, 1).
- Embrapa Solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais por Paulo Emílio Ferreira da Motta [et al.]. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 238 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 44)
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da Mineralogia da Fração Argila nas Propriedades Físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 515-524, 1999.
- GJORUP, G. B. 1992. **Influência da carga dependente de pH e do alumínio trocável no teor de argila dispersa em água.** 41f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 1992.
- JUCKSCH, I. 1987. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um latossolo vermelho-escuro.** 1987. 37f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1987.
- MALTONI, K. L. 1994. **Estudo de compactação e/ou adensamento em**

- subsuperfície de Latossolos sob diferentes usos.** 139f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1994.
- OLSZEWSKI, N. 2000. **Morfologia de agregados de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo por meio da análise de imagens.** 53f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2000.
- PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E.; SIECER, R. R. **Sand and Sandstones.** Springer Verlag. 1972. 618p.
- ROCHA, P. A. 2012. **Características edáficas de cinco ambientes de restinga no Parque Estadual Paulo César Vinhas-ES, Brasil.** 74f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.
- RODRIGUES NETTO, A. 1996. **Influência da mineralogia da fração argila sobre propriedades físico-químicas de solos brasileiros.** Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1996.
- ROSA JÚNIOR, E. J. 1984. **Efeitos de sistemas de manejo e tempo de uso sobre características físicas e químicas de dois solos no município de Ponta Porá, MS.** 89f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 1984.
- SANTOS, R. D.; SANTOS, G. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 7. ed. rev. ampl. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.
- SANTANA, D. P.; MOURA FILHO, W. Estudo de solos do Triângulo Mineiro e de Viçosa. I – Mineralogia. *Experientiae*, v. 24, n. 6, 131-160, 1978.
- SILVA, R.S.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; MENDONÇA, E. S.; LEITE, F. P. Alterações do solo influenciadas pelo tráfego e carga de um 'Forwarder' nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 31, 371-377, 2007.
- SOUZA, L. F. T. **Modelagem de processos erosivos em áreas de contatos geológicos no Alto Paranaíba.** 133f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2017.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev. e ampl. – Brasília-DF. Embrapa Solos. 574 p. 2017.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agon.*, v. 28, p. 337-351, 1936.

## CAPÍTULO 6. Geoprocessamento aplicado aos estudos de uso e ocupação dos solos

*André Luiz Lopes de Faria*

*Diogo Antônio da Silva*

*Lucas Righetti Arnaut*

O geoprocessamento, entendido como a produção, processamento e análise de dados espaciais, trouxe diversas e importantes opções para diferentes análises ambientais. Ele se utiliza de programas de computador que permitem o uso de informações oriundas de diferentes fontes e que podem ser utilizados para construção de diferentes mapas temáticos. Outro importante avanço no uso dessas tecnologias está na possibilidade de construção de mapas em diferentes escalas e para aplicações diversas.

Neste trabalho, o foco foi a construção de mapas temáticos a partir de dados de diferentes origens que permitissem análises em conjunto sobre o comportamento do uso e ocupação das terras na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba e sua interação com os dados dos meios biótico, socioeconômico e físico. Em função da dinâmica econômica, da disponibilidade de água e de solos com características físicas que estão permitindo um uso altamente tecnificado e altos índices de produtividade, a região da Bacia precisa ser conhecida em escala adequada, bem como o comportamento da relação dos solos com seu intenso uso.

As técnicas e métodos de geoprocessamento, quando bem utilizadas, fornecem informações em escala adequada para as diferentes análises que estão sendo realizadas nesta obra. A associação de informações, como: uso e ocupação da terra com geologia, com informações climáticas, de declividade, entre outras, são algumas das possibilidades que estão sendo exploradas.

O avanço no desenvolvimento dessa tecnologia tem propiciado um crescimento não apenas no número de usuários, mas também dos dados/informações geradas, atendendo a diversas áreas do conhecimento científico com materiais de qualidade e em escala adequada. Outro aspecto importante a ser considerado é a redução nos custos do projeto e a facilidade/diversidade em seu uso.

Neste projeto, a partir de dados disponibilizados gratuitamente, avançou-se na construção da base cartográfica utilizada por todos os membros da equipe e nos mapas específicos que atendem às diferentes análises. Além disso, houve a utilização de Aeronave Remotamente Pilotada – ARP – em parte da Vereda do Panga, sob administração da Universidade Federal de Uberlândia.

O material gerado por sensores remotos foi aferido em um produtivo trabalho de campo, no qual se aliou teoria com prática e analisaram-se as características da área de pesquisa. Os processos de planejamento e gestão territoriais podem ser mais eficientes quando o diagnóstico é feito tendo como base informações/dados gerados em escala adequada. Desse modo, conflitos serão adequadamente mediados e, quando os dados forem analisados no tempo adequado, evitados.

## **6.1 Geoprocessamento e sensoriamento remoto**

O geoprocessamento e o sensoriamento remoto, a partir de suas técnicas, métodos e conceitos, permitem se identificarem características das diferentes paisagens do planeta Terra sem, necessariamente contato direto com elas. Todavia, isso não significa que os trabalhos de campo não sejam necessários na construção de qualquer trabalho científico.

Os métodos e técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto ajudam a estabelecerem-se padrões existentes nas diferentes paisagens e em diferentes escalas, gerando dados quantitativos sobre as variáveis escolhidas. Outro importante aspecto dessas técnicas diz respeito às facilidades encontradas na coleta, no armazenamento, tratamento e atualização das diferentes bases de dados/informações. No entanto, não se pode deixar se enganar, uma vez que o uso desses métodos e técnicas requerem dedicação e muito estudo dos diferentes usuários. *Softwares* pagos e abertos são necessários, bem como *hardwares* robustos. Eles podem ser utilizados como uma ferramenta robusta de suporte ao processo de tomada de decisão.

Conhecer as diferentes paisagens que compõem a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba em escala adequada é muito importante, pois mostra como as atividades produtivas estão distribuídas, sua relação com os componentes dos meios físico, biótico e abiótico e as possibilidades na construção de modelos/cenários que permitam os tomadores de decisão enfrentarem os conflitos existentes amparados em informações/dados consistentes.

O uso de sensores remotos fornece uma visão geral das diferentes paisagens e, também, é utilizado na geração de mapas temáticos, tornando-se uma ferramenta poderosa nos processos de análise espacial. Outro aspecto importante a ser abordado é a possibilidade na integração

de dados/informações gerados. Essa situação permite à equipe gerar análises/cenários mais precisos e com diversos temas e em diferentes épocas (série temporal). A utilização de dados temporais e multiespectrais na análise das diferentes paisagens permite o monitoramento dos diferentes usos, bem como das alterações geradas.

## 6.2 Material e Métodos / Equipamentos e ferramentas

Para o desenvolvimento deste estudo, utilizaram-se vários *hardwares* e *softwares*, bem como a infraestrutura física do Laboratório de Geomorfologia do Quaternário, no Departamento de Geografia (DGE), Centro de Ciências Humanas e Letras da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Todos os dados utilizados nesta pesquisa foram trabalhados e processados nos *softwares* SNAP e QGIS. Para as atividades de campo, utilizou-se, ainda, a Câmera fotográfica digital Nikon, GPS Garmin 60 CSX e uma Aeronave Remotamente Pilotada – ARP Phantom 4.

## 6.3 Fonte e base de dados

As fontes de dados priorizaram Instituições Públicas que os disponibilizaram gratuitamente. Desse modo, baixaram-se os arquivos rasters com as imagens do satélite Sentinel-2 no site oficial do programa Copernicus, vinculado à European Space Agency (ESA). Além desses, também se utilizaram arquivos vetoriais contendo os limites políticos administrativos das unidades federativas do Brasil e do estado de Minas Gerais que compõem a Bacia, os limites das bacias hidrográficas, de estradas pavimentadas, de cursos hídricos, bem como arquivos remetentes à geologia e pedologia. Esses arquivos foram adquiridos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e à Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema) referente ao estado de Minas Gerais.

- Primeiramente delimitou-se a área de estudo bacia do Paranaíba, processo que foi relevante para todos os processos de recorte de imagens, recortes de vetores, assim como a criação da hidrografia pelo Software livre QGIS. Sendo assim, num primeiro momento, utilizou-se a plataforma IDE-SISEMA (<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>), que possui uma gama de informações, desde localização aos dados políticos, geomorfológicos, ambientais, entre outros, para o estado de Minas Gerais.
- Utilizou-se, também, a plataforma de metadados da Agência Nacional de Água (ANA) (<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>).

- Realizou-se a exportação do modelo digital de elevação (MDE) pela Plataforma OPENTOPHOGRAFY (<https://portal.opentopography.org/dataCatalog?group=global>), que tem os modelos digitais de 30 m e 90 m, sendo que se geraram os produtos a partir do modelo de 30 m.

## 6.4 Procedimentos metodológicos

Conforme as informações supracitadas, utilizaram-se, dentro do Software QGIS, ferramentas capazes de visualizar e trabalhar os dados obtidos. Após a realização de organização e separação dos dados, obteve-se a confirmação visual da área de estudo, “encaixada” dentro do município de Minas Gerais.

É importante ressaltar que os dados obtidos pelos órgãos públicos, por questões de escala, encontram-se em coordenadas geográficas, e a transformação para um sistema de coordenadas projetadas (Universal Transversa de Mercator - UTM), que utiliza unidades métricas, se viu necessária para a realização de alguns procedimentos, como o cálculo de área. Como toda reprojeção, pequenos erros de distorção são passíveis de ocorrer, o que não compromete o trabalho. Corrigiram-se, também, erros espúrios dentro do modelo digital de elevação (MDE), a partir do plugin *Fill Sinks* (Wang & Liu) do SAGA. Tais erros espúrios poderiam sabotar algumas análises e impedir o funcionamento pleno de algumas ferramentas.

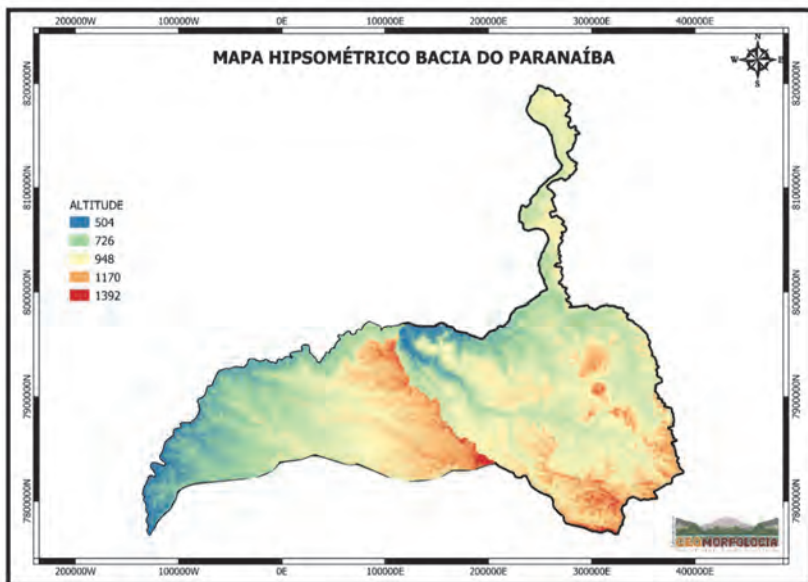


Figura 6.1 – Mapa hipsométrico da bacia do rio Paranaíba

Para a visualização altimétrica, a reclassificação e estratificação dos níveis de altimetria fizeram-se necessárias para melhor visualização. Utilizaram-se ferramentas do GRASS, um *plug-in* do QGIS capaz de trabalhar dados matriciais e vetoriais. Esse mapa (Figura 6.1) possibilita a identificação clara das feições mais altas e mais baixas do relevo, essencial para a dedução de áreas mais suscetíveis à inundação e movimentos de massa. Tal produto está compreendido numa composição chamada de “falsa-cor”, em que tons mais avermelhados representam as áreas mais elevadas, e as áreas mais azuladas as partes mais baixas.

Fonte: elaborado pelos autores (2023) (SRTM, 2022).



Figura 6.2 – Declividade da bacia do rio Paranaíba

Para a obtenção desse produto, utilizou-se o MDE já corrigido (livre de erros de preenchimento). Com este em mãos, utilizou-se a ferramenta de declividade do GDAL (*Geospatial Data Abstraction Library*) e optou-se por representar a declividade em porcentagem para sintonizar com os parâmetros de classificação do relevo da EMBRAPA.

Outro complemento bastante utilizado foi o PROFILE TOOL, que possibilita a visualização do relevo com base no MDE. Tal processo foi relevante para o estudo acerca das veredas, como método de obtenção da declividade destas.

Fonte: elaborado pelos autores (2023) (SRTM, 2022).





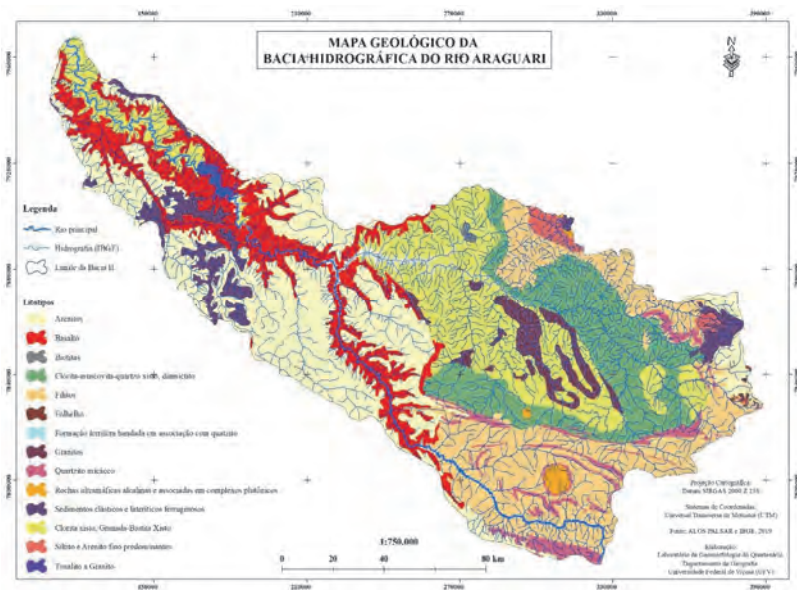


Figura 6.4 – Mapa geológico da bacia do rio Araguari

O mapa geológico é de vital importância para compreensão do tipo de solo e sua relação com o escoamento subsuperficial da água. Como resultado de cruzamento de dados do IBGE e ANA, o seguinte mapa exemplifica uma constância dos cursos d'água em canais basálticos; e rochas sedimentares como arenários em áreas mais baixas, como resultado da deposição de material das partes mais elevadas.

Fonte: elaborado pelos autores (2023) (Alos Palsar e IBGE, 2019).

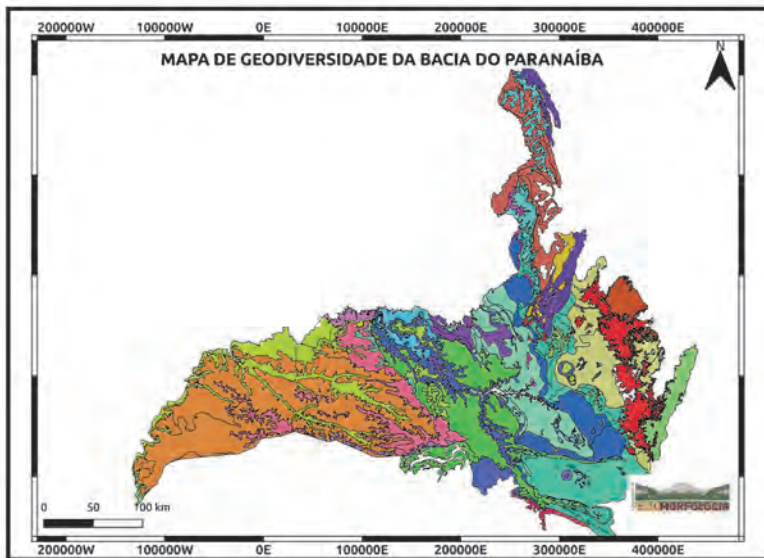


Figura 6.5 – Geodiversidade da bacia do rio Paranaíba

O Mapa de Geodiversidade é interessante, visto que um dos principais estudos do Laboratório de Geomorfologia é sobre as principais características Fisiográficas da paisagem. Desse modo, este produto mostra desde aspectos Geológicos, Geomorfológicos, entre outros, junto com o Geoprocessamento de análises para um maior entendimento social da população e de profissionais no que tange ao cuidado com o meio ambiente, principalmente a contaminação dos solos e também dos recursos hídricos. Fonte: elaborado pelos autores (2023) (SRTM, 2022).

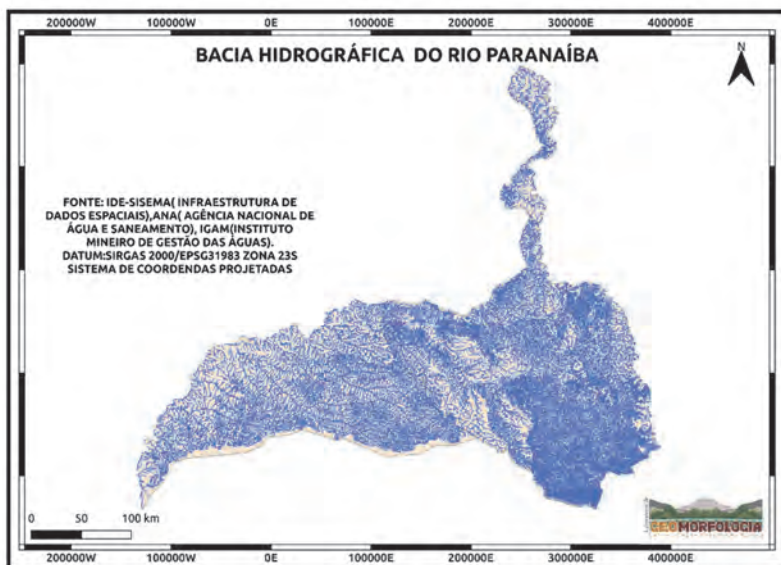


Figura 6.6 – Bacia hidrográfica do rio Paranaíba

Obteve-se o mapa da bacia hidrográfica e dos trechos hídricos dentro da bacia do Rio Paranaíba (Figura 6.6) através do cruzamento de IDE-Sisema, ANA e IGAM. Tal mapa auxilia na tomada de decisão sobre os usos do solo e lugares de preservação permanente, além de ser de vital importância para a produção agrícola e gestão sustentável.

Fonte: elaborado pelos autores (2023) (SRTM, 2022).



Figura 6.7 – Concentração dos pivôs centrais da bacia do rio Paranaíba

Para elaboração do mapa contendo pivôs centrais, aproveitou-se, em partes, de um estudo prévio realizado no Laboratório de Geomorfologia do Quaternário. No entanto, devido à quantidade crescente desta prática, fez-se necessária a vetorização manual a partir de identificação por imagens de satélite (Google Earth e Bing Satellite). Haja vista que este emprego da terra é fluido e sazonal, pode-se dizer que há um recorte temporal para apenas o período analisado, sendo passível de alterações futuras.

Fonte: elaborado pelos autores (2023) (IDE-Sisema, 2022).



Figura 6.8 – Mapa das Área de conflito da bacia do rio Paranaíba

O presente mapa (Figura 6.8) exhibe os conflitos por água dentro da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. Obtido a partir das fontes de dados IDE-Sisema, este produto pode exemplificar onde as questões hídricas são mais sensíveis, obtendo conflitos entre a população urbana e os produtores da região. O círculo vermelho demonstra as principais concentrações de irrigação por pivôs centrais da bacia do Paranaíba.

Fonte: elaborado pelos autores (2023) (IDE-Sisema, 2022).

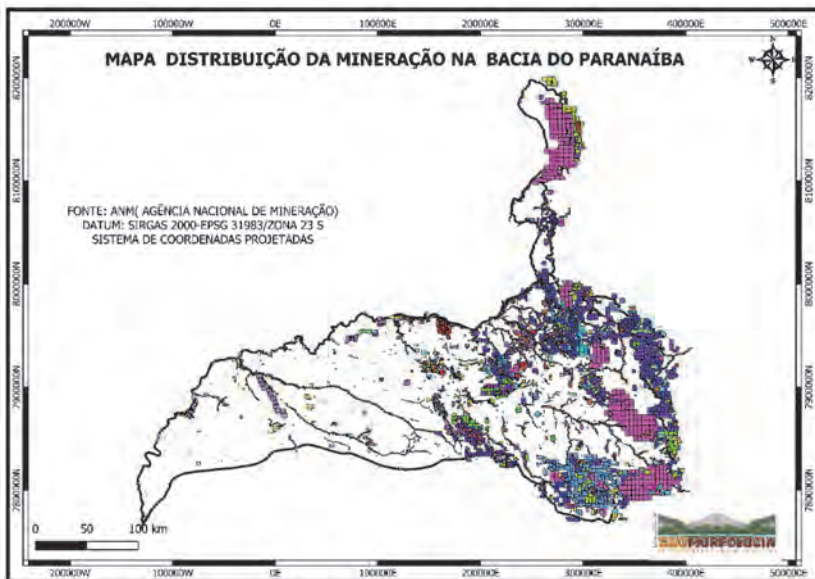


Figura 6.9 – Distribuição da mineração na bacia do rio Paranaíba

A mineração faz parte do processo histórico de ocupação do estado de MG. Seu crescimento está relacionado à dinâmica do mercado nacional e, principalmente, internacional. Ela tem sido base da economia do estado. A escala de alteração da paisagem em função desta importante atividade produtiva é significativa. Assim como todas as atividades produtivas, ela gera impactos negativos nas paisagens. Construiu-se este mapa (Figura 6.9) com base nos dados livres, disponibilizados pelo portal da ANM (Agência Nacional de Mineração). Realizou-se uma tentativa de mensurar os dados de utilização de água, porém sem sucesso, devido à falta de transparência dos órgãos acessados.

Fonte: elaborado pelos autores (2023) (ANM, 2022).

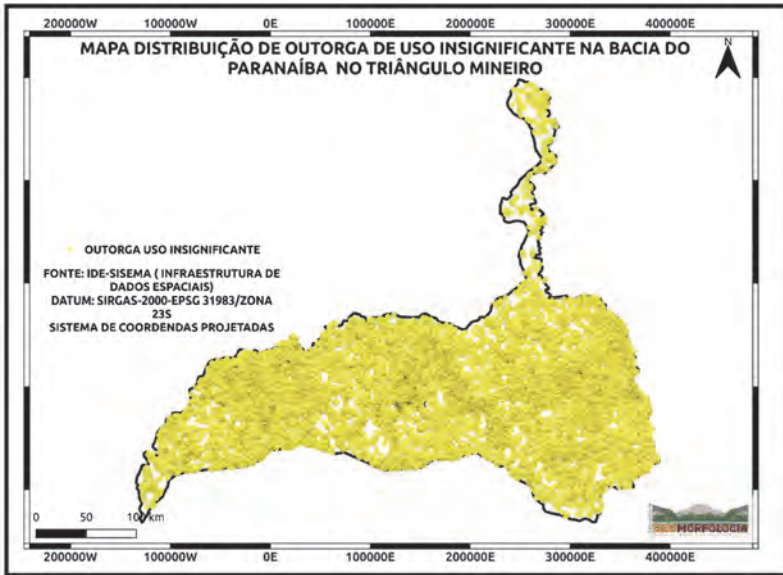


Figura 6.10 – Distribuição de outorgas de uso insignificante da bacia do rio Paranaíba

Extraíram-se os usos outorgados e insignificantes da base de dados do IDE SISEMA (2022/23). A base está organizada em: “Outorgas de direitos de uso de recursos hídricos” e “Cadastro de uso insignificante de recursos hídricos”. Utilizou-se a área da bacia do Paranaíba para recortar os arquivos, já que estes apresentam dados de todo o estado de Minas Gerais. Na sequência, gerou-se o mapa de uso da água.

Fonte: elaborado pelos autores (2023) (IDE-Sisema, 2022).



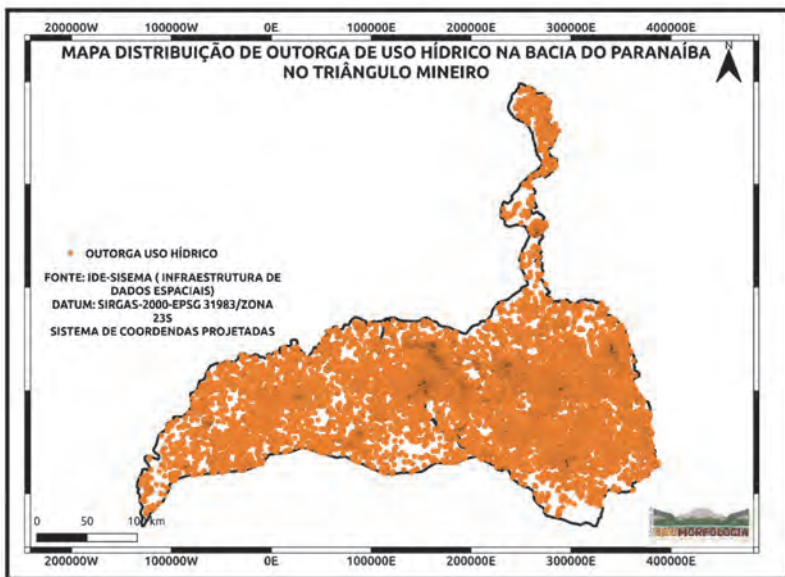


Figura 6.11 – Distribuição de outorga de uso hídrico da bacia do rio Paranaíba

O mapa de distribuição de outorga (Figura 6.11) abrange toda a bacia do Paranaíba. Segundo a base de dados do IDE-Sisema, a concentração destas outorgas está na zona rural, distante das maiores cidade da região, o que exemplifica um uso intenso da água para cultivos agrícolas.

Fonte: elaborado pelos autores (2023) (IDE-Sisema, 2022).

## Considerações finais

O uso de métodos e técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento em diferentes análises espaciais é muito positivo (considerando-se os limites escalares e os objetivos do trabalho).

Nesta pesquisa, os diferentes mapas temáticos produzidos atenderam aos objetivos das análises realizadas. Avaliou-se positivamente a relação custo-benefício, principalmente considerando-se as possibilidades de trabalho em laboratório e o uso de imagens gratuitas, sem abrir mão das aferições de campo, que foram essenciais.

Nesta pesquisa, podem-se observar os seguintes impactos:

- Redução dos custos de campo e na aquisição/geração de mapas temáticos;
- Diminuição de serviços manuais;
- Produção de um grande volume de dados, permitindo-se análises individualizadas e de relações existentes;

- Atualização/modificação de dados (rapidez e facilidade);
- Outros.

Além disso, os meios de comunicação disponíveis permitem aos diferentes usuários trocas de dados e informações em tempo real. Esse tipo de tecnologia, quando utilizado considerando-se seus limites e potenciais, bem como o conhecimento dos diferentes usuários, pode ser muito importante no desenvolvimento de análises espaciais bem como em processos de planejamento e gestão territoriais.

## Referências

Agência Nacional de Água (ANA). **Metadados**. 2022. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>>. Acesso em: jan. 2022.

Agência Nacional de Mineração (ANM). **SIGMINE**. 2022. Disponível em: <<https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/sistema-de-informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmine>>. Acesso em: jan. 2022.

ARONOFF, S. **Geographical information System: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications.1992.

BORROUGH, P. **Principles of geography information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press.1998.

Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). **Enquadramento**. 2008. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/enquadramento>>. Acesso em: jan. 2022.

OpenTopography. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://opentopography.org/>>. Acesso em: jan. 2022.

SISEMA. **Infraestrutura de dados espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. IDE-Sisema, 2022/23**. Disponível em: <<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>>. Acesso em: jan. 2022.

## CAPÍTULO 7. Amostragem de solos para análises físicas, químicas e biológicas: aspectos gerais, cuidados e recomendações na obtenção de amostras

*Elias Nascentes Borges  
Liovando Marciano da Costa  
Araína Hulmann Batista  
André Luiz Lopes de Faria*

### 7.1 Introdução

Este capítulo foi incluído com o objetivo de discutir as dificuldades na obtenção de amostras para a avaliação dos diferentes atributos físicos s que um solo pode apresentar ou modificar com o tempo de uso. Esse assunto merece uma dedicação especial porque a degradação de suas condições físicas está avançando de forma muito rápida, com necessidades de estudos científicos adequados, geralmente levados a efeito em amostras de pequeno peso ou volume, extraídas de um universo ou população extensa, extraídas do local problemas. As consequências dessa degradação podem ser bem maiores do que se espera no manejo do solo que tem sido adotado no uso intensivo das áreas sob produção dos sistemas agrossilvipastoris. Quando se fala em análises de solos, de imediato pensa-se em análises químicas, usadas na avaliação de sua fertilidade e da nutrição de plantas. Entretanto, a avaliação das condições físicas é tão importante quanto aquelas que avaliam a fertilidade do solo, o que não tem sido observado. No entanto, ela precisa ser revertida o mais rápido possível para que a degradação física seja contida ou corrigida e para que os insumos de produção possam desenvolver todo o seu potencial, em especial a calagem e as adubações, que necessitam de qualidade ambiental adequada do solo, a fim de que a planta possa ter acesso na sua integralidade.

### 7.1.1 Amostragem de solos e outros aspectos a serem considerados

A amostra a ser obtida de solo ou qualquer outro material deve representar a população ou universo que se deseja conhecer, analisar e recomendar tecnicamente. Esse trabalho não deve ser feito por leigos, que são destituídos de conhecimentos e capacidade de interpretar seus objetivos e alcance na correção das limitações. Somente profissionais tecnicamente capacitados devem executar essa tarefa de importância capital para todo o trabalho a ser realizado em variadas classes de solo.

A falta de conhecimento necessário para realizar a amostragem pode ser reduzida por meio de um treinamento fornecido por pessoas que têm o maior conhecimento possível da população a ser amostrada. A escolha da área para o treinamento do amostrador de solos tem que considerar os principais fatores de formação dos solos – clima, relevo, tempo, organismos e material de origem – bem como as interações destes na gênese e propriedades do solo. Caso o instrutor não tenha conhecimento de tais fatores, ele não está capacitado para dar o treinamento para essa atividade tão importante do ponto de vista edáfico, financeiro e ambiental. Além disso, o instrutor deve ter a capacidade de reconhecer em campo as principais classes de solos que ocorrem na área a ser amostrada bem como os prováveis atributos físicos, químicos e biológicos a elas atrelados. Classificar significa separar uma população em diferentes classes com propriedades e características que sejam as mais homogêneas possíveis, a depender do nível categórico desejado. Para pertencer a uma classe de solo, o indivíduo deve satisfazer os critérios preestabelecidos daquela classe definidos no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2018). Os critérios são definidos à luz do conhecimento científico relacionado à população que foi classificada. A definição de classes varia com o tempo, em função dos avanços científicos daqueles que propõem a classificação, com base na instrumentação disponível para cada época com o avanço da ciência. Os critérios são fundamentados na experiência associada aos conhecimentos das equipes encarregadas na criação/extinção de classes e na mudança de indivíduos de uma para outra classe.

Quando se utiliza a classificação para nortear a amostragem dos solos, pressupõe-se que os conhecimentos científicos produzidos estão sendo considerados na obtenção de amostras de uma dada área. Grande parte das amostras encaminhadas para os laboratórios de análise não tem levado em conta os pontos ressaltados nessa introdução, o que, por consequência, gera recomendações e manejos distorcidos da realidade necessária para se ter ganhos em produção, ambientais e sociais. Antes de fazer a amostragem, é necessário verificar se existe mapa de solo da área, em nível de detalhe adequado ao trabalho a ser feito. O recomendado é

que a área seja mapeada em nível detalhado. Em caso de mapa em menor detalhamento, ele pode ser útil para que o encarregado da amostragem tenha conhecimento das principais classes de solos que são encontrados na região, fornecendo uma direção para seu trabalho de identificação e estratificação. Se o encarregado dessa tarefa tiver a habilidade de reconhecer no campo as principais classes de solos, ele poderá colocar em prática esse conhecimento para a obtenção de amostras adequadas para o envio ao laboratório. No Brasil, com raras exceções, como centros de ensino e pesquisas, é pouco provável que haja mapas de solos detalhados para orientarem o trabalho a ser realizado em escala cartográfica adequada.

O histórico de uso, manejo e da ocupação dos solos não deve ser negligenciado, porque ele certamente influencia na qualidade dos resultados a serem obtidos nos laboratórios. O uso intensivo do solo, incluindo-se a irrigação, tem influenciado nos resultados analíticos a serem obtidos tanto do ponto de vista físico como químico e biológico. Consultar os arquivos de dados analíticos, quando estão disponíveis, pode ser útil na avaliação e interpretação dos resultados a serem fornecidos pelos laboratórios. Essa avaliação, ao longo do tempo, indica quais os atributos do solo que sofreram mudanças no período analisado. Tais informações ajudam a orientar na avaliação daqueles dados que merecem atenção especial para fins de correções imediatas, a médio e/ou longo prazos. A expressão fenotípica da vegetação nativa, quando estiver presente na área a ser amostrada, pode auxiliar decisivamente na escolha do processo de amostragem. Na sua ausência, a produtividade das culturas principais pode contribuir para a estratificação dos registros de variáveis de anomalias praticadas no manejo bem como condições climáticas.

Pelos motivos já apontados, a amostragem de solos, para os diversos tipos de análises, precisa ser bem criteriosa e feita por pessoas que tenham sensibilidade e percepção necessárias, para que essa importante etapa seja realizada e atinja os objetivos que se esperam de uma amostragem de qualidade. Não se pode esperar bons resultados quando ela for feita por pessoas sem o devido preparo ou que não tenham interesse pela atividade. As amostras que não representam o universo de solos amostrados são de pouco ou nenhum valor, mesmo que elas sejam enviadas para os melhores laboratórios regionais ou de um país inteiro. Não se pode perder tempo, dinheiro e riscos ambientais com os resultados analíticos das amostras obtidas equivocadamente. Os resultados devem passar por uma avaliação refinada feita por pessoal que tenha conhecimento necessário para essa tarefa da amostragem a ser adotada. Se a amostragem for feita durante o período de cultivo das plantas, em especial quando elas atingirem a fase vegetativa de máxima produção de biomassa, isso pode servir como estratificação das áreas. Deve-se considerar, também, as informações

peçoais daqueles que residem por um tempo considerável na área. Algumas áreas são mais produtivas do que outras quando se tem a mesma planta cultivada e que recebe os mesmos tratamentos culturais. As fotografias aéreas bem como as imagens de satélites são de grande utilidade como dados complementares na obtenção de amostras de solos.

Mapas planialtimétricos da propriedade ou área a ser amostrada auxiliam na estratificação das áreas. Havendo disponibilidade dos mapas com classes de declividade, a separação dessas áreas fica ainda mais apropriada.

Especialmente em grandes empresas, ou aquelas bem estruturadas, existe contabilidade dos gastos, produtividade registrada bem como históricos de possíveis anomalias para toda área ou para o talhão. Esses registros podem ser consultados para auxiliar na definição dos procedimentos a serem executados nas áreas que serão amostradas. Não se deve descartar toda informação que se relacione com a produtividade obtida ao longo dos anos integrada às práticas de manejo utilizadas, em especial, históricos de calagens, adubações e mecanização. Estimativas de produtividade podem ser realizadas por meio de procedimentos e critérios específicos para cada cultura agrícola/florestal.

As ministações climatológicas estão cada vez mais acessíveis e úteis nas propriedades para fins de registros de variáveis de anomalias climáticas, como déficit hídrico ou ocorrência de geadas, frio ou calor intenso. Assim, a produtividade de uma planta cultivada não depende apenas das características ou propriedades de cada classe de solo. A maior parte dos eventos climáticos, assim como o manejo dispensado, não podem ser desprezados para obtenção de resultados na produtividade final de uma cultura.

Deve ser sempre considerada a variação das classes de solos tanto em profundidade como em área. A variação das propriedades e características dentro ou entre as classes de solos não pode ser desconsiderada durante o trabalho de amostragem.

A interação e a intensidade de cada fator de formação dos solos, como o clima, organismos, material de origem, relevo e tempo, são importantes para o planejamento de amostragem de solos para as diversas ou diferentes finalidades. Discutir como os solos são formados pela atuação conjunta dos referidos fatores fornece informações de grande valia para que a obtenção das amostras seja realizada com segurança, a fim de que os dados analíticos possam cumprir o papel que se espera deles. Uma avaliação crítica dos resultados é altamente recomendada antes de usá-los para a finalidade preestabelecida. Antes de entregar os resultados analíticos das amostras, o técnico encarregado do laboratório deve ser capaz de avaliar os resultados antes de enviá-los ao cliente. Essas etapas de controle de qualidade são necessárias. Qualquer resultado analítico inesperado

precisa ser repetido para que o técnico encarregado da amostragem somente repasse os resultados confiáveis para a próxima etapa do trabalho em andamento.

Ademais, o grau de heterogeneidade das classes de solos precisa ser levado em conta no trabalho de amostragem de solos. Algumas classes de solos são mais homogêneas do que outras. Em um planejamento adequado, os solos mais heterogêneos demandam uma amostragem bem elaborada para que sejam obtidos resultados representativos da área a ser amostrada.

O trabalho de mapeamento e classificação dos solos brasileiros tem avançado e disponibilizado informações muito úteis para as várias áreas da Ciência do Solo, incluindo-se aqui a possibilidade de usá-los na orientação dos trabalhos de amostragem de solos, mesmo que produzidos numa escala adequada para tal.

Dada a extensão do Brasil, os levantamentos realizados apresentam escalas variáveis o que resulta em níveis de detalhes bem diferentes. A área do país é muito grande e o trabalho tem sido concentrado em regiões de grande importância política e econômica. Contudo, o território nacional tem uma cobertura muito grande de levantamentos de solos em escalas variáveis. O encarregado de tirar amostras de solos não pode desconhecer as limitações de escala dos mapas para planejar o trabalho a ser realizado.

Os Latossolos são predominantes no território brasileiro e ocupam aproximadamente 40% desse território. Em geral são solos profundos, porosos, permeáveis, de baixa fertilidade e são encontrados frequentemente em relevo plano e suave ondulado. Por serem muito intemperizados, tornam-se mais homogêneos do que as demais classes de solos brasileiros. Esse aspecto deve ser considerado no plano de amostragem dessa classe de solo. Em função disso, a obtenção de amostras deles pode ser menos intensa. Todavia, são solos muito utilizados nas atividades agrossilvipastoris. Por serem solos pobres em nutrientes, eles demandam correções e fertilizações mais frequentes com insumos de qualidade satisfatória em termos de disponibilidade, solubilidade e levando-se também em consideração os possíveis contaminantes tóxicos desses ao meio ambiente e aos seres vivos. A qualidade dos fertilizantes e corretivos varia porque a matéria prima utilizada na fabricação desses produtos tem concentração variável de metais traços como pode ser observado nas Tabelas 7.1 e 7.2. Para fins de comparação, foi colocado na última linha das duas tabelas a concentração dos metais na crosta terrestre. Quando a concentração de cada metal nos fertilizantes e nos corretivos for menor do que na crosta, isso indica que os efeitos maléficos esperados de cada elemento traço podem ser menos preocupantes para todos os residentes onde tais produtos são aplicados. Outro ponto a ser considerado refere-se às propriedades de cada elemento que pode torná-

los mais ou menos nocivos. Para exemplificar, são apresentadas nas Tabelas 7.1. e 7.2, a solubilidade de cada metal. O elemento cádmio não pode ser negligenciado nesse comentário, pois a sua concentração na crosta é muito mais baixa do que nos materiais considerados. Além disso, os resultados analíticos do fertilizante Termofosfato, identificado na Tabela, em negrito, destaca-se dos demais fertilizantes e seu uso deve ser sempre levado em conta. Quanto aos calcários, o denominado Paracatu (Tabela 7.2) deve ser também uma preocupação dos usuários de calcários, pois ele apresenta valores muito elevados de metal traço em relação aos demais, exceto para o metal níquel. Esse material era um aproveitamento do resíduo da mineração de chumbo encontrado em um calcário marmorizado ou mármore. Observa-se, pela Tabela 7.2, que as concentrações de manganês, de cádmio, de chumbo, de cobre e de ferro são muito mais altas que nos demais calcários. Para aqueles usuários que negam o acúmulo de metais traços nos solos cultivados, com o argumento da concentração ser baixa e que a massa de solo contido em 1,0 ha ser enormemente maior do que aquela aplicada por ano, mesmo que ocorra a diluição muito grande dos elementos traços aplicados na massa de solo com as várias aplicações do calcário. Tal argumento deve ser reavaliado, quando os fertilizantes são aplicados de forma localizada, por razões de reações que podem ocorrer entre os fertilizantes e a fase sólida do solo. Como alerta, esses dados foram publicados há três décadas, intervalo de tempo mais do que o necessário para proibir a venda desse resíduo altamente contaminado por cádmio, chumbo e zinco, por órgãos ambientais encarregados dessa tarefa.

Tabela 7.1 – Concentração de metais traços em fertilizantes usados em Minas Gerais

Fertilizante	Mn	Ni	Cd	Pb	Zn	Cu	Fe	Cr
-----ug g <sup>-1</sup> -----								
0-30-15 + Zn	306	21	5	55	2220	33	6610	0,4
2-20-20 + Zn	176	14	3	38	3115	34	3545	0,6
2-28-8 + Zn	792	30	15	275	5385	73	9225	1,6
<b>Termofosfato</b>	<b>2220</b>	<b>3300</b>	<b>3</b>	<b>65</b>	<b>374</b>	<b>44</b>	<b>38410</b>	<b>9,7</b>
Fosfato Natural	3915	118	7	36	740	72	29590	1,9
Superf. Triplo	300	25	4	18	810	4265	6565	0,9
<i>Crosta</i>	900	250	0,05	10	50	50	-	50

Fonte: Amaral Sobrinho et al. (1992).



Tabela 7.2 – Concentração de metais traços em oito calcários usados em Minas Gerais

Local	Mn	Ni	Cd	Pb	Zn	Cu	Fe	Cr
-----ug g <sup>-1</sup> -----								
Unai	91	16	3	23	12	5	4085	0,4
Arcos	53	8	2	27	78	3	981	0,3
Italva	46	11	3	26	15	4	614	0,3
Pote	1491	19	3	23	36	11	4599	0,3
Coromandel	188	17	3	28	12	5	3965	0,6
Bocaiúva	201	12	3	27	40	3	452	0,1
Formiga	221	11	2	25	17	2	376	0,3
<b>Paracatu</b>	<b>2867</b>	<b>11</b>	<b>52</b>	<b>2817</b>	<b>10220</b>	<b>122</b>	<b>31610</b>	<b>0,6</b>
<i>Crosta</i>	<i>900</i>	<i>250</i>	<i>0,05</i>	<i>10</i>	<i>50</i>	<i>50</i>	<i>-</i>	<i>50</i>

Fonte: Amaral Sobrinho et al. (1992).

Quanto maior a intensidade de uso desses insumos na produção agrossilvipastoril, maior poderá ser a contaminação desses solos. Com intuito de reduzir custos de produção, área de disposição e risco ao meio ambiente, muitos resíduos industriais estão sendo aplicados ao solo como corretivo, fertilizante ou mesmo condicionador. O controle de qualidade dos corretivos, fertilizantes e de resíduos industriais deve ser feito para evitar a introdução de elementos traços nocivos à saúde humana e demais seres vivos do planeta. Para os elementos traços pouco variáveis ou mesmo para o nutriente fósforo, eles tendem a acumular-se nos solos cultivados com pouca mobilidade para a solução do solo, em especial, nos solos argilosos ou muito argilosos. A adsorção ou complexação dos referidos elementos reduz o risco da acumulação na planta e a contaminação da água. Isso posto, fica o alerta sobre os procedimentos da amostragem quando feita com o objetivo específico de determinar os efeitos indesejáveis de alguns elementos traços adicionados por meio de insumos utilizados para aumentar a produção.

Cabe salientar que as recomendações indicadas para os Latossolos podem ser aplicadas nas demais classes de solos, com certas ressalvas que podem ser identificadas através da atuação mais ou menos intensa de determinado fator de formação. Quanto maior a heterogeneidade natural das classes de solos, maiores devem ser os cuidados para a obtenção de amostras representativas desta população da área amostrada. Para os solos

mais heterogêneos, os conhecimentos do amostrador são mais demandados, de tal maneira que ele possa tomar decisões compatíveis com o ambiente amostrado.

Nas áreas planas ao longo dos canais dos rios, ocorrem os Neossolos Flúvicos, que são constituídos de camadas que podem apresentar texturas e outras propriedades diferentes. Isso depende muito dos solos e da cobertura vegetal da área de captação da bacia que os contém. Durante o período chuvoso, pode ocorrer transbordamento do canal e deposição de sedimentos sobre os solos. Esses solos são naturalmente muito heterogêneos e ainda podem receber sedimentos provenientes das cheias. Amostrar esse segmento da paisagem demanda muito cuidado. Pelo fato de esses solos ocuparem áreas muito próximas da água, eles são intensamente utilizados para diversos fins, incluindo-se o uso agrícola. Pela condição de relevo plano ou suave ondulado, as sedes das propriedades rurais e grande parte das construções rurais são localizadas neles. Desse modo, os resíduos das inúmeras atividades realizadas nas propriedades têm suas destinações nas proximidades das sedes que se localizam ao longo de cursos de água. Além das sedes das fazendas, são encontrados neles estradas pavimentadas e não pavimentadas, estradas de ferro, povoados e cidades de tamanhos variáveis. Assim, a disputa pelo uso desses solos é muito grande, principalmente em áreas como nos mares de morros da Zona da Mata Mineira e em outros locais similares.

## **7.2 Condições especiais ou particulares de amostragem / áreas sistematizadas em várzeas**

Com a criação do Programa Nacional para Aproveitamento das Várzeas Irrigáveis – Provárzeas Nacional, pelo Decreto nº 86.146, de 23 de junho de 1981 – que tinha como finalidade o aproveitamento racional e gradativo de áreas de várzeas nacionais no nível de propriedades rurais para aumentar a produção e reduzir riscos climáticos –, diversas áreas úmidas e de nascentes foram antropicamente modificadas. Esse programa contribuiu de forma definitiva no aproveitamento de recursos hídricos e de solos. Muitas observações podem ser feitas em relação a esse programa, mas é necessário estabelecer os limites relacionados às amostragens de solos que foram sistematizadas para que a irrigação pudesse ser implementada. Conforme já foi discutido, os solos associados a elas, em sua maior parte, são os Neossolos Flúvicos, que são bem heterogêneos naturalmente. Outras classes de solos como os Gleissolos, Organossolos e Vertissolos são também encontradas nas várzeas.

Quanto maior o número de classes de solos encontrados em uma várzea maior foi a preocupação com a sistematização utilizada no preparo para receber a irrigação. Na sistematização do terreno, buscavam-se,

principalmente, os recursos de topografia e da sistematização. As classes de solos submetidas a ela receberam menor atenção. Desse modo, realizaram-se os cortes e aterros para atender os aspectos topográficos. Há casos em que se expandiram as várzeas, atingindo parte das encostas. A mistura de horizontes ou camadas foi muito frequente. O resultado da sistematização gerou muitos distúrbios nos perfis naturais daquelas classes de solo.

A heterogeneidade dos solos de várzeas associada aos cortes e aterros gerou distúrbios incalculáveis. Amostrar solos submetidos à sistematização é uma tarefa muito complexa, de difícil solução e com resultados práticos duvidosos. A desuniformidade no crescimento e desenvolvimento de plantas cultivadas e das nativas deveria ser bem evidente. O rearranjo aos distúrbios causados nesses solos foi variável, e seus efeitos podem permanecer por muito tempo. Os mecanismos naturais de reparação ajudam na correção de tais distúrbios em velocidades variáveis com o grau de interferência que as áreas sofreram durante a sistematização e o preparo das áreas para introdução da irrigação por inundação. Esse processo de reparo pode ainda estar em andamento e pode demorar muito tempo para atingir uma condição de distúrbio considerada estável. O grau de distúrbio variou entre uma propriedade e outra, considerando que a variação natural das várzeas é normal. Esse é um caso atípico e mostra que não se pode ter um único procedimento de amostragem de várzeas quando essas áreas foram sistematizadas. Uma avaliação em maior frequência de solos em áreas que foram sistematizadas deveria ser uma regra prioritária.

Nas várzeas com lençol freático na superfície, a drenagem poderia ser necessária antes de concluída a sistematização. A drenagem foi mais um procedimento que modificou consideravelmente o ecossistema das várzeas. Nessa situação, o hidromorfismo foi parcial ou totalmente interrompido nas áreas que foram drenadas. As mudanças causadas no ecossistema solo-planta-organismos foram bastante drásticas. Muitas áreas consideradas de preservação permanente foram atingidas durante todas as etapas de preparo do solo para o avanço da irrigação nessa importante seção da paisagem.

Os cortes e aterros modificaram os perfis naturais dos solos das várzeas. As sequências de camadas, naturalmente arrançadas, foram modificadas por todos os procedimentos adotados no preparo das várzeas para receberem a irrigação e o cultivo. Em cada camada/horizonte, estavam arquivadas informações, como os microfósseis de sílica biogênica, pólenes e fragmento de carvão, que poderiam ser usadas nos estudos de flora atual, para a reconstituição dos ambientes. A reconstrução das várzeas com seus componentes bióticos e abióticos que antecederam a sistematização deve ser considerada tarefa impossível.

Em áreas que sofreram fortes modificações como a sistematização das

várzeas não é possível dispor de um procedimento amostral adequado, mesmo para aqueles profissionais de boa formação técnica e experiente de campo. Por mais heterogêneos que sejam os solos das várzeas, há uma ordem seguida pela natureza ao longo de centenas, milhares ou milhões de anos, que foi interrompida num período curto de tempo. Todas as obras de grande complexidade realizadas em diferentes áreas deixam cicatrizes profundas na superfície do planeta Terra. Por fim, outras obras que não são expostas superficialmente podem provocar danos de grande magnitude.

### 7.2.1 Amostragem de solos nas proximidades de grandes centros urbanos

Independentemente do tamanho, desde os grandes centros até pequenas vilas, há histórias sobre as suas localizações. O papel dos primeiros moradores foi escolher o local para instalarem as primeiras famílias. Algumas vilas apresentaram crescimento muito rápido, e outras muito lento. O crescimento depende da capacidade do ambiente em prover a sustentação das variadas necessidades da população. As demandas atuais da sociedade são infinitas, mas algumas delas são indispensáveis, como a água, a moradia, os alimentos, a energia, roupas, medicamentos, meios de transporte, comunicação etc. O número de habitantes por área nas cidades é muito maior do que no meio rural. Em todas as atividades humanas, para se satisfazerem as necessidades da população, há a produção contínua de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Quanto maior for a população local ou regional, mais resíduos são produzidos. As indústrias, que também são produtoras de resíduos, começam a fazer parte das cidades. Em muitos casos, as indústrias agrupam-se nos distritos industriais, que produzem resíduos diversos e que, com a legislação atual, precisam de disposição ou uso seguro à sociedade.

A disposição de resíduos nem sempre é feita corretamente, e isso pode participar na contaminação da área urbanizada e nas proximidades. Por falta de controle adequado dos órgãos ambientais, os resíduos podem ser descartados diretamente no ar, na água e no solo. O controle na disposição dos resíduos tem sido mais eficiente, todavia, quando esse controle ainda era inadequado, muitas áreas foram contaminadas e continuam assim até esta data.

Quando se começa a planejar uma amostragem de solos, recomenda-se um rastreamento de atividades poluidoras atuais ou pretéritas nas imediações da área a ser amostrada. Os distritos industriais, em relação à área, devem merecer atenção especial, em particular naquelas indústrias que produzem resíduos muito tóxicos. Os resíduos voláteis descartados na atmosfera não devem ser negligenciados, devendo-se incluir aqui a direção

predominante dos ventos entre a fábrica e área amostrada. Semelhante providência deve ser tomada para os poluentes descartados em cursos d'água que fornecem água para irrigação de áreas agrícolas.

Os chamados cinturões verdes, produtores de hortaliças e outros produtos consumidos nas cidades, geralmente instalados próximos aos grandes centros consumidores, merecem atenção. Da mesma forma, a agricultura urbana em lotes vago ou em recipientes com solo que vem recebendo destaque na mídia, também pode participar da acumulação de elementos traços tóxicos que podem chegar aos consumidores.

### 7.2.2 Amostragem de solos com sinais evidentes de erosão

A erosão é composta por três etapas – desagregação, transporte e deposição. Quando o solo é descrito e classificado como grau fraco de estrutura, ele se torna muito vulnerável aos processos erosivos que causam danos nos solos e nos demais componentes do ecossistema. As erosões em sulco e em voçorocas danificam a superfície dos solos, o que prejudica todas as atividades de cultivo de plantas e dificulta a amostragem da área. Com a superfície erodida e desfigurada, a obtenção de amostras torna-se muito difícil, e até mesmo bloqueia-se o movimento das pessoas que coletam as amostras. Com alta incidência de sulcos e voçorocas, o solo pode ser considerado inapto para plantio de espécies cultivadas. Quando se chega nessa situação, a área deve ser destinada à regeneração assistida com espécies nativas, considerando a sucessão ecológica, capazes de cobrir rapidamente a superfície erodida.

A erosão laminar do solo quase não é percebida, mas deixa danos como a remoção do horizonte A ou remoção da camada arável, causando enormes prejuízos pela perda de nutrientes adicionados ou não, que têm custo financeiro e ambiental muito alto. A reposição das perdas tem custo muito alto. A matéria orgânica é outro componente que vai ser removido, o que causa muitos danos na qualidade do solo. Quanto mais danificados forem os solos mais difícil será a amostragem.

### 7.2.3 Amostragem de solos submetidos a queimadas frequentes

A quantidade de nutrientes contidos nas biomassas vivas e mortas é bem grande. A parte orgânica da biomassa transforma-se em carvão, gás carbônico, água e energia e deixa como resíduo as cinzas, que podem ser removidas pelo vento ou pela água. As cinzas mais finas são transportadas a grandes distâncias pelo vento, e a água transporta as cinzas solúveis nela e em suspensão. Ela infiltra-se no solo levando os nutrientes solúveis para as camadas mais profundas. Parte dos nutrientes é adsorvida pela fração

argila e permanece nos horizontes superficiais dos solos. Assim, a queima da biomassa libera nutrientes e elementos tóxicos encontrados nela para o local onde ela ocorre. Quanto maior a massa queimada, maior será a liberação de nutrientes e elementos tóxicos que podem influenciar nos resultados analíticos a serem obtidos de amostras coletadas. Deve evitar-se amostrar solos com sinais de queimas recentes ou aqueles locais onde ocorrem queimas todos os anos. As queimadas, ao longo de estradas pavimentadas ou não, são muito frequentes. Além da queima, as análises químicas, ao longo de estradas com trânsito de grande número de veículos, evidenciam o efeito dessa atividade nos resultados analíticos.

#### 7.2.4 Amostragem de solos em áreas de alta concentração industrial

A química tem contribuído continuamente na síntese de novos materiais que não são encontrados na natureza e que podem ser úteis em vários processos tecnológicos. Esses materiais são sintetizados a partir de matérias-primas naturais ou, ainda, a partir de outro material sintetizado, que passa a ser matéria-prima de outro produto sintético. Em todo processo produtivo industrial ou não, há produção de resíduos. A destinação ou a disposição de resíduos torna-se um grande desafio da sociedade atual. Tanto a quantidade como a composição química dos resíduos variam a partir das infinitas atividades humanas que estão espalhadas em todos os continentes. Quanto mais industrializados e consumistas forem os países, maior será a produção de resíduos. A reciclagem de materiais pode contribuir, parcialmente, para solucionar essa importante questão em diferentes níveis – do local ao global.

Os solos têm um papel muito importante na disposição dos resíduos. Para atender às demandas da população mundial, a produção de resíduos é contínua, tanto em quantidade como em qualidade. A demanda pela disposição dos resíduos não para de crescer. A produção de resíduos começa na obtenção da matéria-prima e continua até a conclusão do produto a ser entregue ao consumidor. Pouquíssimos são os consumidores que conseguem entender que a sociedade consumista é anticonservacionista. A própria indústria adota a obsolescência programada de seus produtos para vender mais, contribuindo, assim, com a geração de lixo. Para estabelecer um plano adequado de amostragem de solos, o responsável precisa ter conhecimento amplo do ambiente onde as áreas que serão amostradas estão inseridas. A condução desse processo parece, à primeira vista, para um leigo, ser muito simples, sem necessidade de conhecimentos técnicos. Contudo, essa importante etapa não deve ser entregue a alguém que a realize de forma mecânica, sem integrar ao processo da amostragem às diversas nuances que podem alterar os resultados analíticos e, conseqüentemente, as recomendações necessárias à redução do fator limitante ao uso do solo.

Para a reflexão dos interessados, discutiram-se itens que merecem a atenção das pessoas envolvidas diretamente na obtenção de amostras representativas de uma dada área em avaliação.

### **7.3 Participação da física do solo no manejo adequado de solos sob uso intensivo**

Os pesquisadores e professores da física do solo formam um grupo menor quando comparados com outras áreas da Ciência do Solo. A ciência do solo e suas subáreas têm dado suporte para compreenderem-se várias questões que surgem no uso e ocupação dos solos. Ela vem fornecendo informações úteis para a compreensão de infiltração de água nos solos sob as mais variadas condições de manejo e conservação da água que é destinada a uma infinidade de usos.

Todos os fatores que influenciam direta ou indiretamente na infiltração de água no solo devem receber a atenção de todos aqueles que se dedicaram, se dedicam e, também, aqueles que se dedicarão à ciência do solo.

A evolução de todos os ramos da ciência seguiu uma trajetória muito semelhante. Os conhecimentos passaram de geração a geração alicerçados sempre nas áreas básicas do conhecimento de cada época ou período. Algumas áreas do conhecimento evoluíram de forma mais rápida do que outras. As causas dessa evolução podem ser compreendidas por meio de registros históricos deixados por aqueles que dedicaram suas vidas aos avanços científicos das respectivas áreas de trabalho.

É inegável que um equipamento de última geração abarque vários conhecimentos descobertos há algumas décadas ou séculos passados. Desmerecer o conhecimento gerado no século passado ou nos anteriores tem sido uma tática comumente adotada pela sociedade que se denomina moderna. Algumas citações de publicações clássicas podem ser retiradas da literatura citada em alguns periódicos com alto índice de impacto. Essa não seria uma forma equivocada e prejudicial ao avanço científico?

Além da lista apresentada, podem ser adicionados para atender a problemas específicos de cada região a ser amostrada. A escolha dos procedimentos a serem seguidos deve passar por uma discussão detalhada, considerando-se o problema físico que mais se destaca em cada área. A complexidade que envolve o procedimento não deve ficar fora da discussão. A avaliação das propriedades físicas dos solos é demorada, complexa e pode demandar instrumentos que não podem sair dos laboratórios para medições em campo. Essa observação é válida para outras áreas da Ciência do Solo.

Os principais atributos físicos do solo que se relacionam com a infiltração de água das chuvas e, também, da irrigação devem receber a

atenção dos produtores rurais e da sociedade em geral que consome água direta e indiretamente. O consumo de água faz parte de outro capítulo desta obra (Capítulo 10). O monitoramento da infiltração de água no solo sob uso intensivo e outros usos não pode ser descuidado em nenhuma hipótese, porque todos os cursos de água, independentemente da vazão, dependem dessa importante parte do ciclo hidrológico.

### 7.3.1 Infiltração de água nos solos

Vários atributos físicos influenciam na infiltração de água no solo, que é vital para a manutenção de um sistema hídrico, como as bacias hidrográficas de diferentes áreas ou tamanhos. O uso intensivo do solo pode interferir ativamente na redução da infiltração da água no solo. Os conhecimentos da física são muito importantes para o monitoramento de atributos físicos que são diretamente relacionadas à infiltração de água no solo. As informações a seguir não podem ser negligenciadas: classe do solo, textura, estrutura, porosidade, declividade da área e rugosidade da área. As condições climáticas associadas à cobertura do solo e a intensidade de uso do solo têm papel muito importante na infiltração de água no solo.

Sem o rigor necessário para a obtenção das amostras, o tempo e trabalho despendidos nessa etapa podem ser considerados perdidos. Dessa forma, a improvisação na amostragem para a avaliação física dos solos deve ser totalmente descartada. O treinamento e acompanhamento de quem vai ocupar-se desse trabalho merece prioridade máxima. Além disso, é necessário contar com um instrutor que conheça muito bem a tarefa a ser repassada para aquele que vai executar em campo a amostragem.

A definição da área a ser amostrada deve ser criteriosa e deve seguir os pontos discutidos anteriormente nesse capítulo. O passo seguinte é coletar as amostras, e vários aspectos devem ser observados: a) selecionar os procedimentos necessários para a avaliação física pretendida; b) levantar o histórico de uso da área no maior detalhe possível; c) em área plana ou suave ondulada, a frequência de empoçamento de água deve ser discutida com pessoas que trabalham no local; em áreas onduladas ou forte onduladas, a intensidade do escoamento superficial pode ajudar na avaliação física do solo; d) avaliação da morfologia do sistema radicular – plantas nativas ou cultivadas; e) desuniformidade no crescimento ou desenvolvimento das plantas, caso elas estejam presentes; f) escavar minitrincheiras de 0 a 30 cm e avaliar a resistência do solo com uma faca de pedólogo; g) observar a homogeneidade/heterogeneidade do solo a ser amostrado. Os itens de a a g são considerados preliminares e ajudam a nortear o processo de obtenção das amostras. Recomenda-se fazer um relato compacto e preciso de cada ponto amostrado incluindo-se as coordenadas geográficas. Os procedimentos utilizados na avaliação das



propriedades físicas do solo podem ser encontrados em manuais da American Society of Agronomy (1986) e da Embrapa (1997). Para aqueles que têm menor familiaridade com os procedimentos usados para avaliar os atributos físicos do solo, recomenda-se acessar a literatura pertinente, nos manuais de métodos de análises físicas de solos tais como: Manual de métodos de análise de solo (EMBRAPA, 2017).

Como já foi mencionado, uma amostra coletada de forma inadequada (principalmente as amostras indeformadas de solo) ou obtida em local inadequado, que não seja representativa da área em uso ou estudo, tem pouca ou nenhuma importância na avaliação física do solo, mesmo que ela seja analisada no melhor laboratório do mundo. Desse modo, como já anteriormente comentado, não se recomenda entregar essa etapa a uma pessoa despreparada para tal ou que não receba treinamento adequado, mesmo que esteja sob a supervisão de um professor ou pesquisador que reúna os conhecimentos teóricos sobre o assunto e tenha longa experiência de campo. O conhecimento especializado da física do solo é necessário, mas não é suficiente, uma vez que essa subárea da Ciência do Solo tem relações estreitas com as demais subáreas dessa ciência, em especial aquelas relacionadas com a qualidade ambiental do solo, importantes para desenvolvimento tanto dos macro quanto dos microrganismos do solo e das plantas. Cabe destacar que de nada vai adiantar aplicar 100, 200, mais de 300 % de fertilizantes, maior que a quantidade tecnicamente recomendada de um fertilizante para uma determinada cultura, se o solo não apresentar as condições ambientais de distribuição de poros – os macroporos, necessários à respiração, e os microporos, necessários para reter a solução de forma disponível para a hidratação e nutrição da planta.

Amostragens executadas de forma adequada também permitem identificar com qualidade os valores de densidade do solo bem como sua resistência, tão importantes para o desenvolvimento das plantas como a prática da calagem e das adubações. Na especialização exagerada, direcionada para um seguimento muito específico, por exemplo em fertilidade do solo, se o especializando não buscar a interdisciplinaridade com outros seguimentos da ciência, como exemplo a física do solo, a qualidade edáfica do ambiente para a absorção de nutrientes e o desenvolvimento da planta ficam comprometidos, perdendo-se a ideia do todo. Isso pode ser notado ao longo de uma carreira docente para a graduação e, também, para a pós-graduação. Isso porque o ensino valoriza muita a memorização e pouco o entendimento e o alcance prático dessa memorização.

Os procedimentos realizados nos laboratórios de solos têm sido encarados como receitas de bolo com baixa criatividade e conhecimento para alterar os ingredientes necessários à melhoria da qualidade do bolo

que vai ser levado ao forno. Se continuar assim, um futuro professor ou pesquisador terá limitações metodológicas evidentes, e os formandos que vão se dedicar ao trabalho de campo terão dificuldades em identificar, ousar e estabelecer novos paradigmas para a resolução do problema – resolução esta que pode alavancar a produtividade com qualidade e comprometimento ambiental. Qualquer questionamento nesse sentido será considerado como problemas pessoais entre os interlocutores. Com certeza, ninguém erra por excesso de conhecimento, bom senso e ousadia, mas pela sua falta. O título de doutor obtido em uma universidade bem qualificada é um bom começo, mas pode ser uma moeda que se desvaloriza muito rapidamente se seu portador não for uma pessoa ousada, imaginativa e criativa. Não se recomenda passar a vida somente estudando e acumulando títulos sem aplicá-los para o bem da sociedade, mas também passar essa vida de forma oposta, ou seja, aplicar sempre a mesma receita de bolo que aprendeu, não vai resultar em avanços esperados pela sociedade que mantém financeiramente as instituições de ensino.

A falta de conhecimento de métodos analíticos vai contribuir para uma capacidade limitada de interpretar os dados a serem obtidos pelas análises. Uma visão crítica dos valores das análises é de grande valia para se selecionarem as amostras que precisam ser analisadas novamente. Deve-se esclarecer que memorizar uma marcha analítica tem pouca utilidade. As receitas usadas na culinária podem ser memorizadas depois que o processo fora repetido por várias vezes, assim como o sucesso na qualidade observado em todas as repetições. Caso surjam erros em algumas das etapas da repetição, significa que a metodologia não se ajusta a todos os ingredientes e à qualidade do ambiente. Essa mesma situação ocorre tanto nos processos de amostragem como nas análises em laboratórios. A memorização pode ser útil, mas não vai influenciar na qualidade dos dados dependendo de uma nova realidade em estudo. Assim, o conhecimento do material analisado é insubstituível para que a avaliação dos dados provenientes das determinações seja devidamente criticada. A competição por espaços nas diferentes profissões tem causado muitos desentendimentos que chegam até os órgãos representantes dos profissionais para que estes definam os limites de atuação profissional ou quem teve sua área invadida.

### 7.3.2 Atributos físicos relacionados à infiltração de água no solo

#### 7.3.2.1 Densidade do solo e porosidade

Densidade do solo ( $D_s$ ) - massa do solo seco a 105°C dividido pelo volume do solo obtido pelo anel volumétrico (material sólido + poros), é

um parâmetro físico do solo importante na análise, interpretação e aplicação dos fatores que limitam a produção. A ausência do seu conhecimento pode afetar a resistência do solo ao crescimento radicular, a disponibilidade da solução e da aeração do solo. Em solos argilosos muito úmidos, o volume pode ser superestimado em razão da expansão da massa quando úmida e retração quando seca em alguns solos. Ao comparar os dados obtidos quando o solo está seco com o solo muito úmido, a densidade do solo pode apresentar resultados bem diferentes.

Dessa forma, é sempre bom considerar o teor de umidade no ato de obtenção da amostra. Esse é um cuidado indispensável para uma determinação muito útil quando se quer obter informação da porosidade total dos solos. Outro aspecto que demanda cuidado é a questão da amostra denominada indeformada, ou seja, quando se quer que a amostra em análise no laboratório apresente os mesmos atributos que estão presentes na população no campo. Ao introduzir o anel no solo por meio de batidas fortes e, às vezes, não centralizadas, pode-se ocasionar alguma deformação, como a compactação ou mesmo criar espaços vazios entre a parede do anel e a massa de solo, o que poderá afetar o resultado a ser obtido.

A introdução do anel no solo com pressão constante é recomendável. Quando o solo estiver saturado, comum em ambientes de lençol freático na superfície, pode-se cometer um erro considerável na medida do volume do solo. Levar um anel volumétrico com o solo para o laboratório e deixá-lo secar ao ar até peso constante e medir novamente o volume do cilindro de solo é uma recomendação que pode reduzir os erros analíticos. Com isso, pode-se calcular a porcentagem do volume contraído e obter-se maior confiabilidade no resultado. Não é possível fazer isso quando a textura do solo for arenosa, pois o volume será desfeito. O volume desse material pode ser medido em uma proveta, procurando-se sempre acomodar o solo dentro da proveta nas mesmas condições que se encontra no campo através de queda da proveta sob um lençol de borracha e altura de queda de 15cm. O trabalho em se obterem amostras indeformadas no campo bem como o tempo necessário para determinar a densidade do solo dificultam a obtenção de repetições, exigindo do amostrador conhecimento e precisão para se ter acurácia na amostragem.

Obtendo-se a densidade do solo, bem como a medição da densidade das partículas ( $D_p$ ), é possível obter-se a porosidade total (PT ou n) de um horizonte ou camada de solo através da expressão  $PT = ((D_p - D_s) / D_p) \times 100$ . Essa densidade das partículas é obtida dividindo-se a massa do solo pelo volume sem os poros ou vazios do solo. Usa-se, comumente, o álcool etílico como líquido penetrante, pois o uso da água, que é um dipolo por natureza, pode hidratar colóides com cargas e, com isto,

expandir o volume das partículas, consequentemente, superestimando os resultados. Esse volume é medido em um balão volumétrico ou picnômetro com a adição de álcool etílico como líquido penetrante.

A porosidade total indica o volume dos espaços vazios ocupados pela água, ar ou ambos. Tanto a água como o ar são importantes fatores de crescimento e desenvolvimento das plantas e de todas as formas de vida encontradas no solo. A infiltração de água no solo é dependente da porosidade total e dos tamanhos dos poros. Os macroporos ( $\varnothing > 50\mu\text{m}$ ) são encarregados do movimento de água no perfil do solo e abaixo dele bem como da troca do ar do solo com o da atmosfera, vital para a respiração das raízes e outras formas de vida. Os poros menores que são meso e microporos retardam e armazenam o fluxo de água no solo. Para um bom equilíbrio de água no solo, tem sido sugerido que os macroporos estejam acima de 12% e os microporos acima de 23%.

O tamanho e a continuidade dos poros são muito importantes no entendimento da infiltração de água no solo. O procedimento para se determinarem os diâmetros dos poros é demorado, conta com apenas parte do aval daqueles que trabalham com o assunto, mas que pode dar boas indicações da qualidade ambiental do solo para os seres vivos que nele se desenvolve. Sua determinação pode ser feita utilizando-se da mesa de tensão, de fácil construção, ou mesmo através das membranas de Richardt, assumindo-se que macroporos são os poros com diâmetros maiores que 0,05-0,06mm e microporos os que se apresentam menores do que esse valor. O valor da tensão de sucção em que deve ser submetida a amostra de solo, de preferência indeformada, é de 60 cm de coluna de água.

O uso impróprio dos solos tem como consequência a alteração da densidade dos solos e da sua porosidade, em especial na redução da macroporosidade e até aumento indesejável da microporosidade, de diâmetros ainda menores, que passam a reter a água de forma inacessível aos seres vivos que dela necessitam. Como já foi citado, o empoçamento de água nos solos cultivados é um forte indício de redução da infiltração da água. Em áreas de declividades maiores, o escoamento superficial das águas, o acúmulo de água e sedimentos em canais de terraços são indicadores de alerta em relação ao problema de redução na infiltração de água nos solos. Essas observações precisam ser levadas a sério para que não se tenham surpresas desagradáveis causadas pela erosão hídrica. Assim, a continuidade dos poros e sua tortuosidade são importantes para o movimento adequado da água, ar e crescimento de raízes.

### 7.3.2.2 Compactação do solo

A mecanização agrícola tem sido responsabilizada por todo o tipo de aumento da densidade do solo. Isso precisa ser revisto porque outros processos de aumento de densidade do solo podem ocorrer sem a participação do movimento de máquinas na superfície do solo. O solo superficial no sistema de plantio direto é um exemplo de que o aumento de densidade não acontece somente por pressão sobre a superfície do solo. De maneira geral, os valores de densidade do solo na camada superficial são superiores ao sistema convencional, mesmo tendo maior aporte de matéria orgânica e proteção do ambiente solo dos agentes climáticos.

Os ciclos de umedecimento e secagem do solo podem promover o aumento de densidade do solo, assim como a dispersão química dos agregados por efeitos de calagem e fertilizações. As condições climáticas locais participam diretamente nos referidos ciclos. A baixa estabilidade da estrutura do solo tem efeito direto no aumento da densidade. Com a ruptura de alguns agregados o material desagregado preenche os espaços vazios entre os agregados, aumentando a massa para um volume constante. Sabe-se que a estabilidade dos agregados depende da mineralogia da fração argila. Esse assunto será abordado no capítulo que trata da estrutura dos solos (Capítulo 5).

No aumento de densidade, ocorrem decréscimo do volume do solo e redução da porosidade total e dos macroporos que são encarregados do movimento de água e ar no solo. Com isso, a geometria e conectividade dos poros ficam modificados, e seus efeitos reduzem o fluxo externo de água no solo.

## 7.4 Resistência do solo à penetração

Os penetrômetros são aparelhos destinados a determinar a resistência do solo no qual uma haste penetra através do impacto de um peso que cai de uma altura constante, em queda livre, determinando-se a espessura da camada que foi penetrada a cada impacto (STOLF, 1991), até uma determinada profundidade por meio da qual se deseja conhecer a resistência do solo à penetração.

Estão disponíveis penetrômetros manuais, eletrônicos de bancada, eletrônicos acoplados a meios de transporte e alguns de maiores dimensões, como os utilizados na engenharia civil. O penetrômetro, comumente utilizado na agricultura (padrão agrônomico) para avaliar a resistência do solo, é o de impacto, adaptado pelo Prof. Rubismar Stolf (STOLF, 1991), e possui as seguintes características:  $M = 4\text{kg}$ ;  $m = 3,2\text{kg}$ ;  $M+m = 7,2\text{ kg}$  e  $h = 40\text{ cm}$  (podendo variar conforme as especificidades de cada solo) (Figura 7.1).

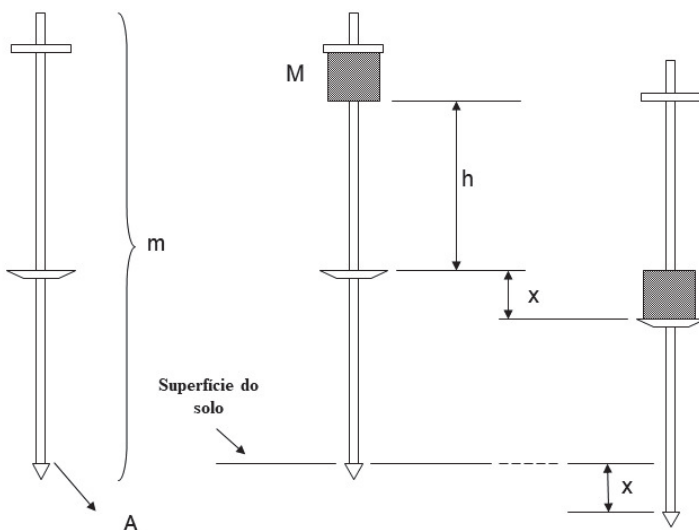


Figura 7.1 – Esquema de um penetrômetro de impacto evidenciando os componentes que o compõem

Legenda: haste (m), ponteira cônica (A), êmbolo que produz o impacto (M), responsável pela energia potencial para a realização da penetração da haste pelo efeito do impacto do mesmo (x).

Fonte: adaptado de Stolf (1991).

Dessa forma, a resistência do solo à penetração, mensurada pela penetrometria, indica a relação entre a força exercida para a penetração no solo, de uma haste provida de um cone metálico numa extremidade, e a sua área basal, que é constante e conhecida (ALMEIDA, 2011). Assim, a energia potencial, devido à queda da massa de impacto, é totalmente transformada em trabalho, em valores de resistência (em MPa), que possibilitam comparações e a identificação real da resistência do solo à penetração. O teor de umidade do solo deve ser conhecido e, de preferência, estar próximo à capacidade de campo, no momento da mensuração da resistência do solo à penetração, pois, segundo ARSHAD et al. (1996) e SILVA et al. (1994), nessa situação, obtém-se boa correlação desse atributo com o crescimento radicular das plantas.

Assim, a transformação dos valores da penetração da haste do aparelho no solo (cm impacto<sup>-1</sup>) em resistência do solo à penetração (RP, em MPa) se dá pela seguinte fórmula (STOLF, 1991):

$$RP = \frac{(M+m)g + \frac{M}{M+m} * Mg h/x}{A} * 0,098 \quad (1)$$

em que: M é a massa que provoca o impacto (kg); m corresponde à massa dos demais componentes do penetrômetro excluída a de impacto (kg); M+m é a massa total do aparelho (kg); g equivale a aceleração da gravidade; Mg e mg são os pesos das massas consideradas; h é a altura de queda da massa que provoca o impacto (cm); x corresponde à penetração ocasionada por ação do impacto (cm impacto<sup>-1</sup>); e A é área da base do cone (cm<sup>2</sup>).

A resistência do solo à penetração varia com as classes de solos e com os seus atributos, principalmente com a umidade do solo, o que pode ocasionar uma sub ou superestimativa na interpretação dos resultados. Segundo Almeida et al. (2008) e Almeida et al. (2012), a relação entre a resistência do solo à penetração e a umidade obedece a um modelo exponencial decrescente, em que, quanto maiores forem os valores de umidade do solo, menores serão os valores de resistência do solo à penetração, numa escala exponencial (Figura 7.2), na página seguinte.

Entretanto, embora aparentemente fácil de definir, a resistência do solo não é nada fácil de mensurar, sendo um índice altamente variável, que muitas vezes muda durante o próprio processo de medição. Em solo não saturado, a resistência pode aumentar à medida que o solo se torna mais compacto; e, em solos temporariamente saturados, pode ocorrer a perda de coesão e até mesmo liquefação (fenômeno conhecido como tixotropia) (HILLEL, 2003). Assim, a umidade altera a coesão entre as partículas do solo.

A argila, por causa de sua elevada área superficial específica e sua atividade físico-química resultante, é a fração com maior influência no comportamento do solo. As partículas de argila adsorvem a água e se hidratam, fazendo com que o solo se expanda, nos ciclos de umedecimento e secagem. Assim, um solo argiloso, normalmente, exibirá um comportamento plástico e se tornará pegajoso quando úmido, mas depois endurece e racha, para formar fragmentos duros e cimentados quando dessecado (HILLEL, 2003).

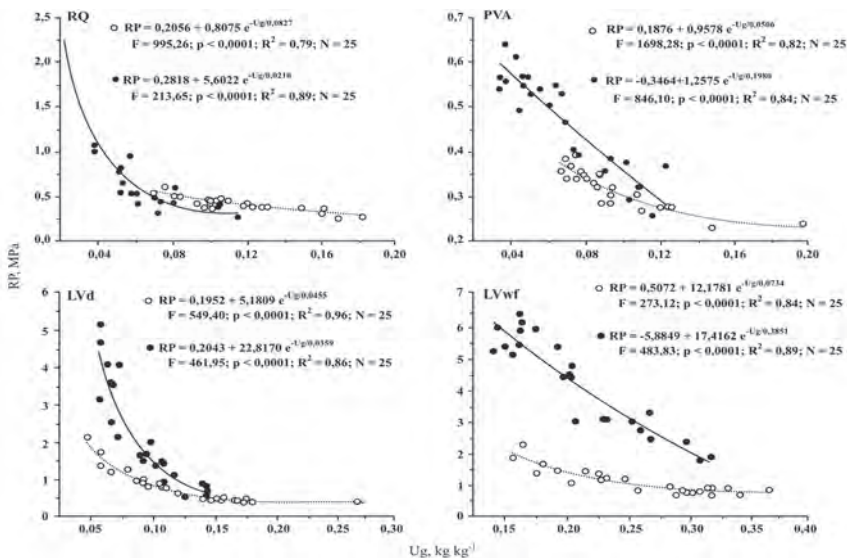


Figura 7.2 – Curvas de resistência dos solos à penetração

Legenda: Neossolo Quartzarênico (RQ), Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Latossolo Vermelho acriférrico (LVwf), nas diferentes intensidades de compactação (○D1 e ●D2).

Fonte: Almeida et al. (2008).

Dessa forma, deve-se evitar a comparação de dados quando não se conhece a umidade de cada sítio avaliado, mesmo que a classe de solo seja a mesma. Por isso, a correção dos dados de resistência do solo à penetração para o mesmo conteúdo de água pode reduzir problemas de interpretação de resultados obtidos em diversas condições de campo e sistemas de manejo (BUSSCHER et al., 1997). Há funções de pedotransferência que traduzem essa relação e podem auxiliar nesse sentido, conforme descrito em Almeida (2008); Almeida (2011); Almeida et al. (2008) e Almeida et al. (2012).

Conforme mencionado anteriormente, a capacidade do responsável pelas medições de identificar e caracterizar as principais classes de solos é de grande importância para se ter êxito nas recomendações práticas de manejo do solo. Informações complementares devem ser obtidas antes de se iniciarem as mensurações em campo, como a observação das deformações dos sistemas radiculares de plantas nativas e cultivadas, caso elas ocorram na área. Alguns pontos úteis a serem considerados são: textura e estrutura do solo, mineralogia da fração argila e a umidade do solo, conforme já discutido. Assim, é comum uma considerável variação



dos resultados da resistência do solo à penetração em diferentes classes de solo, que também são influenciados pelos seus atributos, como a densidade do solo (Figura 7.2). Essa situação torna-se mais crítica naquelas classes de solos muito heterogêneos.

A resistência do solo à penetração também é influenciada pelos sistemas de uso e manejo do solo. Assim, Portugal et al. (2008) constataram que há grande diferença nos valores de resistência do solo à penetração quando foram comparados solos sob mata nativa com solos sob sistemas agrícolas, como seringueira, cultura de laranja, cana-de-açúcar e pastagem, em especial nos primeiros 20 cm de profundidade (Figura 7.3).

Observa-se que o solo sob pastagem foi o que apresentou maiores valores de resistência do solo à penetração. Segundo Sá e Santos Júnior (2005), áreas de pastagens vêm sofrendo degradação devido ao manejo inadequado dos animais e da fertilidade do solo. Além das consequências econômicas, há que se considerar também o custo ambiental: a compactação predispõe o solo à erosão, pois, com a degradação da sua estrutura, ocorre diminuição da infiltração de água e aumento do escoamento superficial e, nos casos mais drásticos, o rompimento de terraços, resultando em perdas de água e solo e, conseqüentemente, assoreamento e poluição de cursos d'água (SÁ; SANTOS JÚNIOR, 2005).

Estudos práticos de campo, com diferentes umidades, podem ser desenvolvidos para que o efeito da umidade sobre a resistência do solo à penetração seja identificado, bem como estabelecer uma relação específica para cada tipo de solo (influência da textura, matéria orgânica, tipo de estrutura etc.). Assim, o desejável é que se proceda à calibração das medidas do penetrômetro a partir de diferentes umidades no solo, fazendo-se pelo menos cinco gradientes distintos de umedecimento do solo no local do estudo.

Para formar gradientes de umidade no solo, a sugestão é que sejam utilizados cinco anéis (cilindros de PVC ou metal) de diâmetro superior a 30 cm, que, após introduzidos no solo, recebam, em seu interior, quantidades crescentes de água (por exemplo: 0, 2, 4, 6 e 8 litros). Após o molhamento, deve-se esperar um período de tempo de pelo menos 6h, para que toda a água aplicada dentro do anel produza um perfil homogêneo de umedecimento.

Na seqüência, no interior de cada anel, com os diferentes gradientes de umidade, faz-se de 5 a 10 determinações da resistência do solo à penetração, conforme a Equação 1 (STOLF, 1991), para cada gradiente de umidade. Para cada perfil homogêneo de umedecimento, retira-se uma fatia de solo na mesma profundidade de estudo da resistência do solo à penetração, que, após acondicionamento, deve ser levada ao laboratório para determinação da umidade do solo.

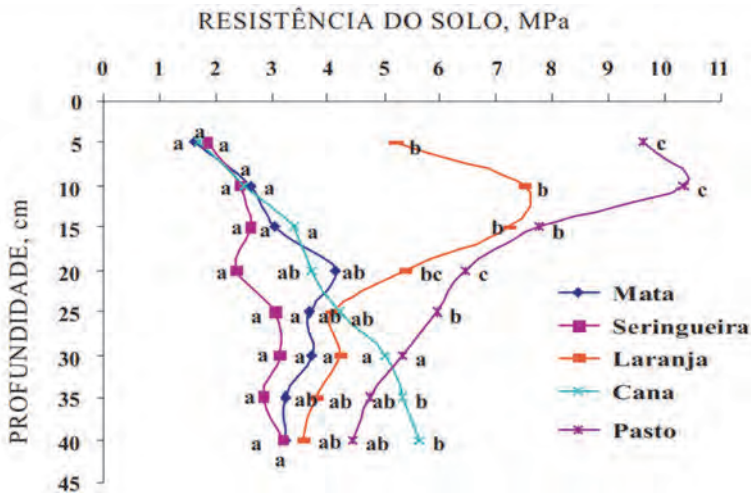


Figura 7.3 – Resistência do solo à penetração para mata, seringueira, laranja, cana e pastagem, com umidade do solo de 0,117; 0,229; 0,167; 0,166; e 0,154 kg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Legenda: valores seguidos pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem, estatisticamente, entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Fonte: Portugal et al. (2008).

Para obtenção da curva de calibração em função do gradiente de umidade no solo, é necessário testar modelos de regressão e optar por aquele que apresente os melhores coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Na maioria dos casos, os modelos que melhor se ajustam são os exponenciais. Obtidos os valores de resistência do solo à penetração, para os diferentes teores de umidades, e inseridos na equação de regressão mais apropriada, esta fornece a variável independente (resistência do solo à penetração) para diferentes valores de umidade do solo (capacidade de campo inclusive) e os coeficientes que são em função dos atributos específicos de cada solo (que podem variar para um mesmo solo em função dos sistemas de uso e manejo do solo, os quais influenciam os atributos do solo, como sua densidade, que também tem influência sobre os valores da resistência do solo à penetração, conforme dados apresentados na Figura 7.2).

A estimativa da curva de resistência do solo à penetração a partir de variáveis de fácil obtenção, como o conteúdo de água, representa uma medida útil não só para a quantificação do estado de compactação, mas também para facilitar a interpretação da resistência do solo à penetração obtida em diferentes condições de campo (ALMEIDA et al., 2008). As funções de pedotransferência são regressões utilizadas para estimar

atributos edáficos dependentes a partir de atributos independentes e de fácil determinação. Nesse sentido, são propostas na literatura diversas funções de pedotransferência que visam predizer a resistência do solo à penetração (ALMEIDA et al., 2012) e que podem auxiliar nos estudos de calibração da umidade do solo e seus respectivos valores de impedimento ou limitação ao crescimento das plantas nos sistemas produtivos.

## Considerações finais

1. Na avaliação das condições químicas, físicas e biológicas do solo, a amostragem é a etapa inicial e deve ser feita criteriosamente para que as outras fases da avaliação sejam bem-sucedidas. Iniciou-se por aspectos gerais da amostragem, em que se ressaltou a importância do encarregado da amostragem, que deve ter conhecimento sobre a população a ser amostrada. Este trabalho não deve ser entregue aos leigos no assunto. Além disso, é recomendável que se tenha um responsável técnico para acompanhar e dar instruções a fim de que o trabalho seja executado com o máximo de cuidado. A homogeneidade das classes de solos deve ser considerada para se fazer a amostragem do solo. Com a adição dos insumos usados na produção, essa homogeneidade natural vai ser modificada, principalmente na superfície do solo.

2. Condições especiais ou particulares de amostragem: a) áreas sistematizadas em várzeas; b) amostragem de solos nas proximidades de grandes centros urbanos; c) amostragem de solos submetidos a queimadas frequentes; d) amostragem de solos em áreas de alta concentração industrial.

3. Participação da física do solo no manejo adequado dos solos sob uso intensivo: não se incluíram os procedimentos analíticos, considerando-se que os manuais de métodos discutem adequadamente os métodos e são de fácil acesso. Destacaram-se, aqui, algumas variáveis da física do solo, começando-se pela infiltração de água nos solos, que se relaciona diretamente com a textura, estrutura, porosidade, declividade e rugosidade da área, cobertura do solo, intensidade de uso dos solos, características climáticas locais e regionais e classe do solo. Tanto a densidade do solo como a porosidade e a compactação são muito importantes na avaliação da infiltração de água no solo. A resistência do solo à penetração tem sido avaliada por meio de penetrômetros.

4. O grau de elaboração na retirada das amostras para a avaliação das condições físicas do solo é bem mais complexo que nas demais áreas da Ciência do Solo. Dessa forma, o treinamento de pessoal para a obtenção de tais amostras é necessário para que sejam obtidas amostras adequadas a fim de que os resultados sejam coerentes.

## Referências

- ALMEIDA, C. X. de. **Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração**. 2008. 34 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/88316>>.
- ALMEIDA, C. X. de. Qualidade física de um latossolo vermelho sob sistema de semeadura direta e cultivo convencional. 2011. 91 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/105136>>.
- ALMEIDA, C. X. de; CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; JORGE, R. F.; BARBOSA, J. C. (2008). Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 32, n. 6, p.2235–2243. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600003>
- ALMEIDA, C. X. de; CENTURION, J. F.; JORGE, R. F.; BARBOSA, J. C.; ANDRIOLI, I. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2012, v. 36, n. 6, p. 1745–55. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600008>
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A. C. X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 271-276, 1992.
- American Society of Agronomy. **Methods of soil analysis. Part 1 – Physical and mineralogical methods**, second edition. 1986. 1188p.
- ARSHAD, M. A. LOWERY, B. GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W. JONES, A. J. (Ed.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141 (SSSA Special publication 49).
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R. ; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a Coastal Plain soil. **Soil Till. Res.**, v. 43, p. 205-217, 1997.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.]. (Ed.). 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 1997.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. 5. ed., Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- HILLEL, Daniel. **Introduction to environmental soil physics**. Elsevier, 2004. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Vassilis\\_Aschonitis/post/How\\_is\\_soil\\_water\\_potential\\_matrix\\_and\\_positive\\_pressure\\_potential\\_related\\_to\\_water\\_flow\\_through\\_the\\_soil\\_and\\_pore\\_size\\_distribution/attachment/59d61d8ac49f478072e9712e/AS%3A271736715579392%401441798489198/download/Introduction+to+Environmental+Soil+Physics.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Vassilis_Aschonitis/post/How_is_soil_water_potential_matrix_and_positive_pressure_potential_related_to_water_flow_through_the_soil_and_pore_size_distribution/attachment/59d61d8ac49f478072e9712e/AS%3A271736715579392%401441798489198/download/Introduction+to+Environmental+Soil+Physics.pdf)> Acesso em: 26 jul. 2023.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. A. V.; COSTA, L. M.; SANTOS, B. C. M. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb Distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 249-258, 2008.

SA, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. **Compactação do solo**: consequências para o crescimento vegetal. 2005. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/569996>> Acesso em: 20 jul. 2023.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 229-235, 1991.



## CAPÍTULO 8. Práticas conservacionistas usadas na preservação dos recursos hídricos

*Elias Nascentes Borges  
Marcelo Alves da Rocha Dias  
Cinara Xavier de Almeida  
Ricardo Falqueto Jorge  
André Luiz Lopes de Faria*

### 8.1 Introdução

O terraceamento é uma prática conservacionista importante para se reduzir as perdas de solo por erosão hídrica e aumentar a oferta local de água na atividade agropecuária, bem como em todas as atividades humanas. Como tal, ele deve ser tecnicamente planejado, executado e mantido sob orientação e supervisão de profissionais capacitados, como os das ciências agrárias. Essa prática teve sua origem a partir do crescimento populacional das civilizações incas, que precisavam expandir a produção de alimentos para as regiões montanhosas de muita chuva, e à comprovação de que a cultura do arroz se desenvolvia e produzia melhor em solos inundados permanentemente. Posteriormente, ela avançou para outras áreas e se consolidou no Vietnã como prática de manejo de irrigação para a produção de arroz inundado, de tal modo que sua adoção se faz importante até os dias de hoje.

Com o crescimento da população mundial, principalmente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, o uso dos solos de maior fertilidade foram se esgotando e os que estavam em uso experimentavam enorme processo de degradação e perda da capacidade produtiva devido à erosão e uso incorreto. No Brasil, a erosão hídrica está entre os mais relevantes processos que levam à degradação das terras, mobilizando pesquisadores, produtores e toda sociedade na busca por sistemas de uso e manejo de solo que reduzam as perdas de solo e água na produção agropecuária a níveis toleráveis (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

O terraceamento, praticado até mesmo antes de Cristo, como prática de combate às perdas de solo e água e de garantia de melhor produção, continua a ser uma prática ainda bem utilizada. Ele se fundamenta pela construção, transversalmente à declividade do terreno, de um canal e um camalhão (dique), denominado de terraço, que intercepta o fluxo da enxurrada, aumentando o tempo de contato desta com o solo, oportunizando sua infiltração (CODASP, 1994). Segundo Pruski et al. (2013), instalada isoladamente, a prática do terraceamento não controla adequadamente as perdas de solo e água e, por isso deve ser utilizada concomitantemente com outras práticas edáficas e também de caráter vegetativo, por exemplo, a cobertura permanente do solo com palhada plantada ou de restos culturais, calagem e adubação bem planejadas e balanceadas, rotação de culturas com plantas de cobertura, faixas de culturas permanentes e densas, manejo do cultivo em nível ou em contorno, monitoramento contínuo e manutenção adequada dos teores de matéria orgânica e da atividade biológica do solo. A combinação dessas práticas, incluindo sempre o terraceamento, compõe o planejamento conservacionista que garante menores perdas de solo e água, garantindo, assim, a sua sustentabilidade para as futuras gerações.

## 8.2 Terraceamento, limitações e importância

O terraceamento é uma estrutura conservacionista composta de um canal e de um camalhão ou dique (Figura 8.1.) importante para o desenvolvimento e perpetuação da agropecuária, com alcance e benefícios para todos os seres vivos do meio rural e urbano.

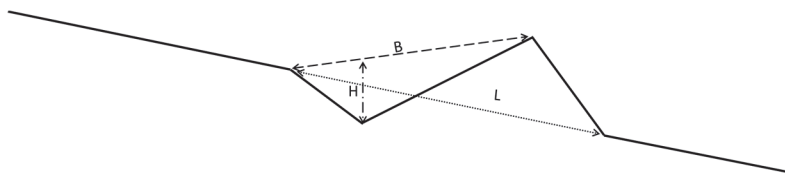


Figura 8.1 – Corte transversal de um terraço com seção triangular

Legenda: B = base do triângulo; H = profundidade do canal; L = largura do terraço.

Fonte: elaborado pelos autores.

Quando construído em nível, o terraço promove a interceptação e infiltração da água, de modo a contribuir regionalmente com a regularização e perenização dos cursos de água por favorecer o reabastecimento do lençol freático. Sua existência na agricultura reduz o transporte e a perda do solo e da água, sementes e fertilizantes para o leito



dos rios, represas ou nascentes de cursos de água; diminui os riscos de enchentes, transbordamentos e alagamentos, geralmente associados ao caos social das periferias dos grandes centros urbanos; melhora a oferta e a qualidade da água para a população e a geração de energia pelas hidroelétricas no período da seca.

A concepção e a recomendação da construção do terraço são embasadas na premissa de que, em muitas condições de solo, chuvas e relevo, o aporte de água pela chuva pode ser superior à capacidade de infiltração pelo solo, com conseqüente formação de uma lâmina de água na superfície, dando início ao escoamento superficial ou *runoff*. A presença do terraço, então, intercepta e disciplina o fluxo dessa água bem como retém o solo erodido, de modo a impedir que sejam transportados e depositados onde poderiam causar grandes prejuízos sociais e ambientais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

Não obstante, mesmo com os avanços e a instalação do terraceamento em boa parte das áreas de agropecuárias do país, o que se percebe e se depara são os constantes assoreamentos dos cursos de água, enchentes com tragédias sociais quando o rio passa pelos centros urbanos, baixa qualidade das águas que chegam à população, indicando que os terraços ou o terraceamento instalado como medida protetiva contra a perda de solo e água ainda demandam conscientização, cuidados, pesquisas e, sobretudo, bom manejo e manutenção constante por profissionais bem preparados tecnicamente.

Nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo, com exceção ao sistema plantio direto, quando se aplica a definição estrita para o terraceamento, de certa forma, fica implícito que, mesmo com sua implantação no campo, a movimentação de solo e água vai existir ou continuar, ou seja, não cessa a formação do escoamento superficial e dos processos erosivos, mas estes passam a ficar restritos à área protegida em uso, sem atingir os mananciais de água. Ou seja, com a presença do terraceamento, o escoamento superficial, que se forma entre os terraços adjacentes e que, de modo geral, contém colóides e areia dispersos assim como os fertilizantes e defensivos dissolvidos e/ou adsorvidos, provenientes dessa rampa entre os terraços, ficarão retidos no canal do terraço sem chegar aos cursos de água.

Nessa condição, tanto os fertilizantes/calcários como as partículas sólidas dispersas podem contribuir para o entupimento dos poros e o surgimento de uma camada de selamento do solo no corpo do canal do terraço, conforme observado pelo Prof. Liovando Marciano da Costa, professor aposentado da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em fazendas do antigo Grupo Itamarati, no Mato Grosso. O professor observou, em suas visitas, que os terraços de fato cumpriam sua função

para interceptar a água formada entre os terraços, no entanto não cumpria a função de infiltrá-la em um tempo relativamente curto, pois a soja ou o milho plantado no canal do terraço tornavam-se muito amarelados e até mesmo morriam pela falta de ambiente superficial do solo de maior aeração e trocas gasosas do ar do solo com o ar atmosférico. Nesse perfil do solo com ambiente pobre em oxigênio, o sistema radicular era menor e fisiologicamente deformado devido à saturação do solo na maior parte do tempo, condição esta indesejável para a maioria das plantas cultivadas, com exceção da cultura do arroz.

Essa situação de mal desenvolvimento do sistema radicular e da planta como um todo foi minimizada no ano seguinte com a recomendação da subsolagem no canal. É de se esperar que a subsolagem em profundidade possa ter quebrado a camada compactada produzida pela deposição das partículas coloidais dispersas trazidas pelo escoamento superficial, proveniente da rampa entre os terraços. Sempre que for possível, o cultivo tanto do canal como do camalhão faz-se necessário, pois essas partículas contêm, além dos colóides do solo, fertilizantes que foram aplicados no plantio, período este de maior incidência e intensidade das chuvas. Ele traz ainda como vantagem o aumento da matéria orgânica do solo, maior disponibilização de nutrientes, propiciando uma maior atividade dos organismos que atuam na agregação do solo e, com isso, melhorando as taxas de infiltração de água no solo.

No sistema de plantio direto, diversas pesquisas têm observado que a compactação subsuperficial diminui ou passa a não existir; contudo, há um aumento na densidade na superfície do solo, por receber o tráfego de máquinas durante a semeadura, manejo das culturas, como adubações de cobertura, controle de pragas e doenças e, também, a colheita, somados à possibilidade do aumento da quantidade de colóides dispersos em água devido à aplicação muito localizada dos fertilizantes. Assim, a porosidade do solo, em especial a macroporosidade, tende a reduzir, com reflexo na taxa de transmissão superficial da água para as camadas mais profundas, justificando, então, a necessidade de planejar e estabelecer o sistema de terraceamento, o seu manejo e manutenção anual, podendo envolver a necessidade da subsolagem, bem como o plantio do canal e também do camalhão.

Essa recomendação é diferente daquilo que foi executado pelos adeptos do plantio direto num passado recente. Em várias publicações, congressos e encontros na área de solos, muitos pesquisadores recomendavam total remoção do sistema de terraceamento após migração do sistema convencional para o sistema de plantio direto. Entretanto, conforme supracitado, percebe-se a importância das práticas complementares e de manutenção do terraceamento para se evitar que

alguns dos terraços da área sejam rompidos, pois, uma vez rompidos, todos os outros a jusante também serão danificados. Como resultado, toda a enxurrada com seus materiais dispersos e dissolvidos, como os colóides, nutrientes e agrotóxicos diversos, poderão chegar aos cursos de água e, conseqüentemente, aos seus consumidores, comprometendo sua saúde e oportunizando diversas doenças.

### **8.3 Terraceamento na agricultura familiar versus agricultura tecnificada**

O terraceamento no Brasil, desde sua origem, no estado de São Paulo na década de 1970, até a data de hoje, contribui, de forma parcial e insuficiente, para se reduzirem perdas de água e de solo na atividade agropecuária brasileira, seja esta praticada no sistema de Manejo C (alto nível tecnológico), sistema de Manejo B (médio nível tecnológico) ou sistema de Manejo A (baixo nível tecnológico). Em vários casos, a existência do terraceamento se constitui num acelerador do processo de perdas de solo e água, quando do seu rompimento, da inadequação do dimensionamento e/ou da construção, porque, ao facilitar a concentração do *runoff* em determinadas áreas ou trechos específicos, esta passa a ter mais volume, velocidade e, conseqüentemente, mais energia de desagregação e transporte. Nesse caso, geralmente, a erosão evolui para sulcos profundos ou voçorocas, podendo ocorrer até mesmo numa única chuva de maior intensidade e duração.

Pouco incentivo aos pesquisadores, professores e profissionais das ciências agrárias que trabalham com manejo e conservação do solo faz com que esse segmento técnico e científico da produção agrônômica seja deficiente e não acompanhe a evolução que experimenta toda a cadeia produtiva do agronegócio, tornando-o mais oneroso e de duração incerta. Entre as variáveis importantes para o correto uso do terraço, está a deficiência em conhecimentos técnicos científicos que pode embasar sua recomendação, o que envolve diversos parâmetros ainda carentes em estudos e pesquisas, tais como: propriedades e características das chuvas tropicais, do relevo, de atributos físicos e químicos do solo, da eficiência e interação entre tipos de práticas alternativas de uso e manejo do solo e das culturas, voltados especificamente para as condições tropicais.

Nas pequenas propriedades, na agricultura familiar, a baixa efetividade do terraceamento e de outras estruturas mecânicas de contenção de perda de água e solo está relacionada, entre outros fatores, ao fato de que as propriedades dos pequenos agricultores estão assentadas, via de regra, em áreas de maior declividade ou até mesmo de APP, e, também, devido a lençol freático mais elevado. Como a legislação brasileira atual proíbe o uso das áreas de APP que têm maior acúmulo de

umidade e de matéria orgânica, esses agricultores passam a utilizar mais intensamente os solos da encosta com maior declividade, geralmente mais rasos e, por isso, de melhor fertilidade natural, devido a maiores taxas de erosão, o que proporciona menor dispêndio de dinheiro para compra de fertilizantes, à exceção de materiais de origem (rocha) pobres em nutrientes.

Nessa situação, o pequeno agricultor, quando executa o terraceamento, não o faz a partir de um projeto tecnicamente elaborado por profissionais, deixando de incluir – para o cálculo da distância entre terraços bem como da área de seção do canal necessária para retenção temporária das águas – variáveis como o clima, solo, tipos e exigências das plantas em manejo, que, efetivamente, devem ser consideradas no projeto para que o terraço de fato possa impedir ou reduzir o escoamento superficial da água. Soma-se ainda a esse fato, a construção que, geralmente, é feita manualmente ou com máquinas e equipamentos de pequena eficiência, inapropriados para esse fim, como o trabalho braçal e uso do arado de tração animal.

Além disso, deve-se considerar que, em relevos em encostas, é comum a presença de rochas que dificultam o adequado estabelecimento do canal e do camalhão que compõem o terraço, além de tornar mais ágil o movimento das águas sobre a superfície inclinada. Deve-se considerar, ainda, que o agricultor de baixa renda, quando faz uso de equipamento para medir a declividade e fazer as niveladas básicas para o terraço, o faz com aqueles de baixa precisão, como o nível de mangueira, nível de pé de galinhas e outros recursos de menor precisão, em detrimento de equipamentos de maior precisão como os teodolitos, nível de engenharia e clinômetros.

Ao longo dos anos de erosão mais acelerada, a tendência é reduzir a profundidade do solo, tornando-o muito raso para a agricultura e possível afloramento das rochas ou de seus fragmentos, com o avanço do processo erosivo, que pode evoluir para sulcos ou até mesmo voçorocas. Além de tudo, a ausência da assistência técnica adequada de um profissional que possa dimensionar adequadamente o tipo de terraço (nível ou em gradiente), distância entre terraços, altura de crista do camalhão, capacidade volumétrica de retenção de água pelo canal, taxa de infiltração de água, identificação de intensidade, frequência e duração de eventos de chuva máximas possível de ocorrer constituem a realidade da agricultura no campo, na qual os terraços não proporcionam a proteção que deles se espera.

Por outro lado, na agricultura empresarial, mais tecnificada e geralmente assistida por profissionais da área, conquanto possa existir um projeto técnico e a construção do terraço possa acontecer com o uso de

máquinas e equipamentos mais adequados, o projeto técnico, geralmente, é apresentado de modo incompleto, ou mesmo priorizando a facilidade da mecanização da área para o plantio, tratos culturais e colheita, não incorporando na sua concepção todas aquelas variáveis que devem fazer parte do dimensionamento e não se atendo ao fato de que o conhecimento real e efetivo da taxa de infiltração do *runoff* pelo conjunto formado pelo canal/camalhão ou até mesmo na rampa entre dois terraços consecutivos é essencial para se evitar a erosão e rompimento dos terraços. Cabe destacar a ausência de dados consistentes, bem como a correta interpretação para as características da chuva, do solo e da cultura, que facilitam ou dificultam o escoamento superficial ou deflúvio. Para isso, são necessárias informações de estações meteorológicas com registros de uma série de dados com período de retorno de pelo menos 10 anos, fato esse pouco comum no Brasil. A partir da década de 1980/1990, embora tenha acontecido grande esforço do Governo e dos pesquisadores dos órgãos ou empresas de assistência técnica para adoção da bacia ou microbacia como unidade de conservação do solo e da água a nível local e regional, a efetividade na adoção foi pequena por parte dos produtores rurais, em parte pela animosidade entre vizinhos e/ou confrontantes e, em parte, pela necessidade de eliminação de cercas de divisas (CASTRO FILHO; MUZILLI, 1996).

Percebe-se, ainda, que parte do insucesso na função do terraceamento para reduzir perdas de água e solo, na agricultura tecnificada, pode estar ligada ao fato de muitos produtores, engenheiros agrônomos e outros técnicos da área manifestarem crença, quase que generalizada, de que, uma vez construídos os terraços no campo – quase sempre recomendado em nível para infiltração sem se ater às necessidades técnicas específicas para a propriedade rural –, todo trabalho de contenção e a proteção do solo e da água dentro da propriedade estava assegurado ou garantido.

#### **8.4 Herança cultural e sentimento conservacionista: expansão do sistema plantio direto e o terraceamento agrícola**

Para o Brasil continuar avançando, somando mais empregos, renda e divisas com exportação, e provendo alimentação à toda população brasileira e, também, parte da população mundial, é prioritária a adoção de tecnologias conservacionistas inovadoras, afinadas com o uso racional dos recursos naturais, com a finalidade de reduzir a perda da qualidade física e ambiental dos solos por erosão e outras formas de degradação. Nesse contexto, o uso do solo e outros recursos da natureza para a produção agropecuária deve ser baseado na elaboração, definição ou

recomendação de estratégias sustentáveis para as condições brasileiras, integrando-as com as condições de país tropical, o aumento de produtividade e a preservação ambiental, com foco na conservação do solo e da água. Por se tratar de solos muito intemperizados, com poucos minerais primários que favorecem a fertilidade do solo, o incentivo e o incremento para utilização do pó de rocha com qualidade agrônômica adequadas para a remineralização, por atividade biológica e pelo próprio solo, juntamente com a fixação biológica do nitrogênio, devem ser consideradas outras estratégias, em que todos os componentes do sistema, como o produtor, o meio ambiente e toda sociedade são beneficiados.

Com a expansão do sistema de plantio direto – que pressupõe a redução da mecanização, a manutenção da cobertura do solo com devolução dos restos culturais e, ainda, o estabelecimento das culturas entre safra (safrinha) ou do cultivo de cobertura para formação da palhada –, criou-se uma crença de que o terraceamento poderia até ser eliminado, ou os terraços serem locados bem mais distantes uns dos outros, inclusive com sugestão da remoção dos terraços existentes. Muitos técnicos acreditavam que esse sistema de manejo, aliado à rugosidade deixada pelos restos vegetais e as culturas de entressafra, aumentava a rugosidade e, conseqüentemente, proporcionava maior tempo de contato da água com o solo para a sua efetiva. Eles acreditavam, também, que o plantio direto poderia proporcionar uma qualidade ambiental do solo próxima das condições de solo não antropizado, devido ao maior aporte de matéria orgânica e da atividade biológica, proporcionando melhor equilíbrio entre o volume de vazios e de sólidos do solo. Para qualquer das circunstâncias, ou seja, a ausência do terraço ou mesmo o rompimento de um terraço recomendado muito espaçado a água em movimento superficial, pode contribuir de maneira decisiva para agravar tanto a erosão com perdas de solo e água, promover enchentes e assoreamentos o que não é desejável, em rios, lagos, represas e cursos de água.

Para Lombardi Neto *et al.* (1989) e Lombardi Neto *et al.* (1991), a pequena efetividade do terraceamento no Brasil, como prática para o controle da erosão, está, também, relacionada ao espírito conservacionista e herança cultural do agricultor brasileiro, que enxerga a extensão territorial das fazendas e do Brasil como uma fronteira inesgotável. O nível da educação e conscientização escolar das pessoas que se dedicam a praticar a agricultura também contribui para que medidas efetivas de conservação do solo e água não sejam implantadas. Muitos agricultores enxergam como mais importante ganhos financeiros maiores e mais rápidos em detrimento da preservação dos recursos naturais, sem se aterem muito à necessidade de melhorar e conservar para entregar às gerações futuras um meio ambiente mais sustentável. Outra causa do insucesso está

diretamente relacionada com as políticas conservacionistas e ausência de subsídios conservacionistas que deveriam ser adotados tanto em nível governamental como institucional. A qualidade da formação acadêmica bem como a ausência de cursos e de incentivos, para as atualizações profissionais dos técnicos que trabalham nessa área, também podem ser creditadas como estímulos à falta de sensibilidade conservacionista do brasileiro.

## **8.5 Terraceamento como prática complementar, tipos e adoção de outras medidas de proteção do solo e da água**

Sabe-se hoje, que o terraço é eficiente em controlar a erosão que ocorre por deflúvio, não tendo nenhum efeito na erosão que ocorre pelo impacto da gota de água produzida pela chuva ou mesmo pela irrigação por aspersão, principalmente em solos com agricultura sob sistema de manejo convencional. Nesse sistema de manejo, o solo fica muito exposto no período de estabelecimento da cultura, que coincide com o período de maior índice e intensidade das precipitações. As gotas de água, ao atingirem o solo desprotegido, individualizam as partículas que compõem os agregados do solo e as transportam verticalmente para as camadas subsuperficiais, onde é depositada nos vazios do solo, tornando-o mais denso.

A redução nos teores da matéria orgânica do solo devido ao preparo mecânico intensivo do solo (JUCKSCH, 1987; JUCKSCH, et al., 1986; SOPRANO, 2002) pode também proporcionar o aumento dos teores de argila dispersada em água. Assim, torna-se imprescindível que o terraceamento também seja conjugado com outras práticas, sendo as mais importantes aquelas que evitam o impacto da gota de água diretamente sobre o solo, melhora e equilibra tanto a atividade biológica como os teores de matéria orgânica recalcitrante do solo. Portanto, a adoção de práticas de uso e manejo que promovam a agregação e a estruturação do solo, aumentando a infiltração de água no solo são importantes para dificultar a formação do escoamento superficial, em eventuais chuvas de maior intensidade.

Considera-se, também, como causa da pequena efetividade do terraceamento, a constatação de que a maioria das locações e implantação dos terraços são de recomendações em nível, ou seja, o fundo do canal é nivelado com cota única ao longo de toda extensão do canal, o que possibilita o armazenamento da água e seus materiais dispersos. A interceptação e armazenamento da enxurrada em solo raso ou que apresente algum tipo de impedimento em profundidade levam rapidamente ao transbordamento, com conseqüente rompimento do

terraço. A recomendação do terraço em nível, ou seja, com a finalidade de interceptar e reter a água para eliminá-la por meio da infiltração, pode não ser a mais adequada para determinados tipos de solo, rasos e/ou com impedimentos, como a presença de camada subsuperficial muito compactada, relevo muito inclinado, condições de chuvas com alta intensidade e tipos de uso manejos que promovem exposição ou selamento superficial do solo.

Locais de chuvas com elevada intensidade, ou de solos menos permeáveis, onde o fundo do terraço está localizado no horizonte B de baixa infiltração ou sobre rocha consolidada, fazem com que o terraço em nível possa transbordar mais rapidamente. Com o rompimento de um terraço, todos os outros situados abaixo também poderão se romper (LOMBARDI NETO *et al.*, 1989), podendo a erosão evoluir para sulcos e até mesmo voçorocas. Em muitos tipos de Latossolos, geralmente profundos e friáveis, quando ainda na condição natural, segundo diversos pesquisadores, entre eles Alvarenga *et al.* (1987) e Prado (2003), é comum o aparecimento de uma camada subsuperficial compactada pouco permeável, cuja origem ocorre após o solo, antes sob condição natural, ser integrado à produção agrícola intensiva e tecnificada. Essa camada dificulta a infiltração da água até o lençol freático ou para as camadas mais profundas do solo, possibilitando que até mesmo chuvas de média intensidade formem grandes volumes de *runoff*, de tal modo que a capacidade de armazenamento do terraço, construído quando da incorporação da área para produção agrícola, passe a não ser mais suficiente para proteger o solo contra a erosão.

Não há ainda, consenso entre os pesquisadores quanto à gênese ou motivação para a formação dessas camadas subsuperficiais compactadas em curto espaço de tempo de uso intensivo do solo. Alguns atribuem seu aparecimento à mecanização intensa, erroneamente chamada pé de arado ou grade, enquanto outros atribuem seu aparecimento ao efeito das calagens e adubações excessivas praticadas com o intuito de aumentar a produção com total desconhecimento técnico do seu efeito físico e químico na atividade biológica ou físico-químico nas cargas de superfície dos coloides (ALVARENGA *et al.*, 1987; ALVARENGA, 1993; PRADO, 2003). Nas condições em que a matéria orgânica desses solos, em teores médio, de baixa relação C/N e pobres nos principais elementos essenciais às plantas em que se apresentam parcialmente decomposta, a interação com os óxidos de ferro e de alumínio é efetiva e forte, conferindo ao solo agregação granular pequena muito abundante e que, nas condições naturais, é muito estável.

A prática da calagem e das adubações para inserção do solo na produção agropecuária aumenta muito a sua atividade biológica, e,



consequentemente, há uma redução da matéria orgânica mais efetiva na agregação, promovendo então efeito dispersante ou desagregante, com movimentação vertical de colóides e outras partículas menores (JUCKSCH, et al., 1986; JUCKSCH, 1987; SOPRANO, 2002). Quando essa situação ocorre, podem ser necessárias medidas compensatórias, como a utilização de plantas subsoladoras, adição de matéria orgânica mais lignificada como as das gramíneas ou, até mesmo, promover pousio para regeneração das plantas nativas adaptadas ao ecossistema de forma que estas possam atuar de forma mais efetiva na agregação das partículas coloidais do solo. A orientação por especialistas em física do solo no manejo da matéria orgânica pode ser importante para a reversão desse processo de degradação, que leva, invariavelmente, a maiores taxas de perdas de solo e água para além do sistema, das divisas das áreas agrícolas.

Lombardi Neto et al. (1989) salientam, também, que a pequena efetividade do terraceamento em conservar o solo e a água pode estar ligada a práticas insuficientes, como estabelecimento da área da seção destinada a reter a água até sua completa infiltração e/ou mesmo terraços muito espaçados entre si para economizar no custo da sua construção. O desconhecimento das chuvas críticas, que se apresentam além da normalidade, em periodicidade com intervalos superiores a cinco anos, que só podem ser quantificadas por estações meteorológicas completas e modernas – que nem sempre estão disponíveis, existindo somente em algumas regiões do Brasil –, também pode ser outro agravante.

No Brasil, infelizmente, a recomendação técnica e a construção do terraço são praticadas por muitos leigos no assunto, muitos dos quais não passaram por treinamento ou por uma universidade, fazendo recomendações sem prévio estudo detalhado e projeto técnico. O desconhecimento de atributos do solo, como do seu sistema poroso, nível de compactação, tipo e grau de estrutura, capacidade de infiltração de água, profundidade efetiva, entre outros, é, também, muito negligenciado. Para além disso, há uma pequena aceitação, por parte dos técnicos e agricultores, do uso do terraço em desnível ou de drenagem, geralmente, por exigirem projetos e execução nas construções mais complexas e de custo mais elevado devido a obras de engenharia.

Deve-se enfatizar que, em muitos casos, a recomendação e a construção do terraço, tanto em nível quanto em gradiente, via de regra, não estão integrados ao sistema viário e às construções que acumulam grande volume de água. Salienta-se que, embora tenha ocorrido, no passado, um esforço para o trabalho conservacionista em microbacias, com remoção de cercas, aproximação entre confrontantes e harmonização de estradas para reduzir a erosão, essa prática salutar, hoje está esquecida, e não há vontade política para adotá-la como unidade conservacionista.

## 8.6 O papel social do produtor rural e do profissional ligado às ciências agrárias no controle da erosão e outras formas de degradação

Sobre o terraceamento agrícola, para que seja efetivo e para que cumpra seu papel social altamente relevante, torna-se necessário que tanto os profissionais da área como os produtores rurais sejam conscientes de que o uso da terra e de outros recursos ofertados pela natureza são escassos, passíveis de degradação e de reposição/recuperação muito lenta. Desse modo, eles devem entender que o terraceamento, além de ser uma prática para o controle da perda de solo e água na propriedade produtiva, deve ser considerado como uma prática efetiva em minimizar as enchentes, inundações, deslizamentos de encostas, que, geralmente, atingem, de imediato, os menos favorecidos socialmente, que são os moradores de maior vulnerabilidade, empurrados por suas condições financeiras, sociais e afetivas para as encostas dos morros ou junto aos talvegues dos rios na maioria das cidades brasileiras.

Uma função social do terraceamento deve ser, ainda, proporcionar o reabastecimento do lençol freático e, com isso, manter e perenizar as nascentes durante a estiagem, proporcionando, inclusive, qualidade e redução de custos no tratamento da água para o consumo urbano, perenizar e prolongar o volume e a vida útil dos reservatórios das hidroelétricas tanto no que se refere a menor taxa de assoreamento dos lagos quanto ao desgaste das turbinas.

Não obstante a quantidade de Engenheiros Agrícolas, Agrônomos e Engenheiros Florestais formados no país, o que se tem, na realidade, é uma boa ausência de profissionais para ocuparem-se do planejamento e/ou de projeto técnico, tanto para a construção como para a manutenção do sistema de terraceamento agrícola, já que o retorno econômico não é visível a curto prazo e não há interesse de determinados produtores de insumos como os fabricantes de fertilizantes. Essa atividade técnica, de grande importância para a sociedade, continua sendo feita por leigos, como o próprio produtor rural, gerente de fazenda, operadores de máquinas pesadas, tratoristas e técnicos agrícolas, sem a exigência da anotação da responsabilidade técnica (ART) do profissional formado especificamente para a atividade.

Acredita-se que, com a implantação da agricultura 4.0, o uso intensivo de drones ou *vants* no meio rural, com a criação de nova instrumentalização e tecnologias a serviço da atividade produtiva do campo, maior aceitação e adoção de novas técnicas para implantação e manutenção do sistema de terraceamento, venha a desenvolver e avançar para todas as terras produtivas do país, garantindo sustentabilidade,

qualidade da água, redução dos assoreamentos e das enchentes de rios, com ganhos positivos para o meio ambiente.

## **8.7 Terraceamento agrícola na agricultura 4.0: uso de ARPs, Drones ou VANTs**

### **8.7.1 Perspectivas para o uso de ARPs (Aeronaves Remotamente Pilotadas), Drones ou VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulado) no controle dos processos de perdas de solo e água, no contexto do manejo e conservação de solo e água**

A agricultura brasileira apresentou nas últimas décadas ganhos de produtividade que impressionam o mundo, posicionando o Brasil como destaque no cenário internacional por produzir quase 10% dos alimentos consumidos no mundo, conforme Embrapa (2019), ainda mantendo sob cobertura de vegetação natural de quase 60% de seu território, conforme o Serviço Florestal Brasileiro- SFB (2019). De acordo com Contini e Aragão (2023), o agro brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas, incluindo os brasileiros. O futuro do agronegócio brasileiro já é, então, presente para o Brasil e para o mundo todo, porque os empresários do setor, os profissionais e pesquisadores do ramo pesquisam/experimentam, buscam e aplicam as melhores tecnologias geradas e/ou adaptadas para as condições tropicais, complexas, únicas no mundo, que exigem tecnologias próprias, com muito baixa probabilidade ou possibilidade de êxito com as transferências de tecnologias produzidas e/ou desenvolvidas no ambiente temperado de primeiro mundo.

Muitos acreditam que as ARPs, Drones ou VANTs sejam tecnologias recentes, inventadas para hobby e lazer, porém vale ressaltar que há registro de uso desses veículos aéreos não tripulados em 1849, quando soldados austríacos atacaram a cidade de Veneza com balões não tripulados cheios de explosivos. Na primeira guerra mundial, entre 1914-1918, eles também foram utilizados pelos alemães. Diversas atividades do setor de lazer e produtivo experimentaram crescimento tecnológico a partir de 1960 com relação as ARPs, mas foi durante os anos 80 que começaram a chamar a atenção para outras formas de usos além do militar, popularizando-se nos anos 1990 em outras formas de utilização. Atualmente, ele está sendo utilizado para diversas finalidades, entre elas o mapeamento de fazendas e outros territórios agrícolas para diversos fins ou objetivos, inclusive o de gerenciamento de fertilidade do solo, incidência de pragas e doenças, fiscalização, controle do trabalho de campo e até mesmo de acessos por estranhos na propriedade. Gradativamente, os ARPs estão substituindo as grandes aeronaves



detalhes, com menor custo e trabalho, através de sensores como câmeras RGB, câmeras multiespectrais apontadas para o solo e altitudes pré-estabelecidas pelo *software* de planejamento de voo. O solo é fotografado diversas vezes, em diferentes ângulos marcados com coordenadas geográficas de elevada precisão quando o GPS da ARPs está integrado a uma base RTK ou PPK. Utilizando-se dos dados capturados, um *software* de fotogrametria pode criar os ortomosaicos georreferenciados, as curvas de nível, a nuvens de pontos, os modelos de elevação da superfície ou do terreno (MDS/MDT), modelos 3D e outros, referente à área projetada.

Um mapeamento com drones também pode ser usado para extrair informações como depressões e/ou outras irregularidades do terreno, distâncias precisas entre pontos e, até mesmo, permitir calcular possíveis volumes referentes à capacidade de armazenamento do terraço, importante para o armazenamento temporário do *runoff* proveniente da rampa entre terraços. Diferentemente de aeronaves tripuladas ou imagens de satélites, os drones podem voar a alturas muito menores, proporcionando alta resolução e dados de alta precisão muito mais rapidamente e com um custo bem menor, ainda sem sofrer interferência de condições atmosféricas, como dias nublados que interferem na aquisição de dados pelos satélites.

Tudo isso integrado permitirá maior acurácia e precisão na elaboração dos projetos, sua execução, acompanhamento e manutenção periódicas e, aplicado às práticas mecânicas de manejo e conservação do solo, com destaque para o sistema terraceamento de uma propriedade rural, irá garantir mais segurança e sustentabilidade no uso agropecuário do solo. Desse modo, pode vir do espaço aéreo, com baixo custo e exigências operacionais, o mais importante aliado para a obtenção das informações técnicas de topografia, georreferenciamento que fornece as coordenadas de uma imagem ou mapa do solo que integrado aos dados de climatologia, tipo de cultura, constituem informações importantes para a realização do estudo e a aplicação de técnicas mais apropriada caso a caso da conservação do solo e da água, imprescindíveis na produção sustentável no campo.

Dentre as diversas práticas disponíveis para se conseguir a sustentabilidade no campo, podem se destacar a implantação do plantio e manejo em nível perfeito e do sistema de terraceamento agrícola, em que o conhecimento das coordenadas georreferenciadas de elevada resolução e precisão possibilitam estabelecer a altimetria, as curvas de níveis, os MDS/MDT e outros detalhes de superfície da área com localização precisa em relação ao globo terrestre como um todo.

A seguir, apresenta-se um exemplo de mapa planialtimétrico para análise de sistematização e tomadas de decisões (Figura 8.2).

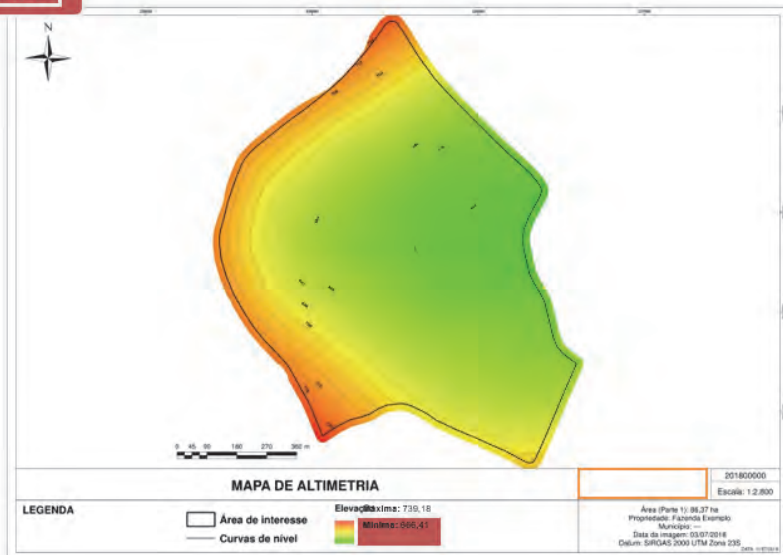


Figura 8.2 – Análise de projeto planialtimétrico para análise de sistematização e tomadas de decisões

Com o uso dos drones ou ARPs, que a cada dia incorporam ou embarcam novas tecnologias destinadas a promover a agricultura de precisão, cabe destacar a evolução na obtenção de mapas topográficos precisos, tanto planimétrico como altimétricos, com geração de curvas de nível a cada 25 cm ou menos. Estas permitem gerar informações precisas da declividade ou cotas, irregularidades ou rugosidade da superfície, tipos de cobertura da superfície, matriz, cromas e valor da cor da superfície do solo.

### 8.7.2 Importância da retificação das imagens geradas nas ARPs (aeronaves remotamente pilotadas) ou drones e obtenção das ortomagens e ortomosaicos

A leitura e interpretação direta das imagens de alta resolução geradas pelo drone, até mesmo sem a importante retificação, já fornecem, para um profissional experiente, muitas informações para o projeto e/ou execução do terraceamento. Entretanto a qualidade e a quantidade das informações se tornam muito mais relevantes com o processamento e retificação das imagens para a obtenção da ortofoto ou ortomagem retificada, produzida pela câmera fotográfica com o auxílio de uma base RTK ou PPK para conferir precisão aos dados gerados pelo GPS embarcado. O processamento das imagens para correções das distorções que surgem

durante a sua obtenção permite estabelecer as curvas de níveis, as nuvens de pontos e os chamados Modelos Digitais de Superfície ou de elevação (MDS) que identifica em três dimensões objetos, plantas e outras elevações além da superfície do terreno e ainda os chamados Modelos Digitais de Terreno (MDT), o qual evidência somente a superfície do terreno sem identificar possíveis objetos que estão assentados sobre a superfície. Todo esse material em formato de ortomosaico ou ortomaps obtidos a partir de imagens geradas pelos drones podem ser utilizados na elaboração do projeto de terraceamento de uma área sob uso agropecuário como evidência a Figura 8.3.



Figura 8.3 – Ortofoto de *imagem* aérea georreferenciada, capturada através de mapeamento com drones destacando o MDS e o MDT, úteis para gerar o mapa de niveladas ou de declive

Fonte : Extraído de <https://blog.droneng.com.br/mdt-e-mds/#:~:text= Mas, acesso 09/02/2022>.

Desde o surgimento, os drones ou ARPs vêm experimentando adaptações e incorporando novas tecnologias de modo a tornar seu uso importante no desenvolvimento da agricultura 4.0, acessível até mesmo pelos pequenos agricultores familiares. Informações coletados em sobrevoos que vão desde a definição exata do local para a instalação do canal e do camalhão que compõe um terraço, passando pelo acompanhamento ou monitoramento da sua função, eficiência no seu objetivo, chega até na identificação pontual e precisa de possíveis falhas ou danos causados pelo uso inadequado do solo, das operações com máquinas e implementos, ou até vulnerabilidade provocadas por um buraco de tatu ou qualquer outro animal podem ser perfeitamente monitoradas pelo drone.

O uso de drones com certeza vai facilitar, estimular e tornar mais precisos, fáceis e aplicados os estudos, o monitoramento e o controle das perdas localizadas de solo e água na área agricultada, bem como o destino final dos Hidro sedimentos produzidos dentro da bacia hidrográfica. Os drones também abrem possibilidades de coleta de outras informações que facilitam e aperfeiçoam o trabalho de campo, como, por exemplo, o índice de cobertura vegetal do solo, presença localizada de pragas ou doenças que afetam a cobertura, rugosidade e micro irregularidades do terreno, linhas de drenagem, presença ou não de pedregosidade., informações técnicas estas importantes para o correto dimensionamento do tipo, tamanho e distância entre terraços. A grande versatilidade para a geração de ortomagens com ARPs permitem o seu uso para além dos interesses topográficos e do terraceamento, mas, também, para diversos segmentos da engenharia como a fiscalização de uso dos recursos naturais do meio ambiente, necessidades de manejo na agricultura com entrega de resultados com alta qualidade.

O detalhamento das imagens geradas por ARPs é muito superior em comparação com as imagens geradas por satélites e pelo mapeamento aéreo com aviões tripulados. O mapeamento com drones permite voos mais baixos, alcançando um alto nível de resolução e de detalhamentos do solo e de sua cobertura. Com drones, a resolução chega a incríveis 1 cm de detalhamento, enquanto, com aviões tripulados, essa resolução é para mais de 10 cm e com satélites mais de 30 cm. Outra vantagem da ARPs é o de poder fazer sobrevoos abaixo das nuvens. No mapeamento por satélites ou aviões tripulados, os sensores capturam imagem das nuvens ao invés do terreno, mascarando totalmente os resultados de interesse. Com a característica de realizar voos baixos, o drone se torna único nesse quesito, possibilitando sobrevoos abaixo das nuvens para o mapeamento em regiões úmidas e em diferentes épocas do ano. As imagens geradas por drones, mesmo apresentando inúmeras vantagens, sempre que possível devem passar por um tratamento para obtenção da ortofoto ou imagem.

De modo simplificado, a ortofoto é uma imagem georreferenciada, ou seja, com coordenadas geográficas definidas, captada pelo drone para uma determinada área, em que as distorções foram eliminadas por um tratamento computacional, que hoje é de fácil acesso e pode ser feito por qualquer pessoa com conhecimentos básicos em informática e processamento de apps. Para ficar mais claro, sugere-se pensar nas fotos aéreas comuns obtidas por drones. Mesmo com alta qualidade, elas não podem representar com riquezas de detalhes as informações relevantes para um projeto de terraceamento, isso porque elas possuem distorções que podem ser maiores ou menores com as condições climáticas, relevo e tipo de cobertura do terreno e estabelecimento do plano de voo. Essas



alterações na qualidade das imagens podem ser produzidas pelos seguintes fatores: relevo da localidade; ângulo da câmera no momento da captação da imagem e perspectiva. Tais interferências produzem imagens fora de escala, que são menores naquelas produzidas por drones em comparação as obtidas por satélites ou voos tripulados, isso porque são obtidas muito mais próximo a superfície do solo. Assim, é menos preciso e arriscado fazer cálculos de área, distâncias ou quaisquer outros dimensionamentos mediante uso de fotos comuns, sem o processamento. Caso seja feito o terraceamento sem o devido processamento, ou seja, sem a necessária correção das distorções ou erros presentes nas imagens, poderiam ser somados a outros erros involuntários e colocar em risco a efetividade do terraceamento para proteção do solo contra os processos erosivos. Desse modo, as ortofotografias, essenciais para a boa qualidade do projeto, são as mesmas imagens obtidas com drone, mas manipuladas por um *software* que corrige todas as distorções. Após esse processo, é possível garantir a precisão e a acurácia das informações disponíveis nestas. Outras vantagens de uso da ARPs na agricultura são de ordem financeira e de agilidade que hoje são visíveis e atrativas.

### 8.7.3 Requisitos necessários para obtenção e interpretação das informações das imagens produzidas pela ARP

Para obtenção das informações importantes na execução técnica do terraceamento, a partir de ortofotografias, é necessário cumprir pelo menos duas etapas:

1º - Realizar o voo de mapeamento tecnicamente planejado após identificação e estudo da área de trabalho. Essa etapa constitui uma das etapas mais importantes para se poder gerar a ortofoto com qualidade. Para isso, o executor do voo precisa seguir um passo a passo planejado em função dos objetivos do voo, características da área e condições climáticas do momento. Se optar pelo mapeamento por drones, há quatro fatores que ele precisa considerar para obter bom resultado como:

- Escolha do equipamento certo para a operação certa. As opções de drones para essas atividades são os multirotóres e os drones de asa fixa, cada qual com suas limitações e vantagens. As câmeras, que podem ser RGB ou multiespectral, base geodésica RTK ou PPK, são importantes para corrigir a precisão do GPS embarcado.
- Bom planejamento do voo do mapeamento. Se possível, execução do voo automático. Este é quase que um requisito obrigatório para o mapeamento aéreo, já que ele garante

adequada sobreposição de imagens, completa varredura e precisão e GSD, importantes para um bom resultado e nitidez.

- Quando os voos são realizados manualmente, o drone percorre uma trajetória que não é uniforme, o que pode gerar falhas e buracos ao longo de todo ortomosaico. Por isso, é fundamental usar aplicativos de planejamento de voo, facilmente encontrados na internet de forma gratuita.
- Atenção para a intensidade e a direção do vento e altura do voo. Deve-se procurar sempre fazer sobreposição de pelo menos 20% das áreas parciais mapeadas para cada voo para que a cobertura da área total em estudo seja contínua; escolha adequada dos locais de decolagem e pousos, visto que ajuda na qualidade, segurança e integridade do equipamento e qualidade das imagens.

Dentre outras contribuições que as ARPs podem oferecer para a melhoria da atividade na agricultura e o uso do solo, além das importantes informações necessárias ao planejamento e execução do terraceamento, destaca-se: planejamento e execução do plantio com linhas em nível ou niveladas, transversais a declividade principal do terreno, de modo que cada pequeno sulco deixado com o disco de plantio, ou do facão de rompimento da rigidez da estrutura do solo, ou até mesmo a própria planta já em crescimento constitui interceptadores do fluxo da enxurrada, aumentando o tempo de contato da água com o solo e, com isso, maior oportunidade de infiltração; monitoramento da saúde da plantação para eventual controle, proporcionando controle mais eficiente e localizado; identificação e quantificação de plantas daninhas; aplicação de insumos diversos para melhor crescimento aéreo de cobertura do solo; monitoramento de áreas de risco ou de vulnerabilidade para aplicação de práticas preventivas; identificação e prevenção de queimadas de modo evitar supressão da cobertura do solo; suporte a planos de recomposição vegetal e reflorestamento como prática conservacionista; informações diversas e atuais localizadas para elaboração de projetos de uso e/ou sustentabilidade do solo. Na medida que vão sendo embarcadas as tecnologias nos drones expandem-se as variáveis de efeito técnico que poderão ser obtidas, monitoradas e controladas com mais eficiência e menor custo. O planejamento técnico para implantação do sistema de terraceamento de uma propriedade rural para que seja de fato bem sucedido e efetivo necessita do conhecimento de várias variáveis ligadas ao solo, ao clima, a cultura e engenharia topográfica de precisão como medições de distâncias, declividades, rugosidade do terreno e ângulos, o que torna necessário, além de uma boa câmara e o GPS embarcado no drone, equipamentos de comunicação com o GPS, destinados a conferir

maior precisão das informações como o RTK (Real Time Kinematic, ou Posicionamento Cinemático em Tempo Real), ou o PPK (Post Processed Kinematic – posicionamento cinemático pós-processado), que são dispositivos de posicionamento interativo com o GNSS ou GLONASS (Sistema Global de Navegação por Satélite) que reduz o erro do GPS da ARPs para menos de 1cm, viabilizando medidas precisas da altimetria geradas pelas imagens, que produzem curvas de nível a cada 25 cm ou menos.

Para a elaboração de projetos do terraçamento e, também, do plantio ou semeadura em nível ou nivelado (prática mecânica obrigatória e de elevado controle nas perdas de solo e água), consegue-se manter a estabilidade e a exatidão do trabalho das máquinas e a redução da velocidade e volume de escoamento das águas na forma de enxurradas. Dispondo de variáveis como altimetria (curva de nível, rugosidade do terreno), tipo de cultura a ser implantada na área, tipo de solo, condições climáticas e de manejo previamente obtidos, podem-se alimentar equações que interpolam as influências das variáveis acima especificadas, permitindo definir locais mais apropriadas no terreno, o espaçamento entre terraços bem como o dimensionamento da área da secção do terraço necessário ao armazenamento temporário do runoff para cada terraço.

#### 8.7.4 Planejamento e requisitos para execução do mapeamento por ARPs ou drones

O planejamento para realizar o mapeamento com drone é fundamental para garantir bons resultados e eliminar as chances de erros ou necessidade do retrabalho:

- Programar o voo automático é um requisito importante para o sucesso do mapeamento aéreo, já que ele otimiza, automaticamente, a sobreposição de imagens e melhora a precisão ao efetuar, de modo automático, a escolha do melhor GSD (representação do pixel da imagem por unidade de área do terreno, geralmente em cm) – variáveis importantes para que seja alcançado um bom resultado final.
- Quando os voos são realizados manualmente, o drone percorre uma trajetória que não é de espaço uniforme, o que pode gerar falhas e buracos ao longo de todo o Ortomosaico. Por isso, é fundamental usar aplicativos de planejamento de voo – alguns APPs ou *software* são gratuitos na rede de computador e compatíveis com Android e iOS.
- Detalhes importantes e observar as condições climáticas que têm grande influência na qualidade final das imagens do mapeamento aéreo.

- Evitar sombras indesejadas e poder capturar imagens nítidas dê preferência para dias de sol pleno entre as 9h e 15h, ou dias completamente nublados das 11h às 14h.
- Não realizar voos em dias de chuva e evitar ventos acima de 8 a 10 metros por segundo. Recomenda-se sempre visitar um app ou site que caracteriza as condições climáticas de momento.
- Observar o local de decolagem e pouso também é importante e contribui em relação aos dados técnicos disponibilizados pelo drone para o projeto e execução do terraceamento, pois trazem segurança para a operação e prevenção de danos físicos.
- Atentar-se quanto à escolha – lugares livres de obstáculos como matas, rios, torres ou construções em geral. Uma atitude que pode contribuir para qualidade dos dados a serem produzidos é delimitar um polígono de voo.
- Para que os mapas não fiquem com áreas faltando, o polígono de voo deve ser pelo menos de 10% a 20% maior do que a área de interesse. Sempre que a área a ser mapeada apresentar-se com muita variação de altitude, recomendam-se fazer estratificação por classe de declive e executar planos de voos distintos para cada classe de declividade, atentando sempre para a sobreposição do voo para que, após unir os mapas gerados para cada classe, não ocorra vazios ou descontinuidades.

Com relação à altura, convém lembrar que a ideal para o mapeamento com drone depende diretamente do resultado que se precisa atingir, mas, em geral, bons voos podem ser feitos entre 100 a 120 metros de altura.

## 8.8 Classificação técnica dos terraços

Um sistema de terraceamento – para que cumpra com eficiência sua principal função, que é reduzir ao menor nível possível as perdas de solo e água, no manejo agrícola – necessita, além da aquisição através das ARPs ou mesmo de visitas a campo, do profissional da modalidade Agronomia, para se obterem todas as informações pertinentes, analisar e interpretar todas as variáveis ou informações técnicas, de modo a permitir adequado planejamento do projeto e sua execução, para que o sistema de terraceamento seja efetivo na sua função de conservação do solo e da água na propriedade, tenha o menor custo e menor perda de área agricultável.

Na análise e correta interpretação dos dados ou variáveis, os profissionais, tecnicamente preparados, procedem com a tomada de decisão sobre o terraceamento, que deve ser recomendado quanto ao tipo

do terraço, função no exercício do efetivo controle da erosão e modo do mais prático para a construção. Assim, algumas modalidades de terraços serão identificadas a seguir (Embrapa, 2023).

## 8.8.1 Terraço quanto à sua função

### 8.8.1.1 Terraço de retenção em nível, para infiltração do runoff e deposição dos sedimentos no local da interceptação

O terraço de retenção em nível é recomendado para solos com maior permeabilidade e mais profundos, regiões de precipitações regulares e até 20% de declividade. Esse terraço, constituído de um canal e camalhão, é construído em nível, utilizando-se da existência de uma nivelada básica georreferenciada e/ou marcada com equipamentos topográficos, transversalmente à declividade do terreno. Essa marcação pode produzir uma linha reta ou mesmo em curva de nível, dependendo da regularidade e forma do terreno.

Como a finalidade do terraço em nível é interceptar e promover o armazenamento do runoff durante um determinado tempo necessário à infiltração, ele apresenta suas extremidades fechadas. A sua função é interceptar a enxurrada e promover a infiltração da água no canal do terraço. Após sua construção, ao longo dos anos de uso, é comum tanto o canal quanto o camalhão perder parte da sua capacidade de infiltração.

Recomendações mais modernas pressupõem o encabeçamento ou mesmo a construção de bacia de retenção nas suas extremidades um pouco acima da nivelada do terraço, a fim de que essas estruturas sirvam para armazenar o excesso do runoff interceptado pelo terraço em nível, evitando, assim, o rompimento do terraço no caso em que o volume de água possa ser maior que sua capacidade de armazenamento.

Os terraços construídos em nível, principalmente após alguns anos da sua construção, não permitem um dimensionamento hidrológico muito preciso. A taxa de infiltração de água no interior do canal do terraço e pelo talude (parede) do camalhão, que no início de seu funcionamento é maior, mas vai diminuindo ao longo dos anos pela deposição de partículas nos vazios e pelo selamento superficial, justifica assim a construção das bacias de retenção nas extremidades. Outro fator importante é que essa taxa de infiltração é muito variável e dependente do tipo do solo, da forma de construção do terraço, do preparo do solo, do grau de compactação do solo e da sua umidade. Em decorrência disso, o dimensionamento de terraços de infiltração, com base em critérios hidrológicos, necessita de profissional com sólida formação agrônômica.

### 8.8.1.2 Terraço com gradiente ou em desnível, de drenagem ou de escoamento

O terraço com gradiente ou em desnível, de drenagem ou de escoamento é recomendado para solos com permeabilidade lenta ou

moderada, como os solos com B textural, solos rasos ou com camadas subsuperficial com qualquer impedimento, como camadas de plintitas, rochas, compactação e/ou adensamento restritivos, regiões de precipitações muito elevadas e também em áreas com maior declividade. Para declividade superior a 25%, os terraços deverão ser recomendados em desnível para drenar o material interceptado para uma bacia de retenção ou qualquer outro tipo de estrutura de contenção, previamente planejado.

Trata-se de um terraço que, ao longo do comprimento do seu canal, se apresenta com declive suave que pode ser constante e uniforme de até 0, 5 % para solos de textura média e 1% para solos de textura argilosa. Esse tipo de terraço pode também ser construído com declive progressivo de 0,1 % para cada 100 m de comprimento, sendo que os 100 m iniciais devem ser em nível. Como está em desnível, deve apresentar com uma ou as duas extremidades abertas para desaguar o runoff em estrutura previamente projetadas para tal.

Atualmente, as bacias de contenção ou retenção também chamadas de barraginhas são as mais recomendadas. No passado, recomendava-se a construção de canais escoadouros que interceptavam o conjunto de terraços e assim recolhiam a água do sistema de terraceamento da área e a transportava através do canal para local seguro, geralmente um córrego ou área densamente vegetada. Esse tipo de estrutura está em desuso porque, geralmente, são construídos no sentido da declividade do terreno que potencializa o risco de erosão dentro do canal e ainda exigia um aumento da sua área de seção no seu dimensionamento na medida em que mais terraços desaguvavam no seu canal. Além do risco de erosão dentro do canal, a necessidade constante de manutenção e de cobertura desses canais é difícil, onerosa e garantia duvidosa.

Outro inconveniente desses canais de drenagem da água coletada do sistema de terraceamento é que, normalmente, eles retiram toda água e/ou sedimento do local onde foram produzidos, geralmente para um curso d'água. Portanto, os terraços de drenagem ou com declividade interceptam a enxurrada e, ao invés de promover a sua infiltração no canal do terraço a conduz para um sistema de escoamento, que pode ser uma ravina estável e bem vegetada, um canal escoadouro ou até mesmo uma bacia de retenção.

A declividade do canal deve ser bem projetada em função do volume de enxurrada a transportar, tipo de solo para que não haja erosão no leito do canal. Em alguns tipos de solos um pouco mais permeáveis, como alguns Latossolos Vermelhos argilosos, consegue-se, às vezes, dispensar com certa segurança os canais escoadouros, mediante o emprego de práticas mecânicas como subsolagem e/ou melhoria da infiltração no canal, ou mesmo vegetando o canal com plantas adequadas.

Nos terraços de drenagem, os princípios hidrológicos envolvidos no dimensionamento, embora sejam bem conhecidos, são mais complexos do que para os terraços de infiltração ou em nível, exigindo conhecimento de hidráulica e hidrologia. No quadro 8.1, constam valores de declividade recomendados para os diferentes grupos de solos, ao longo de terraços, locados com gradientes progressivos.

## 8.8.2 Terraços quanto à largura da base ou faixa de terra movimentada

Os terraços quanto à largura da base ou faixa de terra movimentada referem-se à largura da faixa de movimentação de terra para a construção tanto do canal quanto do camalhão para composição do terraço (Tabela 8.2).

Tabela 8.2 – Valores de declividade recomendados (%) para três grupos de solos, ao longo de terraços locados com gradiente progressivo

Comprimento do terraço (m)	Grupos de solos		
	Nitossolos Vermelhos	Arenosos	Argilosos
0-100	0,00	0,05	0,10
100-200	0,05	0,12	0,20
200-300	0,10	0,20	0,30
300-400	0,15	0,26	0,40
400-500	0,20	0,35	0,50
500-600	0,25	0,42	0,60
600-700	0,30	0,50	-
700-800	0,35	-	-

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1990).

### 8.8.2.1 Terraço de base estreita ou cordão de contorno

Para a construção de terraços de base estreita ou cordão de contorno, os seguintes detalhes devem ser observados (Figura 8.4.):

- Largura da faixa de movimentação de terra até 3 m;
- O uso deve ser restrito às declividades de 12 até 25%;
- Indicado para áreas pequenas e/ou culturas perenes;
- Normalmente, para sua construção, é recomendado o tipo Nichol's.

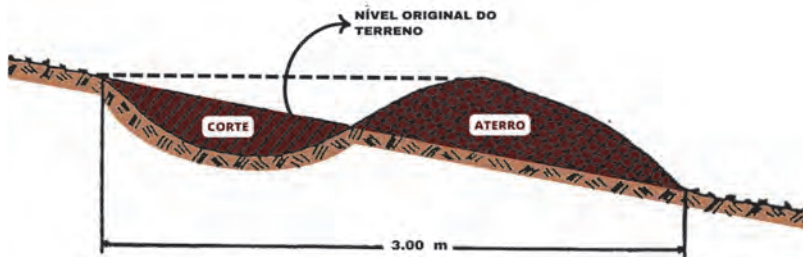


Figura 8.4 – Terraço de base estreita

Fonte: adaptado de Embrapa (2023).

### 8.8.2.2 Terraço de base média

- A largura da faixa de movimentação de terra varia de 3 a 6 m;
- Geralmente tem uso recomendado para declividades de 12 - 18 %;
- Necessita de máquinas e equipamentos mais robustos, como o terraceador, trator e/ou arado (Figura 8.5).

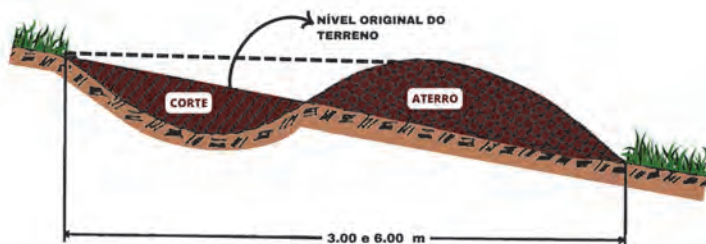


Figura 8.5 – Figura esquemática do terraço de base média, evidenciando a movimentação de terra com largura de 3 a 6 m para construção do canal (área de corte) e do camalhão (aterro).

Fonte: adaptado de Embrapa (2023).

### 8.8.2.3 Terraço de base larga

- Na construção, a faixa de movimentação de terra varia de 6 a 12 m;
- Recomendado para declividades menores que 18 %;
- Recomendado para solos de boa permeabilidade;
- Geralmente possibilita o uso de máquinas no plantio e manejo tanto dentro do canal como sobre o camalhão (Figura 8.6);
- Geralmente é construído em nível, destinado à interceptação e à infiltração da água.



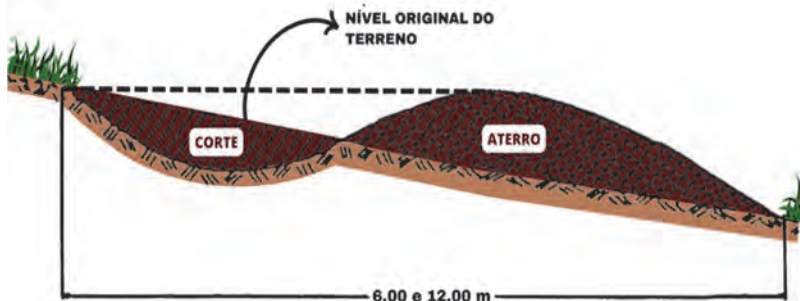


Figura 8.6 – Figura esquemática do terraço de base larga

Fonte: adaptado de Embrapa (2023).

### 8.8.3 Quanto ao processo ou modo de construção

#### 8.8.3.1 Tipo Nichol's ou terraço de canal

- Movimentação de terra sempre de cima para baixo na rampa;
- Estreita faixa de movimentação do terreno;
- Indicado para declives superiores a 18%;
- Seção transversal do canal: aproximadamente triangular ou parabólico;
- Os implementos mais utilizados são: ferramentas manuais, tração animal, arado reversível, pá carregadeira;
- Geralmente a faixa do canal e, na maioria das vezes, o camalhão não podem ser aproveitados para o cultivo (Figura 8.7).



Figura 8.7 – Figura Terraço tipo Nichol's ou canal

Fonte: adaptado de Embrapa (2023).

### 8.8.3.2 Terraço tipo Manghum, de base larga ou de camalhão

O terraço tipo Manghum, de base larga ou de camalhão, é muito interessante e útil para a agricultura. Para sua recomendação como prática conservacionista eficaz, é necessário que o profissional tenha completo conhecimento dos atributos físicos e químicos do solo, do histórico de pelo menos cinco anos das precipitações, da estrutura técnica e mecanizada da fazenda e de treinamentos ou reciclagem dos operadores das máquinas que trafegam máquinas no campo. Esse tipo de terraço, geralmente, é cultivado em toda sua extensão e, por isso, apresenta canal e camalhão com pequena altura, mas de área da seção grande para facilitar a infiltração da água. Essa infiltração acontece, basicamente, pelo talude que fica a jusante do canal o qual intercepta o fluxo do runoff e, por isso, deve ser mais inclinado que o talude a montante, embora ambos sejam cultivados, inclusive o canal (Figura 8.8).

- Na construção, a movimentação de terra é feita de cima para baixo e de baixo para cima;
- Adequado para áreas com declives de até 18%;
- Implementos utilizados: arado fixo ou reversível, lâmina frontal mediana, trator de pneu ou de esteira, pá carregadeira,
- Canal com maior área da seção e mais raso, com maior capacidade de armazenamento do que o Nichol's;
- Seção transversal do canal: aproximadamente parabólica ou trapezoidal.



Figura 8.8 – Figura esquemática de um terraço tipo Manghum, de base larga, com detalhes da existência de dois canais e um camalhão com pequena altura para possibilitar o plantio tanto dos canais como do camalhão

Fonte: adaptado de Embrapa (2023).

Para as condições dos Latossolos de cerrado, geralmente profundos, friáveis e relevo que favorece a mecanização, este tipo de terraço tende a predominar na paisagem, o que é tecnicamente correto. Considerando os custos para aquisição de um terracedor, a necessidade de potência do trator para tracioná-lo e os danos que podem causar a estrutura do solo o uso do arado de disco ou de aiveca para ser, ainda, a melhor alternativa para construção e manutenção do terraço de base larga ou tipo Mangun na propriedade. Contudo, para que se tenha um terraço bem construído, com o mínimo de degradação física do solo, alguns conhecimentos técnicos operacionais são imprescindíveis. Uma técnica relativamente simples e de fácil execução no campo é o método da “Ilha”.

#### 8.8.4 Terraço quanto à forma do perfil esquemático ou visual

##### 8.8.4.1 Terraço comum

O terraço comum é a combinação de um canal com camalhão construído em nível ou com gradiente, cuja função é interceptar a enxurrada, forçando sua absorção pelo solo ou promover a retirada do excesso de água de maneira lenta, segura, sem provocar erosão. Cada terraço protege a área de terra acima dele. A declividade máxima para sua construção é de até 25%. Deve ser recomendado sempre combinar esse tipo de terraço com práticas vegetativas e/ou edáficas, a fim de que os sistemas de manejo proporcionem proteção superficial, amenizem os impactos das gotas de chuva e a desagregação do solo. Trata-se do tipo de terraço mais usado na agricultura (Figuras 8.9, 8.10 e 8.11).

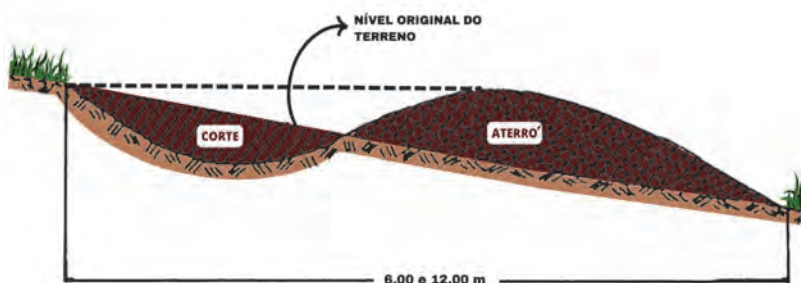


Figura 8.9 – Figura esquemática do terraço comum usado na agricultura

Fonte: adaptado de EMBRAPA (2023).





Figura 8.10 – Construção de terraço comum de base larga, com lâmina frontal  
Fonte: extraído de EPAGRI (2023).



Figura 8.11 – Construção de terraço comum com arado de disco pelo método da ilha - Fonte: extraído de EPAGRI (2023).

#### 8.8.4.2 Terraços tipo patamar

O terraço tipo patamar é construído em áreas muito inclinadas, com declividade superior a 30%. Sua construção exige movimentação de terra com cortes e aterros, que resultam em patamares em forma de escada ao longo do pendente (Figura 8.12). A plataforma do patamar deve apresentar pequena inclinação em direção ao seu interior e com um pequeno dique na extremidade, a fim de evitar o escoamento de água de um terraço para outro, o que poderia provocar erosão no talude e da terra movimentada para formação do aterro.



Figura 8.12 – Figura Terraço tipo patamar contínuo, levemente inclinado para dentro, e crista externa no aterro

Fonte: adaptado de Embrapa (2023).

No patamar, deve ser plantada a cultura e, no talude formado pelo aterro, deve ser recoberto com vegetação rasteira, desde que não seja invasora, para manter sua estabilidade. Em solos muito rasos ou pouco permeáveis, esse tipo de terraço não é recomendado. Esse tipo de terraço pode ser construído manualmente ou com trator de esteira equipado com lâmina frontal. Em virtude do alto custo de construção, é normalmente recomendado para exploração de culturas de alta rentabilidade econômica ou para áreas próximas a grandes centros consumidores.

#### 8.8.4.3 Terraço do tipo banqueteta individual

A modalidade de terraço do tipo banqueteta individual pode ser construída de modo contínuo em todo seu comprimento ou extensão, ou de forma descontínua, no formato de banquetetas individuais (Figura 8.13). Quando o terreno apresenta obstáculos ou afloramentos de rochas ou existe deficiência de máquinas ou implementos para construção do terraço tipo patamar contínuo, pode ser utilizada uma variação desse tipo de terraço, chamada de banquetetas individuais ou patamar descontínuo.

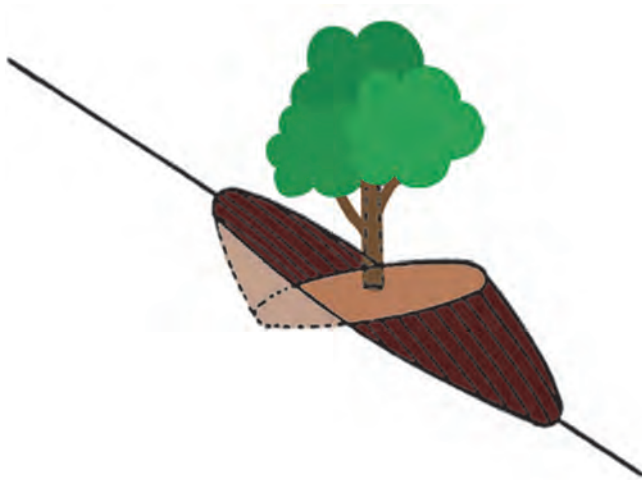


Figura 8.13 – Terraço tipo banquetas individuais para culturas perenes

Fonte: adaptado de Embrapa (2023).

Trata-se de banquetas construídas, individualmente, para cada planta, onde a movimentação de terra se dá apenas no local de cultivo, indicadas somente para culturas perenes. As ferramentas empregadas, geralmente, são manuais: enxada e enxadão, porque são construídas em áreas com declividade bastante acentuada, sendo impraticável o uso de máquinas. Inicialmente, retira-se toda a camada superior mais fértil que é amontoada ao lado da área onde vai ser construída a banquetas. Em seguida, faz-se o corte no barranco e aproveita-se a terra retirada no corte para fazer o aterro. Da mesma forma que o patamar, acerta-se a superfície da plataforma com ligeira declividade no sentido inverso ao da declividade original do terreno. Vegeta-se com gramas a parte de aterro para melhor estabilidade, e, finalmente, espalha-se a terra raspada da superfície, a fim de conservar a fertilidade da banquetas.

#### 8.8.4.4 Terraço tipo murundum ou leirão

Murundum ou leirão são termos utilizados para caracterizar o terraço construído raspando-se o horizonte superficial do solo (horizonte A), por tratores que possuem lâmina frontal, e amontoando-a para formar um camalhão de avantajadas proporções (pode chegar a mais de 2 m) (Figura 8.14). O murundum é recomendado para áreas com uso agrícola intensivo, com declividade máxima de 30%.

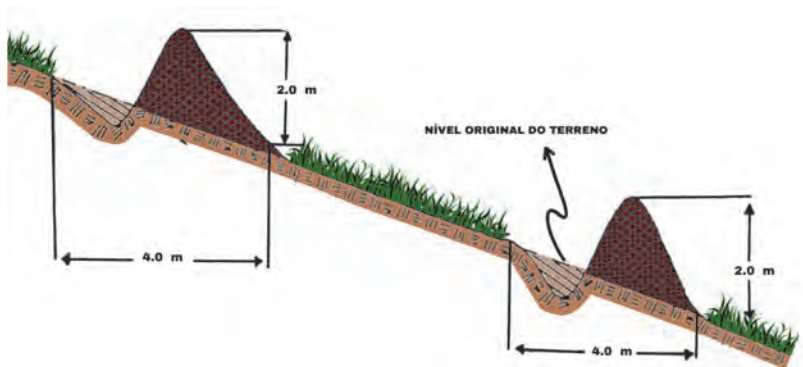


Figura 8.14 – Terraço tipo murundum, mostrando camalhão alto e verticalizado que inviabiliza plantio, controle de plantas daninhas e manejo integrado de pragas e doenças

Fonte: adaptado de Embrapa (2023).

Normalmente, esse tipo de terraço não segue dimensionamento adequado. Visando facilitar o trânsito de máquinas e caminhões na área agrícola, a distância entre eles é maior do que a recomendada para os terraços comuns; de forma errada, tenta-se compensar esta medida aumentando a dimensão do camalhão para segurar maior volume de água. Uma limitação apresentada por esse tipo de terraço é que a remoção da camada mais fértil do solo prejudica o desenvolvimento das plantas na área que foi raspada. Além disso, com a chegada dos sedimentos disperso no canal e base do camalhão a taxa de infiltração vai reduzindo ano após ano produzindo, então uma faixa de ambiente reduzido com pouco desenvolvimento da cultura. Como requer grande movimentação de terra, seu custo de construção é elevado. Pelo fato de ser locado com distâncias maiores, apresenta erosão acentuada, dificulta o tráfego das máquinas a, ainda, está sujeito ao rompimento pela falta de estrutura e estabilidade do camalhão, mesmo sendo ele avantajado.

#### 8.8.4.5 Terraço tipo embutido

O terraço tipo embutido é mais difundido em áreas de plantio de cana-de-açúcar, e sua forma assemelha-se à dos murunduns, inclusive apresenta as mesmas limitações e inconvenientes. Ele é construído de modo que o canal tenha forma triangular, ficando o talude que separa o canal do camalhão praticamente na vertical. Apresenta pequena área inutilizada para o plantio, sendo construído normalmente, com motoniveladora ou trator de lâmina frontal (Figura 8.15).



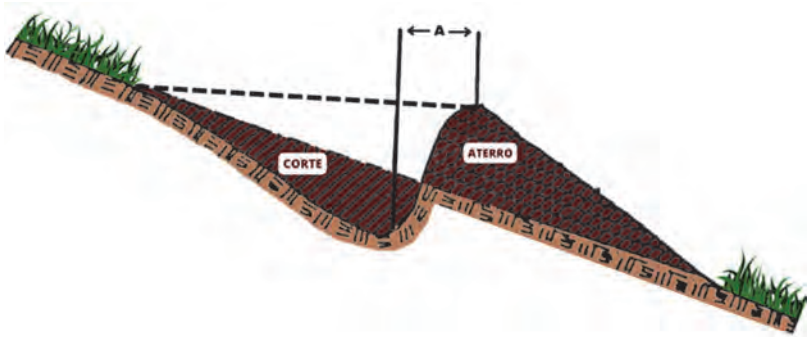


Figura 8.15 – Terraço tipo embutido, diferente do murundum por apresentar talude a jusante do canal mais suavizado, permitindo manejo integrado de pragas e doenças

Fonte: adaptado de Embrapa (2023).

A decisão de utilizar terraço em nível ou quando utilizar terraço com gradiente deve considerar as vantagens e desvantagens que apresentam (Tabela 8.2).

Tabela 8.3 – Comparativo entre terraço em nível e em desnível com suas vantagens e desvantagens

Tipo de terraço	Vantagens	Desvantagens
<b>Em nível</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Armazenam água no solo;</li> <li>- Não necessitam de locais para escoamento do excesso de água;</li> <li>- Menor risco de rompimento;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior risco de rompimento;</li> <li>- Exigência de limpezas mais frequentes;</li> </ul>
<b>Com gradiente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor risco de rompimento;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desvio da água caída sobre a gleba;</li> <li>- Necessidade de locais apropriados para escoamento da água;</li> <li>- Maior dificuldade de locação</li> </ul>

Fonte: extraído de Embrapa (2023).

Além das vantagens e desvantagens relacionadas aos terraços em nível e com gradiente, também devem ser considerados outros fatores para a seleção do tipo a ser utilizado, como: permeabilidade do solo e do subsolo,

intensidade das chuvas, topografia, cultura (anual ou perene), manutenção e outros custos em longo prazo.

## **8.9 Ganhos e perdas em produtividade, perdas de solo e água, dimensionamento do sistema de terraceamento e os avanços nas pesquisas conservacionistas**

Na década de 1930/1940, os EUA, preocupados com os baixos ganhos de produtividades na sua agricultura – principalmente nos cultivos anuais, mesmo com o desenvolvimento da engenharia genética e melhoramento de plantas, da descoberta de novas moléculas de defensivos e aceleradores da produção agropecuária, incluindo-se os fertilizantes e técnicas da nutrição de plantas –, descobriram que o mal maior estava justamente na perda da qualidade física, com a remoção por erosão das camadas superficiais do solo, mais ricas em matéria orgânica, fertilidade e qualidade ambiental para metabolismo das plantas. Desse modo, ocorreu uma intensa mobilização da sociedade, Governo e, sobretudo, dos pesquisadores e cientistas da Ciência da Terra e da Agricultura para reverter tal situação.

O diagnóstico dos cientistas americanos apontava que a erosão intensiva não estava restrita somente ao transporte horizontal das partículas do solo pela enxurrada, com sua deposição nos leitos e cursos d'água, mas, de modo intensivo, ocorria verticalmente no perfil do solo, produzindo a chamada erosão vertical, aquela que acontece quando as partículas, principalmente as coloidais, deixam de fazer parte dos agregados para ficarem individualizadas no ambiente do solo.

Com as chuvas, ou mesmo com a irrigação, as partículas individualizadas ou desagregadas descem com a água e vão se depositando no sistema poroso do solo, causando sua obstrução, com serias consequências sobre as trocas gasosas, infiltração, armazenamento de água e espaço para o crescimento radicular no solo. O efeito mais imediato é o rápido crescimento do volume da enxurrada sobre a superfície do solo, a baixa resposta das sementes melhoradas, dos modernos insumos de produção no desenvolvimento da planta.

Entre as diversas práticas sustentáveis de manejo, para o uso do solo, o correto planejamento do sistema de terraceamento, juntamente com sua manutenção, constitui prática fundamental, inclusive para garantir a oferta de água com qualidade e em quantidade para abastecimento urbano e rural, mesmo fora do período chuvoso, uma vez que o reabastecimento do lençol freático em profundidade necessita de tempo e está relacionado à conservação do solo.

## 8.10 Dimensionamento do espaçamento entre terraços

O dimensionamento de um sistema de terraceamento considera, inicialmente, o objetivo a que se propõe o sistema, se é para interceptar e promover a infiltração da água ou se é para interceptar e promover seu escoamento para local da descarga. Essa decisão é tomada em função de características relacionadas, principalmente, às condições de declividade e de permeabilidade do solo (Embrapa, 2023). No entanto, para ambas as situações, o dimensionamento do sistema é feito em função do potencial das enxurradas causarem erosão, quando da ocorrência de chuvas intensas. Dessa maneira, verifica-se que o cálculo da quantidade de runoff e seus reflexos na produtividade e na degradação do solo são essenciais para o dimensionamento dos terraços.

A primeira etapa no dimensionamento do sistema de terraceamento é a definição do espaçamento entre terraços. Pode ser feito por duas maneiras: pelo espaçamento vertical (EV) ou pelo espaçamento horizontal (EH).

O EV entre dois terraços corresponde à diferença de nível ou de cota entre dois terraços sucessivos ao longo da rampa ou pendente, significa quantos metros se desce verticalmente ao longo da rampa do terreno até chegar ao outro terraço situado abaixo (Fig. 8.16). Considerando-se que o terraço pode ser construído ao longo de uma linha em nível (curva de nível), previamente marcada no terreno e que esta corresponde à linha de interseção de um plano inclinado (terreno) cortado por essa linha ou plano horizontal, pode-se também definir o EV entre dois terraços como sendo a distância entre os dois planos horizontais que passam por cada um dos terraços, ou seja, por T1 e pelo outro abaixo (T2).

Já o EH entre dois terraços representa em linha reta (sempre medido na linha ou plano horizontal), quantos metros separa um terraço (T1) da projeção do outro (T2) sobre o plano horizontal que passa por T1 (Figura 8.16). Ele pode ser, também, definido como a distância entre dois planos verticais que passam pelos dois terraços.

Na definição do espaçamento entre terraços, devemos considerar características do solo (textura, agregação, susceptibilidade à erosão, capacidade de infiltração de água no solo etc.), aspectos do relevo (como declividade e comprimento da rampa ou vertente) e o sistema de produção agropecuária (como o tipo de cultura, manejo dos restos de cultura e preparo do solo). Conforme cita Embrapa (2023), critérios para a definição do espaçamento e locação de terraços foram desenvolvidos, no Brasil, por Bertoni (1959) e Lombardi Neto et al. (1989), os quais desenvolveram tabelas de espaçamento entre terraços em função de um efetivo controle da erosão. Essas tabelas, apesar de não poderem ser consideradas conclusivas, representaram avanços por estarem apoiadas em

dados de pesquisas sobre perdas por erosão de solo e da água, considerando, para tal, tanto a influência da cobertura vegetal, os sistemas de preparo do solo (plantio direto, aração, gradagem ou misto), o manejo de restos culturais (remoção ou deixado na superfície) bem como a erodibilidade de classes de solos identificadas em levantamentos pedológicos recentes.

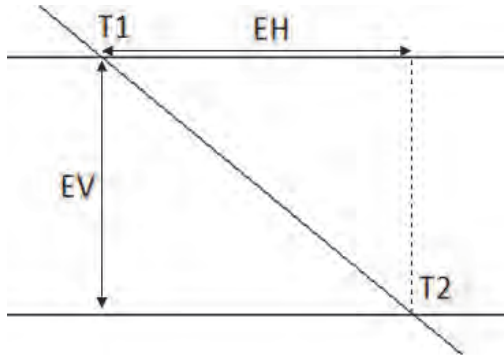


Figura 8.16 – Esquema do espaçamento vertical (EV) e espaçamento horizontal (EH) entre dois terraços (representação ponto T1 e T2) transversais à rampa do terreno

Embora a quantidade de dados utilizados para o estabelecimento de novas tabelas de espaçamento entre terraços possa ser considerada insuficiente, em face de uma situação ideal, as tabelas utilizadas pelos pesquisadores brasileiros apresentam maior suporte técnico em relação às antigas, baseada na fórmula Americana de Bentley. Contudo, ainda há necessidade de pesquisas sobre o assunto, principalmente no que se refere aos tipos de uso e de sistemas de manejo do solo, para melhor predição dos índices utilizados.

Mendonça et al. (2006) afirmam que a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) classicamente descrita como  $A = R * K * LS * C * P$ , sendo:

A = tolerância da quantidade de solo perdido por processos erosivos, deve situar dentro de um limite aceitável para que o solo não perca sua sustentabilidade e ainda mantenha sua capacidade de sustentar o crescimento das diferentes formas de vida, mesmo quando a prática de restituição ou da adubação não for praticada pelo homem. O cálculo da quantidade aceitável para a perda de solo exige conhecimentos técnicos em Agronomia, com ênfase em várias disciplinas de solos, fatores climáticos e de manejo da cultura.

R (erosividade da chuva) = fator relacionado com características das chuvas, com destaques para intensidade, frequência e duração, que são adequadamente analisados e interpretados por profissionais da

modalidade Agronomia. Percebe-se que a quantidade de chuva anual, de acesso fácil por qualquer leigo, apesar da sua importância para a sociedade, para o terraceamento não é essencial.

K (erodibilidade do solo) = fator relativo aos atributos do solo, também exige conhecimento técnico da modalidade Agronomia, já que entre os diferentes atributos do solo deve-se conhecer muito bem a mineralogia e como se processa o intemperismo das rochas, a dinâmica da matéria orgânica do solo, estado de agregação e estrutura do solo, classificação e gênese do solo, dinâmica do armazenamento e infiltração da água no solo etc.

LS (fatores topográficos: comprimento - L, declividade - S) = fator relacionado com a declividade da propriedade. Para um correto planejamento do terraceamento, a propriedade deve ser estratificada em classes de declives antes da medição da declividade. Aqui também se faz necessário um profissional das áreas tecnológicas, já que tanto a estratificação como a determinação da declividade precisam ser levantadas com equipamentos de elevada precisão, como o teodolito, nível de engenharia ou GPS Geodésico. É necessário enfatizar que uma das grandes causas do insucesso do terraceamento é advinda do uso inadequado do nível de mangueira e do nível pé de galinha, mesmo por profissionais da modalidade Agronomia.

C (fator uso e manejo do solo) = fator C da equação descreve a proteção ou exposição que o preparo e a cultura proporcionam ao solo. Na EUPS está relacionado com as diferentes proteções que as diferentes culturas podem oferecer ao solo desde o preparo para plantio até a colheita. O correto dimensionamento deste fator depende muito do conhecimento de fisiologia e sistema radicular, da parte aérea, dos estádios fonológicos da cultura até a colheita, já que em cada fase a proteção que a planta oferece ao solo é variável.

P (fator práticas conservacionistas) = fator P da equação está relacionado com outras práticas conservacionistas que deverão ser integradas ou associadas ao sistema de terraceamento para a efetiva conservação e proteção do solo e meio ambiente, em comparação a uma área cultivada morro abaixo. Conquanto adequada para avaliar a distância vertical entre dois terraços consecutivos, o estabelecimento ou definição da quantidade de solo que pode ser perdido (A) anualmente pela erosão é de difícil mensuração ou quantificação, por depender de vários atributos do solo, dentre os quais se destacam a profundidade efetiva, a textura, estado de estrutura/agregação e até mesmo da intensidade de pedogênese na formação do solo. Eles identificaram que, não obstante a importância do terraceamento, sua recomendação deve estar sempre conjugada com outras práticas agrônômicas, cujo conhecimento e aplicação estão restritos a modalidade da Agronomia.

Finalmente, o fator  $L(EV)$ , que na prática do sistema de terraceamento é a distância entre dois terraços consecutivos só pode ser estabelecido com um prévio conhecimento e o dimensionamento dos outros fatores mencionados, inclusive do fator  $A$ , que é a tolerância para a perda de solo, que pode ser maior para um Latossolo profundo, ácido e de baixa fertilidade. Para esse solo, uma maior tolerância pode até ser fator de rejuvenescimento da sua fertilidade e sustentar melhor o crescimento vegetal na ausência das adubações. Para um solo novo (Neossolo, Cambissolo, Litossolo), a tolerância deve ser muito pequena ou até próximo à zero, uma vez que são solos ainda em formação e rasos.

A comparação da equação EUPS, utilizada nos Estados Unidos e em outros países, com a equação Bentley, onde  $L(EV) = (2 + D/X) * 0,305$ , sendo  $L(EV)$  = diferença de nível entre terraços,  $D$  declividade da área e  $X$  valor tabelado em função de fatores como textura do solo da área, nos direciona, de maneira incontestável, para o empirismo desta singela equação e para o fato de que seu uso não pode promover adequada redução das perdas de solo e água pelo terraceamento implantado com base nessa tabela, uma vez que boa parte dos fatores que influenciam as perdas de solo ficam ausentes nesta equação.

Fica evidente a necessidade do planejamento, dimensionamento e da construção do sistema de terraceamento de modo técnico e científico, confrontando todas as variáveis relacionadas a perdas de água e solo. Desse modo, a redução das perdas de solo e de água, do assoreamento de represas e de cursos de água, custos no tratamento da água e manutenção da oferta hídrica exigem conhecimentos técnicos, com projeto e ART do profissional da modalidade Agronomia.

O correto dimensionamento da distância entre os terraços deve ser calculado com base na EUPS, onde a influência da variável chuva, frequência ou período de retorno de 10 anos e com intensidade ou tempo de concentração de 30 minutos.  $K$  está relacionado com as diferentes variáveis físicas e químicas de cada solo, geralmente extraídos a partir dos boletins de levantamentos pedológicos de solos com grau de detalhamento em nível de média e alta intensidade.

$LS$  integra a interação entre comprimento de rampa e as classes de declive da rampa, que, no sistema de terraceamento, diminui  $L$ , para evitar as perdas de solo. Essa equação, desde sua composição após a década de 1950, passa por diversas atualizações e/ou propostas de substituição.

Para a condição de Brasil, são poucas as regiões onde as variáveis numéricas que a compõem foram pesquisadas e definidas tecnicamente. Nesse contexto, uma equação simplificada, com certo grau de empirismo, foi proposta pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), válida para as regiões onde existem levantamentos pedológicos de solos, com reconhecimento de média intensidade ou superior.

A equação proposta foi  $L(EV) = 0,4518 * Kt * D^{0,58} * (u+m)/2$  e estabelece que, para se obter a distância entre dois terraços  $L(EV)$ , os valores de  $Kt$  (atributos físico do solo) devem ser estabelecidos a partir de dados constante dos levantamentos pedológicos (Tabela 8.3), sendo  $D$  (declividade) a inclinação média em %, medida diretamente na área, com um nível de engenharia ou outro equipamento com precisão de adequada;  $u$  e  $m$  referem-se aos tipos de uso e do manejo (Tabela 8.4) e de preparo do solo (Tabela 8.5) respectivamente. Estes valores foram obtidos a partir de pesquisas em talhões experimentais no campo para as principais classes de solo e tipos de cultura, e apresentam o mesmo significado aos da EUPS, cujos valores são tabelados para vários tipos de solos e localidades brasileiras conforme Lombardi Neto et al. (1991).

Tabela 8.4 – Agrupamento de solos segundo suas propriedades, características e resistência à erosão com base em informações extraídas de levantamentos pedológicos de reconhecimento de média intensidade ou superior

Grupos	Grupo de resistência à erosão	Principais características			Razão textural (1)	Grandes grupos de solos	K <sub>t</sub> índice
		Profundidade	Permeabilidade	Textura (4)			
A	Alto	Muito profundo (>2,0m) ou profundo (1,0 a 2,0 m)	Rápida/rápida Moderada/rapida	Muito argilosa/muito argilosa Argilosa/argilosa Medial/argilosa Medial/média	<1,2	LR, LB, LE, Lea, LV	1,25
B	Moderado	Profundo (1,0 a 2,0 m)	Rápida/rápida Rápida/moderada	Medial/argilosa Muito argilosa Arenosa/média	1,25 a 1,5	TR, PV, LEa(3), TB	1,1
C	Baixo	Profundo (1,0 a 2,0 m) Moderadamente profundo (0,5 a 1,0 m)	Lenta/rápida Lenta/moderada Rápida/moderada	Arenosa/média Medial/argilosa Franco argilosa a argilosa	>1,5 (exceto Cambissolos)	PV <sub>1</sub> , PV <sub>2</sub> , Ca <sub>1</sub>	0,9
D	Muito baixo	Moderadamente profundo (0,5 a 1,0 m) ou raso (0,25 a 0,50 m)	Rápida/moderada ou Lenta/lenta	Muito variável	Muito variável	Ca <sub>2</sub> , PVa <sub>2</sub> , R(L <sub>1</sub> ), Ba, Ca <sub>3</sub>	0,75

Fonte: extraído de Lombardi Neto et al. (1989).



Tabela 8.5 – Agrupamento das principais culturas de interesse econômico conforme proteção conferida contra perda de solo (u), em função dos diferentes estádios de desenvolvimento e o índice de cobertura e proteção do solo

Grupo	Culturas	Índice u
1	Feijão, mandioca e mamona	0.50
2	Amendoim, algodão, arroz, alho, cebola, girassol e fumo	0.75
3	Soja, batatinha, melancia, abóbora, melão e leguminosas para adubação verde	1.00
4	Milho, sorgo, cana-de-açúcar, trigo, aveia, centeio, cevada, outras culturas de inverno e frutíferas de ciclo curto	1.25
5	Banana, café, citros e frutíferas permanentes	1.50
6	Pastagens e/ou capineiras	1.75
7	Reflorestamento, cacau e seringueira	2.00

Fonte: extraído de Lombardi Neto et al. (1989).

Cabe salientar que essa equação brasileira, conquanto não apresente a mesma precisão e eficácia da EUPS, pois a influência das condições climáticas (R) e a existência de coeficientes empíricos como 0,4518 e 0,58 não estão fundamentados, representa certo avanço para as nossas condições, e na falta de informações mais consistentes deve substituir a equação de Bentley.

Tabela 8.6 – Índice de proteção do solo contra erosão oferecido pelos diferentes tipos de preparo do solo e sistemas de manejo da matéria orgânica e restos culturais da lavoura

Grupo	Preparo primário	Preparo Secundário	Restos culturais	Índice m
1	Grade pesada ou enxada rotativa	Grade niveladora	Incorporados ou queimados	0.50
2	Arado de discos ou aivecas	Grade niveladora	Incorporados ou queimados	0.75
3	Grade leve	Grade niveladora	Parcialmente incorporado com ou sem rotação de culturas	1.00
4	Arado escarificador	Grade niveladora	Parcialmente incorporado com ou sem rotação de culturas	1.50
5	Sem preparo	Plantio direto	Superfície do terreno	2.00

Fonte: extraído de Lombardi Neto et al. (1989).

## Considerações finais

Com raras exceções, o terraceamento no Brasil não está cumprindo sua função como prática conservacionista, devido a pouca pesquisa científica sobre o assunto e, também, pela baixa frequência de projeto ou planejamento elaborado por profissionais qualificados pelas universidades e habilitados pelo CREA, nas diferentes unidades da federação.

Com a rápida evolução do uso das ARPs nas atividades necessárias à produção agropecuária, acredita-se que o terraceamento nas propriedades rurais, com uso dos dados ou informações produzidas por aeronaves não tripuladas, quando devidamente processadas, contribua com a qualidade técnica dos projetos e execução no campo, a fim de garantir sustentabilidade agrícola e respeito ao ambiente.

Não está presente na sociedade brasileira, bem como nas escolas, inclusive aquelas que formam Engenheiros Agrônomos, uma cultura conservacionista para o uso racional do recurso natural, pois a enorme extensão territorial do país leva a crer que nunca irá faltar solo para produção agrícola ou exercer suas múltiplas funções ambientais.

A exigência de projetos e a fiscalização a respeito do terraceamento poderá contribuir para aumentar a produção de alimentos, reduzir os assoreamentos, as inundações, o déficit hídrico, a fome e os gastos excessivos com insumos de produção.

## Referências

- ALVARENGA, R. C. **Potencialidades de adubos verdes para conservação e recuperação de solos**.1993.112p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; PACHECO, E. B. Preparo do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 147, p. 40-45, 1987.
- BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, v. 18, p. 113-140, 1959. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051959000100010>. Acesso em: jul. 2023.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.
- BORGES, E. N. **Resposta da soja e do eucalipto a camadas compactadas de solo**. 1986. 89f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1986.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. (Ed.). **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas**. Londrina: IAPAR, 1996.
- EMBRAPA. Levantamento e Conservação do Solo - Práticas Conservacionistas de Solos e Águas. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/conservasolo/imagens/9.pdf>. Acesso em: jul. 2023.

EMBRAPA. Geopolítica de Alimentos - Brasil como fonte estratégica de alimentos para a Humanidade. Vieira, A.; Contini, E.; Henz, G.; Nogueira, V. G. (Editores Técnicos). Brasília, Embrapa, 2019, 317 p.

EPAGRI. Terraceamento: como construir e quais equipamentos usar. Youtube, 5 de ago. de 2021. Youtube. Disponível em: <<https://youtu.be/tPrcdrp7UjA>> Acesso em: 28 jul. 2023.

GUARALDO, M. C. **O agro brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas, diz estudo da Embrapa**. Brasília, DF: Embrapa, [2019]. Portal: Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/59784047/o-agro-brasileiro-alimenta-800-milhoes-de-pessoas-diz-estudo-da-embrapa>. Acesso em: 20 jan. 2023.

GPS RTK OU PPK: qual usar em mapeamentos com drones? Florianópolis, 2021. Portal: mappa. Disponível em: <https://mappa.ag/blog/gps-rtk-ou-ppk-qual-usar-com-drones/>. Acesso em: 07 jan. 2023.

JUCKSCH, I. M. S. **Calagem e dispersão de argila em amestra de um Latossolo Vermelho-Escuro**. 1987. 40 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1987.

JUCKSCH, I; COSTA, L.M; MOURA FILHO, W. Efeito da calagem na dispersão de argila em latossolo vermelho-escuro. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 189, n. 33, p.4 56-469, 1986.

LOMBARDI NETO, F. Dimensionamento do canal do terraço. *In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA*. Campinas, 1989. *Anais [...]*. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1989. p.125-135.

LOMBARDI NETO, F. et al. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. *In: Simpósio sobre Terraceamento agrícola*. Campinas, 1989. *Anais [...]*. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1989. p. 99-124.

LOMBARDI NETO, F. et al. **Terraceamento agrícola**. Campinas, SP: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado de São Paulo, 1994. (Boletim Técnico CATI, 206). 39p.

MENDONÇA, I. F. C.; LOMBARDI NETO, F.; VIÉGAS, R. A. Classificação da capacidade de uso das terras da Microbacia do Riacho Uma, Sapé, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [s.l.], v. 10, p. 888-895, 2006.

O QUE É MAPEAMENTO com drones. Rio de Janeiro, [20 --?]. Disponível em: <https://geosemfronteiras.org/analista-em-mapeamento-com-drones/>. Acesso em: 14 jan. 2023.

PEDRO Freitas demonstra que solos sem contenção escorrem para os rios. Entrevistado: Pedro Luiz de Freitas. Entrevistador: João Batista Olivi. [S.l. s.n.], 2018. Vídeo (17 min.). Publicado por Notícias Agrícolas. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/videos/agronegocio/212056-pedro-freitas-demonstra-que-solos-sem-contencao-escorrem-para-os-rios.html#.ZEaLRnBM> KUn. Acesso em: 07 jan. 2023.

PENA, R. F. A. **Terraceamento**: O terraceamento é uma técnica que visa à proteção do solo contra as erosões causadas pelo escoamento acelerado da água em áreas de vertentes. Goiânia, [20--?]. Portal: Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/terraceamento.htm>. Acesso em: 06 nov. 2022.

PENA, R. F. A. **Terracemanto**: a técnica do terraceamento é útil para evitar erosões, ampliar a área de cultivo e intensificar o aproveitamento de água. Goiânia, [202-?]. Portal: Mundo Educação Uol. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/terraceamento.htm#:~:text=O%20terraceamento%20foi%20inventado%20pela,forma%20de%20relevo%20geoloticamente%20recente>. Acesso em: 24 abr. 2023.

PRADO, R. M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: revisão de literatura. Revista Biotécniça, Taubaté, v. 9, n. 3, p.7-16, jul./set 2003.

PRUSKI, F. F. (ed.). **Conservação de solo e água**: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2. ed. atual. ampl. Viçosa, MG: UFV, 2013.

PRUSKI, F.F. **Conservação do solo e água**: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. Viçosa, 2009.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). Mapa das florestas do Brasil: 1990 - 2020 (estimativas). 2019. Disponível em: <<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/os-Biomas-e-suas-florestas/610-metadados?tipo=tableau&modal=1>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1988, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Fundação Cargill, 1988.

SOPRANO, E. **Estabilidade de agregados e dispersão de argilas em função da calagem**. 2002. 91p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

STOCKING, M. **Modelagem de perdas de solo**: sugestões para uma aproximação brasileira. Brasília, DF: Secretaria Nacional de Produção Agropecuária, 1985.

VEGETAÇÃO nativa preservada ocupa 61% da área do Brasil, diz Embrapa. Brasília, DF, 2017. Portal: CNA. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/noticias/vegetacao-nativa-preserveda-ocupa-61-da-area-do-brasil-diz-embrapa>. Acesso em: 20 jan. 2023.

CONTINI, E.; ARAGÃO, A. O Agro Brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/59784047/o-agro-brasileiro-alimenta-800-milhoes-de-pessoas-diz-estudo-da-embrapa> > Acesso em: 24 jul. 2023.

# CAPÍTULO 9. Locação de estradas não pavimentadas no contexto da conservação do solo e da água nas atividades agrossilvopastoris

*Liovando Marciano da Costa*  
*Elias Nascentes Borges*  
*Ana Paula Silva Nascentes Nunes*

## 9.1 Introdução

Por muito tempo, o planejamento das estradas rurais foi negligenciado. E essas estradas iam surgindo para atender às necessidades das propriedades de tamanhos grande, média e pequenas. Dessa forma, não havia lugar para nenhum planejamento da distribuição das vias que serviam cada propriedade rural independente de sua área. As estradas não planejadas causaram muitos problemas em termos de conservação do solo e da água. Os danos provocados por essas estradas variam de um local para outro na mesma propriedade. Essa variação ocorre entre propriedades, entre municípios, entre regiões de um mesmo estado e entre estados que compõem um país. Além disso, os danos causados pelas estradas variam entre países e entre continentes. As referidas variações de danos têm diversas causas e muitas delas podem ser discutidas, considerando-se o estágio atual de conhecimento de informações relacionadas ao assunto.

As estradas rurais têm peculiaridades em relação àquelas vias pavimentadas e de movimento de grande número de veículos/tempo. Todavia, essas estradas serviram de referência para a construção das estradas das propriedades agrícolas, especialmente em empreendimentos de grandes empresas agrossilvopastoris. Em alguns casos, havia um setor de engenharia de estradas rurais. Os operadores de máquinas traziam a experiência de construção das estradas pavimentadas, onde o revolvimento de terra pelas máquinas era algo surpreendente. No entanto, nas estradas não pavimentadas, a recomendação principal é o revolvimento mínimo de terra. Quanto maior esse revolvimento, maior será a disponibilidade de solo desagregado para ser transportado e depositado pela erosão hídrica ou eólica, esta última é menos comum no Brasil.

Os operadores de máquinas utilizadas na construção de estradas rurais precisam passar por um treinamento na questão de revolvimento de solo. Quando o operador adquire consciência sobre esta questão, nem sempre ele permanece na empresa e o treinamento precisa ser repetido para que se tenham estradas adequadas à conservação do solo e da água.

Aa empresas prestadoras deste tipo de serviço nem sempre têm este cuidado na construção das estradas rurais. Quem contrata o serviço precisa de alguém capacitado para fiscalizar a construção de estradas.

Antes da construção, é necessário que as estradas sejam localizadas de forma correta e racional. Essa etapa é tão ou mais importante que a construção. Uma parte considerável deste capítulo refere-se às variáveis a serem consideradas na locação das estradas, ou mesmo, na correção dos pontos críticos onde as estradas encontram-se em grau elevado de danos. Esses danos estendem-se ao meio ambiente, em especial na qualidade da água e na redistribuição dos sedimentos nas partes mais baixas da paisagem (Figura 9.1). A retirada de cascalho para manutenção de estradas não pavimentadas tem deixado muitas cicatrizes nas áreas que fornecem esta matéria prima. Esse material tem sido usado em áreas urbanas na pavimentação de ruas e avenidas, bem como na base das estradas pavimentadas. Como pode ser visto, a área fica exposta à erosão hídrica e há muito material solto que pode ser transportado para os fundos dos vales, podendo chegar aos cursos de água com prejuízos na qualidade das águas.



Figura 9.1 – Cascalheira em Santa Maria, no Município de Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, Brasil

Fonte: Krause et al. (2021).

A experiência de cada um dos autores será utilizada para a composição final deste capítulo. Essa experiência relaciona-se com estradas rurais de médias e grandes propriedades produtoras de soja, milho, café, cana-de-açúcar, pastagens e florestas plantadas em diferentes regiões brasileiras. Algumas dessas experiências podem ser aplicadas em médias e pequenas propriedades, tendo-se o cuidado de considerar as peculiaridades relacionadas aos seus tamanhos.

As estradas devem suportar o tamanho/peso dos veículos que irão transitar nas estradas rurais, desde pequenos e leves até grandes tratores e caminhões que transportam cana-de-açúcar ou madeira, bem como as colheitadeiras de soja, de milho e de café. Já nas propriedades menores, os veículos são mais leves. Além do tamanho dos veículos, deve-se levar em conta a frequência de trânsito nas estradas.

A condição mais comum são as estradas antigas e não planejadas. Neste caso, uma avaliação do estado de conservação delas é muito útil, destacando-se os locais mais danificados e as causas dos danos quando for possível.

Algumas empresas prestadoras de serviços de construção e manutenção de estradas rurais têm dado sua contribuição neste assunto. Esse trabalho tem sido realizado com a experiência proveniente da construção de estradas pavimentadas, que têm suas bases bem definidas dentro de suas finalidades. Como são estradas de usos bem específicos e diferenciados, é necessário um acompanhamento de pessoal treinado com as estradas rurais, tendo sempre a conservação do solo e da água como prioridade.

Para o sucesso desse trabalho, o treinamento dos operadores de máquinas deve receber alta prioridade, tanto na construção como na manutenção das estradas rurais. É necessário esclarecer que a manutenção ou construção de estradas tem um custo elevado. Isso é mais uma razão para que o planejamento dessas atividades seja muito bem elaborado. Nas áreas muito danificadas, a mudança da estrada é inevitável e deve ocorrer em pequenos trechos para que o custo seja suportável pelo dono da propriedade agrícola.

Finalmente, não se recomenda, aqui, uma mudança radical no traçado da distribuição das estradas. O custo é o fator de destaque para que as modificações sejam viáveis e aceitas pelo proprietário que vai dar o suporte financeiro.

## **9.2 Planejamento das estradas**

As estradas existentes devem entrar neste planejamento. Uma avaliação preliminar delas é necessária, com o foco direcionado para os locais danificados que devem receber atenção especial. O encarregado

dessa avaliação precisa ser capaz de identificar as causas dos danos localizados em pontos ou pequenos trechos das estradas. Com uma identificação adequada, é possível planejar a manutenção ou mudança do trajeto da estrada em análise. No planejamento, deve-se considerar a área no contexto da paisagem onde ela se encontra. O estado de conservação do solo na vizinhança da propriedade precisa ser considerado no planejamento a ser feito. Uma propriedade não deve ser considerada como uma unidade isolada porque ela interage com as demais propriedades ao seu redor. A visão de conjunto não pode ser desprezada. Por isso, houve um movimento bem ativo na tentativa de conservação de solos em pequenas bacias hidrográficas. No entanto, a falta de empatia de alguns proprietários foi o maior obstáculo para o avanço dessa forma de conservar o solo e a água. Com a expectativa de mudança de comportamentos dos habitantes das bacias hidrográficas, acredita-se que essa prática ainda pode vingar e produzir bons frutos para todos os consumidores de água.

Trabalhos executados em escritório têm sido muito usados na distribuição das estradas nas propriedades. A falta de conhecimento do assunto tem causado muitos problemas nas estradas. Sem treinamento para executar essa tarefa, os encarregados desse trabalho têm causado muitos danos ao ecossistema no qual cada propriedade se localiza.

### **9.3 Distribuição espacial das estradas**

A distribuição das estradas atuais precisa ser avaliada seguindo-se um mínimo de critérios técnicos por alguém capacitado para isso. É difícil fazer esta recomendação para pequenas propriedades, uma vez que ela tem um custo, e o pequeno produtor não tem como suportar mais esse gasto para manter as atividades que não podem ser omitidas.

Passar da condição de estradas não planejadas para planejadas não é uma tarefa comum, porque, mesmo que as modificações sejam mais simples, há um custo que deve ser levado em conta pelo proprietário. As mudanças radicais no traçado das estradas devem ser feitas com muito critério, porque o custo delas é muito alto, chegando-se ao ponto de inviabilizá-las, em alguns casos. Quando os danos são muito acentuados, a interdição de alguns trechos mais críticos torna-se necessária, porque, além dos danos das estradas, ocorrem enormes prejuízos ambientais que devem ser reparados.

Algumas informações no planejamento das estradas são indispensáveis, como os mapas topográficos planialtimétricos da propriedade bem como os mapas de solos em escala adequada. Os citados mapas são muito úteis para embasar o planejamento. A escala dos mapas de solos tem pouca utilidade para o planejamento, uma vez que as unidades de mapeamento contêm inclusões de tamanhos não mapeáveis



na escala adequada para este fim. Se o encarregado do planejamento não for capaz de reconhecer em campo os Latossolos, os Argissolos e os Cambissolos, ele não está preparado para o planejamento das estradas. Contratar um pedólogo para mapear os solos da propriedade seria uma opção que tem custo e precisa ser considerada, principalmente os pequenos agricultores.

As estradas são necessárias para atender a movimentação de máquinas e animais domésticos, pessoas e outras atividades comuns em qualquer propriedade. Não se pode negar a importância das estradas nas inúmeras atividades agrossilvopastoris. Todavia, elas devem ser bem planejadas para minimizar as perdas de água e de solos de cada propriedade agrícola.

Os mapas planialtimétricos, confeccionados por meio da topografia tradicional, eram muito demorados e caros. No entanto, com a disponibilidade dos drones, esse trabalho passou demandar bem menos tempo. Existem empresas que prestam serviços com boa qualidade quando bem escolhidas. Toda prestação de serviços tem um custo que deve ser considerado no planejamento.

#### **9.4 Características climáticas locais e regionais**

As condições climáticas locais precisam ser fortemente consideradas para darem suporte ao planejamento ou correções de trechos danificados na malha viária de uma propriedade rural. É do conhecimento de vários profissionais que há variação do clima em pequenas distâncias, por motivos conhecidos pelos técnicos que trabalham nesta área científica. Outros profissionais que demandam os dados climáticos conhecem as referidas variações e a importância delas na produção de bens que a sociedade necessita diariamente, incluindo-se aqui a água para os usos múltiplos. Merecem destaques os alimentos que sustentam as vidas da população local, regional, estadual e dos países dispersos no planeta Terra.

A distribuição espacial das estações meteorológicas varia entre os municípios brasileiros. A disponibilidade de dados varia de um para outro local. Em alguns, a escassez desses dados é concreta, e pode ficar difícil considerá-los no planejamento das estradas. As miniestações estão cada vez mais presentes nas propriedades rurais. Trata-se de informações coletadas para uso local pelos proprietários que entenderam a importância dos dados em suas propriedades.

Para todo tipo de trabalho que demanda dados climáticos, é necessário identificar as estações climatológicas mais próximas do local onde os dados serão aplicados. Quanto maior o tempo de registro dos dados, mais úteis eles se tornam para as várias aplicações. A descontinuidade de registros pode ser um obstáculo para uso dos dados.

Isso não deve ser motivo para desistir do uso das informações, a menos que haja disponibilidade de dados de outras estações de registros nas proximidades onde o trabalho será realizado. As variáveis monitoradas variam entre as estações. À medida que a tecnologia avança, novas variáveis podem ser incluídas no monitoramento.

As variáveis monitoradas apresentam determinado grau de interdependência. Para o planejamento das estradas, as chuvas com suas respectivas características devem receber a devida atenção. Como o foco desta obra é a quantidade e qualidade da água em bacias hidrográficas, e a chuva é a fonte principal da água, todos os dados relacionados a ela devem ser considerados.

A distribuição anual das chuvas deve ser levada em conta durante a manutenção ou construção das estradas. Trabalhar os solos com alto teor de água dificulta a movimentação de máquinas quando esta atividade estiver sendo realizada. Além dos danos na estrada, podem ocorrer prejuízos nas margens das estradas. Considerando-se que as máquinas são utilizadas em outras atividades, a indisponibilidade delas pode inviabilizar esse trabalho em alguns períodos do ano.

Em meses mais chuvosos, a frequência das chuvas é maior, interferindo diretamente nos trabalhos de manutenção e construção das estradas. Essa situação é inadequada para a realização dessas operações. Em períodos de muita chuva, vários trabalhos executados nas propriedades rurais chegaram ao ponto de ser interrompidos. A intensidade das chuvas é outra variável que merece destaque. Em períodos de chuvas de alta intensidade, o escoamento superficial de água não infiltrada é inevitável. Quanto maior for o escoamento, maior será o dano causado nas estradas novas ou aquelas que passaram por manutenção recente. A movimentação do solo em período chuvoso torna-se muito arriscada. O material de solo solto sofre transporte pelo movimento da água com muita facilidade. A retirada desse material e a sua deposição ocorrerão nas partes mais baixas da paisagem. A estrada passa a fornecer material a ser depositado, gerando um visual desagradável. Ocorrem, também, danos na estrada que recebeu manutenção ou foi reconstruída recentemente.

## **9.5 Nível das estradas em relação às áreas cultivadas**

Quando o relevo permitir, as estradas devem ser localizadas acima das áreas cultivadas para que a água possa escoar das estradas para o terreno ao seu lado e nunca em sentido inverso. Quando as estradas recebem águas das chuvas e as águas das imediações, elas passam a funcionar como canais de escoamento de águas que não infiltraram nem no solo nem no leito das estradas. Essa fração que não se infiltra causa muitos danos nas estradas, tanto em seus leitos como nos taludes nos trechos onde eles estão presentes.

Recomendar estradas acima do nível do solo nas suas proximidades é algo absurdo em termos dos elevados custos. Além do custo, algumas estradas têm taludes dos dois lados o que realmente inviabiliza esta recomendação. Quando o leito da estrada encontra-se abaixo do nível do solo, condição predominante, manejar a água que se move nele torna-se uma tarefa bem difícil. Quanto maior a diferença de nível do leito em relação à superfície do solo, mais difícil se torna o manejo da água que escoo no leito. A dificuldade de retirar a água é muito grande. O aprofundamento do leito inicia-se na própria construção da estrada, uma vez que o operador de máquinas permite um corte inicial mais profundo. Quando é possível construir as saídas de água em sulcos, ao longo da estrada, a remoção da água do leito da estrada é exequível. A água no leito da estrada pode aumentar o volume se não for removida. O volume de água associado à declividade do leito promove um movimento mais intenso da água que adquire energia e promove transporte de material do solo. Isso se caracteriza como erosão do leito e até dos taludes.

## **9.6 Uso e ocupação atual dos solos nas margens das estradas**

As estradas são obras construídas pelo homem e devem ser vistas como parte da paisagem onde elas se encontram. A paisagem está associada às diferentes classes de solos que se encontram sob diferentes usos e ocupações em declividades variáveis. A perturbação dos solos por onde passam as estradas não é a mesma porque as necessidades dos cortes e aterros variam ao longo do trajeto das estradas. Quanto maior a interferência durante a construção, maiores serão as fragilidades das estradas em pontos ou trechos específicos. Por essa razão, têm-se locais que estão quase sempre necessitando reparos.

A pastagem é um uso mais frequente de solos em quase todas as regiões que compõem um estado ou região. O manejo de solos sob pastagem tem evoluído pouco em relação aos outros usos de solos. Desse modo, as pastagens degradadas são muito comuns em todas as regiões brasileiras. Isso pode ser comprovado pelo número reduzido de animais por hectare. O escoamento superficial de águas é muito comum, especialmente em áreas de declividades acentuadas. São muito comuns solos descobertos em tais áreas, onde a infiltração de água é muito reduzida. A água que não se infiltra escoo superficialmente. Da mesma forma, quanto maior a declividade, maior será o escoamento superficial da água. Assim, chuvas de altas intensidades combinadas com solos rasos e com baixa cobertura, aliados à baixa velocidade de infiltração provocam enormes perdas de água por escoamento superficial. O resultado dessa combinação promove muita perda em quantidade e qualidade de água.

Isso ocorre no período de abundância de água na estação chuvosa anual. Certamente, essa água fará falta no período seco do ano. A água escoada ao atingir as estradas move-se em seus leitos, causando danos consideráveis na qualidade da estrada. Desse modo, deve-se evitar a construção ou manutenção das estradas na época de maior incidência das chuvas, porque o material não consolidado das estradas pode ser transportado deixando muito estrago no trabalho realizado em época inadequada.

As culturas anuais e perenes ao longo das estradas dão proteções diferentes ao solo. Nas culturas anuais, a cobertura inicial do solo é mínima ou quase inexistente. Em um dado período do cultivo, a cobertura do solo chega ao máximo e reduz à medida que se aproxima da época da colheita. Essa cobertura ao longo do ciclo das culturas varia e confere proteção diferenciada ao solo. Além disso, o plantio das culturas em linhas promove cobertura diferente de plantas nativas que não seguem nenhuma linha de plantio. Segundo Oliveira et al. (2005), os resultados experimentais mostraram que a natureza da cobertura do solo e o nível de sombreamento influenciam diretamente nas flutuações de temperatura e umidade do solo. A distribuição das plantas cultivadas e das nativas tem importância na distribuição das águas das chuvas ou da irrigação por aspersão. A parte aérea das plantas intercepta uma fração da água que cai sobre elas, ocorrendo redução do impacto das gotas de água diretamente sobre o solo. A água pode movimentar-se sobre as folhas, galhos e troncos até chegar ao solo sem provocar impacto sobre ele. Ocorre ainda a evaporação de parte da água interceptada que retorna diretamente para a atmosfera sem ter causado nenhum impacto direto ao solo. A cobertura do solo pelas plantas varia entre plantas anuais e perenes. Entre as plantas anuais, plantas de ciclo curto têm um período reduzido de cobertura do solo.

A interceptação da água pela parte aérea bem como pela cobertura morta sobre o solo deve ser considerada tanto na infiltração da água como no escoamento superficial dela.

As práticas conservacionistas ao longo das margens das estradas devem receber consideração, especialmente no controle do escoamento superficial das águas. Um sistema eficiente de controle do escoamento superficial pelas diversas práticas conservacionistas ajudará na conservação das estradas. Todavia, este assunto será tratado em mais detalhe no Capítulo 8 desta obra.

## **9.7 Permeabilidade dos solos na superfície e na subsuperfície**

Este assunto será tratado em relação às principais classes de solos encontradas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba e na sub-bacia do rio

Araguari. Na referida área, há um destacado predomínio de Latossolos sobre as demais classes de solos. Este assunto será abordado com maiores detalhes no Capítulo 4 desta obra. Essa classe de solos tem uma excepcional importância no que se referem aos recursos hídricos. Mais detalhes sobre as classes de solos podem ser obtidos nas tabelas 4.1 e 4.2 do Capítulo 4. Por se tratar de Latossolos e sua importância no armazenamento de água das chuvas e a disponibilização dela durante o período de seca, decidiram-se apresentar as porcentagens dessa classe no Brasil (31,61%); em Minas Gerais (53,97%); no Alto Paranaíba (49,07%); no Triângulo Mineiro (87,73%) e na Bacia do rio Araguari (61,82%). Estas expressivas porcentagens de Latossolos devem servir para que a sociedade possa entender a importância do manejo adequado de tais solos muito usados na agricultura intensiva de alta tecnologia. As propriedades físicas destes solos devem ser preservadas para armazenamento de água e para a produção de inúmeros alimentos demandados diariamente pela população consumidora destes bens vitais, não só para a população brasileira, mas também para exportações para vários países. Uma descrição resumida das classes Latossolos, Cambissolos e Argissolos é encontrada no Capítulo 4. Essa descrição serve para atender aos leitores que têm menor contato com a área de solos. Ela pode ser útil ainda para a leitura dos textos, nos quais as principais classes são citadas.

As classes de solos onde as estradas percorrem são de grande importância na conservação e na manutenção das estradas. Em geral, as estradas construídas em Latossolos apresentam muito menos danos do que aquelas construídas em Cambissolos e Argissolos. Além das características típicas dessas duas classes, elas tendem a ocupar áreas mais declivosas da paisagem, onde a construção e manutenção das estradas são muito mais difíceis. Tanto uma como a outra interferem na conservação das estradas.

As três classes de solos em destaque apresentam propriedades e características diferentes. Assim, as estradas construídas nelas apresentam problemas relacionados com tais diferenças. Com o objetivo de informar aos leitores, alguns pontos merecem ser realçados, como:

1. Profundidade dos solos ou caixa de armazenamento de água. A soma das espessuras dos horizontes A e B, ou ainda A, B e C.
2. Porosidade do solo nos diferentes horizontes. O movimento vertical da água é mais uniforme quando a porosidade também for mais uniforme.
3. Permeabilidade e velocidade de infiltração de água no solo, associadas diretamente ao escoamento de água no solo.
4. Declividade e localização dos solos na paisagem.
5. Estabilidade de agregados e tipos de estrutura.
6. Capacidade dos solos em suportar uso intensivo.

Os afloramentos rochosos podem ter influência no escoamento superficial/externo e interno da água. As rochas podem dificultar o cultivo mecanizado das áreas e atuam na impermeabilização do solo quando elas se encontram sobre os solos. Quando as rochas são fraturadas, a água infiltra por elas, reduzindo o escoamento superficial. Rochas cujos estratos são perpendiculares ao declive previnem o escoamento superficial, mesmo que seja parcial. Já as rochas abaixo de solos rasos modificam o movimento descendente das águas, causando movimento interno lateral. Essa mudança de direção das águas causa arraste de solos e pode iniciar-se aí uma erosão em sulcos no contato solo-rocha.

Os solos degradados fisicamente por cultivo podem reduzir a velocidade de infiltração de água neles, por meio de compactação ou adensamento. Essa é uma condição muito comum em solos manejados incorretamente que devem ser monitorados frequentemente. Esse monitoramento não tem sido feito na frequência desejada e, em alguns casos, ele é inexistente. A correção de degradação física do solo tem sido de difícil implementação e os resultados têm sido preocupantes, porque os resultados nem sempre são satisfatórios. Tanto a compactação como o adensamento resultam em aumento da densidade do solo que ocorre na superfície ou logo abaixo dela. Os solos compactados ou adensados superficialmente restringem a infiltração de água no solo e causam empoçamento de água em solos planos ou escoamento superficial das águas em solos com algum tipo de declive. Além disso, o aumento da densidade do solo dificulta o crescimento das raízes e os prejuízos associados a um sistema radicular inadequado. Assim, os solos profundos como os Latossolos, quando apresentam densidade acima da recomendada na superfície, a capacidade de armazenamento de água fica prejudicada porque a velocidade de infiltração reduz. Essa situação torna-se presente quando os solos são usados intensivamente. As estradas que passam por áreas intensivamente cultivadas podem ser prejudicadas com o escoamento superficial das águas que chegam à sua superfície. Este assunto será discutido no capítulo da intensidade de uso dos solos cultivados.

## **9.8 Textura dos solos e das rochas**

A textura uniforme em um perfil de solo é muito desejável. Ela está associada principalmente aos perfis dos Latossolos que, além de profundos, têm grande uniformidade na textura ao longo de todo o perfil, bem como de muitas outras propriedades. Não considerando os danos provocados pelo cultivo intensivo no horizonte superficial, o fluxo de água descendente ou ascendente deve ser bem uniforme. O manejo da água que chega ao solo torna-se menos complicado e seu aproveitamento será mais adequado.

Quando se encontra um gradiente textural entre os horizontes A e B, textura mais arenosa sobre textura argilosa, a velocidade de infiltração da água no horizonte A é mais rápida do que no B. É possível ocorrer saturação de água no horizonte A, tendo como resultado o início do escoamento superficial da água e o começo do processo erosivo e as suas consequências indesejáveis. Essa situação é encontrada nos perfis dos Argissolos, que geralmente são mais susceptíveis a erosão do que os Latossolos.

Em áreas de rochas sedimentares, é possível encontrar rochas de textura arenosa sobre rochas de textura argilosas e vice-versa, em que, ao serem transformadas em solos, especialmente os solos mais jovens, o efeito da textura das rochas acaba sendo herdado pelos solos formados nesta condição. Quanto menos espessas forem as camadas de rochas de diferentes texturas, maior o efeito nos solos originados nessa condição. Ao contrário, quanto mais espessas elas forem, menor será o efeito no solo. A alternância de camadas de diferentes texturas pode ser encontrada nos Neossolos Flúvicos. Entretanto, esses solos não se enquadram nas três classes em discussão.

## **9.9 Leito das estradas em diferentes horizontes dos solos**

As estradas não pavimentadas são construídas em diferentes classes de solos. Os horizontes A, B e C são encontrados na grande maioria dos solos. Os leitos das estradas podem estar associados aos três tipos de horizontes e às suas subdivisões. A estabilidade das estradas relaciona-se, em especial, aos horizontes A e B, exceto quando se tem um horizonte A pouco espesso sobre o horizonte C, ou ainda o horizonte A sobre a rocha. Há uma considerável diferença de estabilidade das estradas nos três principais horizontes – B latossólico (Bw), B textural (Bt) e B incipiente (Bi). Tanto o leito como os taludes em horizontes Bw são mais estáveis que os taludes e leitos das estradas em Bt e também no Bi. Nesse caso, a manutenção das estradas varia muito entre as três classes de solos. As estradas com baixa estabilidade são grandes fontes de sedimentos para as águas superficiais, em que, ao serem tratadas para o consumo humano e outros usos, o custo de tratamento vai ser maior. Desse modo, as classes de solos em bacias de captação de água devem ser levadas em conta para fins de obtenção de águas com boa qualidade para o uso múltiplo das águas, incluindo-se o uso doméstico da água.

Quando as estradas passarem por solos com horizontes C na superfície ou um horizonte A muito pouco espesso, sabe-se que a estabilidade da estrada é muito reduzida e os problemas de manutenção são muito frequentes. Nessas condições, as estradas, frequentemente, estão danificadas pela erosão tanto no leito como nos taludes quando eles estão

presentes. Numa sequência de horizontes A, B e C, quando C estiver exposto na base do talude ou no leito da estrada, os efeitos da erosão hídrica são facilmente notados. Assim, a erosão na base do talude é muito mais intensa que nos horizontes B e A, criando condições de queda de barreiras nas estradas não pavimentadas e nas estradas pavimentadas. Qualquer que seja a exposição do horizonte C, o risco de queda de barreiras é constante no período chuvoso. Todo esforço para não expor o C na construção de estradas é altamente recomendado para evitarem-se os danos causados pela instabilidade deste horizonte. O uso de uma piseta com água pode ser testado, esguichando-se água no horizonte C, que se desfará rapidamente. Isso acontece porque a estabilidade da frágil estrutura é mínima. Esse teste pode ser feito nos horizontes A e B, que suportam o jato de água com o solo com pouca deformação da área atingida.

Os solos com maior caixa de armazenamento de água ao longo das estradas são muito eficientes na redução do escoamento superficial tanto nos taludes como nos leitos das estradas, caso eles não apresentem compactação ou adensamento superficial. Os Latossolos, por serem profundos e porosos, desempenham esse papel de forma eficiente. As estradas construídas em Latossolos estão sempre bem conservadas, mesmo naqueles encontrados em declividades acentuadas na área dos mares de morro comuns na Zona da Mata Mineira, especialmente quando eles são manejados corretamente.

As estradas podem transformar-se em verdadeiros canais de escoamento de água que precipita sobre elas, acrescidas do escoamento proveniente de suas proximidades, quando o uso e o manejo dos solos ao longo das estradas não forem capazes de facilitar a infiltração de água no solo. É comum que o leito da estrada esteja compactado pelo trânsito de veículos ou animais. Essa compactação depende das características granulométricas do horizonte onde está o leito. Quando a granulometria é inadequada à compactação, é comum a adição de material com boas características para a compactação. Busca-se esse material de uma fonte para a obtenção de um leito devidamente compactado. A extração desse material gera problemas ambientais onde ele é retirado. Quanto maior a quantidade extraída, maiores serão os danos na paisagem que fornece o material (Figura 9.1), página 260.

Os ciclos de umedecimento e secagem (U/S) participam no adensamento dos leitos e dos taludes e dependem das condições climáticas dos locais por onde as estradas passam. Esse assunto vai receber o detalhamento adequado no Capítulo 3 desta obra Em estradas com muitas curvas, os taludes e os leitos das estradas têm diferentes exposições em



relação à incidência do sol. Dessa forma, os ciclos U/S com diferentes intensidades, dependendo da quantidade de energia que chega em cada exposição ao sol. As exposições voltadas para o norte ou oeste sofrem mais com os referidos ciclos. É possível encontrar taludes mais danificados em pequenas distâncias entre eles.

A granulometria dos horizontes expostos pelos taludes pode ter homogeneidade variável. Quando isso ocorrer, a estabilidade dos taludes pode ser diferente, causando danos diferenciados neles. A estabilidade do talude tende a diminuir quando um horizonte ou camada de um solo é instável. Nesse sentido, o horizonte C, quando está exposto no talude, a sua instabilidade provoca danos nos horizontes A e B. Quando for possível a análise granulométrica do material importado para a cobertura do leito, esta análise deve ser recomendada. Cobrir o leito em horizonte C com material de baixa capacidade de compactação não deve ser adotado como forma de conservar as estradas não pavimentadas.

## **9.10 Estabilidade das estradas**

Obter informações sobre a granulometria do material que compõe as estradas repercute na durabilidade das delas, uma vez que estradas danificadas afetam diretamente o ambiente na produção de sedimentos. Eles são lançados nas partes mais baixas do relevo, atingindo as águas superficiais que têm sua qualidade modificada pela chegada dos sedimentos provenientes das estradas mais próximas às importantes fontes de água.

Raramente, as estradas rurais são planejadas, e elas se distribuem na paisagem em função das necessidades de cada propriedade. Em alguns pontos, elas podem estar em nível ou em direção à declividade do terreno. Quanto maior for a declividade das estradas, mais rápido será o escoamento da água que transporta sedimentos que causam danos nas estradas e no ecossistema como um todo. Além desses danos, a perda de água é evidente, principalmente com uma demanda crescente da água para satisfazer as múltiplas necessidades impostas pela forma de viver da população atual. A distribuição das estradas em uma determinada área precisa ser mais racional do que tem sido observado em campo. Para adotar essas medidas, os proprietários devem saber tanto a importância das estradas como os seus efeitos negativos, como têm sido apontados nesta obra. Recomenda-se que as estradas possam receber a devida atenção de seus usuários que devem tratá-las numa visão conservacionista apropriada. A estabilidade da estrutura dos diferentes solos tem sido destacada em várias partes deste texto, dada a sua destacada importância nos diversos assuntos discutidos neste texto. Por essa razão, um capítulo foi dedicado a esta matéria.

Os solos apresentam graus diferentes de erodibilidade. As estradas são distribuídas nos diferentes solos em uma propriedade, ou município ou em áreas maiores. O conhecimento dos solos que suportam as estradas é necessário para todos que lidam na construção, na conservação e na manutenção delas em condições adequadas ao trânsito. Sem um mínimo conhecimento dos solos, o manejo das estradas fica comprometido.

As estradas construídas em áreas de contatos geológicos ou litológicos e de solos apresentam problemas evidentes de estabilidade. Esses locais devem ser evitados sempre que for possível. Caso não se tenha alternativa, os problemas de conservação delas serão notados logo depois que a estrada for construída. Se a construção for feita um pouco antes do período chuvoso, os danos começam a aparecer rapidamente (SOUZA, 2017). Além disso, a manutenção das estradas nessas áreas deve ser constante. Acrescenta-se a isso o custo financeiro e, também, o ambiental. Quando se tem contato entre unidades de mapeamento de solos, dentro da mesma classe, por exemplo, os Latossolos e suas variações, os danos são bem menos evidentes, ou mesmo não observáveis. Em contatos entre Cambissolos e Latossolos ou entre solos de texturas diferentes, como solos argilosos com solos de textura média ou arenosa, são esperados locais instáveis em relação à erosão.

As observações de campo, realizadas pelos autores desta obra, mostram que as áreas homogêneas em solos e geologia apresentam padrão baixo ou médio de danos nas estradas. Assim, as estradas que percorrem consideráveis áreas de Cambissolos ou de Latossolos apresentam-se danificadas ou não, demonstrando o efeito da classe de solos no estado de conservação das estradas. É importante ressaltar que as classes de solos encontram-se relacionadas ao relevo/declividade, que afeta a atividade erosiva da paisagem, onde estão localizadas as estradas. Os Latossolos são bem menos sujeitos à erosão e eles são localizados, preferencialmente, em relevo plano e suave ondulado. Essa situação fica muito evidenciada na área foco desta obra – Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no oeste de Minas Gerais. Os Cambissolos, menos resistentes à erosão, podem ocorrer em relevo suave ondulado, mas são, predominantemente, encontrados em relevo ondulado e forte ondulado (Tabela 4, Capítulo 4). As classes de solos são importantes nesse contexto, mas a sua distribuição na paisagem é um fator que precisa ser enfatizado.

As regularidades e irregularidades são encontradas nos mapas de solos, de geologia, de geomorfologia e de relevo em cada área ou região a ser observada ou estudada para as diversas finalidades. As paisagens com pouca variação nestes aspectos são indicadoras de áreas com um grau de homogeneidade que facilita o trabalho daqueles que se encarregam às questões de estradas. É recomendável observar atentamente o estado de

conservação das estradas não pavimentadas que serve para uma avaliação preliminar delas e, também, dos solos mais sujeitos aos danos causados pelo uso e pela erosão hídrica que atuam nas estradas com níveis diferentes de danos.

A estabilidade das estradas depende do escoamento superficial de água que atinge o leito das estradas durante as chuvas de altas intensidades. O escoamento, por sua vez, está relacionado com as classes de solos que suportam a estrada, bem como o nível de degradação dos atributos físicos dos solos. As pastagens degradadas são muito comuns ao longo das estradas. É possível observar nelas manchas de solos descobertas que reduzem muito a velocidade de infiltração da água. Essa redução gera muito escoamento superficial da água, que está sendo perdida, e ela causa arraste de material do solo.

Nota-se que o escoamento superficial da água deve ser combatido com as práticas usadas na conservação do solo e da água. Deve-se acrescentar a essas práticas o manejo do solo, visando ao aumento de infiltração de água nos solos quando essa estratégia puder ser implementada.

## **9.11 Acúmulo de água nas estradas**

O acúmulo de água nas estradas não pavimentadas e nas pavimentadas é indesejável porque causa estragos nos taludes e no leito das estradas. Nas pavimentadas, o acúmulo pode causar acidentes em veículos que transitam em altas velocidades. Há um enorme esforço para retirar a água das pistas, mesmo quando está chovendo. A água pode formar um filme entre os pneus e o pavimento, diminuindo a aderência dos pneus. Isso pode resultar em acidentes graves. Nas estradas não pavimentadas, a lama e o barro no leito das estradas promovem o deslizamento dos pneus dos veículos, que podem colidir com outro veículo ou com os taludes nos trechos onde eles estão presentes. A remoção da água dos leitos das estradas tem que ser executada para evitarem-se vários tipos de acidentes. A retirada da água não é simples e depende de cuidados com a maneira usada para removê-la. A água não deve ser canalizada para as áreas adjacentes às estradas, pois ela pode transformar-se em um sério problema de erosão nas margens das estradas. A erosão pode avançar em direção à estrada, chegando até destruir alguns trechos que interrompem, temporariamente, o trânsito dos veículos.

O acúmulo de água em determinados pontos das estradas prejudica o trânsito de todos os usuários da estrada. Quanto maior a diferença entre o nível do solo e o leito da estrada mais difícil se torna a remoção da água. Os taludes altos são empecilhos quase intransponíveis à remoção da água do leito das estradas. Quanto mais longos forem os trechos de estradas

encaixadas, mais difícil é o trabalho de remoção da água, especialmente quando as estradas seguem a direção do declive do terreno. As saídas de água localizadas permitem acúmulo de água que, ao movimentar-se para as margens da estrada, favorece a erosão no canal coletor de água da estrada. Esse canal deve ser feito quase em nível para reduzir a velocidade da água em movimento nele e permitir a infiltração dela no solo. O operador de máquinas deve saber disso para não construir os canais em direção da declividade. Quando as estradas forem construídas no mesmo nível do solo, elas podem ser inclinadas de 0,5 a 1,0 ‰ em direção à declividade do terreno. Isso permite que a água escoe difusamente sem acumular-se. Quando a água escoar dessa forma, o seu volume é pequeno e não causa erosão, justamente por ter um volume reduzido. Essa prática foi testada em uma empresa de florestas plantadas no Rio Grande do Sul com o acompanhamento de um dos autores deste livro. O resultado foi muito bom no manejo da água nas estradas.

A construção de lombadas de base larga é uma forma mecânica de controle da velocidade de água em estradas. Para cada lombada, é preciso de uma saída de água para que ela não se acumule acima das lombadas que são aproximadamente perpendiculares ao leito das estradas. A distância entre elas depende da declividade do leito e da instabilidade dele.

Conforme já foi mencionado, o leito da estrada é compactado pelo trânsito dos veículos. Espera-se que a infiltração de água no leito seja muito baixa. O volume de água não infiltrada precisa ser destinado às saídas localizadas ou difusas de água para que ela não se acumule como já foi discutido anteriormente. Além disso, é possível que o leito possa estar sobre rocha que pode fazer uma impermeabilização quase total da água.

## **9.12 Caixas de retenção de água proveniente das estradas**

As caixas de retenção de água e sedimentos e, em alguns casos, as barraginhas são construídas ao longo das estradas para auxiliar no controle de água acumulada no leito das estradas rurais. Elas auxiliam na redução do escoamento superficial e na qualidade e quantidade de água que precipita em uma dada bacia de captação de água.

Alguns aspectos devem ser considerados na construção e adoção desse tipo de controle de água nas estradas. O volume de água a ser armazenado depende, principalmente, das condições climáticas locais bem como do relevo, uso e ocupação do solo. A consulta de dados pluviométricos é necessária para obter-se a precipitação máxima, que deve entrar na estimativa do volume da caixa de armazenamento, além da área em metros quadrados do leito da estrada que vai ser coletada em cada uma delas.

Durante a construção das caixas ocorre um movimento considerável de terra que fica sujeita a ser removida em período de chuvas frequentes e intensas. A erodibilidade do solo, assim como a caixa construída nele devem ser consideradas. A localização das caixas ao longo das estradas depende muito do relevo por onde elas passam. Tem sido disponibilizado algum material escrito que trata do espaçamento entre as caixas de retenção ao longo das estradas. As distâncias indicadas são constantes e nem sempre o relevo permite que elas sejam equidistantes uma da outra, principalmente em áreas semelhantes aos mares de morro da Zona da Mata Mineira. Essa observação tem pouco significado para a área foco desta obra, considerando-se que o relevo na área do Triângulo Mineiro e no Alto Paranaíba é bem diferente da Zona da Mata.

Dependendo da granulometria dos sedimentos arrastados e depositados nas caixas de retenção, é possível que elas fiquem seladas e com baixa infiltração de água. O selamento no fundo da caixa pode promover transbordamento quando ocorrem chuvas muito intensas. A manutenção das caixas torna-se necessária, e elas devem ser observadas quando a água permanece por muito tempo sem infiltrar no solo. Isso indica que os sedimentos depositados na caixa precisam ser removidos para que o volume da caixa não reduza a sua capacidade de armazenar a água misturada com os sedimentos em suspensão. Em caso de ruptura ou transbordamento das caixas, o estrago causado pela quantidade de água pode ser muito grande. A inspeção das caixas é de grande valia para a proteção delas e do ambiente onde elas se localizam.

É impraticável construir estradas em nível, especialmente em áreas de declividades acentuadas. A presença de trechos em declive é comum e eles devem receber a atenção dos proprietários para que a erosão não seja muito ativa. Se for possível, dar preferência aos solos mais estáveis como os Latossolos para a construção dos trechos em declive. Os danos causados pela água em movimento serão menores nos Latossolos. As estradas em declive, na forma de plano inclinado, permitem que a água adquira maior velocidade e maior energia para o arraste do solo na direção do movimento da água.

Não é muito comum, mas podem ser encontradas encostas em patamares devido à resistência diferente ao intemperismo entre rochas de características diferentes. Os patamares naturais funcionam como lombadas construídas nas estradas. Elas são capazes de reduzir a velocidades das águas ao longo dos declives, diminuindo o poder erosivo das águas em movimento. Nessas situações, não se devem destruir os patamares. O operador de máquinas não é capaz de percebê-los e faz com que a lâmina corte essas estruturas naturais que são muito úteis no controle da velocidade da água.

As estradas encaixadas são bem comuns e funcionam como canais condutores das águas que chegam ao leito das estradas. Como já foi discutido, o manejo da água nessa condição é muito difícil, sendo impossível em alguns casos. Quanto mais altos forem os taludes, mais difícil o manejo da água que escoar nos leitos das estradas. Os taludes de baixa estabilidade podem ser bem danificados, ocorrendo movimento de massa e bloqueio localizado da estrada.

Não se recomenda o abaulamento do leito das estradas não pavimentadas como é feito nas estradas pavimentadas. Esse formato permite que a água no leito escoe para os dois lados da estrada sem acumular no leito. Ela se move em direção às canaletas paralelas ao leito para a remoção da água para fora da estrada. A condução dessa água precisa ser apropriada para não dar origem à erosão nas margens das estradas, a ponto de danificá-las. As referidas canaletas não são comuns em estradas não pavimentadas, pois elas representam um custo adicional que não é adotado pelo proprietário rural.

### **9.13 Avaliação do estado de conservação das estradas**

A avaliação das estradas é muito útil para se saber qual a demanda de manutenção em diferentes locais da propriedade ou de um município. Partindo-se dos danos registrados, pode perceber-se quais são os pontos mais instáveis da estrada em processo de avaliação. A constatação dos danos é a etapa inicial que deve ser seguida para uma análise sobre as causas dos danos levantados. As correções devem ser embasadas em conhecimentos técnicos que ajudem a corrigirem-se os defeitos observados em levantamento de campo.

Os acúmulos de sedimentos e de água no leito das estradas servem para a identificação de locais danificados. A presença de sulcos ou buracos no leito das estradas indica o grau de conservação das estradas. Os danos nos taludes, como sinais de erosão e quedas de barreiras, devem ser igualmente registrados para as possíveis correções.

Caso esteja disponível a tecnologia da informação na propriedade, todas as informações devem ser registradas no mapa da propriedade ou do município. Recomendam-se as cores verde, amarelo e vermelho para registros nos mapas onde as estradas são localizadas. Em verde, não há restrições para o trânsito de veículos; no amarelo, o trânsito pode ocorrer com muita atenção e cuidado; no vermelho, o trânsito está impedido. A partir dessa informação, pode-se calcular que distância em m ou km precisa passar por manutenção e o custo da obra.

## 9.14 Uso do solo ao longo das estradas

Este item já foi discutido parcialmente, todavia existe uma gama de diferentes usos e ocupações do solo em uma bacia hidrográfica. Cada um tem suas características próprias relacionadas à dinâmica da água nas paisagens por onde passam as estradas.

A interação das estradas com o uso do solo ao longo delas tem um grande número de variáveis que devem ser levadas em conta. O escoamento superficial de água é uma das mais importante na interrelação uso e ocupação do solo e as estradas. O escoamento superficial tem sido destaque em alguns trechos deste capítulo. Quanto maior for o escoamento superficial da água, maior será a sua perda e mais danos serão causados, tanto na estrada como nas suas imediações ou em áreas mais extensas. As pastagens degradadas estão presentes ao longo das estradas e contribuem ativamente no escoamento superficial da água, que acaba chegando às estradas, causando os danos anteriormente citados (Figura 9.2). Quanto maiores forem as áreas de pastagens degradadas, cuja água movimenta-se em direção às estradas, o cuidado com o escoamento superficial tem que ser bem acompanhado pelos proprietários. Os trilhos dos animais são bastante evidentes, principalmente no Cambissolo em relevo de ondulado a forte ondulado, onde as curvas de nível e os trilhos de animais estão bem mais próximas do que na área do Latossolo, no topo da imagem de drone. Nesse caso, o escoamento superficial da água é muito ativo. Nota-se, com facilidade, áreas de solos totalmente nus no Cambissolo. A erosão hídrica só não é mais ativa em razão da presença dos trilhos dos animais que estão quase paralelo às curvas de nível, traçadas nessa paisagem com amplo predomínio de pastagem. Os trilhos, em alta frequência, atuam reduzindo a velocidade da água em direção ao declive.

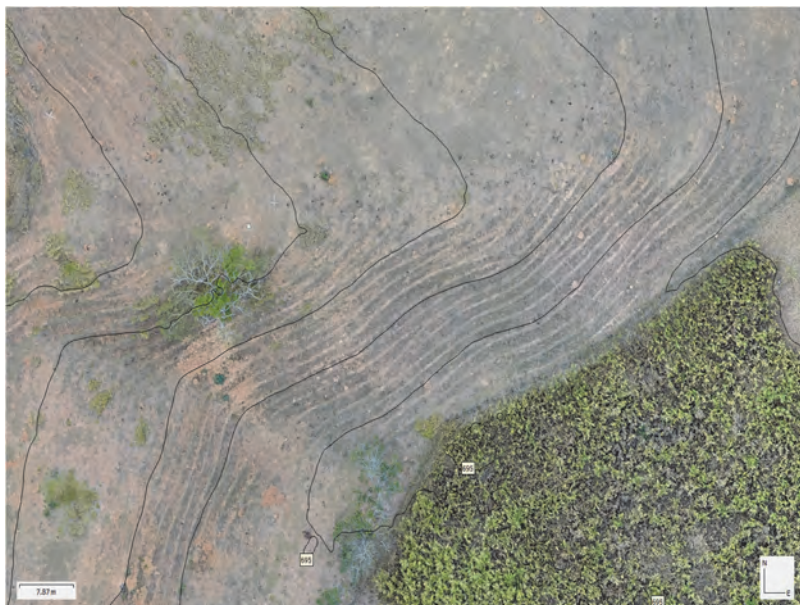


Figura 9.2 – Imagem de drone, mostrando pastagem degradada, trilhos de animais quase paralelas às curvas de nível, pobreza de cobertura do solo em Cambissolos e Latossolos da Zona da Mata Mineira.

Fonte: os próprios autores (2018).

A foto da Figura 9.3, tirada logo após o final de uma chuva, obtida por Pires (2016), indica que o leito dos trilhos dos animais retarda a infiltração de água no solo pela compactação do leito que está quase em nível. Nessa condição, a água não se desloca e fica temporariamente empoçada, o que atrasa a infiltração, que ocorre de forma lenta, mas a água não é perdida por escoamento superficial. Os trilhos dos animais nas encostas funcionam como terraços de dimensões muito pequenas. Espera-se que esse exemplo sirva para entender como uma feição, aparentemente simples, pode interferir no escoamento superficial, bastante importante no estudo dos recursos hídricos, conforme tem sido enfatizado neste capítulo.





Figura 9.3 – Acúmulo de água no leito dos trilhos de animais, logo depois do término de uma chuva intensa

Fonte: Pires (2016).

A malha viária da propriedade conecta-se com a malha regional, incluindo as estradas pavimentadas. Algumas estradas das propriedades estão conectadas às estradas das propriedades vizinhas. Não é possível pensar em estradas isoladas por menor que sejam elas. Em alguns pontos, elas se conectam a outras estradas. Assim, as estradas construídas sem um mínimo de planejamento podem afetar as estradas internas de uma propriedade.

A densidade das estradas dada em  $\text{km}/\text{km}^2$  de área deve ser considerada na distribuição da água na paisagem. À medida que essa densidade aumenta, os problemas de escoamento superficial também aumentam, uma vez que os leitos das estradas são quase impermeáveis. O escoamento superficial no leito ocorre inevitavelmente. Em áreas de florestas plantadas, as estradas devem ocupar de 4 a 5% da área sob essa atividade.

A mobilização do solo nas diferentes atividades agrossilvopastoris é variável, mas quanto mais o solo for mobilizado, maior deverá ser o arraste das diferentes frações granulométricas do solo pela água escoada superficialmente.

## 9.15 Estradas e sua relação com a qualidade da água

As estradas são fontes contínuas de sedimentos que chegam aos cursos de água. A constituição química e mineralógica dos sedimentos varia de um local para outro. Além da variação natural dos sedimentos, os solos cultivados recebem fertilizantes e corretivos diversificados nas margens das estradas. Em alguns casos, a adição de resíduos industriais pode ocorrer. Os fertilizantes, corretivos e resíduos industriais podem ser portadores de elementos traços que são ambientalmente indesejáveis. A composição química dos materiais adicionados deve ser fiscalizada pelos órgãos oficiais encarregados do meio ambiente. Sem uma fiscalização apropriada, os solos passam a fornecer os referidos elementos traços. Os defensivos agrícolas são espalhados nas plantas e nos solos e devem ser monitorados nos solos sob cultivos. Os medicamentos utilizados na criação de animais têm seu potencial de contaminação nos solos e nos sedimentos transportados pela erosão.

As estradas passam pelos cursos de água em passagem seca nas pontes ou molhadas quando os veículos atravessam os pequenos cursos de água, muito comuns nas pequenas propriedades rurais. As passagens de veículos causam diferentes danos quando o canal do rio/riacho for sustentado por rochas ou sedimentos. Estes podem ser ressuspensos durante a travessia e transportados pela água em movimento. Os sedimentos finos de silte e argila são transportados a distâncias bem maiores do que aqueles de granulometria maiores, como o material arenoso. Quanto maior o número de veículos que atravessam as passagens molhadas, maior será seu efeito na redistribuição dos sedimentos depositados no canal do curso de água. As passagens molhadas são restringidas pela profundidade da lâmina de água e da altura dos veículos que traspõem os referidos cursos de água.

Nas estradas pavimentadas com grande movimento de veículos, transitam usuários com diferentes graus de educação ambiental. É comum encontrar lixo espalhado ao longo das estradas, o qual se decompõe em diferentes velocidades. Os plásticos têm uma vida longa sem ser decompostos. Os incêndios ao longo das estradas são bem frequentes, especialmente no período seco do ano, quando a vegetação seca se torna um bom combustível. Junto com essa vegetação, encontram-se os vários componentes do lixo que podem ser queimados e liberar energia e cinzas misturadas com carvão. Os componentes das cinzas que são mais solúveis em água são dissolvidos e transportados em solução para os cursos de água. Esse tipo de poluição não deve ser ignorado pelos usuários da água.

Os resíduos de combustíveis queimados na movimentação dos veículos devem ser considerados como fonte de poluição. Durante a combustão, há liberação de energia, vapor de água, gás carbônico, monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio (NOx) e fuligem. Os

motores são constituídos de várias peças de metais ou ligas metálicas que se desgastam na combustão dos combustíveis. Com o desgaste, os fragmentos dos metais podem ser lançados no ambiente, transformando-se em poluentes. Nos desgastes dos pneus e sistemas de freios, pode ocorrer liberação de partículas dessas fontes, que são lançadas no ambiente, constituindo-se em fontes de poluentes. Os pneus são compostos de borracha sintética e/ou borracha natural. A sintética é derivada de petróleo, aço, negro de fumo, que é constituído basicamente de carbono, óxido de zinco e enxofre como agente vulcanizador.

As áreas de preservação permanente não devem ser transpostas por estradas ou qualquer outro tipo de uso que não seja a preservação. Sabe-se que as estradas são fontes contínuas de poluentes que não combinam com a preservação ambiental.

Não se deve questionar a importância das estradas nas inúmeras atividades humanas na forma como a sociedade está estruturada. Ao mesmo tempo, não se deve esquecer dos efeitos indesejáveis por onde elas passam. Tomar conhecimento de sua importância e suas limitações vão ajudar a sociedade buscar o ponto de equilíbrio entre as duas condições opostas.

As veredas são tratadas em outro capítulo desta obra, mas a sua transposição por estradas gera problemas na qualidade das águas armazenadas nas veredas. Na construção das estradas pavimentadas ou mesmo em algumas não pavimentadas com trânsito considerável de veículos, a remoção de horizontes ou camadas ricas em matéria orgânica precisa ser feita. Tais condições não dão suporte à estrada sem a remoção destas camadas. Durante a construção, forma-se uma vala que tem que ser preenchida e compactada com material compactável. Antes do preenchimento, é necessário colocar manilhas para condução da água que teve sua trajetória desorganizada. A transposição acaba dividindo uma vereda em duas com características distintas. Deve-se transportar a vereda no local aonde ela for mais estreita para que os efeitos negativos dessa estrutura sejam minimizados. A trajetória das estradas pavimentadas tem exigências próprias que devem ser respeitadas, quando for possível.

Os trechos das estradas construídas nas encostas interferem na drenagem interna dos solos em suas proximidades. Essa drenagem segue um padrão natural que foi formado ao longo do tempo na estruturação de cada paisagem. A extração das concreções ferruginosas por onde passa a água da drenagem interna do solo gera a interrupção do caminho natural das águas de drenagem. Esse movimento da água foi essencial na formação delas, considerando-se que a água participa na redução do ferro, no seu transporte, na oxidação e precipitação dele nas bordas das encostas onde são encontradas as concreções. Além disso, elas são consideradas

bloqueadoras da erosão. A paisagem pode ser desfigurada pela remoção das concreções, e isso libera o local para o avanço da erosão, que prejudica a qualidade da água com o aumento de sedimentos em suspensão. Elas são utilizadas como base de ruas asfaltadas e das estradas pavimentadas ou não. Esse material é muito utilizado nas construções civis nas áreas urbanas e rurais, e, por isso, a extração das concreções precisa de um controle eficaz. Ainda há remanescentes de cercas de concreções em fazendas que preservaram essas cercas muito antigas e permanecem fazendo seu papel de cercar até os dias atuais. À medida que as concreções são removidas da paisagem, a erosão torna-se cada vez mais ativa nos solos expostos pela retirada delas e, também, nos saprolitos que davam suporte às concreções. Esse local deve ser considerado altamente vulnerável à erosão e seus diversos efeitos negativos no ambiente, incluindo-se os recursos hídricos.

Ainda hoje, é possível observar o caminho natural das águas, acima referido, nos períodos chuvosos do ano, pelo aparecimento de minas de água intermitentes que surgem diretamente das concreções ferruginosas.

## **9.16 Recomendações na locação, construção e manutenção das estradas**

Todas as áreas ocupadas pelas atividades agrossilvopastoris têm seu sistema viário instalado. A locação pode ser total quando se tem uma mudança drástica no uso e na ocupação do solo. Para adotá-la, é preciso considerar que em um sistema viário totalmente modificado é muito caro e que uma análise de viabilidade tem que ser feita. Em qualquer tipo de mudança do sistema viário, não se pode ignorar o sistema existente na propriedade. Tem-se o sistema parcial de locação de estradas, que deve ser adotado para a correção de trechos de estradas muito danificados. Algumas alternativas podem ser consideradas na orientação deste trabalho:

1. Estradas retas só devem ser construídas em áreas planas e suave onduladas.
2. Não se recomenda locar estradas perpendiculares às curvas de nível.
3. Estradas não devem ser localizadas em contatos geológicos e de solos, porque são altamente susceptíveis à erosão.
4. Estradas localizadas em áreas de erosão ativa aceleram o processo erosivo.
5. Não construir estradas em reservas biológicas ou áreas de preservação permanente como as veredas.
6. Reduzir ao máximo a densidade das estradas (km de estrada/km<sup>2</sup> de área).
7. Evitar estradas em solos rasos e impermeáveis.

Na construção das estradas, o movimento de terra deve ser o menor possível, porque a desagregação do solo constitui-se na primeira etapa da erosão. Elas devem ser construídas na superfície do solo para que o solo permaneça o mais próximo possível da condição que ele foi encontrado antes da construção da estrada. Desse modo, a mobilização do solo não é recomendada por razões bem discutidas neste texto. As estradas não devem ser transformadas em canais de escoamento das águas que não se infiltram no solo. Estradas profundas ou encaixadas na paisagem devem ser sempre evitadas, pois elas dificultam todo o manejo da água em seu leito. Além disso, quanto mais profundas, maior a chance de expor o horizonte C que é altamente instável em contato com a água. Muitos dos danos nas estradas começam no referido horizonte.

As estradas em áreas declivosas demandam saídas de água que escoam em seus leitos, como foi discutido anteriormente neste capítulo. As lombadas de base larga devem ser incluídas nas estradas em declives para reduzir a velocidade da água em movimento em seus leitos.

As estradas não pavimentadas não devem ser muito largas (comprimento x largura = área exposta). Quanto maior a área exposta, maior será o volume de água que demanda cuidado em manejá-la para evitar perda de água e de solo. As estradas ocupam parte da área a ser cultivada e competem com as plantas na ocupação do espaço.

Conforme foi mencionado, o leito da estrada no nível da superfície do solo permite que ela tenha uma ligeira inclinação em direção ao declive para que a água se movimente para fora da estrada, sem acumular.

Com a finalidade de recordar, algumas encostas podem ter lombadas naturais que não devem ser destruídas durante a construção das estradas. Quando elas estão na direção contrária ao declive, elas reduzem a velocidade da água, diminuindo o seu poder erosivo.

Para que as estradas continuem dando condição de trânsito de veículos, elas precisam receber manutenção em intervalos regulares de tempo. Os usuários das estradas podem ajudar no monitoramento de seus danos. Eles podem ser georreferenciados por meio de GPS para facilitar a localização por aqueles encarregados da manutenção. Isso se aplica para as fazendas com grandes áreas. Considerando-se a velocidade dos danos, alguns trechos chegam a ser intransitáveis. Nesse caso, a estrada perde a sua principal finalidade que é permitir o trânsito de veículos.

A extração de material em cascalheira tem sido utilizada para a manutenção do leito das estradas. A qualidade geotécnica desse material precisa ser avaliada para que o material possa cumprir a sua finalidade. A adição de material que não compacta bem pode ser avaliada no período chuvoso quando a erosão transporta este material para as partes mais baixas da paisagem. Quando isso ocorre, perdem-se tempo e dinheiro sem ter o benefício desejado. Além disso, há os efeitos ambientais indesejáveis,

como a extração nas cascalheiras e o transporte pela água em movimento para as áreas mais baixas. As frações silte e argila podem chegar aos cursos de água com prejuízo evidente de sua qualidade. As estradas não devem ser construídas em solos ricos em matéria orgânica, porque ela reduz consideravelmente a capacidade das estradas suportar os veículos pesados. Se não se levar isso em conta, os veículos pesados afundam-se quando passam carregados nessas áreas. O solo fica danificado, e a retirada do veículo torna-se bem difícil. Nesse caso, o traçado da estrada deve ser modificado para que esses eventos não se repitam novamente. Muitas dessas áreas são destinadas à preservação, e não se podem construir estradas nelas por motivo de regulamentação ambiental.

Nas áreas onde se tem uma malha viária já implantada, que nem sempre foi planejada, pode precisar-se de correções na trajetória de alguns trechos das estradas. Essa malha viária precisa adequar-se aos custos financeiro e ambiental. Nessa adequação alguns pontos merecem destaques:

1. A densidade das estradas é dada em km de estrada/km<sup>2</sup> de área. Ela deve ser mínima, mas precisa cumprir o seu papel na propriedade rural.
2. Caso existam lombadas e saídas de água, o reposicionamento delas pode ser adequado com a finalidade de conservar o solo e a água. Todo trabalho implementado nas estradas precisa considerar a conservação dos recursos solo e água.
3. Tanto as APPs como as Reservas Biológicas têm que ser respeitadas por força dos regulamentos ambientais.
4. Todas as atividades que reduzem a infiltração de água nos solos devem receber atenção especial.

A água que não se infiltra no solo promove empoçamento ou escoamento superficial. Tanto um como o outro deve ser evitado porque estes dois problemas causam prejuízos nas diversas atividades executadas em uma dada área.

## 9.17 Volume de água nas estradas

O volume de água precipitado diretamente nas estradas é maior do que se imagina. Trata-se de um procedimento muito simples para avaliar essa quantidade de água. Para essa estimativa, algumas informações são utilizadas em um trecho da estrada: uma estrada de 1 km e 5 m de largura tem uma área de 5000 m<sup>2</sup> (1000 m X 5 m = 5000 m<sup>2</sup>). Considerar uma chuva de 20 mm. Onde 1 mm = 1 L m<sup>-2</sup>. Então, tem-se 20 L m<sup>-2</sup> para esta chuva.

Volume precipitado da chuva:  $20 \text{ L m}^{-2} \times 5000 \text{ m}^2 = 100\,000 \text{ L}$  ou  $100 \text{ m}^3$  em cada km desta estrada.

Para fins de cálculo, considerou-se zero a infiltração de água no leito da estrada. O volume estimado de água a ser manejada em um km de estrada não deve ser desprezado.

## Considerações finais

Não se pode negar a importância das estradas nas inúmeras atividades humanas, mas é necessário que a estrutura viária seja sempre monitorada para que ela mantenha condição de tráfego o ano inteiro. A diversidade de efeitos indesejáveis das estradas na conservação do solo e da água precisa receber a devida atenção por toda a sociedade, que depende continuamente dos recursos de solos e das águas para a sua sobrevivência.

Espera-se que todas as discussões contidas neste capítulo sirvam para conscientizar toda a sociedade no sentido de dar a sua importante contribuição no uso racional do ambiente, para que todos tenham suas necessidades de água e de alimentos satisfeitas.

## Referências

KRAUSE, M. B; FARIA, A. L. L; TEIXEIRA, R. C; COSTA, L. M. O agente antrópico como formador de ambientes: química, física e classificação de antropossolos. *Physis Terrae*, v. 3, n. 1-2, 36-61, 2021.

OLIVEIRA, M. L; RUIZ, H. A; COSTA, L. M; SCHAEFER, C. E. G. R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. *R. Bras. Eng. Agric. Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 535-539, 2005.

PIRES, C. V. *Dinâmica hídrica em uma sequência latossólica sob pastagem em bacia hidrográfica da zona da mata mineira*. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 77p. 2016.

SOUZA, L. F. T. *Modelagem de processos erosivos em área de contatos geológicos no Alto Paranaíba*. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 133p., 2017.





## CAPÍTULO 10. A Educação no consumo da água e de outros bens

*Liovando Marciano da Costa*  
*Lucas Righetti Arnaut*  
*Cláudia Rocha da Costa Carvalho*

### 10.1 Introdução

O consumidor de recursos hídricos precisa conhecer para aprender a conservar a água. O comportamento das pessoas em relação ao uso e consumo de água é inadequado e muitos continuam usando a água de forma descuidada.

Reflexões sobre o consumo dos diversos bens são introduzidos neste capítulo para que o leitor saiba a maneira como este assunto será apresentado àqueles que se interessam pelos recursos hídricos e outros bens consumidos pela sociedade. A sociedade caracteriza-se como consumista e conseqüentemente pode ser qualificada como anticonservacionista, sociedade do bota fora, do desperdício de alimentos e de água e ainda da obsolescência programada, especialmente dos produtos industrializados. O lixo produzido por meio da obsolescência é cada vez mais volumoso. Espera-se que esta sociedade reavalie sua forma de viver contribuindo para que o planeta continue suprindo as necessidades reais de todos os seres vivos, incluindo o homem. Neste sentido distinguem-se as necessidades reais, das necessidades criadas pela sociedade consumista. No entanto, a sociedade também participa dos avanços científicos necessários para a sobrevivência da humanidade e dos demais seres vivos que coabitam os vários ecossistemas terrestres. A convivência pacífica com os demais seres vivos tem evoluído muito, mas ainda há muita estrada a ser percorrida para que se chegue ao equilíbrio entre as inúmeras espécies.

O foco deste capítulo é a água que é necessária para uma infinidade de atividades humanas. As atividades humanas reais e as criadas pelo homem demandam muita água em várias etapas da produção de cada bem demandado pelas sociedades local, estadual, nacional e internacional. As mudanças no modo atual de vida são dinâmicas e espalham-se rapidamente. O individualismo precisa ser repensado para que todos tenham um mundo melhor.

A participação direta ou indireta da água em praticamente todos os processos produtivos industriais ou não, é inquestionável. Isso faz dela um composto químico natural insubstituível. Por ela estar presente em todas as atividades diárias, ela se tornou tão comum que sua real importância não é percebida pelos usuários. Desse modo, surge uma pergunta: por que preservar um bem natural quando não se conhece adequadamente seu espectro de importância? Para avaliar a importância da água é conveniente que se conheça muito bem o significado dela no dia a dia de cada pessoa. O principal conhecimento vem de uma boa educação em todos os níveis, desde a pré-escola. Desse modo, os professores e os ex-professores têm ou tiveram muita importância no processo educativo para o uso racional da água e de todos os bens disponíveis. É sabido que cada um deles participou da maneira que foi possível, considerando-se que nem todos eles têm o mesmo nível de conhecimento e o interesse pelos recursos hídricos.

A falta de conhecimento sobre a água constitui-se como grande obstáculo para que parte da população não se preocupe conservá-la. Esta questão piora ainda mais em países considerados abundantes em recursos hídricos como o Brasil. A principal proposta deste texto é oferecer informações úteis para todos aqueles que acessarem esta obra.

Os diversos usos da água, num sistema fechado, resultam em água de qualidade cada vez pior. Cada ciclo de uso pode acrescentar à água características indesejáveis relacionadas a cada procedimento realizado em diferentes fases. A água reciclada em vários processos produtivos traz em sua composição uma memória química, física ou biológica relacionadas ao número de vezes que foi reciclada e, também, as mudanças de uso as quais ela foi submetida. Assim, quando a reciclagem for realizada num mesmo processo, as referidas mudanças são refletidas por análises específicas que servem para monitorar os danos sofridos pela água. Por outro lado, se a água for reciclada em mais de um sistema produtivo, ela pode trazer a memória de cada ciclo de uso. Quando a água é retirada da sua trajetória natural para atender aos diversos usos, ela sofre influência desses novos caminhos, percorridos em canais ou em tubulações com composições diferentes dos canais naturais. Estes podem ser constituídos por diversas rochas ou sedimentos, que são provenientes das rochas e dos solos da bacia de captação das águas. O sistema condutor natural da água é bem diferente dos sistemas tubulares fabricados pelo homem. Certamente, a composição dos resíduos contidos na água conduzida pela natureza deve ser diferente das tubulações criadas pelo homem.

A reciclagem de uma maneira geral e da água em particular tem sido uma forma de reaproveitamento de materiais que são reutilizados depois de passarem por procedimentos científicos testados e aprovados. Algumas empresas produzem águas remineralizadas artificialmente depois de

passarem por um processo de purificação. Esta, bem como a remineralização são etapas físico-químicas. Quanto maior for número de etapas para concluir um procedimento, maior será a chance de alterações no sistema que está sob manipulação. A reciclagem deve merecer a atenção de todos como alternativa na redução do desperdício, mas o material reciclado para o uso tem que atender aos padrões de qualidade previstos na legislação dos órgãos ambientais. A dessalinização da água do mar é um processo de transformar água salgada em água doce. Este está sendo cada vez mais utilizado para satisfazer a demanda de água de países onde a oferta desta não é suficiente para atender a sua demanda. Apesar dos avanços tecnológicos na dessalinização, o custo ainda é alto, mas espera-se que essa situação se modifique num futuro próximo. Levando-se ao pé da letra, a dessalinização não seria conceitualmente uma reciclagem, pois este conceito, normalmente restringe-se aos materiais industriais fabricados pela sociedade. A água salgada faz parte do ciclo hidrológico e a dessalinização seria um reaproveitamento dela depois de transformada em água doce. A própria água salgada ao ser evaporada naturalmente, transforma-se em água doce. A evaporação da água é um processo físico de transformação da água líquida em vapor de água. Essa é uma forma muito eficiente de dessalinização de água, que ocorre naturalmente ou é realizada em indústrias ou laboratórios, mas a energia gasta tem limitado este processo. Este assunto será abordado posteriormente neste capítulo.

Pela forma inadequada de lidar com a água, são várias as formas de torná-la imprópria para o uso. A água descartada em todos os processos produtivos carrega uma carga de poluentes que varia em função das atividades nas quais ela participa. A porcentagem de água utilizada na indústria é bem menor do que aquela que se destina à agricultura em geral. As culturas irrigadas recebem suplementação de água especialmente em períodos de déficit hídrico, tanto no período chuvoso como no período seco. A água da chuva ou da irrigação por aspersão entra em contato com o ar um pouco acima das plantas e transporta alguns poluentes em suspensão, provenientes de regiões industrializadas.

Ao infiltrar-se no solo, a água ocupa os poros e se movimenta por meio deles, ou ainda pode ser retida em partículas de argila ou no interior dos microporos. Uma parte desta água sai na forma de vapor de água. Este é bem mais puro que a água da solução do solo. Ela sai do solo com maior velocidade do que a água desta solução. A água proveniente das chuvas e aquela adicionada pela irrigação ao infiltrar no solo, inicia o movimento em profundidade atraída pela gravidade. A trajetória da água no solo depende da morfologia e do diâmetro do sistema poroso. Os macroporos ( $\emptyset > 50 \mu\text{m}$ ) facilitam o movimento mais rápido da água em profundidade, já os microporos ( $\emptyset < 50 \mu\text{m}$ ) reduzem a velocidade e a

água neles tem um movimento bem mais lento. A tortuosidade é uma característica muito comum nos poros dos solos e, quanto mais tortuosos forem os poros, mais lento é o movimento da água. Para que a água atinja 1 m de profundidade, a distância percorrida é muito maior. Isso faz com que o tempo de contato solo-água aumente. Este tempo de contato é importante para que as reações entre a fase sólida e a solução do solo possam ocorrer. Esta é mais uma das razões para que o solo seja considerado um enorme filtro natural das águas. A água proveniente do escoamento superficial que chega aos cursos de água tem sua qualidade bastante deteriorada, dependendo da composição química do solo ou de outras superfícies onde a água escoou. O escoamento superficial da água transporta partículas desagregadas do solo e deposita este material nas áreas mais baixas da paisagem ou atingem os cursos de água. Ele deteriora a qualidade das águas superficiais e ainda provoca inundações e, ou enchentes que têm causado danos nas áreas atingidas, tanto em áreas urbanas como nas propriedades rurais nas margens dos cursos de água.

O vapor de água pode arrastar algum poluente volátil ou composto de alta solubilidade em água. Espera-se que o vapor de água produzido desta forma, apresente pouca ou nenhuma capacidade de poluir o ar ou o solo por onde se movimenta.

A água presente nas proximidades das raízes é absorvida por elas e entra no fluxo ascendente. Esta pode ser evapotranspirada ou utilizada em reações químicas nas partes em crescimento ou desenvolvimento ativo das plantas. A água que chega na atmosfera, proveniente dos estômatos, movimenta-se na forma de vapor que também é mais pura do que a água contida em diversas partes das plantas.

Apesar do elevado gasto de água na agricultura irrigada e na de sequeiro, a água destinada à irrigação deve apresentar características químicas que a qualifiquem para este uso. Toda água com elevada carga de poluentes não deve ser usada para irrigação ou outros usos que demandam uma qualidade mínima para determinados tipos de usos. Para a irrigação a água não pode ter elevada concentração de sais, determinados pela análise da Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e a Condutividade Elétrica (CE). Estas duas variáveis permitem classificar a água para este fim. Há um perigo muito grande de salinização dos solos quando se usa água com alta salinidade. Sabe-se que a demanda de água para a agricultura e os demais usos têm aumentado continuamente com o tempo. Para ilustrar esta afirmativa será apresentada neste capítulo a demanda de água para os principais usos. Mesmo com taxas de crescimento menores, o crescimento populacional ocorre. Apesar disso, ela incide sobre uma população cada vez maior, resultando numa população maior. Além disso, a expectativa de vida tem crescido. Assim, quanto maior a população de

um país ou de um continente, ou mesmo de um município, maior será a demanda por bens e serviços. A demanda por água segue este mesmo raciocínio. Se isso não bastasse, a evidente atitude consumista da população mundial continua criando necessidades sem limites.

Para reduzir a escalada consumista mundial, é necessário estabelecer procedimentos eficientes no esclarecimento sobre os limites do planeta em fornecer os bens e serviços demandados no nível atual de consumo. A instrução ajuda aqueles que não entendem o que está acontecendo em termos de degradação ambiental, causada por uma forma equivocada de viver da população. Ainda assim, todos participam do ciclo hidrológico. Para ilustrar a sua importância algumas iniciativas têm sido tentadas, especialmente aquelas que envolvem a instrução. Para o sucesso desta iniciativa, o instrutor precisa ter um adequado conhecimento sobre o assunto, aliado à capacidade de transmitir informações com clareza, simplicidade e precisão. Dentro de uma população, existem aqueles que têm consciência do problema, mas são insensíveis e nada fazem para ajudar na solução de algo que vai impactar às gerações futuras. Ainda existem outros que têm um discurso afiado, mas na prática nada contribuem para a solução de um problema coletivo. É possível acrescentar mais gente nesta lista, como aqueles que têm poder, mas não se interessam por esta causa. Para ilustrar a sua importância, o corpo de uma pessoa adulta tem de 60 a 70% de água. As hortaliças e os frutos contêm entre 85 a 95% de água. Além disso, a maior parte das reações químicas no corpo humano depende da água. São inúmeras as funções da água nos seres vivos, mas não há razão para listá-las neste texto.

## **10.2 A sociedade do desperdício e seus efeitos na qualidade do ambiente/água**

As mudanças que vem ocorrendo na sociedade são sempre esperadas, especialmente quando se refere ao consumismo de variados bens, conforme tem sido destacado em vários capítulos deste livro. O homem procura vários meios de conservar os produtos altamente perecíveis que ao serem deteriorados transformam-se em materiais que precisam ser descartados adequadamente. Qualquer que seja a destinação dada aos produtos perecíveis, eles continuam sendo transformados em subprodutos que em contato com o ambiente promovem variados tipos de danos. De uma ou outra forma, o descarte se destinará ao ar, à água ou ao solo. Os materiais voláteis descartados na atmosfera podem movimentar-se em velocidade e chegam a grandes distâncias do ponto onde eles foram gerados. A velocidade e direção dos ventos afetam a distribuição dos referidos materiais. Com a redução progressiva da velocidade dos ventos, estes materiais começam a ser depositados na água ou no solo, dando

início a novas reações, conforme a afinidade físico-química entre as partes. O mesmo material depositado em locais diferentes pode reagir diferentemente. As poeiras de granulometria muito fina podem seguir trajetória semelhante aos produtos voláteis, mas as baixas velocidades dos ventos não conseguem carregá-las a grandes distâncias dos pontos em que se originaram.

No descarte de alimentos deteriorados, a emissão de gás carbônico em ambientes arejados ou metano em locais de arejamento deficiente vai ocorrer, tendo em vista que os alimentos são ricos em carbono orgânico. Estes dois gases têm efeito estufa que provoca preocupações, naqueles que percebem tais problemas associados ao desperdício dos alimentos. Esta questão não é difícil de ser compreendida, desde que as pessoas tenham instrução compatível com as transformações/reações que ocorrem durante a decomposição de alimentos ou outros produtos orgânicos descartados no ambiente.

Um ponto que não pode ser esquecido é o uso dos cursos de água para descartar os esgotos urbanos sem nenhum tratamento. Trata-se de um problema grave que vem sendo adiado por muito tempo em extensas áreas do território brasileiro.

Os esgotos sanitários sem tratamento e sem destinação apropriada têm sido dispostos nos cursos de água e podem ser observados em áreas urbanas das diversas regiões brasileiras. Esta situação deveria servir para que a sociedade produtora do esgoto desse a sua contribuição para minimizar este gravíssimo problema que continua sem uma solução. Esta é uma situação inquestionável, pois pode ser vista nos cursos de água que atravessam as áreas urbanas das pequenas às grandes cidades brasileiras. Não se pode negar que esforços bem-sucedidos em nível local, regional, estadual e federal podem ser observados.

Para uma compreensão mais adequada do problema, recomenda-se que os interessados consultem a Agência Nacional das Águas (2017) – Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas/ANA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Brasília – ANA. 2017. 88p. Neste Atlas é possível encontrar informações muito úteis relacionadas à poluição das águas, causadas pela disposição inadequada dos esgotos sanitários. Optou-se por não reapresentar os dados encontrados no Atlas. A disposição de esgotos não tratados diretamente nos cursos de água tem sido considerada uma das principais razões que deteriora a qualidade das águas superficiais. As águas subterrâneas não são imunes a este tipo de contaminação, desde que haja fraturas nas rochas que permitam a conexão entre as águas poluídas e as águas subterrâneas.

Para preservar a qualidade dos recursos hídricos, o tratamento do esgoto sanitário tem que receber prioridade máxima. Nas áreas de esgotos

a céu aberto, a água veicula várias doenças, cujo tratamento tem custo elevado, quando a assistência médica está disponível à população diretamente afetada. Sem esta assistência, os efeitos danosos de tais doenças são perceptíveis e ceifa vidas. Estes problemas são comuns em esgotos sanitários que são dispostos nos cursos de água sem tratamento. Assim, é inconcebível insistir em não tratar os esgotos sanitários. A água continua prejudicando as atividades que demandam os recursos hídricos de qualidade adequada para cada uso.

Quando a opção de descarte de todos os resíduos, produzidos pela sociedade tipicamente consumista, for o solo ou a água, deve-se considerar que o material descartado sofre mudanças que dependem da constituição dos resíduos e do ambiente solo ou água. Considerando-se que os solos e as águas variam de um para outro local, as reações esperadas também variam. Desse modo, não se deve esperar uma única receita para solucionar todos os problemas nas inúmeras condições possíveis de serem encontradas. Grande parte de descartes tem sido nos solos, cujas reações são muito dependentes da água proveniente das precipitações pluviométricas de cada local. Dessa forma, a relação resíduo-solo-água-organismos deve ser considerada para uma compreensão mais ampla da questão discutida.

O descarte dos alimentos deteriorados e de outros resíduos não é apenas 'jogar fora' alguma coisa que esteja incomodando alguém em algum lugar. A falta de entendimento desta questão tem servido de argumento para continuar jogando fora tudo que aparentemente não serve para mais nada. Esta atitude precisa ser revista para o bem do ambiente e daqueles que nele habitam. Ao longo deste texto, tem sido usado o termo 'consumidores desavisados' que não compreendem e não se importam com ambiente onde vivem. É difícil reverter este quadro com apenas discursos que não sensibilizam àqueles que não são capazes de compreender o que está acontecendo. Emitir certificados de terceiro grau para uma população cada vez maior não parece ser a solução adequada, pois um certificado pode não ser suficiente para dar ao seu portador a capacidade de entender o tamanho e a extensão do problema dos descartes. Esta não deve ser considerada uma mensagem de desânimo. Ela deve servir de estímulo para melhorar os cursos de graduação, tanto das universidades públicas quanto das privadas. Para dar uma boa formação na graduação é urgente que se tenha considerável melhoria no primeiro e no segundo grau. Em síntese, sem melhorar o ensino em todos os níveis, as expectativas de formar técnicos e cidadãos conscientes ficam num horizonte distante.

Deve-se ressaltar que o desperdício de alimentos desde a colheita até o seu descarte está relacionado com o desperdício da água. Nem sempre

as pessoas têm consciência desta forma indireta de perda de água. As estimativas de gastos de água para produzirem alimentos de origem animal e vegetal são muito altas. Estes dados vão ser apresentados neste capítulo para que o leitor possa avaliar o seu comportamento perante os gastos e os desperdícios de água nesta atividade. Além destes gastos, a água é utilizada para os alimentos que passam por processos industriais, que também consomem uma fração considerável de água nas indústrias.

### 10.3 Qualidade da água

Todas as atividades humanas podem causar impactos no ambiente onde elas são realizadas. O tamanho do impacto depende da quantidade produzida dos bens que a sociedade demanda num determinado período de tempo. Apesar dos avanços científicos e tecnológicos, em todos os processos produtivos, há sempre produção de resíduos, além das perdas observadas ao longo da cadeia produtiva. Certamente, cada processo tem suas características próprias quanto às perdas de materiais e a produção de resíduos. Os materiais residuais demandam uma disposição adequada para causarem o mínimo impacto ambiental. A procura pela utilização dos resíduos tem sido uma preocupação constante, em especial quando o volume produzido é muito grande. Grandes pátios são construídos para armazenamento temporário dos resíduos, até que eles sejam removidos para uso ou disposição. Além do volume, alguns resíduos são tóxicos e demandam cuidados especiais para que eles não passem a contaminar o ambiente. A água da chuva entra em contato com uma infinidade de materiais sobre as superfícies onde ela cai. Alguns materiais fixos e outros soltos que podem ser transportados pela água, dependendo do volume e da energia dela. Outros materiais podem ser dissolvidos e transportados em solução até que sejam adsorvidos em algum adsorvente e passa a fazer parte da fase sólida de materiais como colóides minerais e orgânicos. Em áreas impermeabilizadas pela urbanização, o contato da água da chuva com o solo é quase inexistente. Sabe-se que o solo pode ser considerado um filtro gigante da água que precipita sobre ele. Sem contato com o solo, a filtração da água não ocorre e ela é conduzida para os canais dos corpos de água carregando materiais em solução e em suspensão. Contudo, quando a água está com alta turbidez, devido às partículas de solos e sedimentos, os íons podem ser adsorvidos em tais partículas, mesmo que temporariamente. Os íons se tornam bem menos ativos e causam menos danos. Quando o material for depositado, elementos tóxicos são retirados parcialmente do sistema água. Assim, a água turva pode ter alguma utilidade, ao remover da solução elementos químicos indesejáveis ao ambiente. A água que precipita sobre o solo pode infiltrar nele ou escoar sobre ele. O desejável é que a água infiltre o máximo possível, mas é



inevitável que ocorra também o escoamento superficial, especialmente quando se tem chuvas de alta intensidade, que podem ocorrer de acordo com as condições climáticas locais. A porosidade tem grande importância na infiltração de água no solo, em especial os macroporos que são responsáveis pela rapidez com que a água se move em profundidade. O movimento da água quando ocorre rapidamente causa interação incompleta e a filtração da água fica prejudicada. Os solos têm diferentes profundidades e a interação do solo com a água ocorre em diferentes horizontes que podem apresentar diferenças em porosidade, textura e em propriedades químicas. Em solos profundos, as reações físico-químicas podem ocorrer em vários pontos ao longo do perfil do solo. Além disso, os solos profundos têm uma capacidade muito maior de armazenar as águas das chuvas e liberá-la em ritmo adequado para manter em funcionamento todo o sistema hídrico de uma bacia hidrográfica. Por outro lado, solos rasos ou afloramento de rochas ocorrem em áreas de alta declividade. Deve-se ressaltar que nesta situação, o escoamento superficial é muito intenso e o armazenamento de água no solo é limitado pela profundidade. Com baixa capacidade de armazenar a água das chuvas, a disponibilidade hídrica de uma sub-bacia fica comprometida, principalmente no período seco do ano. Em áreas de solos rasos e afloramentos de rochas, quando ocorre fraturamento das rochas, a água infiltra e pode ser armazenada entre camadas de rochas com diferentes porosidades e inclinação de estratos rochosos.

#### **10.4 Relação solo-água e a trajetória da água das chuvas**

Para que o solo cumpra o seu importante papel de purificação da água, ele não pode estar impermeabilizado por áreas urbanizadas que definitivamente não permitem esta etapa do ciclo hidrológico. Sem a infiltração das águas das chuvas, o escoamento superficial torna-se ativo e suas consequências são diversificadas, causando alagamentos nas áreas mais baixas da paisagem e as enchentes são inevitáveis. O escoamento superficial, associado às enchentes, promove muita perda de água que poderia ter sido armazenada nos solos para regular as vazões dos diversos corpos de água de um dado município ou de uma região durante o ano. Muita água perdida por escoamento superficial no período das chuvas, certamente vai fazer falta no período seco do ano. Além da impermeabilização dos solos pela urbanização, o uso inadequado dos solos pode também reduzir a infiltração das águas promovendo o escoamento superficial com algumas consequências acima referidas. Quando se refere ao armazenamento de águas nos solos, alguns pontos merecem destaque, a começar pela profundidade de cada classe de solo. Os solos mais

profundos e permeáveis são de grande valia no armazenamento das águas precipitadas neles. Ao contrário, funcionam os solos rasos ou os afloramentos de rochas, cuja importância no armazenamento de águas é muito pequena. Em muitos casos estes solos localizam-se em áreas muito declivosas que têm alta participação no escoamento das águas e suas consequências já foram apontadas neste relato. Em locais como os descritos o suporte para a vegetação natural é muito limitado por faltar a água perdida por escoamento. A escassa cobertura do solo tem efeito destacado na perda de água por escoamento. Estas considerações permitem entender a grande importância dos solos no contexto da quantidade e da qualidade das águas de uma dada bacia hidrográfica. Assim, o uso, a ocupação do solo e seu manejo adequado devem ser priorizados, para que se tenha água em quantidade e qualidade para os usuários de uma dada região. Espera-se que a população possa entender bem este alerta e ajude a cuidar da natureza para obter dela o necessário para ter uma vida saudável e que ela possa participar das soluções de problemas comuns a todos.

## **10.5 Conflitos causados pelo uso das águas**

Quando ocorre desequilíbrio entre a quantidade de um bem ofertado e a sua demanda, é possível que se inicie um conflito entre as partes envolvidas. Dessa forma, o número, os tipos e as dimensões dos conflitos são incontáveis e fazem parte da sociedade competitiva. Muitos dos conflitos surgem motivados por diversas razões que podem torná-los quase incontroláveis e prolongarem-se por períodos muito longos. Felizmente, sempre aparecem os mediadores capazes de apaziguarem os ânimos daqueles que são donos da verdade e tem pouca habilidade para viverem em comunidades.

Para reforçar sua importância, sem a água não existe vida na forma conhecida e toda vez que se procura vida na via láctea ou além, a primeira coisa que se procura é a água na forma de vapor, líquida ou sólida/gelo. Para suportar a vida, sem água não é possível. Isso justifica plenamente os conflitos por sua causa. Essa justificativa refere-se à importância da água bem como os conflitos por ela.

Recentemente tem sido noticiado e publicado a ocorrência de conflitos hídricos pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Estas informações são muito relevantes para todos os locais, onde ocorrem os conflitos e em suas proximidades. E devem ser encaradas por todos os usuários de água na região atingida. As maiores áreas de conflitos encontram-se no Noroeste do estado, principalmente em João Pinheiro e Paracatu. Esta situação demanda ações imediatas e urgentes para que os conflitos não se alastrem para as áreas vizinhas. Identificar as causas dos

conflitos deve receber prioridade máxima para que se estabeleça um programa de correções de rumos. Um mecanismo útil é a análise de outorgas já emitidas e as que estão em processo de emissão. A abertura de novas áreas que demandam irrigação deve receber atenção total. Uma análise das outorgas já emitidas deve ser revista para avaliar se esta é compatível com o uso da água nos últimos três anos ou mais. Com a expectativa de expansão das atividades que demandam água, o produtor rural pode fazer um pedido maior do que as suas necessidades reais. Esta é uma atitude própria daqueles que além de pensarem somente neles, são incapazes de considerar as necessidades dos seus semelhantes.

Os conflitos declarados do uso de água ocorrem principalmente no Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e no Noroeste do estado de Minas Gerais. Esta obra focaliza os vários aspectos do consumo de água em relação à educação da sociedade desta área. Tais discussões são aplicáveis a todo estado e ao Brasil e, pode estender-se para o nível mundial. Os conflitos devem servir de alerta para que sejam criados mecanismos eficientes de gestão dos recursos hídricos. Há grande número de variáveis que se relacionam ao consumo de água. Destas variáveis, algumas são mais importantes do que outras e estas devem receber alta prioridade no controle de consumo para que ele seja racional. O desperdício de água desde a captação até sua utilização precisa ser mais bem monitorado. São várias as etapas onde podem ocorrer perdas de água, umas etapas passíveis de reparo e outras não. Iniciando-se pelos reparos mais simples, a começar pelos vazamentos, é possível economizar um bom volume de água. Considerando-se que a agricultura se destaca no consumo de água, reduzir as suas perdas nesta atividade tem que receber alta prioridade. Pela contabilização das perdas de água na agricultura em geral e na agricultura irrigada, em particular pode ter-se uma estimativa cada vez mais próxima da realidade. Os procedimentos adotados para medições da quantidade necessária para a irrigação, de uma dada cultura, devem ser muito bem calibrados. Isto para que não ocorra nem excesso e nem falta de água para que a produtividade máxima seja obtida sem excessos dos principais insumos, incluindo-se a água de irrigação. A calibração do sistema de irrigação deve distribuir uniformemente o volume de água na área irrigada, independentemente do tipo de irrigação adotada. O gasto de água e o rendimento da cultura dependem da distribuição mais uniforme possível da água. Se assim não for feito, a desuniformidade da cultura resulta em rendimento menor da lavoura. Esta situação pode tornar-se ainda pior se ela ocorrer associada com distribuição desuniforme de fertilizantes e de corretivos. Parte-se do princípio de que o agricultor que adota a irrigação está num patamar mais alto de tecnologia. Neste nível não é permitido equívocos que possam comprometer a produtividade, mesmo porque os recursos financeiros são muito altos.

Para efeitos didáticos, o consumo de água está associado à disponibilidade hídrica local, municipal, estadual ou federal. O padrão de chuvas varia de um ano para outro, o que pode dificultar o cálculo de gasto de água proveniente da irrigação. A previsibilidade de gasto de água é mais fácil no período seco do que no chuvoso. Neste, a água é suplementada, especialmente em anos de precipitação muito irregular, que resulta em maior gasto de água motivada pelas referidas irregularidades. Se as precipitações irregulares coincidirem com menor precipitação anual, a demanda por água suplementar é maior. As anormalidades climáticas anuais alteram a demanda por suplementação hídrica.

Sabe-se que o volume de água que chega a uma dada área é muito grande, mas o seu aproveitamento total está num horizonte muito distante. Isso gera uma grande distorção na visão dos consumidores, que atribuem a escassez hídrica diretamente à redução da precipitação pluviométrica. Os históricos de precipitação podem confirmar apenas poucos casos. O escoamento superficial das águas tem um papel muito importante no entendimento da escassez hídrica, cada vez mais presente em diversos locais.

A quantidade de água proveniente das chuvas, durante um ano, que precipita em um município é enorme e pode ser demonstrada de forma simples e bem didática. Para ilustração, utilizou-se um município onde ocorre conflito hídrico. Isso também ocorre em municípios vizinhos, mas foi escolhido o município de Santa Juliana – MG como exemplo:

Estimativa da quantidade de água precipitada no município de Santa Juliana. Considerando como 1433 mm/ano de chuva, obtido em registros de precipitação média anual e que esta seja distribuída uniformemente em toda a área daquele município que é de 723,784 km<sup>2</sup>. Sabe-se que 1 mm de chuva = 1 L/m<sup>2</sup>.

$$\text{Cálculo: } 1 \text{ L/m}^2 \times 1433 \text{ mm/ano} \times 723784000 \text{ m}^2 = 1037180000000 \text{ L/ano ou}$$

$$1037180000 \text{ m}^3/\text{ano.}$$

Consumo de água nas três atividades principais, tais como: Consumo Doméstico (631720 m<sup>3</sup>/ano) + Consumo Agrícola (1513125 m<sup>3</sup>/ano) + Consumo Pecuário (734832 m<sup>3</sup>/ano) = 2881677 m<sup>3</sup>/ano, este consumo de água representa apenas 0,28% do total de água precipitada no território de Santa Juliana – MG.

Especificação do Consumo de Água por Atividade:

- Consumo Doméstico – 110 L/hab.dia x 365 dias x população (15734 hab.) = 631720 m<sup>3</sup>/ano.

- Consumo na Produção Agrícola: Café (2551) + Cana-de-Açúcar (1354515) + Milho (42159) + (113899) = 1513124 m<sup>3</sup>/ano.
- Consumo na Produção Animal: Bovinos (314923) + Suínos (391645) + Galináceos (28264) = 734832 m<sup>3</sup>/ano.

Parece um paradoxo falar em conflito hídrico quando a água para atender as principais atividades do município foi estimada em apenas 0,28% da água precipitada no município de Santa Juliana – MG. Com esta simples estimativa fica evidente que a natureza disponibiliza um enorme volume de água, que poderá ser aproveitada. Para isso, a ciência fornece meios que deverão ser utilizados para aproveitar apenas um pequeno volume do total de água. Esta que vai continuar à disposição dos habitantes daquele município e de outros que são localizados nas proximidades. Para armazenar parte desta água, não se deve desconhecer o potencial de armazenamento de água pelos solos, que se encontra em toda a bacia hidrográfica. Ao longo desta obra, os solos têm sido destacados como caixas de água. Sabe-se que os solos armazenam fração considerável da água que tem sido perdida por manejo inadequado para este fim. Por meio de mais um simples recurso da Ciência do Solo para calcular o volume total de poros, usam-se as densidade aparente ou do solo e a densidade das partículas da mesma amostra e obtém-se a porosidade ou o volume total de poros. Para fins de ilustração, é possível estimar a porosidade dos solos, utilizando-se a seguinte fórmula: Porosidade =  $((D_p - D_s)/D_p) \times 100$ , onde  $D_p$  = densidade de partículas (g/cm<sup>3</sup>) e  $D_{ap}$  = densidade aparente ou do solo (g/cm<sup>3</sup>). Muitos dados de  $D_p$  e  $D_{ap}$  podem ser encontrados em vários tipos de publicações da área de solos. A partir destes dois tipos de densidade é possível encontrar valores de 50% de poros em vários perfis de solos. Isso indica que a metade do volume do solo é constituída de espaços vazios ou poros onde se encontram a água e o ar, ambos muito importantes para suportarem as atividades macro e microbiológicas no sistema solo-água-planta. De uma forma simplificada, 1 m<sup>2</sup> de área por 1 m de profundidade é igual 1 m<sup>3</sup> de volume de solo. E é possível afirmar que cada m<sup>3</sup> de solo pode armazenar até 500 L de água, quando o solo estiver totalmente saturado com água. Nesta mesma direção, Os Latossolos são predominantes no Brasil e são reconhecidos como solos profundos ou muito profundos. Assim, se a profundidade for de 2 m ou 3 m ou mais profundos o volume de água armazenada passa de 500 L/m<sup>2</sup> para 1000 L/m<sup>2</sup> ou 1500 L/m<sup>2</sup>, quando o solo estiver totalmente saturado com água. Apenas para recordar, 1 mm de chuva corresponde a 1 L/m<sup>2</sup>. Teoricamente seria possível armazenar uma chuva de 500 mm em 1 m<sup>3</sup> de volume de solo. Todavia, este valor representa mais de 1/3 da chuva que precipita anualmente em Santa

Juliana – MG (1433 mm/ano de chuva) e em muitos municípios com precipitação semelhante. É quase impossível pensar em uma chuva de 500 mm em um período curto de tempo. Além disso, a velocidade de infiltração de água no solo é completamente incompatível com um volume exageradamente grande de água. Neste caso, o escoamento superficial da água é inevitável e poderia gerar danos imprevisíveis. O potencial de armazenamento de água no solo é inquestionável. Este pode ser utilizado para evitar a grande perda de água relatada neste capítulo, exceto nas áreas urbanas impermeabilizadas pelas construções existentes. A impermeabilização parcial dos solos pode ser notada também quando estes são submetidos à ocupação e uso inadequados. Neste particular, devem-se destacar os efeitos de uso intensivo dos solos na produção de alimentos, prática que tem sido adotada na medida em que a demanda por estes, cresce.

Estas estimativas podem ser consideradas simples, mas devem impactar um enorme número de ‘consumidores desavisados’. Espera-se que estes consumidores possam se conscientizar, tornando-se consumidores mais conscientes. Esta mudança de atitude no consumo de água demanda um trabalho educativo intenso, que pode resultar em pouco efeito imediato, mas a médio e longo prazo os resultados podem ser perceptíveis. Neste caso, a palavra-chave é a educação de todos os consumidores. O combate ao consumismo de todos os bens, inclusive a água, tem que ser persistente e contínuo. O crescimento populacional é uma realidade associada à criação de necessidades questionáveis que a sociedade adota facilmente. Conforme recomenda a Organização das Nações Unidas (ONU) são necessários 110 L/hab.dia de água para o consumo residencial por pessoa numa população. O aumento da expectativa do tempo de vida, proporcionado pelos avanços na produção e disponibilidade de alimentos, bem como os progressos da Medicina têm contribuído decisivamente no aumento da demanda pela água, tanto no consumo doméstico como na produção de alimentos.

Os ‘consumidores desavisados’ são aqueles que não se importam com o consumo racional da água nos seus usos múltiplos. Modificar este comportamento da sociedade não é a tarefa fácil, mas criar uma nova consciência sobre o consumismo em geral e, da água em particular, deve ser priorizado pelos diversos segmentos da população. Esperar pelo caos não deve ser uma opção, porque esta situação demandaria muitos esforços e recursos financeiros para remediá-la. Alguns segmentos da população aposta no caos para tirar vantagens dele. A educação deve contribuir para a correção dos possíveis equívocos, mas os resultados não são imediatos como seria desejado. Assim, a educação deve ser considerada como o principal aliado nesta difícil tarefa. Os conflitos no uso de água são

indesejáveis, mas eles podem ser utilizados como desafios que devem ser encarados e solucionados o mais rápido possível.

É importante reconhecer o problema e buscar ajuda local, regional ou em outros níveis daqueles que já vivenciaram tal conflito. Certamente uma avaliação mais detalhada possível pode auxiliar, ainda que parcialmente, na solução do conflito.

Como foi mencionado, quando a demanda por recursos hídricos for maior que a disponibilidade de água, o conflito hídrico passa a ser uma ameaça, que não pode ser descuidada. Fazer uma avaliação criteriosa das vazões das fontes de água em uso deve ser priorizado. As outorgas de uso de água devem ser avaliadas, comparando-se a vazões outorgadas com os gastos de água das propriedades agrícolas. Os demais usos precisam ser computados para obtenção de todos os gastos de água por município. É preciso monitorar as vazões outorgadas em relação à captação que está sendo praticada, especialmente em áreas de conflitos reconhecidos pelos órgãos de controle. As áreas que estão convivendo com os conflitos há mais tempo, supostamente, devem ter adquirido alguma experiência que pode ser compartilhada com outros locais que poderão enfrentar este desafio em curto prazo.

As análises dos conflitos hídricos não devem utilizar apenas os dados de vazões das águas superficiais e subterrâneas. É necessária uma avaliação preliminar das condições físicas do solo nas áreas irrigadas por meio de algumas observações de campo como a infiltração de água no solo e o escoamento superficial de água. A ocorrência de empoçamento de água no solo, logo após uma chuva ou irrigação é indicativo de que a infiltração de água está inadequada e precisa correção. Os sinais deixados pelo escoamento superficial da água devem receber atenção dos técnicos e dos produtores rurais.

A adoção da irrigação aumenta o custo de produção. Por isso, nas áreas irrigadas há uma tendência de intensificar o uso do solo. Dependendo da forma de manejar o solo e as culturas irrigadas, a degradação das propriedades físicas dos solos é quase inevitável. Desse modo, recomenda-se uma avaliação física do solo a cada cinco anos, no máximo. Contudo, este tipo de avaliação não tem sido feito na frequência necessária. Em solos fisicamente degradados, mesmo que sejam feitas correções e fertilizações, as produtividades podem ser reduzidas, à medida que a degradação aumenta.

Os Latossolos do Bioma Cerrado são muito profundos e porosos e estas condições são muito importantes no armazenamento de água. Quando submetidos ao uso intensivo, eles podem perder parte destas excepcionais características hidrológicas. Tem sido observada em campo a degradação física nos primeiros 20 a 30 cm superficiais. Quando isso

ocorre, esta classe de solo que é profunda e porosa passa a funcionar como solos rasos. Tais perdas resultam em prejuízos evidentes em vários aspectos dos recursos hídricos. A produtividade das culturas irrigadas é reduzida porque a abundância de água para os diversificados usos também é reduzida. Com a redução da infiltração de água nos solos, o ciclo hidrológico é prejudicado, tanto na quantidade como na qualidade da água diretamente relacionadas com as classes de solos, discutidas nesta obra.

O terraceamento como prática conservacionista pode servir de ponto de observação quando ocorre acúmulo de água e sedimento em seu canal por tempo prolongado. Esse é um bom indicador que a infiltração de água está lenta. Esta observação é útil na constatação de degradação física dos solos cultivados.

Quando a disponibilidade hídrica toma como variável principal a vazão monitorada pelas estações fluviométricas alguns pontos devem ser considerados:

- O tempo em que as vazões estão sendo registradas para que se tenha uma avaliação mais longa possível;
- Interrupção de registros das vazões para manutenção ou outro motivo como falta de recursos humanos ou financeiros;
- Uniformidade dos valores das vazões ao longo do ano na bacia de captação de água;
- Avaliação dos dados de vazão em períodos de expressiva desuniformidade das vazões;
- Treinamento criterioso do pessoal técnico encarregado da agricultura irrigada em cada município;
- Confiabilidade dos dados das estações fluviométricas – operantes ou não operantes.

A contabilidade rigorosa da vazão da água nos empreendimentos de agricultura irrigada poderia estar sendo realizada pelos produtores que se dedicam a este tipo de agricultura que não pode correr riscos de grandes proporções. Tem sido disponibilizado na literatura o número de litros de água para a produção de um quilo ou litro de um produto consumido direto ou indiretamente pela população de um município ou uma região. Esta informação precisa ser mais divulgada para que as pessoas tenham a dimensão adequada da quantidade de água a ser usada na produção de vários bens consumidos, incluindo-se a alimentação. Esta informação pode tornar-se um poderoso aliado na educação dos consumidores de água.

Decidiu-se apresentar neste capítulo o consumo de água nas principais atividades que a consomem, incluindo-se a agricultura de sequeiro e a irrigada que participa expressivamente neste consumo.



## 10.6 Estimativas de consumo de água em 20 municípios do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba

### 10.6.1 Introdução

Pela grande importância da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP), escolheu-se uma parte dela que se localiza no Estado de Minas Gerais para a avaliação do consumo de água das principais atividades executadas pela sua população. Ou seja, o consumo doméstico, o consumo na produção agrícola e o consumo da produção animal. O consumo doméstico refere-se à população urbana dos 20 municípios do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba. Neste caso, usou-se o volume de água de 110 L/hab.dia, recomendado pela Organização das Nações Unidas (ONU). Este é um valor considerado baixo para o padrão de consumo do Brasil. Este é um País rico em recursos hídricos e, por isso, seus habitantes acostumaram-se com o uso excessivo de água como, por exemplo, um determinado município às margens de uma grande represa no rio Paranaíba, onde o consumo de água é maior do que 400 L/hab.dia. Certamente, o consumo de água da população é irrisório em relação ao volume de água da represa. Parece que a abundância de um bem como a água é motivo para não a economizar ou conservá-la.

Os dados da Agência Nacional das Águas mostram que há diferença de consumo de água entre as regiões brasileiras – Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. O tamanho das cidades também influencia no consumo diário de água por habitante. No manual de usos consuntivos de água da ANA (2019), o consumo de água começa em 130 L/hab.dia em cidades menores que 5000 habitantes e 158 L/hab.dia em cidades com população entre 35000 a 75000 habitantes ou mais. Apesar destas considerações feitas sobre o consumo humano, adotou-se neste trabalho o valor de 110 L/hab.dia.

### 10.6.2 Procedimentos adotados para as estimativas de consumo de água

Seleção dos municípios – Nesta seleção alguns critérios foram adotados, como:

- Faixa de variação da população que foi de 3344 a 713232 habitantes; Localização em relação à agricultura irrigada;
- Municípios com população < 20000 habitantes (11 dos 20 municípios);
- Municípios incluídos na Declaração de Área de Conflito;
- Municípios com a sede fora da BHRP – Uberaba e Sacramento,

cujas sedes encontram-se na Bacia Hidrográfica do Rio Grande, mas parte de seus territórios encontram-se na BHRP.

É conveniente registrar-se que os limites dos municípios nem sempre coincidem com os divisores topográficos das bacias hidrográficas.

**Consumo Doméstico de Água:** adotou-se o valor de 110 L/hab.dia, recomendado pela ONU. Este valor já foi discutido, anteriormente no item 7.1. Os dados de consumo encontram-se na Tabela 10.2, na primeira coluna para cada município.

**Consumo de Água na Produção Agrícola:** Para a estimativa do consumo de água pelas quatro culturas – Café; Cana-de-Açúcar; Milho e Soja, as produções foram obtidas no Censo 2021 no site do IBGE ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) – acessos a partir de janeiro de 2023). Foram acessadas as tabelas de produção de lavouras permanentes: Café e as tabelas de produção de lavouras temporárias: Cana-de-açúcar, milho e soja. A produção foi convertida em consumo de água por meio de relação de quilograma do produto por volume de água gasta: 1 kg de café consome 18900 L de água; 1 kg de cana-de-açúcar consome 1500 L de água; 1 kg de milho gasta 1222 L de água e 1 kg de soja gasta 2145 L de água, conforme Mekonnen e Hoestra (2011). Num primeiro instante, estes valores podem ser assustadores, mas as estimativas de consumo de água em relação à precipitação pluviométrica podem ser consideradas muito reduzidas. Mesmo assim, as declarações de áreas de conflitos (DAC) têm causado muita preocupação aos órgãos gestores de recursos hídricos. Este tipo de preocupação deve existir, mas as brutais perdas de água por escoamento superficial e as demais perdas precisam receber a devida atenção para que elas sejam minimizadas, por meio de estudos embasados em conhecimento científico. Não há nenhuma recomendação para o aproveitamento total da água que precipita em um município ou em uma bacia hidrográfica, porque não haveria lugar para armazenar um descomunal volume de água, uma vez que as águas devem completar o ciclo hidrológico. É sabido que grande parte da água origina da evaporação das águas oceânicas que também recebem as descargas de inúmeras bacias hidrográficas.

**Consumo de água na produção animal:** O consumo de água para produção de bovinos, suínos e galináceos tomou como referência o volume de água para dessedentação de um animal com características de peso, idade, condições climáticas locais, tipo de alimentação, a raça do animal e o tipo de manejo dado aos animais. Depois de uma prolongada leitura de várias fontes de dados, optou-se pelo seguinte procedimento: Bovinos, 30 L/dia.cabeça; Suínos 10 L/dia.cabeça e Galináceos 0,36 L/dia.cabeça. Estes valores representam 10% do peso vivo de cada animal. As estimativas de consumo de água obtidas são relacionadas única e exclusivamente, a água para a dessedentação dos animais.

**Consumo de água para as três atividades:** Consumo doméstico; Consumo na produção agrícola e Consumo na produção animal. Foi montada uma tabela de estimativas conjuntas de Consumo de Água para os 20 municípios selecionados da BHRP. Os dados desta tabela serão comentados, posteriormente e podem ser úteis na questão da Educação no Consumo da Água.

**Estimativa do consumo de água.** As três tabelas apresentadas neste item foram confeccionadas, utilizando-se os dados do Censo 2021 do IBGE ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)). Na Tabela 10.1 foram estimados os consumos de água para as quatro culturas mais importantes, em termos da quantidade produzida, da região. Partindo-se da produção em toneladas para cada município foi feita a conversão da produção em volume de água consumida. Foram utilizadas as pegadas hídricas das quatro culturas para estimar o consumo de água nas atividades agrícolas (Mekonnen e Hoekstra, 2011).

Não há registro de produção de cana-de-açúcar em cinco dos municípios selecionados. Contudo, a sua participação no consumo de água foi destacada em relação às demais. A partir da soma de consumo de água, os autores deste capítulo indicaram três faixas de consumo de água, ou seja, A > 1000000 m<sup>3</sup>/ano; B 500000 a 1000000 m<sup>3</sup>/ano e C < 500000 m<sup>3</sup>/ano. Esperava-se que os municípios classificados como A são normalmente os mais populosos, exceto Nova Ponte, Perdizes, Sacramento, Santa Juliana e Tupaciguara, cujas populações variam entre 14598 e 26670 habitantes. Não há registro de conflito hídrico em Nova Ponte, nos demais municípios os conflitos estão presentes. Os municípios de Uberaba e Uberlândia foram classificados como A e juntos eles atingiram nove declarações de área de conflito hídrico. As faixas de consumo A, B e C não devem ser consideradas como fixas e podem ser adaptadas para outras áreas mais populosas. Além disso, é possível aumentar o número de faixas de consumo de água.

Tabela 10.1 – Estimativa de consumo de água pelas culturas de Café, Cana-de-Açúcar, Milho e Soja de 20 municípios do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba, no ano de 2021.

Município	Café (tonelada)	Cons. Água (m <sup>3</sup> )	Cana-de-Açúcar (tonelada)	Cons. Água (m <sup>3</sup> )	Milho (tonelada)	Cons. Água (m <sup>3</sup> )	Soja (tonelada)	Cons. Água (m <sup>3</sup> )	Σ (m <sup>3</sup> )	Faixa Cons. (m <sup>3</sup> )	DAC (Número)
Araguari	21874	413418	1450	2175	142900	174623	113100	242599	832816	B	4
Ataxá	4254	80400	175000	262500	36630	44761	45000	96525	484187	C	0
Campos Altos	9996	188924	0	0	23600	28839	12312	26409	244172	C	1
Ibiá	7680	145154	0	0	114000	139308	180000	386100	670562	B	0
Indianópolis	8803	166376	840	1260	69000	84318	75030	160939	412888	C	2
Irat de Minas	2633	49763	0	0	12960	15837	15555	33365	98966	B	1
Nova Ponte	1083	20468	693600	1040400	107400	131242	105840	227026	1419137	A	0
Patrocínio	60486	1143185	384	576	72000	87984	107360	230287	1462032	A	3
Pedrinópolis	583	11018	42600	63900	28224	34489	42780	91763	201171	C	0
Perdizes	8867	167586	2016000	3024000	336480	411178	167700	359716	3962481	A	1
Pralinha	4374	82668	484	726	17250	21079	6480	13899	118373	C	0
Patos de Minas	9125	172462	12750	19125	115500	141141	93600	200772	533500	B	1
Rio Paranaíba	13765	260158	870	1305	84234	102933	32292	69266	433663	C	4
Sacramento	2239	42317	1237500	1856250	199200	243422	159300	341698	2483688	A	1
Santa Juliana	135	2551	903010	1354515	34500	42159	53100	113899	1513125	A	1
Serra do Salitre	25170	475713	0	0	62340	76179	54000	115830	667722	B	1
Tapira	369	6974	0	0	18000	21996	12600	27027	55997	C	0
Tupaciguara	353	6671	1114690	1672035	15120	18476	140400	301158	1998341	A	1
Uberaba	873	16499	1422000	2133000	301200	368066	331500	711067	3232716	A	6
Uberlândia	540	10206	7975320	11962980	143160	174941	217500	466537	12623801	A	3

Fonte: IBGE (2021). Estimativas feitas a partir dos dados de produção em toneladas/município do Censo 2021. Na conversão de toneladas em m<sup>3</sup> de consumo de água foram usadas as informações das pegadas hídricas (Mekonnen e Hoekstra, 2011).

Faixa de Consumo por Município: A > 1.000.000 m<sup>3</sup>; B = 500.000 a 1.000.000 m<sup>3</sup> e C < 500.000 m<sup>3</sup> (Autores, 2023). Organização: Costa, 2023

As estimativas de consumo de água para os animais – Bovinos, Suínos e Galináceos basearam-se nos dados do Censo 2021 feito pelo IBGE ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)). Neste caso, utiliza-se o número de cabeças para as três espécies dos citados animais. Esta estimativa considerou apenas a água necessária para a dessedentação dos animais. Algumas estimativas têm recomendado 10% do peso vivo de cada animal para o cálculo de consumo de água para a dessedentação dos animais. Alguns fatores afetam o peso vivo dos animais, entre eles deve-se destacar pelo menos a idade deles, bem como as características genéticas de cada raça. Para a estimativa foram usados os seguintes dados: Bovinos (300 kg) e 30 L/cabeça.dia; Suínos (100 kg) e 10 L/cabeça.dia e Galináceos (3,6 kg) e 0,36 L/cabeça.dia. Estes são os pressupostos usados para estimar o consumo hídrico para dessedentação.

Foram adotadas as mesmas faixas de consumo de água encontradas na Tabela 10.1. Do mesmo modo, espera-se que a faixa de consumo siga as populações humanas de cada município. Os municípios de Ibiá, Perdizes, Sacramento e Tupaciguara foram igualmente classificados como faixa A de consumo de água para produção agrícola. Exceto Ibiá, os demais municípios encontram-se na área de conflito hídrico.

Incluiu-se na Tabela 10.2 uma coluna que se refere ao Consumo/População (Cons./Popul.) em  $m^3/\text{hab.}$  e outra coluna denominada Classe de Consumo (Classe Cons.) em  $m^3/\text{hab.}$  (p = pequeno; m = médio e g = grande). Estas duas colunas podem auxiliar no entendimento da Declaração da Área de Conflito (DAC). As cidades de Uberaba e Uberlândia pertencem à classe A de consumo, mas foram classificadas como classes pequenas de consumo dos 20 municípios. Isso se explica porque o consumo total em  $m^3$  é dividido pela população. Tanto a classificação em faixa de consumo, como a classe de consumo ajudam a compreender por que os conflitos estão presentes.

Tabela 10.2 – Estimativa de consumo de água para dessedentação dos bovinos, suínos e galináceos de 20 municípios do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba, no ano de 2021.

Município	Bovinos (cabeças)	Cons. Água (m³)	Suínos (cabeças)	Cons. Água (m³)	Galináceos (cabeças)	Cons. Água (m³)	Σ (Cons. Água) (m³)	Faixa Cons. (m³)	Cons/Popul m³/hab	Classe Cons. m³/hab	DAC (Número)
Araquari	162039	1774327	72510	264661	1034000	135867	2174855	A	18,46	m	4
Araxá	60461	662047	1070	3905	68880	9050	675002	B	6,04	p	0
Campos Altos	20371	223062	630	2299	8440	1109	25470	C	1,96	p	1
Ibiá	98007	1073176	2363	8624	113100	14861	1096661	A	49,33	m	0
Indianópolis	13768	128859	7000	25550	940000	123516	227925	C	36,93	m	2
Irai de Minas	24921	272884	1170	4270	107000	14059	291213	C	40,55	m	1
Nova Ponte	35984	394024	21350	77927	646100	84897	556448	B	38,11	m	0
Patrocínio	109985	1204335	165000	602250	41900	5505	1812090	A	20,17	m	3
Pedrinópolis	15279	167305	10250	37412	154820	20343	225060	C	67,30	g	0
Perdizes	90130	986923	63000	229950	668000	87775	1304648	A	76,06	g	1
Pratinha	22391	245181	871	3179	10100	1327	249687	C	70,15	g	0
Patos de Minas	227968	2496249	282280	1030322	216500	28448	3555019	A	22,32	m	1
Rio Paranaíba	69913	765547	3598	5832	38500	5058	776437	B	53,42	g	4
Sacramento	118846	1301363	3625	13231	86800	11405	1325999	A	49,71	m	1
Santa Juliana	28761	314923	107300	391645	215100	28264	734832	B	46,70	m	1
Serra do Salitre	57325	625518	15400	56210	6240	819	682547	B	57,83	g	1
Tapira	44979	492520	2820	10293	18330	2539	505352	B	122,71	g	0
Tupaciguara	106317	1164171	33925	123826	106100	13941	1301938	A	51,11	g	1
Uberaba	172501	1888885	39150	142897	2896000	389534	2421316	A	7,16	p	6
Uberlândia	208070	2278366	638650	2331072	11737700	1542333	6151771	A	8,62	p	3

Fonte: IBGE (2021). Estimativas feitas a partir dos dados de consumo de água/município do Censo 2021. Na conversão do volume para dessedentação dos animais baseou-se em Telles (2006). Faixa de Consumo por Município: A > 1.000.000 m³; B = 500.000 a 1.000.000 m³ e C < 500.000 m³ (Autores, 2023). Consumo em m³/habitante: pequena (p < 10); média (m 10 a 50) e grande (g > 50) (Autores, 2023). DAC = Declaração de área de conflito. Organização: Costa, 2023.

A Tabela 10.3 que inclui no seu título ‘Síntese do Consumo de Água’ e inclui na sua última coluna denominada saldo (Pos./Neg.) compara a % da população humana de cada município com a % de consumo de cada município. Quando a % de consumo de água for menor do que a % da população de cada município, o saldo é positivo e vice-versa. Com base neste saldo, 70% dos municípios foram classificados como saldo negativo. Isso demonstra um claro desbalanço entre a população e o consumo de água. É possível que proprietários residam em cidades maiores, mas tem suas atividades produtivas em municípios menores. Certamente isso pode ser rastreado, caso seja de interesse dos órgãos encarregados da gestão dos recursos hídricos. Sabe-se que a Tecnologia da Informação permite fazer quase todo tipo de controle da vida dos cidadãos. Isso não deve ser utilizado contra os interesses individuais ou coletivos.

Tabela 10.3 – Síntese do consumo de água em três atividades: Doméstica, Agricultura e Pecuária em 20 municípios do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba, a partir do Censo IBGE, 2021 – população humana; produção agrícola de café, cana-de-açúcar, milho e soja; número de cabeças de bovinos, suínos e galináceos.

Municípios	População (habitantes) / %	Cons. Domest. (m³/ano)	Cons. Água/Agr (m³/ano)	Cons. Água/Pec (m³/ano)	Σ (Cons. Água) (m³/ano)	Cons. Água (m³/hab.ano)	Cons. Água (%)	DAC (Número)	Saldo (Pos./Neg.)
Araguari	117808 /6,86	4729991	832816	2174855	7737662	18,46	6,02	4	Positivo
Araxá	111691 /6,51	4484393	484187	675002	5643582	50,52	4,39	0	Positivo
Campos Altos	12979 /0,75	521106	244172	25470	790748	60,92	0,61	1	Positivo
Indianópolis	22229 /1,29	892494	670562	1096661	2659717	119,65	2,07	0	Negativo
Irat de Minas	7180 /0,41	288277	98966	291213	678456	94,49	0,52	1	Negativo
Nova Ponte	14598 /0,85	586109	1419137	556448	2561694	175,48	1,99	0	Negativo
Patrocínio	89826 /5,23	3606513	1462032	1812090	6880635	76,59	5,35	3	Negativo
Pedrinópolis	3344 /0,19	134261	201171	225060	560492	167,61	0,43	0	Negativo
Perdizes	17151 /0,99	688612	3962481	1304648	5955741	347,25	4,63	1	Negativo
Pratinha	3559 /0,20	142893	118373	249687	510953	143,56	0,39	0	Negativo
Patos de Minas	159235 /9,28	6393285	533500	3555019	10481804	65,82	8,16	1	Positivo
Rio Paranaíba	14532 /0,84	583459	433663	776437	1793559	123,42	1,39	4	Negativo
Sacramento	26670 /1,55	1070800	2483688	1325999	4880487	182,99	3,8	1	Negativo
Santa Juliana	15734 /0,91	631720	1513125	734832	2879677	183,02	2,24	1	Negativo
Serra do Salitre	11801 /0,68	473810	667722	682547	1824079	154,56	1,42	1	Negativo
Tapira	4118 /0,24	165337	55997	505352	726686	176,46	0,56	0	Negativo
Tupaciguara	25470 /1,48	1022620	1998341	1301938	4322899	169,72	3,36	1	Negativo
Uberaba	337846 /19,69	13564516	3232716	2421316	19218548	56,88	14,96	6	Positivo
<b>Uberlândia</b>	<b>713232 /41,58</b>	<b>28636264</b>	<b>12623801</b>	<b>6151771</b>	<b>47411836</b>	<b>57,84</b>	<b>36,92</b>	<b>3</b>	<b>Positivo</b>
TOTAL	1715174	68864225	33449338	26094270	128407833				
Porcentagem		53,62	26,04	20,32					

Fonte: IBGE (2021). Estimativas de Consumo: No Consumo Humano utilizou-se o volume de 110 L/hab.dia, recomendado pela Organização das Nações Unidas. Na Produção Agrícola foi usada a produção em toneladas/município do Censo 2021. Na conversão de toneladas em m³ de consumo de água foram usadas as informações das pegadas hídricas (Mekonnen e Hoekstra, 2011). Organização: Costa, 2023.



## Considerações finais

A mudança nos hábitos de consumo de água vai demandar muito esforço da sociedade para avançar pouco, principalmente em curto prazo. É sabido que a falta temporária de um bem pode ajudar bastante na mudança de comportamento dos consumidores de água

Procurou-se sensibilizar os consumidores com informações julgadas importantes que possam fazê-los refletir sobre um tema cada vez mais importante no Brasil e em outros países onde os recursos hídricos estão abaixo da demanda da população. A competição pela água em várias partes do mundo tem sido muito frequente e tem promovido conflitos internos ou em outros países que precisam disputar a água continuamente.

A sociedade do desperdício precisa rever seus conceitos sobre o uso responsável de bens, cuja oferta aparenta estar em queda. Os recursos hídricos enquadram-se muito bem neste caso. Desperdiçar alimentos é uma forma direta de desperdiçar a água que é essencial na produção deles para uma demanda crescente.

É inconcebível conviver com a disposição nos cursos de água dos esgotos sanitários sem nenhum tratamento. A Agência Nacional das Águas o Atlas Esgotos em 2017 deveria ser do conhecimento de todos os consumidores de água. Nele são encontradas informações muito importantes, principalmente no que se refere à qualidade da água.

A relação solo-água e a trajetória da água das chuvas devem ser muito úteis para sensibilizar aqueles que não se importam com os problemas ambientais vivenciados diariamente. A insensibilidade tem afetado um número cada vez maior de pessoas não só no Brasil, mas em várias regiões do mundo. Retornando à relação solo-água, pode-se afirmar que os solos funcionam como filtros gigantes. Estes atuam na limpeza das águas deterioradas por uma infinidade de usuários sem compromisso de preservarem a qualidade da água para os demais usuários. A degradação física dos solos pode reduzir esta capacidade de filtrar as águas poluídas.

A grande incapacidade no manejo da água proveniente da precipitação pluviométrica tem gerado os problemas de conflitos pelos recursos hídricos. Quando se faz uma boa estimativa do consumo de água nas várias atividades realizadas pelos usuários, nota-se a enorme quantidade de água perdida que poderia ser armazenada nos solos de um município ou de uma bacia hidrográfica. Em alguns casos, os conflitos declarados são na verdade conflitos aparentes, tendo em vista que a quantidade de água precipitada em uma determinada área é muito maior do que aquela demandada.

Investir na educação dos consumidores de água deve ser priorizado pela sociedade. Compreender pelo menos uma fração do ciclo hidrológico pode ser útil para os consumidores de água desavisados.

## Referências

Agência Nacional de Águas. Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba/Agência Nacional de Águas – Brasília: ANA, 2013. 213p.

Agência Nacional de Águas. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas/ANA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental -- Brasília: ANA, 2017. 88 p. il.

Agência Nacional de Águas. Manual de usos consuntivos da água no Brasil/ Agência Nacional de Águas – Brasília: ANA, 2019. 75p.

BRASIL. IBGE. Censo 2021. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) Acesso Contínuo em: 2023.

Mekonnen, M. M.; Hoekstra, A. Y. The green, blue, grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrol. Earth Sci.*, v. 15, p. 1577-1600, 2011.

# CAPÍTULO 11. Viabilidade e uso dos remineralizadores ou pós de rochas na atividade agropecuária

*Elias Nascentes Borges  
Araína Hulmann Batista  
Cinara Xavier Almeida  
Marcelo Alves Rocha Dias  
Ricardo Falqueto Jorge*

## 11.1 Introdução

À medida que avançamos no tempo, enfrentamos uma série de desafios ambientais que exigem soluções inovadoras e com maior sustentabilidade. Em meio a essas questões, temos buscado, constantemente, maneiras de aprimorar a qualidade de vida com menor interferência no ambiente. Ao longo dos séculos, testemunhamos o desenvolvimento de inúmeras tecnologias e soluções inovadoras que desempenharam papéis fundamentais no progresso da humanidade. No entanto, mesmo diante de tantos avanços, ainda existem desafios ambientais significativos, entre os quais, a degradação dos solos e perda de suas funções ecossistêmicas, como a manutenção de Biomas, qualidade da água e capacidade produtiva.

Para manter a produção agrossilvipastoril no nível atual, muitos insumos são necessários, especialmente os corretivos e os fertilizantes que passam por diversos processos industriais. É sabido que, sem o fornecimento de nutrientes, os solos altamente intemperizados da região tropical não são capazes de manter a produção de alimentos. No entanto, à medida que avançam as tecnologias de produções agrícolas, questões sobre a viabilidade do uso de insumos convencionais, em relação à sustentabilidade econômica e ambiental, são cada vez mais discutidas pela sociedade.

Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos, mais de 80% dos fertilizantes solúveis consumidos no Brasil vêm de outros países (ANDA, 2023). Os altos preços em meio à escassez global de fertilizantes deixam o Brasil particularmente vulnerável, sendo ainda mais impactado

pela guerra entre Rússia e Ucrânia, mesmo não estando o Brasil diretamente ligado ao conflito. Seguindo as decisões da Rússia e da China (principais países exportadores de fertilizantes para o Brasil) de restringir as exportações de fertilizantes, os produtores enfrentam preços crescentes (SEIXAS, 2022). Um risco a ser considerado que poderá influenciar o agronegócio brasileiro, o que também deve impulsionar o país a buscar alternativas que reduzam a dependência do mercado internacional, no setor de fertilizantes. Assim, a questão que precisa ser considerada e discutida é: a dependência exclusiva de insumos importados é a única forma de produzir nos solos do país?

Neste contexto, se existe a possibilidade de reabastecer os solos com minerais ricos em nutrientes, que, mesmo com baixa solubilidade, podem, ao longo do tempo, melhorar sua qualidade, por que não nos debruçarmos em pesquisas sérias para viabilizar o uso de remineralizadores? Esse tema desperta o interesse de agricultores e pesquisadores em todo o mundo, e não poderia ser diferente. As fontes minerais, provenientes de rochas nacionais com potencial de uso agrícola, são muitas no Brasil.

Em solos pobres e ácidos, como os do Bioma Cerrado, é fundamental construir a fertilidade para viabilizar a produção das plantas e dos animais. Dessa forma, o uso de fertilizantes solúveis tornou a produção agrícola nesses solos possível, fazendo da região, uma das maiores produtoras de alimento e energia do mundo. Apesar da grande quantidade de pesquisas, alguns problemas relacionados às fontes solúveis permanecem sem solução. Por exemplo, a adsorção de fosfatos em solos tropicais argilosos e oxidícos é amplamente reconhecida. Desse modo, o espalhamento predominante de fosfatos ocorre quando há suspensão das argilas em que o nutriente está adsorvido. Assim, a erosão em atividade passa a ser uma importante forma de espalhar esse nutriente no ambiente. Ainda, em solos porosos e de alta permeabilidade, como os Latossolos oxidícos, as formas solúveis de potássio e nitrogênio podem ser transportadas a longas distâncias em solução ou, em menor intensidade, em suspensão.

É fundamental considerar que os remineralizadores de solos têm comportamento distinto das formas solúveis dos fertilizantes a base de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK). A reatividade desses materiais é bem mais lenta, reduzindo o tempo de liberação dos nutrientes contidos neles, podendo ser essa, inclusive, a principal limitação imediata do seu uso para as plantas, especialmente as de ciclo curto.

Alguns remineralizadores mostram potencial de uso, entretanto ainda não existem estudos suficientes que embasem sua recomendação. Alguns estudos mostram que a aplicação desses aos solos pode levar a uma melhoria da qualidade química, física e biológica, porém em um prazo

maior do que aquele que usualmente é estabelecido para as culturas agrícolas. O uso de remineralizadores precisa ser avaliado em experimentos de longa duração, e o seu efeito comparado ao crescimento de uma árvore cuja madeira terá excelente qualidade – é preciso maior tempo para que seus efeitos positivos possam ser realmente observados. Assim, a sua aplicação antecipada, alguns meses antes do plantio, ou mesmo prever que sua contribuição poderá efetivar-se em futuros plantios, na sucessão/rotação de culturas, pode ajudar a resolver essa questão. Assim, os remineralizadores podem ser considerados compostos químicos/mineralógicos de liberação lenta de nutrientes.

As reações de baixa velocidade possuem muitas vantagens, por exemplo, podem limitar o espalhamento de nutrientes e outros elementos químicos contidos neles, inclusive os tóxicos ao homem e animais, caso estejam presentes. Esse é um aspecto altamente relevante na preservação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Outro ponto relevante é que em função da solubilização lenta dos remineralizadores, a redistribuição dos seus nutrientes solúveis em água é muito inferior àqueles contidos nos fertilizantes tradicionais que passaram por processamento industrial de solubilização. Dessa forma, os remineralizadores podem ser aplicados em áreas muito susceptíveis à erosão, sem, no entanto, causar a poluição ambiental que os fertilizantes minerais poderiam promover.

Um dos desafios a serem superados é despertar nos profissionais das produções agrícolas o interesse de que novas fontes de nutrientes podem ser utilizadas, além dos fertilizantes solúveis. Outras formas podem impulsionar a produção, ou ser complemento para diminuir a dependência de uma única forma de manejar as áreas cultivadas. Solos muito pobres como os de Cerrado possuem carência não apenas de nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros, mas de maior capacidade de reter íons, água, maior reserva nutricional de longo prazo.

O pragmatismo exagerado, com ideias que repelem inovações, são deletérias e acabam inviabilizando as pesquisas que podem trazer alternativas viáveis ao que se conhece atualmente. Em um passado recente, não era possível produzir nos solos mais pobres de Cerrado, além de pecuária extensiva, até que alguém desafiou os padrões de seu tempo, e, cinco décadas depois, o Bioma é o maior produtor de alimentos e energia do Brasil. Os desafios atuais, entretanto, são outros. A busca pela garantia de produção mundial de alimentos de formas mais sustentáveis deve ser uma preocupação prioritária de toda a sociedade, em especial dos profissionais das ciências agrárias e daqueles responsáveis por continuar as atividades de produção de alimentos.

Vale destacar, entretanto, que as atividades agrícolas em grandes ou

pequenas propriedades não podem correr riscos sem que a pesquisa possa dar o suporte necessário para a adoção de novas tecnologias para a produção de alimentos. Os remineralizadores de solos enquadram-se nessa situação. A proposta não é substituir uma tecnologia por outra, mas possibilitar alternativas para os produtores rurais. Sabe-se que, para que isso ocorra, as pesquisas são fundamentais. O que irá tornar o agricultor e técnicos prontos para aceitarem estes materiais é a demonstração séria de sua eficácia, com resultados obtidos em diferentes solos, climas e rochas de distintas composições mineralógicas. O que se pretende atualmente, é o apoio dos profissionais, para que mais e mais investimentos em pesquisas sejam feitos. Sabe-se que esse é um processo longo, porém é preciso incentivá-lo, e, isso, todos temos que sair da região de maior conforto, que é o manejo e insumos consagrados pela ciência e usuários.

Sabe-se que o sistema solo-planta-atmosfera é muito complexo e que seu entendimento sempre demanda muitos esforços daqueles que se dedicam à ciência. Todas as inovações devem ser embasadas em conhecimentos científicos sólidos, que, nem sempre, estão disponíveis no momento que o produtor deseja adotar alguma tecnologia.

As reações dos minerais contidos nos remineralizadores ocorrem nos solos de forma lenta, permitindo que os nutrientes sejam absorvidos pelas raízes e os microrganismos contidos na rizosfera. Esse processo pode ser comparado com as fábricas que têm sido demandadas a solubilizar as rochas em velocidade cada vez mais alta para que o suprimento da demanda crescente dos fertilizantes em nível local, regional, estadual, nacional e internacional seja alcançado.

Nesse sentido, deixa-se aqui uma indagação para todos aqueles que se dedicam à produção de alimentos de origem vegetal e animal: qual a semelhança de uma fábrica de fertilizantes solúveis com as inúmeras ações e reações micro e microbiológicas no importantíssimo sistema denominado rizosfera? Os dois sistemas promovem a solubilização de nutrientes, a partir das diferentes rochas, sendo um em macro escala e o outro em microescala. As fábricas podem ser contadas e utilizam procedimentos desenvolvidos pela ciência, geralmente, com elevados gastos de energia e de recursos naturais, muitos dos quais de reposição lenta e incerta. Já as biofábricas são constituídas pelo sistema radicular das plantas bem como a população de micro e macro organismos que ali se estabelecem em uma ação mutualística, que varia entre espécies nativas e cultivadas, ocupando o mesmo volume de solo. Nesse ambiente, é possível encontrar uma ou várias espécies da fauna edáfica com capacidade de extração/solubilização dos nutrientes. Em termos de comparação, numa fábrica que ocupa uma área de um hectare, quantas micro fábricas (rizosfera) pertencentes ao sistema solo-planta-atmosfera podem existir?

## 11.2 Pesquisas e desenvolvimento dos remineralizadores na agricultura brasileira

Os estudos sobre o uso dos remineralizadores, também conhecidos como fontes alternativas de fertilizantes, pó de rocha, rochagem ou agrominerais, têm acumulado informações ao longo do tempo. Essas informações, embora às vezes contraditórias, apontam uma forte expectativa de que, em breve, seja possível substituir as fábricas industriais físicas destinadas à solubilização de rochas para a produção de fertilizantes minerais. Em seu lugar, poderemos ter as “biofábricas” do solo, garantindo produtividade, sustentabilidade, economia e menor impacto ambiental.

O princípio dessa tecnologia se baseia no conceito de que diferentes tipos de rochas podem suprir os nutrientes nos solos tropicais e, em consequência, para as plantas, de tal forma que os agricultores/produtores possam ter produções compatíveis com suas necessidades e para atender o mercado. Considerando que o Brasil é um país com forte vocação agrícola, sua dependência significativa na importação de fertilizantes do mercado internacional tem se tornado um desafio para o equilíbrio do setor. No último ano (2021/2022), os preços desses fertilizantes atingiram valores exorbitantes devido à alta demanda e questões geopolíticas. Diante dessa situação, é crucial que o país busque mecanismos e novas rotas tecnológicas para reduzir a dependência do mercado externo.

Nesse sentido, a utilização dos remineralizadores surge como uma excelente alternativa. O Brasil, sendo um país com uma ampla geodiversidade, possui a possibilidade de aproveitar diferentes tipos de rochas em diversas regiões. Isso permite alcançar padrões de fertilidade compatíveis com as necessidades específicas de cada região, ao mesmo tempo que facilita o desenvolvimento regional com menores impactos, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

A tecnologia da rochagem foi primeiramente sugerida no Brasil na década de 1950, pelos pesquisadores Josué Guimarães e Vladimir Ilchenko, em Minas Gerais. Posteriormente, o professor Othon Leonardos, da Universidade Federal de Brasília (UnB), fez diversas pesquisas relacionadas ao tema. Ele é considerado como o grande precursor da rochagem no Brasil. Na década de 1990, outros grupos iniciaram novas pesquisas com enfoques específicos. O grupo da UnB, liderado pelo professor Othon, passou a testar diferentes tipos de rochas brasileiras, incorporando, aos aspectos geoquímicos e agronômicos, um viés mais social e ambiental à pesquisa, mas, também, realizando experimentos junto a agricultores familiares, assentados, quilombolas e pequenos agricultores em Minas Gerais, Bahia, Rio Grande do Sul e Pará.

Outro grupo formado por pesquisadores da Embrapa teve como principal meta pesquisar tipos de rochas que pudessem suprir o mercado

brasileiro com fontes específicas, em especial de potássio e de fósforo. Outros grupos dispersos no país e, também no exterior, vêm apresentando trabalhos importantes. A sensibilidade da pesquisa e pesquisadores brasileiros pelo tema é de tal magnitude que mais de cinco congressos ou simpósios já foram realizados com o intuito de incentivar e disseminar mais pesquisas e estimular, entre os agricultores, a prática do uso do pó de rocha ou rochagem, em substituição parcial ao uso de fertilizantes solubilizados artificialmente – de importação cara e possibilidades de aquisição incerta.

Desse modo, os remineralizadores de solo são insumos que podem assumir papel de relevância para os solos ácidos e pobres em nutrientes como os do Bioma Cerrado, hoje muito utilizados e essenciais para garantir a produção de alimentos em quantidade e qualidade para boa parte da população mundial. A intensificação do uso desses remineralizadores é uma alternativa para fazer com que as adubações e os nutrientes prontamente solúveis, geralmente de custos elevados, possam ter suas quantidades aplicadas gradualmente substituídos e/ou reduzidas, mantendo-se o potencial de produção.

Os remineralizadores apresentam, na sua composição, entre outros elementos, silício, cálcio e magnésio, podendo conter, em menores quantidades, nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) – conjunto de nutrientes essenciais e benéficos para o desenvolvimento das plantas. A partir de determinadas rochas finamente moídas, com ou sem tratamento biológico ou industrial parcial, pode-se suprir parte das necessidades nutricionais das plantas, com potencial ainda de atuarem como condicionadores de solo, mediante o aumento da atividade biológica com reflexos positivos não só na fertilidade como também nos atributos físicos do solo.

Cabe salientar que tal atividade é regularizada por lei, através da Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2016) que normatiza a definição, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores destinados à agricultura. O produto também consta no Plano Nacional de Fertilizantes, que é o planejamento do setor de fertilizantes para os próximos 28 anos (até 2050), promovendo o desenvolvimento do agronegócio nacional (BRASIL, 2021).

Em esforço conjunto, no intuito de orientar os diferentes segmentos, ações têm sido desenvolvidas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2023), Embrapa e outras instituições de pesquisa. Conforme orienta o SGB, no caso de remineralizadores de solo, e partindo do conhecimento acumulado existente, deve-se definir claramente o problema de pesquisa



(pergunta) e a hipótese de pesquisa (resposta) a serem investigados no experimento.

Assim, um exemplo de problema de pesquisa pode ser: solos tropicais, de baixa fertilidade natural, são responsáveis por baixas produtividades dos cultivos agrícolas. Para esse problema, uma hipótese possível (resposta) é que os remineralizadores de solo interferem na fertilidade química, física, físico-química e biológica de solos tropicais e, direta ou indiretamente, na produtividade dos cultivos agrícolas. A partir de tal hipótese, são definidos os fatores de tratamentos mais adequados (protocolo de pesquisa) para aceitar ou refutar a hipótese por meio da obtenção e análise dos dados (observações/variáveis respostas) sistematicamente coletados e analisados ao longo do experimento, isto é, atributos de fertilidade solo (químicos, físicos, físico-químicos, biológicos) e atributos de planta (teor de nutrientes, produtividade, eficiência fotossintética, qualidade dos órgãos de colheita, entre outros) (SGB, 2023).

Conforme informa o SGB, se as observações, estatisticamente analisadas, estiverem em acordo com a hipótese (isto é, se a resposta para a pergunta for sim), o conhecimento científico obtido no experimento agrônômico será incorporado ao conhecimento antes existente; de tal modo que se pode concluir que esse tipo de insumo interfere nas variáveis citadas e, portanto, pode reverter a baixa produtividade agrícola de solos tropicais e conduzir a maior produtividade agrícola. Tal resposta não é definitiva, pois poderá ser refutada em observações/experimentos/ensaios futuros. Assim, alguns requisitos, tais como tempo de duração dos experimentos, comparação com fontes de elevada solubilidade e concentração não são compatíveis e adequados a esse tipo de insumo agrícola (BATISTA et al., 2017). Dito isso, a presença deste capítulo destina-se a esclarecer, divulgar e incentivar sua produção e utilização em benefício da sociedade brasileira.

### **11.3 Importância dos remineralizadores no contexto do ambiente do Bioma Cerrado**

O ambiente tropical, incluindo-se as regiões do Cerrado do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, apresenta boa parte da sua extensão territorial formada por relevos plano ou suave ondulados, constituídos principalmente por Latossolos e Argissolos cauliniticos e/ou oxídicos, profundos, alitizados e lixiviados, e, por isso, pobres em nutrientes e naturalmente ácidos. A quase que completa ausência de limitações por temperaturas extremas, sejam elas muito baixas ou muito elevadas, bem como boa oferta de água pelas chuvas de outubro a março ou de mananciais e de inúmeras veredas de bom volume, proporcionou grandes

avanços na agropecuária e na agroindústria a partir da década de 1970, ao ponto de ser hoje um dos principais ambientes na produção de alimentos para grande parte do mundo.

Nesse cenário, a evolução tanto dos tipos de preparo do solo como dos modelos de máquinas e implementos, muitas delas autônomas e com várias tecnologias embarcadas, ocorreu objetivando o controle de pragas, doenças, plantas daninhas, aplicações com ou sem incorporação de calcário e de adubos solubilizados industrialmente, destinados à construção e manutenção da fertilidade, inicialmente pobre nesses solos.

Embora seja necessário, pelo menos, temporariamente, durante a abertura e adaptação de novas áreas agrícolas, criar condições favoráveis ao crescimento e à produção, o intenso preparo do solo, a movimentação de veículos e máquinas, bem como as pesadas calagens e adubações em áreas de agricultura intensiva, há a preocupação com o declínio da qualidade dos solos e sua degradação. O uso intensivo contribui para a formação de camadas compactadas no solo, prejudiciais para a capacidade produtiva e favorecendo a erosão (BORGES et al., 1997). Além disso, a incorporação dos solos ao processo agrícola pode levar à rápida decomposição da matéria orgânica, mesmo aquela mais recalcitrante, aumentando muito a quantidade da argila dispersa em água, com alterações na estrutura granular (que confere aos solos elevada porosidade) para uma estrutura maciça, compactada (SPERA et al., 2008).

É possível que o uso de fontes de menor solubilidade ao longo do tempo, como é o caso dos remineralizadores, possa, além de diminuir, reverter a rápida deterioração da estrutura do solo, além de diminuir os custos e melhorar a qualidade dos solos. Considerando a hipótese de que o uso de remineralizadores pode melhorar a qualidade dos solos, há uma grande necessidade de estudos que abordem questões cruciais, tais como:

1. Qual o teor, considerando o total de nutrientes presentes nos minerais das rochas, será efetivamente aproveitado pelas plantas e qual o tempo necessário para que isto ocorra?
2. O uso dos remineralizadores é capaz de melhorar os atributos físicos/químicos do solo, como aumento da capacidade de troca de cátions, atividade microbiana, estabilidade de agregados, diminuição da argila dispersa em água, entre outros aspectos relevantes?
3. É possível substituir, parcial ou totalmente, as fontes solúveis pelos remineralizadores?
4. Tendo em vista a grande diversidade de materiais, as recomendações de uso precisam ser específicas para cada classe de produtos?

5. A velocidade de solubilização varia de acordo com o clima em que esses produtos serão aplicados?
6. Os métodos de determinação de disponibilidade, usualmente utilizados para os solos brasileiros, serão os mesmos para solos que receberam altas doses de remineralizadores?

Essas indagações apontam para a importância de uma análise mais aprofundada sobre a eficácia dos remineralizadores no âmbito da agricultura. Trata-se de perguntas que demandam pesquisas criteriosas e cientificamente embasadas, buscando-se compreender os processos e os impactos potenciais que o uso desses recursos pode trazer para a melhoria do solo.

O Brasil, um país com dimensões continentais, é geologicamente, climaticamente e edaficamente diverso, exigindo uso, ocupação e manejo dos seus recursos naturais, com conhecimentos técnico-científicos complexos. Os solos, bem como as rochas que lhes deram origem, que recobrem sua superfície, apresentam ampla variação em termos de gênese, de filiação química, da idade geológica, de grau e intensidade de intemperismo, da solubilização, lixiviação e remoção de partes de seus constituintes químicos.

Apesar de ampla variação do material de origem, os solos brasileiros, exceto os da Região Sul, Nordeste Brasileiro e algumas áreas isoladas do país, apresentam, em sua maioria, certas características em comum nos seus atributos físicos, químicos e físico-químicos, em especial os do Bioma Cerrado. Nas condições desse Bioma, os índices de fertilidade natural são muito baixos devido à elevada intensidade dos agentes intempéricos, em especial devido ao clima reinante que favorece a diversidade e a intensa atividade biológica.

Esse fato decorre de uma série de fatores, entre os quais se destacam: (i) a localização de grandes porções do país em áreas de clima tropical (onde os solos sofreram intensa monossialitização e até mesmo alitização, que resulta na intensa lixiviação parcial ou total de sílica e compostos silicatados e de bases como o potássio, o cálcio e o magnésio, com concentração local de caulinita, de óxidos/hidróxidos de ferro e alumínio de caráter anfótero, portanto intensamente empobrecidos em nutrientes essenciais às plantas); (ii) formações geológicas de rochas quartzosas ou aluminosas de origem sedimentar; e (iii) solos geologicamente antigos em regiões de estabilidade tectônica. Assim, o tempo de exposição à ação físico-química-biológica e climática acaba por produzir solos quimicamente empobrecidos e, portanto, com baixos níveis de fertilidade.

Por outro lado, trata-se de solos portadores de atributos físicos de elevada qualidade para infiltração e retenção de água, trocas gasosas etc.

Seus volumes de vazios, quando de textura média a argilosa, são muito bem distribuídos em poros de crescimento de raízes e de trocas gasosas (macroporos) e poros de retenção de água (microporos), graças ao tipo de agregação/estrutura que tende a predominar, granular ou grumosa pequena, de relativa estabilidade, graças a presença dos óxidos/hidróxidos de Fe/Al e compostos orgânicos recalcitrantes. Os componentes coloidais que formam esse tipo de estrutura são, geralmente, pH dependentes, podendo predominar cargas positivas (CTA) quando nas condições naturais dos solos em que apresentam baixos valores de pH, que, entretanto, podem ser transformadas em cargas negativas (predomínio de CTC) com a elevação do pH dos mesmos.

É importante lembrar que os solos derivam de rochas pelo seu intemperismo, onde as atividades biológicas e orgânicas constituem fatores importantes para a sua realização. Portanto, é de se esperar que ao se acrescentar rocha moída aos solos, está na verdade, procedendo o seu rejuvenescimento ou sua remineralização naquilo que é importante para o desenvolvimento de vida, antecipando etapas da liberação natural dos nutrientes que são muito demoradas devido à estabilidade e equilíbrio do binômio erosão/intemperismo.

Rochagem é o nome da tecnologia que prevê o uso de rochas moídas (remineralizadores) ou de seus subprodutos da industrialização, no solo, como forma de recuperá-lo, e, portanto, mudar o seu padrão de fertilidade natural (LEONARDOS et al., 1976). Fundamenta-se na expectativa de que os remineralizadores podem liberar, em parte ou no todo, ao longo dos anos, seus constituintes minerais, nutrientes das plantas, nos solos muito intemperizados, de modo a torná-los disponíveis para a absorção das plantas, num equilíbrio dinâmico entre as quantidades liberadas e a demanda das plantas, acompanhando a marcha de absorção das culturas. Desse modo, os remineralizadores podem contribuir com a conservação dos recursos naturais, aumentar a produtividade e dar sustentabilidade ao solo, pois especula-se que também possam atuar como condicionadores físico e físico-químicos do solo.

Esse tripé atende à demanda de um novo paradigma para a agricultura tropical com solos pobres em argilas silicatadas, ácidos e pobres. Para viabilizar os remineralizadores como uma tecnologia que atenda a esses fundamentos, é necessário conhecer a distribuição geológica das rochas, a descrição da composição e de outros requisitos petrográficos. As informações e os mapas na escala 1:250.000, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), é atualmente uma excelente fonte de pesquisa e de orientação para avanços dessa tecnologia. É de fundamental importância conhecer a composição mineralógica e química das rochas passíveis de uso para disponibilizar os nutrientes para os solos

e plantas. Nessa perspectiva, nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba há estudos promissores para o uso do Basalto, Verdete de Abaeté e do Kamafugito.

#### **11.4 Rochas com potencial para remineralização de solos e custos**

Os remineralizadores são derivados de rochas silicáticas cominuídas, abundantes, ricas em bases e minerais primários, com potencial para serem intemperizados na escala de tempo agrônômica, melhorando a qualidade dos solos distróficos que ocorrem em extensas áreas do território nacional, fornecendo nutrientes para a microbiota e às plantas cultivadas (RIBEIRO et al., 2010). Cinco tipos de rochas têm possibilidade de se transformar em remineralizadores: magnesianas (ex.: dunito, piroxenito, serpentinito); cálcicas (ex.: calcissilicáticas, anortositos); cálcio magnesianas (ex.: basaltos, diabásios, gabros, anfíbolitos); potássicas (ex.: rochas alcalinas, rochas ricas em biotita); e cálcio-magnésio-potássicas (ex.: kamafugitos, olivina melilito) (BRASIL, 2021). As rochas comumente estudadas como fonte de remineralizadores de solo são: basalto, gnaiss, micaxisto, verdete, kamafugitos, fonolito (CASTRO et al., 2006; RIBEIRO et al., 2010; SANTOS et al., 2015; BRITO et al., 2019; SORATTO et al., 2021).

A busca crescente por alternativas para enfrentar a crise dos fertilizantes contribui para o potencial de uso dos remineralizadores como fonte de nutrientes. A distribuição desses insumos está, geralmente, associada à fonte de origem ou à planta da fábrica de produção deles (DETTMER et al., 2020; BRASIL, 2022; CORREIA, 2023). Os processos de produção dos remineralizadores são passíveis de serem implementados em mineração de todos os portes, envolvendo etapas de cominuição, em que o maior custo está no processo de moagem, que deve ser otimizado em função das respostas agrônômicas ou da demanda de diferentes perfis produtivos (BRASIL, 2021). A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), bem como outras instituições, tem enfatizado que as rochas brasileiras moídas liberam potássio e outros elementos no solo, que são fontes de nutrientes para as plantas a baixo custo (MORAES, 2004). Contudo, o transporte entre longas distâncias inviabiliza sua utilização do ponto de vista econômico (MORAES, 2004; GONZALEZ, 2018).

Os remineralizadores são insumos regionais, e, à vista disso, devem ser consideradas as limitações logísticas, de centenas de quilômetros, a depender da composição, características dos sistemas de cultivos e tipo de transporte (BRASIL, 2021). Dessa forma, a remineralização do solo com pó de rocha na agricultura deve observar o ponto de equilíbrio, visto que,

conforme os pesquisadores da Embrapa, a distância de transporte não deve ultrapassar os trezentos quilômetros entre as fábricas e as áreas de cultivo (GONZALEZ, 2018; MESQUITA, 2019; MACHADO, 2021), mantendo-se, assim, uma boa relação de custos para o uso de remineralizadores na agricultura, como parte das estratégias para alcançar o suprimento e uso eficiente e sustentável de nutrientes para a agricultura brasileira (EMBRAPA, 2020).

## 11.5 Avaliação da fertilidade em solos tratados com remineralizadores

Os remineralizadores de solos são minerais silicáticos que fornecem nutrientes, formam novos minerais no solo com elevada superfície específica e capacidade de troca de cátions, além de melhorar a interação das raízes das plantas e do seu ambiente com os micro-organismos do solo (IBO, 2023). Para a remineralização do solo, os estudos de viabilidade técnica devem atender à legislação vigente e observar os dados públicos oficiais, como constam na Lei 12.890/2013 e na Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016, publicada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que regulamentou esse insumo agrícola (BRASIL, 2016; VIANA et al., 2021).

A Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016, exige a presença de macronutrientes que assegure que o remineralizador irá oferecer às plantas elementos como K, Ca e Mg. Dessa forma, o remineralizador deverá ter maior ou igual a 1% de  $K_2O$ , e a soma de bases ( $K_2O + CaO + MgO$ ) deve ser superior ou igual a 9% em peso (BRASIL, 2016; SGB, 2023). A Instrução Normativa ainda exige, para obtenção do registro, que o material seja submetido a ensaios agronômicos, feitos por instituições oficiais ou credenciadas de pesquisa, conduzidos com plantas, em casa de vegetação ou a campo, demonstrando de forma conclusiva que o produto libera nutrientes às plantas e, portanto, se presta ao fim a que se destina.

Pesquisadores da Embrapa tem debatido o uso de “bioinsumos, as alternativas de correção e adubação no atual cenário”. O pesquisador Éder Martins apresentou o tema “Remineralizadores como solução regional do manejo da fertilidade do solo”, explicando como esses produtos podem ser utilizados em conjunto com os bioinsumos (LOBATO, 2022).

Em seus estudos de comparação de métodos de extração total de  $K_2O$ ,  $CaO$  e  $MgO$  em remineralizadores de solo, Camilo et al. (2021) enfatizam que, com a publicação da Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016, que regulamenta o uso de remineralizadores de solo, houve a necessidade do desenvolvimento de métodos analíticos oficiais para determinação dos nutrientes e contaminantes especificados na legislação, como suporte do controle e fiscalização desses produtos. No entanto, em solos que receberam a aplicação de remineralizadores, essa

comparação, em experimentos de longa duração, ainda carece de pesquisas, para verificar a eficiência da fertilização dos sistemas de cultivo, que apontem os melhores extratores e sua relação com o desempenho das culturas, pois a absorção de nutrientes do solo continua durante todo o ciclo de produção, e as fontes dos elementos de nutrição são limitadas e finitas nos diferentes materiais.

As determinações dos atributos químicos para avaliar a fertilidades dos solos tratados com remineralizadores seguem as análises de rotina, das diferentes regiões do Brasil, conforme citam diferentes pesquisadores, seguindo, dessa forma, a metodologia proposta por Raij et al. (2001) (ALMEIDA JÚNIOR, et al., 2022; CONCEIÇÃO et al., 2022; FERREIRA JÚNIOR et al., 2022; SOUZA, 2022), ou a metodologia de Pavan et al. (1992) (CURTIS et al., 2023; LUCHESE et al., 2023), ou a proposta por Donagema et al. (2011) (TAVARES, et al., 2018), ou ainda aquela proposta por Teixeira et al. (2017) (KLEIN, 2020; CUNHA et al., 2022; FERREIRA JÚNIOR et al., 2022; SILVA et al., 2022). Nesse contexto, podemos notar que não existe atualmente um padrão para avaliar o *status* da fertilidade do solo específico para o uso de remineralizadores.

Mesmo com um banco de informações, ainda precisamos de um método de referência ou protocolo de pesquisa que defina estrutura da rotina em ensaios de solo. Uma sugestão de protocolo de pesquisa para remineralizadores de solos pode ser encontrada em: Protocolo para Avaliação da Eficiência Agrônômica de Remineralizadores de Solo – Primeira Versão (SGB, 2023), contudo não consta ainda com um extrator padrão para solo que receberam ou são fertilizados com pó de rocha.

## **11.6 Composição química de rochas do Triângulo Mineiro**

Rochas como basalto têm potencial para remineralização do solo em muitas regiões do país. No Triângulo Mineiro, a prefeitura de Uberlândia tem apoiado estudos de viabilidade técnica e ensaio de eficiência agrônômica sobre o uso de pó de basalto como remineralizador de solo (LEÃO, 2019; MIRANDA, 2021).

Estudando os derrames da Formação Serra Geral, que se estendem até a região do Triângulo Mineiro (MG), é possível verificar a possibilidade de mineração de pó de basalto para uso como remineralizador de solo (DIAS et al., 2019) (Figuras 11.1 e 11.2).



**Bacia do Paraná (unidades superiores)**

- Grupo Bauru: rochas sedimentares - Cretáceo Superior
- Vulcanismo Serra Geral - Cretáceo Inferior

**Bacia do Paraná (unidades inferiores) e embasamento**

- Rochas ígneas, metamórficas e sedimentares

Figura 11.1 – Distribuição espacial aproximada das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, ressaltando a nordeste a região das ocorrências estudadas no Triângulo Mineiro (MG)

Fonte: DIAS et al. (2019).



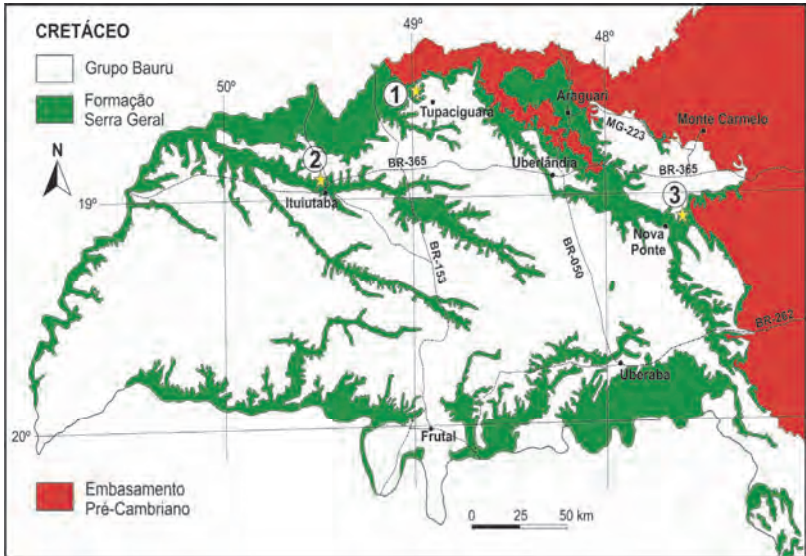


Figura 11.2 – Geologia simplificada da região do Triângulo Mineiro ressaltando a distribuição da Formação Serra Geral com a localização das amostras de basalto

Fonte: DIAS et al. (2019).

O potencial para melhorar a qualidade do solo tem dado destaque ao pó de basalto, que em materiais minerais, como o da região uberlandense, pode ser opção e utilizado como remineralizador, que auxilia na recuperação do solo de forma natural, com destaque para o fornecimento de nutrientes, em especial, cálcio, magnésio e potássio (VALVERDE, 2021).

Para representar a característica de alguns materiais que podem ser utilizados como remineralizadores, realizou-se uma coletânea de citações (Tabela 11.1) da composição mineralógica dos principais nutrientes presentes em alguns remineralizadores (THEODORO; LEONARDOS, 2006; SILVEIRA, 2016; DIAS et al., 2019; PIRES et al., 2022). Verifica-se que a soma de bases média ( $K_2O + CaO + MgO$ ) é superior ao que é exigido pela Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016 (BRASIL, 2016) para os remineralizadores, nos exemplos de remineralizadores do Triângulo Mineiro.

Tabela 11.1 – Composição mineralógica de nutrientes presentes em remineralizadores (estudos de materiais do Triângulo Mineiro)

Nutrientes	Composição química do basalto			
	Localidade			
	Uberlândia (PIRES et al., 2022)	Triângulo Mineiro (DIAS et al., 2019)	Araguari (SILVEIRA, 2016)	Presidente Olegário (THEODORO; LEONARDOS, 2006)
SiO <sub>2</sub> (%)	48,91	51,63	42,77	30,18
CaO (%)	9,52	7,29	9,91	7,16
MgO (%)	4,49	3,87	4,49	10,22
Na <sub>2</sub> O (%)	2,99	2,62	1,99	<0,50
K <sub>2</sub> O (%)	1,34	1,68	1,16	2,13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,51	0,47	0,38	2,37
MnO (%)	0,17	0,20	0,27	0,20
SO <sub>3</sub> (%)	0,04	-	0,04	-
CuO (%)	0,03	0,01	0,04	0,02
ZnO (%)	0,01	0,01	0,02	0,01

Fonte: elaborada pelos autores, com base em Theodoro; Leonardos (2006); Silveira (2016); Dias et al. (2019); Pires et al. (2022).

A exploração e produção de remineralizadores no território brasileiro, atualmente apresenta 18 empresas com registro no MAPA (Figura 11.3), com a maioria das empresas sediadas no estado de Minas Gerais (VIANA et al., 2021). Contudo, todas as principais informações dos remineralizadores de solo comercializados no país são fornecidas pelas empresas produtoras (Tabela 11.2), atendendo aos parâmetros e requisitos exigidos na Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016 (VIANA et al., 2021).

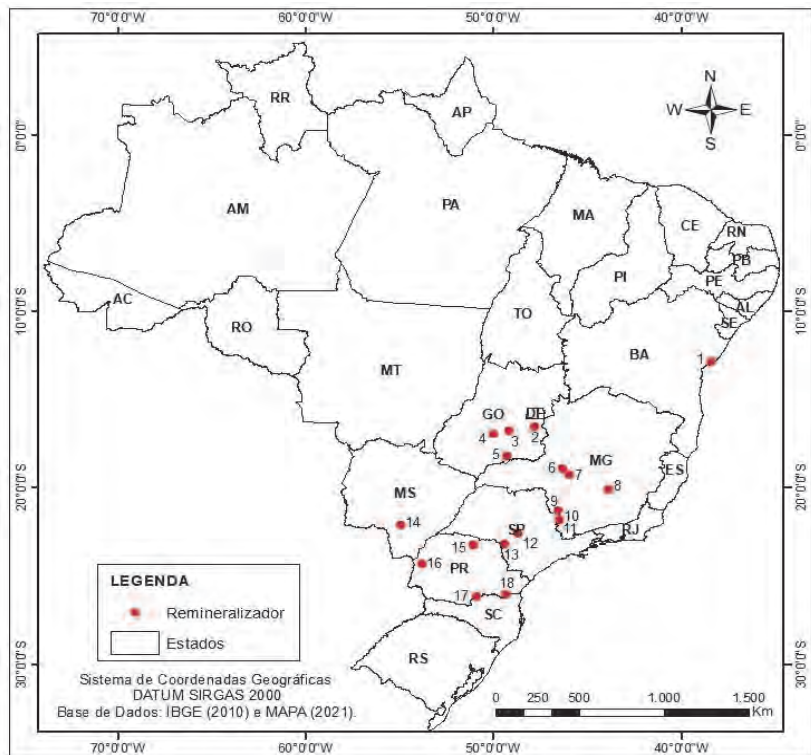


Figura 11.3 – Mapa de localização das empresas brasileiras com remineralizadores registrados no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

Fonte: VIANA et al. (2021).

Tabela 11.2 – Descrição dos remineralizadores produzidos no Brasil conforme o registro no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

Nome da Empresa	Localização	Rocha	% Soma de bases	% K <sub>2</sub> O	% SiO <sub>2</sub>	Nome comercial
Civil Industrial e Comercial Ltda	Salvador - BA	Granulito	9,9	3,9	17	RMS-C01
Mistel Mineração Santa Terezinha Ltda	Luziânia- GO	Calcixisto	23	2,7	20	REMAX
Pedreira Araguaia Ltda	Aparecida de Goiânia - GO	Micaxisto	9,5	3,2	20	FMX
Britago Mineração Indústria e Comércio Ltda	Santa Bárbara de Goiás - GO	Biolita gnaisse diorítico	11	3	NI*	Pó de Biolita gnaisse diorito
Goyaz Britas Ltda	Panamá - GO	Basalto	11,5	3,5	NI*	Pó de rocha Goyas
Triunfo Mineração do Brasil Ltda	Carmo do Paranaíba- MG	Karmafugito	11	3	0	KP-Fétil
Verde Fertilizantes Ltda	São Gortado - MG	Siltito glauconítico	13	10	13	K-Forte
Pedras Congonhas Extração Arte Industria Limitada	Nova Lima - MG	Serpentinito + Fonolito	35	1	0	-
BRITAMIL - Brita, Concreto e Serviços de Engenharia Ltda	Muzambinho - MG	Anfibolito	12,5	12	10	-
Mineração Curimbaba Ltda	Poços de Caldas - MG	Sienito	12	12	0	Potasil
Mineração Curimbaba Ltda	Poços de Caldas - MG	Fonolito	10	8	0	Ekosil
Pedreira Diabásio Ltda	Lençóis Paulista - SP	Diabásio	14	1,4	0	Reminer GS3
Pedreira Piraju Ltda	Piraju - SP	Dacito	9	3,5	18	Reminer K+
Mineração Tozzi Junqueira	Itaporã - MS	Basalto	12,65	1,83	5	-
Pedreira ICA Ltda	Ibiporã - PR	Basalto	12	1	0	Pó de rocha ICA

Nome da Empresa	Localização	Rocha	% Soma de bases	% K <sub>2</sub> O	% SiO <sub>2</sub>	Nome comercial
MINERPAL Comércio de Materiais e Pavimentação Eireli	Palotina - PR	Basalto	13	1,01	0	Renutra
EKOSOLOS Indústria Remineralizadora de Solos Ltda	Paula Freitas - PR	Microgabro + Dacito	14	1,4	10	Mineralle Agro
BK Mineração Ltda	Pien - PR	Serpentinó + Filito	26	1,5	15	Silmag

Legenda: NI\*: dados não informados.

Fonte: VIANA et al. (2021).

## 11.7 Recomendação de remineralizadores para culturas agrícolas

Os solos cultivados em todo o mundo já estão recebendo adições frequentes de remineralizadores, que relatam os benefícios potenciais e que geram incentivos financeiros para a adoção generalizada da rochagem no setor agrícola. No entanto, ainda há obstáculos a serem superados (BEERLING et al., 2018).

Os insumos do tipo remineralizadores são, em geral, utilizados em complemento a adubos solúveis, pois as rochas dificilmente apresentam todos os nutrientes que as plantas necessitam e em quantidades suficientes. Entretanto, os alimentos produzidos com remineralizadores e fertilizantes silicáticos, em geral, apresentam uma gama maior de micronutrientes, devido à diversidade química das rochas (SGB, 2023).

Apesar de nenhuma recomendação geral de fertilizantes poder ser feita para as práticas mais eficazes, eficientes e ambientalmente corretas (VAN STRAATEN, 2002), verifica-se que são necessárias recomendações personalizadas para os remineralizadores em aplicações individuais para os sistemas de cultivo. Entretanto, não temos, ainda, uma tabela de recomendação para fertilizar o solo com remineralizadores. Nesse contexto, os pesquisadores do CETEM/Embrapa/UFRJ recomendam o prosseguimento dos estudos e pesquisas objetivando o seu aproveitamento econômico, em particular, para a sua utilização na agricultura (FERNANDES et al., 2010).

A recomendação, em solos tratados com remineralizadores, nas diferentes regiões do Brasil, vem seguindo as propostas das aproximações, dos boletins de recomendação e manuais de adubação e correção do solo.

Pesquisas com solo incubado, em experimentos de vaso, conduzidos em casa de vegetação (KLEIN, 2020; CONCEIÇÃO et al., 2022; CUNHA et al., 2022; FERREIRA JUNIOR et al., 2022; SOUZA, 2022; CURTIS et al., 2023; LUCHESE et al., 2023), ou em experimentos de campo (TAVARES, et al., 2018; ALMEIDA JÚNIOR et al., 2020; ALMEIDA JÚNIOR et al., 2022; ALOVISI, et al., 2021; SILVA et al., 2022), que receberam tratamentos com remineralizadores, têm demonstrado a eficiência desses insumos na agricultura. Todavia, ainda precisamos de pesquisas de longa duração para uma recomendação eficaz e específica para o uso de remineralizadores em sistemas de cultivo.

Dessa forma, a recomendação dos remineralizadores tem sido realizada com base nos teores de potássio (K) dos diferentes materiais, na necessidade das culturas e nos teores desse nutriente no solo, podendo ser complementada ou não com fertilizantes solúveis. Isso enfatiza a importância dos remineralizadores para o agronegócio brasileiro, já que o K é o fertilizante mais crítico para o Brasil, do qual o país é o maior importador global desse insumo (SEIXAS, 2022).

## 11.8 Legislação remineralizadores

Os remineralizadores são regulamentados pela seguinte lei, decreto e instruções normativas:

- Lei nº 6.894, de 16/12/1980, alterada pela Lei 12.890/2013 que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura (BRASIL, 1980).
- Decreto nº 4.954, de 14/01/2004, com alterações do Decreto nº 8.384/2014, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, e estabelece as normas gerais sobre registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura (BRASIL, 2004).
- Instrução Normativa nº 53, de 23/10/2013, com as alterações da IN nº 3 de 15/01/2020 que estabelece as definições, a classificação, o registro e renovação de registro de estabelecimento, o registro de produto, a autorização de comercialização e uso de materiais secundários, o cadastro e renovação de cadastro de prestadores de serviços de armazenamento, de acondicionamento, de análises laboratoriais, de empresas geradoras de materiais secundários e

de fornecedores de minérios, a embalagem, rotulagem e propaganda de produtos, as alterações ou os cancelamentos de registro de estabelecimento, produto e cadastro e os procedimentos a serem adotados na inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores, substrato para plantas e materiais secundários; o credenciamento de instituições privadas de pesquisa; e os requisitos mínimos para avaliação da viabilidade e eficiência agrônômica e elaboração do relatório técnico-científico para fins de registro de fertilizante, corretivo, biofertilizante, remineralizador e substrato para plantas na condição de produto novo (BRASIL, 2013).

- Instrução Normativa nº 05, de 10/03/2016 que estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura (BRASIL, 2016).

A Lei nº 12.890/2013 altera a Lei nº 6.894/1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura. Assim, os remineralizadores são definidos como o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho de partícula por processos mecânicos e que, aplicado ao solo, altere os seus índices de fertilidade, por meio da adição de macronutrientes e micronutrientes para as plantas, e promova a melhoria de propriedades físicas, físico-químicas ou da atividade biológica do solo.

As pessoas físicas ou jurídicas que produzam ou comercializem remineralizadores para plantas são obrigadas a promover o seu registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 1980). Os remineralizadores deverão apresentar as seguintes especificações e garantias mínimas, segundo a da Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016:

- I - em relação à especificação de natureza física (Tabela 11.3):

Tabela 11.3 – Especificações de natureza física dos remineralizadores

Especificação de natureza física	Garantia granulométrica	
	Peneira	Partículas Passantes (peso/peso)
Filler	0,3 mm (ABNT nº 50)	100%
Pó	2,0 mm (ABNT nº 10)	100%
	0,84 mm (ABNT nº 20)	70% mínimo
	0,3 mm (ABNT nº 50)	50% mínimo
Farelado	4,8 mm (ABNT nº 4)	100%
	2,8 mm (ABNT nº 7)	80% mínimo
	0,84 mm (ABNT nº 20)	25% máximo

Fonte: elaborada pelos autores (BRASIL, 2016).

II - em relação à soma de bases (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O), deve ser igual ou superior a 9% (nove por cento) em peso/peso;

III - em relação ao teor de óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), deve ser igual ou superior a 1% (um por cento) em peso/peso; e

IV - em relação ao potencial Hidrogeniônico (pH) de abrasão, valor conforme declarado pelo registrante.

Quando os remineralizadores contiverem naturalmente o macronutriente fósforo e micronutrientes, os seus teores podem ser declarados somente se forem iguais ou superiores aos valores expressos no Tabela 11.4.

Tabela 11.4 – Teores mínimos do macronutriente fósforo e de micronutrientes que podem ser declarados nos remineralizadores

Nutriente	Teor total mínimo (% em peso/peso)
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1
Boro (B)	0,03
Cloro (Cl)	0,1
Cobalto (Co)	0,005
Cobre (Cu)	0,05
Ferro (Fe)	0,1
Manganês (Mn)	0,1



<b>Nutriente</b>	<b>Teor total mínimo (% em peso/peso)</b>
Molibdênio (Mo)	0,005
Níquel (Ni)	0,005
Selênio (Se)	0,03
Silício (Si)	0,05
Zinco (Zn)	0,1

Fonte: elaborada pelos autores (BRASIL, 2016).

Não serão registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, ficando vedadas a produção, importação e comercialização no país de remineralizadores que contiverem:

I - em relação ao SiO<sub>2</sub> livre presente no produto, teor superior a 25% (vinte e cinco por cento) em volume/volume; e

II - em relação aos elementos potencialmente tóxicos presentes no produto, teores superiores a:

- a) para Arsênio (As): 15 ppm;
- b) para Cádmio (Cd): 10 ppm;
- c) para Mercúrio (Hg): 0,1 ppm; e
- d) para Chumbo (Pb): 200 ppm.

Aos resultados analíticos obtidos, serão admitidas tolerâncias em relação às garantias do produto, observados os seguintes limites:

I - para deficiência, os limites de tolerância não podem ser superiores a:

1. com relação à soma dos óxidos: até 10% (dez por cento) para menos, sem ultrapassar 1,5 (uma e meia) unidade;
2. com relação aos nutrientes garantidos ou declarados: até 25% (vinte e cinco por cento) para menos, sem ultrapassar 1 (uma) unidade; e
3. com relação ao potencial Hidrogeniônico (pH) de abrasão: até 1 (uma) unidade para menos; e
4. com relação à especificação de natureza física (Tabela 11.5):

Tabela 11.5 – Tolerâncias admitidas para os remineralizadores com relação à especificação de natureza física

Especificação de natureza física	Peneira	Tolerância
Filler	0,3 mm (ABNT nº 50)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
Pó	2,0 mm (ABNT nº 10)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
	0,84 mm (ABNT nº 20)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
	0,3 mm (ABNT nº 50)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
Farelado	4,8 mm (ABNT nº 4)	Até 2 unidades para menos no mínimo passante.
	2,8 mm (ABNT nº 7)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
	0,84 mm (ABNT nº 20)	Até 5 unidades para mais no máximo passante.

Fonte: elaborada pelos autores.

II - para excesso, os limites de tolerância não podem ser superiores a:

1. SiO<sub>2</sub> livre em volume/volume: até 20% (vinte por cento) para mais;
2. Elementos potencialmente tóxicos: até 25% (vinte e cinco por cento) para mais em relação aos valores definidos nesta Instrução Normativa para Arsênio (As), Cádmiu (Cd), Mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb).

Em relação às garantias do produto, deve constar do certificado de registro:

I - os teores para soma de bases e óxido de potássio, bem como a natureza física e o modo de aplicação; e

Para o registro de remineralizadores, observar-se-á:

I - para os materiais de origem mineral que já foram submetidos a testes agrônômicos e tiveram seu uso na agricultura aprovados pela pesquisa brasileira oficial ou credenciada em data anterior a publicação da Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016, uma vez atendido o

disposto no Art. 4º dessa Instrução Normativa e, em se tratando de produto de mesmo material e mesma região geográfica dos materiais de origem mineral testados, o registro será concedido mediante a apresentação dos referidos trabalhos científicos pelo requerente, os quais devem ser conclusivos quanto à eficiência agrônômica; e

II - para os produtos que não foram testados pela pesquisa brasileira, sem prejuízo do disposto no Art. 4º da Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016, o registro somente será concedido após a realização de ensaios agrônômicos por instituições oficial ou credenciada de pesquisa, conduzidos com plantas e obrigatoriamente em casa de vegetação ou a campo, podendo esses ensaios ser complementados com testes de incubação ou em colunas de lixiviação, que demonstrem de forma conclusiva que o produto se presta ao fim a que se destina.

Quando o produto contiver naturalmente o macronutriente fósforo e micronutrientes, em teores totais mínimos iguais ou superiores aos valores estabelecidos no § 1º do Art. 4º da Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016, esses podem ser declarados no rótulo, na nota fiscal ou no Documento Auxiliar da Nota Fiscal Eletrônica - DANFE.

O estabelecimento produtor ou importador deve declarar, também no rótulo, quando se tratar de produto embalado, ou na nota fiscal ou no DANFE, quando se tratar de produto a granel, os teores de cada óxido que compõe a soma de bases e o valor do pH de abrasão do produto.

Deve acompanhar o pedido de registro de remineralizador:

I - os certificados de análises de geoquímica e de qualidade do produto, contendo, no mínimo, os teores dos itens de garantias, os teores de metais pesados tóxicos e o teor de SiO<sub>2</sub>; e

II - os trabalhos científicos conclusivos realizados por instituições de pesquisa brasileira, oficial ou credenciada pelo MAPA, que demonstrem, de forma inequívoca, a eficiência agrônômica do produto objeto do pedido de registro.

Pode ser registrado remineralizador obtido a partir da mistura de duas ou mais rochas, desde que o produto final atenda aos parâmetros e requisitos exigidos da Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016.

Para o registro, produção, importação e comercialização no país de produtos novos, incluindo-se os remineralizadores de que trata o inciso II do Art. 9º da Instrução Normativa n. 5, de 10 de março de 2016, deve ser considerado o disposto no Art. 15 do Anexo do Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, também nos arts. 37 a 42 da Instrução Normativa n. 53, de 23 de outubro de 2013.

## 11.9 Registro de substâncias minerais, encontradas na superfície ou no interior da terra

Consta, na Constituição Brasileira, que as riquezas minerais do país pertencem à União e não ao proprietário da terra onde elas se encontram. Ou seja, o proprietário do solo (terreno, fazenda, sítio etc.) não é dono do subsolo. No entanto, as regras para se obter o direito de extrair uma substância mineral não são exatamente as mesmas em todos os casos e dependem do tipo de substância (BRANCO, 2016). No Brasil, o órgão que regulamenta e fiscaliza a pesquisa, extração e comercialização de bens minerais no país é o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), do Ministério de Minas e Energia.

Com tecnologia e pesquisa, o Serviço Geológico do Brasil (SGB) abre caminhos para explorar as potencialidades do emprego de rochas silicáticas na agricultura. Os insumos minerais servem para a fabricação de fertilizantes, correção da acidez de solos, e outras práticas. Isso contribui para o desenvolvimento sustentável da agricultura, e, também, para maior autonomia desse setor (SGB, 2023).

Conforme entrevista de Branco (2016) ao SGB, uma das perguntas que as pessoas fazem com frequência aos geólogos é: Como se faz para ser dono da lavra? Ou: Como alguém consegue autorização para extrair minérios, pedras preciosas ou outra substância mineral? Antes de entrar em detalhes sobre o caminho a percorrer até se tornar um minerador, vale citar algumas normas de abrangência maior. Assim, o aproveitamento das substâncias minerais pode ser feito por:

autorização, quando depender de alvará de autorização do diretor-geral do DNPM. Quando uma pessoa acredita (ou tem certeza) de que, em um determinado local, existem substâncias minerais valiosas, como minério ou rochas, e ela deseja extrair essas substâncias, o primeiro passo é verificar se os direitos sobre aquela área já não foram requeridos por alguém. O interessado não precisa comprar a terra, pois, como já foi dito, o superficiário não é dono das riquezas minerais que existem em sua propriedade. Ser dono pode evitar alguns aborrecimentos, mas, dependendo do valor do imóvel, pode ser uma despesa não recomendável ou mesmo de custo proibitivo. Para saber se aquela área está livre, ele deve ir ao DNPM e pedir essa informação. O DNPM está dividido em 25 distritos, de modo que praticamente cada Estado é um distrito. Se aquele departamento informar que a área está livre, o próximo passo é fazer um requerimento solicitando um alvará de autorização de pesquisa, em formulário que o DNPM fornece. Esse requerimento deve vir acompanhado de alguns documentos importantes. Um deles é o mapa de delimitação da área que o interessado quer requerer, mapa que deve ser delimitado por linhas de direção norte-sul e leste-oeste, de modo que será

sempre um polígono (para substâncias fertilizantes, rochas betuminosas e pirobetuminosas, a área é de 2.000 hectares, mas, sobe para 10.000 se se situar na Amazônia Legal). O Código de Mineração define pesquisa mineral como a execução dos trabalhos necessários à definição da jazida, sua avaliação e a determinação da exequibilidade do seu aproveitamento econômico. O plano de pesquisa deve ser feito por um geólogo ou engenheiro de minas. Uma vez pronto esse documento, o mapa de localização da área e preenchido o requerimento, esse processo, com mais alguns documentos, é entregue ao DNPM, onde recebe um número de protocolo, com um carimbo que informa o dia e a hora em que os documentos foram recebidos. Se alguém requereu a mesma a área e entregou a documentação minutos antes, essa pessoa terá prioridade sobre ela. Só se ela por alguma razão abandonar a área, desistir da pesquisa, ou perder o direito adquirido, é que o outro poderá se habilitar (BRANCO, 2016).

1. licenciamento, quando depender de licença expedida conforme regulamentos administrativos locais e de registro da licença no DNPM;
2. regime de monopólio, quando, por lei especial, depender de execução direta ou indireta do Governo Federal.
3. concessão, quando depender de portaria de concessão do ministro de Minas e Energia;
4. partilha, específico para a produção de petróleo a partir das camadas do pré-sal e áreas estratégicas;
5. permissão de lavra, quando depender de portaria de permissão do diretor-geral do DNPM.

Para a produção mineral pelo regime de licenciamento, a legislação mineral não era exatamente a mesma para todas as substâncias minerais. Quando se trata de material para uso imediato na construção civil, como areia, argila, saibro, cascalho etc., o procedimento é bem mais simples e obedece a regras determinadas pelas leis do município onde se encontra a jazida a ser lavrada. Já a extração mineral por esse regime é direito exclusivo do proprietário do solo ou de quem ele autorizar, exceto se a jazida se situar em imóveis públicos. O requerente deverá entregar no DNPM um requerimento elaborado em formulário padronizado, e a área máxima permitida é de 50 hectares (BRANCO, 2016).

Ressalta-se ainda que, quando julgar necessários, o DNPM poderá exigir trabalhos de pesquisa, e o permissionário terá 90 dias para apresentar projeto nesse sentido. Atendida essa exigência, será expedido o Alvará de Autorização de Pesquisa. Com esse documento, o interessado

tem 90 dias para iniciar os trabalhos de lavra, que não podem ser interrompidos por mais de 120 dias, salvo motivo justificado. Outras exigências previstas no Código de Mineração também se aplicam aqui, como o relatório anual de lavra (BRANCO, 2016).

## Considerações finais

Embora a utilização de remineralizadores na agricultura não seja tão recente e apesar do conhecimento geológico amplo, eles ainda carecem de estudos para prospecção e quantificação de materiais que podem ser transformados em remineralizadores, em especial de pesquisas agrônomicas a campo de longo prazo para sua viabilização. Há também necessidade de estudos e avanços para utilização de macro e microrganismo para acelerar e disponibilizar os nutrientes essenciais presentes nas rochas para as diferentes formas de vida que desenvolvem a partir do solo.

## Referências

ALMEIDA JÚNIOR, J. J. et al. Avaliação dos componentes químicos da parte aérea da cana-de-açúcar tratada com doses crescentes do condicionador pó de rocha de origem “Basalto Gabro”. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 88418-88424, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-313>>. Acesso em: maio 2023.

ALMEIDA JÚNIOR, J. J. et al. Remineralizador de solo utilizado como alternativa sustentável para fertilização de solos na cultura da soja no Centro-Oeste do Brasil. **Conjecturas**, v. 22, n. 9, p. 486-498, 2022. Disponível em: <<http://www.conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/1289>>. Acesso em: maio 2023.

ALOVISI, A. M. T. et al. Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, 2021. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15599>. Acesso em: maio. 2023.

ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Principais indicadores do setor de fertilizantes. São Paulo: ANDA, 2023. Disponível em: <[https://anda.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Principais\\_Indicadores\\_2022.pdf](https://anda.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Principais_Indicadores_2022.pdf)>. Acesso em: 21 maio 2023.

BATISTA, N. T. F. et al. **Protocolo para avaliação da eficiência agrônômica de remineralizadores de solo?** Uma proposta da Embrapa. Embrapa Cerrados, 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1076459/1/3CBR219237.pdf>. Acesso em: maio 2023.

BEERLING, D. J. et al. Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. **Nature plants**, v. 4, n. 3, p. 138-147, 2018. Disponível

em: <<https://www.nature.com/articles/s41477-018-0108-y>>. Acesso em: 19 maio 2023.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORREA, G. F.; COSTA, L. M. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um Latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 125-130, 1997.

BRANCO, P. M. SGB - Serviço Geológico do Brasil. **Mina: como ser dono de uma. SGB-CPRM** (Departamento Nacional de Produção Mineral), 2016. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Mina%3A-como-ser-dono-de-uma-1268.html>>. Acesso em: maio 2023.

BRASIL, E. Pesquisadores defendem adubo alternativo para enfrentar a crise dos fertilizantes. Agência Câmara de Notícias, 2022. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/892133-pesquisadores-defendem-adubo-alternativo-para-enfrentar-a-crise-dos-fertilizantes/>>. Acesso em: maio 2023.

BRASIL. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre as normas gerais sobre registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/decreto-4954-2004-com-alteracoes-do-dec-8384-2014-planalto.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2023.

BRASIL. Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 dez. 1980. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/lei-6894-de-16-12-80-alterada-pela-lei-12890-2013.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013. Estabelece disposições e critérios para as definições, a classificação, o registro e renovação de registro de estabelecimento, o registro de produto, a autorização de comercialização e uso de materiais secundários... **Diário Oficial União**, Brasília, DF, 24 out. 2013. Seção 1, p. 4. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-53-2013-com-as-alteracoes-da-in-3-de-15-01-2020.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas,

destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 jan. 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-rem mineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2023.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050). Brasília: SAE, 2021. 195 p.

BRITO, R. S. et al. Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar. *South American Journal of basic education, technical and technological*, v. 6, n. 1, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/2331>>. Acesso em: abril 2023.

CAMILO, Y. M. V.; et al. Comparação de métodos de extração total de K<sub>2</sub>O, CaO e MgO em remineralizadores de solo, 2021. In: THEODORO, S. H.; DE MELLO MONTE, M. B.; DE SOUZA MARTINS, É. 4. Congresso Bras. de Rochagem. *Anais...* Ed. Autografia, 2022. Disponível em: <<https://www.sgb.gov.br/rem mineralizadores/anais.html>>. Acesso em: maio 2023.

CASTRO, C. de et al. **Rochas Brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol**. 2006. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/470476>>. Acesso em: abr. 2023.

CONCEIÇÃO, L. T. et al. Potential of basalt dust to improve soil fertility and crop nutrition. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 10, p. 100-443, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154322001764>>. Acesso em: maio 2023.

CORREIA, R. T. **Rochagem**: a aplicação de pó de rocha como alternativa sustentável aos fertilizantes agrícolas no Brasil: uma revisão. 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/17745>>. Acesso em: abr. 2023.

CUNHA, G. O. M. et al. Chemical composition of soybean seeds subjected to fertilization with rock dusts. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 44, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.53312>>. Acesso em: maio 2023.

CURTIS, J. C. D. et al. Application of soil remineralizer to poultry litter as an efficient and sustainable alternative for fertilizing maize crop. *Journal of Plant Nutrition*, v. 46, n. 3, p. 423-438, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2071728>>. Acesso em: maio 2023.

DETTMER, C. A. et al. **Uso de 'pó de rocha' em sistemas de produção agrícola**: breve análise sobre viabilidade técnica. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126274/uso-de-po-de-rocha-em-sistemas-de-producao-agricola-breve-analise-sobre-viabilidade-tecnica>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

DIAS, C. H. et al. Ocorrências de ametista em basaltos do Triângulo Mineiro (Minas Gerais): descrição e comparações com depósitos similares do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, v. 46, n. 3, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.22456/1807-9806.97385>>. Acesso em: 19 maio 2023.



DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

EMBRAPA. Esclarecimentos sobre uso de agrominerais silicáticos (remineralizadores) na agricultura - Esclarecimentos Oficiais, 2020. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/esclarecimentos-oficiais/-/asset\\_publisher/TMQZKu1jxu5K/content/esclarecimentos-sobre-uso-de-agrominerais-silicaticos-remineralizadores-na-agricultura?inheritRedirect=false](https://www.embrapa.br/esclarecimentos-oficiais/-/asset_publisher/TMQZKu1jxu5K/content/esclarecimentos-sobre-uso-de-agrominerais-silicaticos-remineralizadores-na-agricultura?inheritRedirect=false)>. Acesso em: maio 2023.

FERNANDES, F. R. C. et al. **Agrominerais para o Brasil**. CETEM/MCT, 2010. Disponível em: <<https://www.sgb.gov.br/remineralizadores/livros.html>>. Acesso em: maio 2023.

FERREIRA JUNIOR, O. J. et al. Resposta agronômica do arroz sob efeito de doses de fosfato de rocha. **Agri-Environmental Sciences**, v. 8, n. 2, p. 11-11, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.36725/agries.v8i2.7927>>. Acesso em: maio 2023.

GONZALEZ, M. Remineralizando o solo com pó de rocha. **NotasGeo**, 2018. Disponível em: <<https://www.notasgeo.com.br/2018/05/remineralizando-o-solo-com-po-de-rocha.html>> Acesso em: abr. 2023.

IBO – INSTITUTO BRASIL ORGÂNICO. Remineralizadores: Mapa de pós de rocha registrados no Ministério da Agricultura disponíveis no Brasil. Disponível em: <<https://institutobrasilorganico.org/atuacao/mapa-de-remineralizadores/>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

KLEIN, Zander Henrique de Lima. **Alteração nos atributos químicos do solo após aplicação de pó de basalto como remineralizador**. 2020. 56 f. Dissertação (mestrado em Agroecologia) - Universidade Estadual de Maringá, 2020., Maringá, PR. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/cerrados/-/asset\\_publisher/JY3381IKCcoA/content/id/70898230](https://www.embrapa.br/cerrados/-/asset_publisher/JY3381IKCcoA/content/id/70898230)>. Acesso em: maio 2023.

LEÃO, O. **Basalto é aposta do Triângulo Mineiro para revolucionar economia no campo**. 2019. Disponível em: <<https://www.uberlandia.mg.gov.br/2019/10/02/basalto-e-aposta-do-triangulo-mineiro-para-revolucionar-economia-no-campo/>>. Acesso em: maio 2023.

LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S. AND KROMBERG, B. Rochagem: método de aumento de fertilidades em solos lixiviados e arenosos. In: Congr. Bras. Geol. Ouro Preto. **Anais...** SBG. p. 137-145. 1976.

LOBATO, B. **Bioinsumos**, as alternativas de correção e adubação no atual cenário. Embrapa Cerrados, 2022. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/cerrados/-/asset\\_publisher/JY3381IKCcoA/content/id/70898230](https://www.embrapa.br/cerrados/-/asset_publisher/JY3381IKCcoA/content/id/70898230)>. Acesso em: maio 2023.

LUCHESE, A. V. et al. Use of quarry waste basalt rock powder as a soil remineralizer to grow soybean and maize. **Heliyon**, v. 9, n. 3, 2023. Disponível

em: <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14050>>. Acesso em: maio 2023.

MACHADO, A. W. Pó de rocha e Remineralizadores - tudo o que você precisa saber. **AGROLINK**, 2021. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/outros-insumos/o-que-e-rochagem---propriedades--vantagens--aplicacao-e-legislacao\\_455174.html](https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/outros-insumos/o-que-e-rochagem---propriedades--vantagens--aplicacao-e-legislacao_455174.html)>. Acesso em: abr 2023.

MESQUITA, A. Fábrica de pó: cresce o uso de remineralizadores na agricultura. **Revista AGRO DBO**, 2019. Disponível em: <<https://www.portaldbo.com.br/fabrica-de-po/>>. Acesso em: abr. 2023.

MIRANDA, O. **Uberlândia estuda o uso de pó de basalto como remineralizador de solo**. 2021. Disponível em: <<https://uaiagro.com.br/uberlandia-estuda-o-uso-de-po-de-basalto-como-remineralizador-de-solo/>>. Acesso em: maio 2023.

MORAES, V. Pó de rocha será nova fonte de potássio para agricultura. **Embrapa Cerrados**, 2004. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17973045/po-de-rocha-sera-nova-fonte-de-potassio-para-agricultura>>. Acesso em: abr. 2023.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. Manual de análise química de solo e controle de qualidade. **Circular Técnica**, n. 76, 1992.

PIRES, L. da S. et al. Caracterização do pó de rocha basáltica para aplicação em processos do tipo foto-fenton. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados – ENEMP, 11. 2022. Disponível em: <<http://enemp2022.com.br/trabalhosfinais/DIN17.pdf>>. Acesso em: abr. 2023.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RIBEIRO, L. da S., et al. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 891-897, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300030>>. Acesso em: abr. 2023.

SANTOS, W. O., et al. Characterization of verdeto rock as a potential source of potassium. **Revista Ceres**, v. 62, p. 392-400, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0034-737X201562040009>>. Acesso em: abr. 2023.

SEIXAS, M. A. A crise dos fertilizantes e o aumento da insegurança alimentar global impactos do conflito Rússia-Ucrânia no mercado de commodities agrícolas. **Série Diálogos Estratégicos – Mercados Internacionais (NT 43)**. Embrapa, Brasília, 2022. Setembro 2022. Disponível em: <[http://https://www.embrapa.br/documents/10180/26187851/A+CRISE+DOS+FERTILIZANTES+E+O+AUMENTO+DA+INSEGURAN%C3%87A+ALIMENTAR+GLOBAL\\_IMPACTOS+DO+CONFLITO+RUSSIA-UCRANIA+NO+MERCADO+DE+COMMODITIES+AGRICOLAS.pdf/0283733c-bf26-5f6f-6d7b-a971ff35dc53?download=true](http://https://www.embrapa.br/documents/10180/26187851/A+CRISE+DOS+FERTILIZANTES+E+O+AUMENTO+DA+INSEGURAN%C3%87A+ALIMENTAR+GLOBAL_IMPACTOS+DO+CONFLITO+RUSSIA-UCRANIA+NO+MERCADO+DE+COMMODITIES+AGRICOLAS.pdf/0283733c-bf26-5f6f-6d7b-a971ff35dc53?download=true)>. Acesso em: 20 maio 2023.

SGB - Serviço Geológico do Brasil. Remineralizadores de Solos. SGB-CPRM

- (Departamento Nacional de Produção Mineral), 2023. Disponível em: <<https://www.sgb.gov.br/remineralizadores/index.html>>. Acesso em: maio 2023.
- SILVA, F. J. P. et al. O blend gabro dacito como remineralizador de solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, n. 1, p. 1-9, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5039/agraria.v17i1a1419>>. Acesso em: maio 2023.
- SILVEIRA, R. T. G. **Uso de rochagem pela mistura de pó de basalto e rocha fosfatada como fertilizante natural de solos tropicais lixiviados**. 2016. 98 f., il. Dissertação (Mestrado) UnB. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.26512/2016.04.D.21151>>. Acesso em: maio 2023.
- SORATTO, Rogério Peres et al. Silicate rocks as an alternative potassium fertilizer for upland rice and common bean crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01411>>. Acesso em: abril 2023.
- SOUZA, G. V. L. de. **Avaliação da eficiência agrônômica do pó de rocha basáltica como remineralizador de solos**. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/236116>>. Acesso em: maio 2023.
- SPERA, S. T.; DENARDIN, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H. P.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2613-2620, 2008.
- TAVARES, L. F. et al. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 7, p. 89-98, 2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-018-0194-x>>. Acesso em: maio 2023.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574p.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, p. 721-730, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400008>>. Acesso em: maio 2023.
- VALVERDE, M. Uberlândia lança 1º Polo Agromineral Verde do País. **Diário do Comércio**, 2021. Disponível em: <<https://diariodocomercio.com.br/agronegocio/uberlandia-lanca-1o-polo-agromineral-verde-do-pais/>>. Acesso em: maio 2023.
- VAN STRAATEN, P. **Rocks for crops: agrominerals of sub-Saharan Africa**. 2002. Disponível em: <<https://www.sgb.gov.br/remineralizadores/livros.html>>. Acesso em: maio 2023.
- VIANA, L. S. B.; CAITANO, T.B.S.; PONTES, A. N. A remineralização de solos como iniciativa ao desenvolvimento sustentável. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, DOI: 10.33448/rsd-v10i14.21516. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/21516>>. Acesso em: maio 2023.

