UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – UFG
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MARCELO ZÓZIMO DA SILVA

COMPORTAMENTO MORFOLÓGICO, QUÍMICO E FÍSICO-HÍDRICO DOS SOLOS DE ÁREA CULTIVADA COM MORANGO EM ALFREDO VASCONCELOS, MG

GOIÂNIA, GO

OUTUBRO-2014

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **[ ] Dissertação** **[x] Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	Marcelo Zózimo da Silva				
E-mail:	marcelo.zozimo@ifsudestemg.edu.br				
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? [x]Sim [ ] Não					
Vínculo empregatício do autor		Professor efetivo do IFSudesteMG			
Agência de fomento:		CAPES		Sigla:	CAPES
País:	Brasil	UF:MG	CNPJ:		
Título:	Comportamento morfológico, químico e físico-hídrico dos solos de área cultivada com morango em Alfredo Vasconcelos, MG.				
Palavras-chave:	*Fragaria x ananassa*; impactos ambientais; sustentabilidade; topossequência.				
Título em outra língua:	Morphological, chemical and hydro-physica behavior of the soil in an area cultivated with strawberries in Alfredo Vasconcelos, state of Minas Gerais.				
Palavras-chave em outra língua:	*Fragaria x ananassa*; environmental impacts; sustainability;topossequence.				
Área de concentração:	Estrutura e Dinâmica Ambiental				
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	15/10/2014				
Programa de Pós-Graduação:	Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB/UFG)				
Orientador (a):	Profª Drª Selma Simões de Castro				
E-mail:	selma.castro@uol.com.br				
Co-orientador (a):*					
E-mail:					

*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento [ ] SIM [x] NÃO[1]

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

_____ Data: ____ / ____ / _____

Assinatura do (a) autor (a)

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

MARCELO ZÓZIMO DA SILVA

COMPORTAMENTO MORFOLÓGICO, QUÍMICO E FÍSICO-HÍDRICO DOS SOLOS DE ÁREA CULTIVADA COM MORANGO EM ALFREDO VASCONCELOS, MG

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás (UFG), como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Orientadora: Profª Drª Selma Simões de Castro

Área de concentração: Estrutura e Dinâmica Ambiental

Linha de Pesquisa: Conservação de Recursos Naturais

GOIÂNIA, GO

OUTUBRO-2014

Ficha catalográfica elaborada
automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silva, Marcelo Zózimo da
Comportamento morfológico, químico e físico-hídrico dos solos de área cultivada com morango em Alfredo Vasconcelos, MG [manuscrito] / Marcelo Zózimo da Silva. - 2014.
126 f.: il.

Orientadora: Profª Drª Selma Simões de Castro.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2014.
Bibliografia.
Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Fragaria x ananassa. 2. Impactos ambientais. 3. Sustentabilidade. 4. Topossequência. I. Castro, Selma Simões de , orient. II. Título.

Membros da banca examinadora da tese “Comportamento morfológico, químico e físico-hídrico dos solos de área cultivada com morango em Alfredo Vasconcelos, MG”, de Marcelo Zózimo da Silva, junto ao Programa de Doutorado em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, em outubro de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Selma Simões de Castro – CIAMB/UFG
Presidente (Orientadora)

Prof. Dr. José Emílio Zanzirolani de Oliveira – IFSudesteMG/Barbacena
Membro Titular – Externo

Prof. Dr. José Roberto de Paula – IFMG/São João Evangelista
Membro Titular – Externo

Profª. Drª. Renata Santos Momoli – IESA/UFG
Membro Titular – Externo

Profa. Dra. Karla Maria Silva de Faria – IESA/UFG
Membro Titular – Interno

À minha mãe Aparecida e ao meu pai Geraldo (*in memoriam*), pelo exemplo de vida, pelos ensinamentos e pela perseverança.

Aos meus irmãos, pelo apoio e incentivo.

À minha esposa Beth e aos meus filhos Ludimila, Daniel e Marcus, em especial aos meus netinhos Pedro Arthur e Júlia Marcelle, pelo carinho.

Não é porque certas coisas são difíceis que nós não ousamos; é justamente porque não ousamos que tais coisas são difíceis.

Sêneca

"Os maiores males que afligem nossa terra são a ignorância e a opressão, não a ciência, a tecnologia e a indústria, cujos instrumentos, quando usados adequadamente, são as ferramentas indispensáveis de um futuro construído pela Humanidade, por ela e para ela, vencendo os problemas maiores da superpopulação, da fome e da doença"

(o"Heidelberg Appeal", citado por ***BORLAUG & DOSWELL, 1997)***

Tudo tem o seu tempo determinado e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.

Ecls. 3,1

AGRADECIMENTOS

Muitos que passam em nossas vidas deixam algo e levam um pouco de nós; de forma que somos, no presente, a dinâmica dessas passagens. Um trabalho de tese assim também o é, pois representa a soma de todas as ajudas, sem as quais essa empreitada teria se tornado muito mais difícil. Nesse sentido, são muitos os agradecimentos a fazer; no entanto, vou me ater àqueles que colaboraram de forma decisiva.

A DEUS, pelo dom da vida e pelas bênçãos, em mais uma tarefa árdua na caminhada do dia a dia da vida, pois recebo muito mais do que sou merecedor.

À minha família, pelo incentivo e apoio durante todos os momentos.

À Profª Drª Selma Simões de Castro, pela orientação e, também, pelo apoio em momentos emocionais difíceis, sem a qual não completaria esta tarefa, meu muito obrigado.

Aos professores, alunos e servidores do Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF) da Universidade Federal de Goiás (UFG), pelo acolhimento, pela ajuda e pelas sugestões em diversos momentos.

A todos os professores do Programa de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da UFG, pelas aulas e sugestões, considerando as necessidades de cada tese. Ao curso de Doutorado Interinstitucional (DINTER) em Ciências Ambientais, firmado entre o CIAMB-UFG e o Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais (IFSudesteMG), pela solidariedade e, mais uma vez, à Profª Drª Selma Simões de Castro, pela Coordenação Acadêmica e cuja dedicação foi fundamental para todos nós, sem os quais não seria possível a conclusão dos trabalhos.

Aos companheiros do DINTER, Camilo, Elisete, Roselir, Maria de Fátima, Geraldo, Cristina, Estevão e Edmar, pelo incentivo, pela colaboração e pela convivência em todas as nossas atividades no *Campus* de Rio Pomba, MG e em Goiânia, na UFG.

À Pró-reitora de Ensino do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Profª Maria Elizabeth Rodrigues, pela Coordenação Administrativa do DINTER e pelo apoio em diferentes etapas do curso e da pesquisa.

Aos professores do IFSudesteMG/*Campus* Barbacena, João Pedro, Elton Valente e Adriano Boratto e ao técnico agrícola Ricardo Pacheco, pela ajuda nos trabalhos em campo e em laboratório.

À equipe do Laboratório de Análises de Solos e Folhas do IFSudesteMG/ *Campus* Barbacena, Daniel, Carlos, Flávia e aos estagiários Patrícia Brunelli e Luciano, pelo preparo das amostras e pela condução das análises.

Ao Prof. Dr. Miguel Cooper e à Profª Drª Laura Fernanda Simões da Silva, respectivamente, docente e pós-doutoranda da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Solos, e ao colega Danillo Barbosa, mestrando da Escola de Agronomia da UFG, pela colaboração com a análise de imagens da porosidade sobre as lâminas delgadas dos solos estudados.

A Sr. Leandro Rodrigues de Oliveira e todos os produtores de morango integrantes da Cooperativa Agropecuária de Alfredo Vasconcelos, MG, pelo apoio incondicional, esperando que esta tese possa contribuir para melhorar o desempenho da produção com preservação do meio ambiente.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, me incentivaram e me auxiliaram nesta caminhada.

RESUMO

O município de Alfredo Vasconcelos está localizado no sudeste do estado de Minas Gerais e cerca de 80% de sua população – atualmente composta por 6.000 habitantes – dedica-se às atividades agrícolas, com destaque para a produção de horti, flori e fruticultura. Destaque especial deve ser feito ao cultivo do morango, praticado nos topos do relevo conhecido como Mar de Morros, onde as condições edafoclimáticas são adequadas. O morango ocupa o segundo lugar em produção no Estado e em Alfredo Vasconcelos, mas vem registrando problemas como diferenças de desempenho entre canteiros e safras, com ocorrência de erosão hídrica das encostas, perda de insumos fertirrigados, além de turbidez, assoreamento e diminuição da fauna piscícola no córrego a jusante, conforme relato dos proprietários e observações preliminares no local durante a realização do trabalho. A hipótese testada é de que o uso e manejo do solo podem induzir mudanças no comportamento morfológico, físico-hídrico e de fertilidade da fruta, podendo interferir na produção e na produtividade. O objetivo deste estudo é avaliar o comportamento morfológico e físico-hídrico dos solos cultivados com morango no referido município, de modo a deduzir as rotas de fluxos hídricos verticais e laterais e entender as causas das diferenças observadas e, assim, fornecer alternativas de manejo aos agricultores familiares. O estudo dividiu-se em três etapas: (1) na caracterização macro e micromorfológica e analítica dos solos; (2) em ensaios de infiltração e de resistência à infiltração e de resistência à penetração dos solos ao longo de uma topossequência representativa da área, composta de sucessão lateral descendente de solos com textura média: Latossolos Vermelho Amarelo, Latossolo Câmbico e Gleissolos Háplicos. (3) Foram avaliados quatro perfis de solos, o P1, no topo; o P2, na vertente superior; o P3, na vertente média, todos cultivados com morango; e o P4, na base da encosta, utilizada com pastagem plantada com *Brachiaria decumbens*. Os resultados revelaram aumento de argila, de densidade do solo e de resistência à penetração em subsuperfície dos perfis e para jusante, paralelamente à diminuição de porosidade total e das taxas de infiltração. Estes dados foram corroborados por avaliação micromorfológica e micromorfométrica dos poros, com auxílio de análise de imagens binárias. Concluiu-se que há moderado impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular em superfície e mais acentuado em subsuperfície. Pode-se interpretar como compactação de fraca a moderada, respectivamente, a qual seria capaz de induzir rotas de fluxos hídricos laterais, que causam a perda de nutrientes e de finos acima da camada subsuperficial compactada. Isso ocorrerá, principalmente, durante episódios de chuva ou fertirrigação acima da taxa de infiltração, o que explicaria as diferenças observadas neste rumo e que demanda ajustes no manejo, de modo a promover alternativas de sustentabilidade agrícola da atividade para a região.

Palavras-chave: *Fragaria x ananassa*; Impactos ambientais; Sustentabilidade; Topossequência.

ABSTRACT

Over 80% of the 6,000 inhabitants of Alfredo Vasconcelos, a municipality in the southern state of Minas Gerais, Brazil, is involved in agricultural activities, mainly horticulture, floriculture and fruit culture, which is characterized by strawberry cultivation on top of a relief known as ‘mar de morros’, predominant in the region, with edaphoclimatic conditions adequate to this type of cultivation. Strawberry cultivation ranks second in state production; however, it has been presenting differences in planting and crop performances, slope hydric erosion, fertigated input losses, as well as turbidity, leaching, and downstream fish fauna decrease, according to farm proprietors and preliminary observations. The hypothesis tested is that the use and management of soil may induce changes in its morphological, physical- hydric behavior, as well as in its fertility, leading to decreased production and yield and soil and slope instability. The aim of this work was to evaluate the morphological and physical- hydric behavior of strawberry-cultivated soils in the aforementioned municipality so as to identify the vertical and lateral hydric flux routes and understand the causes of the differences found to provide management alternatives to family farmers. The study was based on the macro- and micro-morphological and analytical characterization of soils through infiltration and resistance to soil penetration assays, along a representative toposequence of the area, constituted of the descendent lateral succession of medium texture soils as Red Yelow Latosol Cambic Latossol and Haplic Gleisol. Four soil profiles were evaluated: P1, on the top; P2, on the upper slope; P3, on the medium slope, cultivated with strawberry; and P4, on the slope base, used as pasture planted with *Brachiaria decumbens*. The results showed increased clay, soil density and resistance to penetration in the subsurface of the profiles and downstream, concomitantly with a decrease in total porosity and infiltration rate. Such data were corroborated by micro-morphological and micro- morphometric evaluation of the pores with the help of binary image analyses. It was concluded that there is a moderate impediment to the development of the surface radicular system, and more marked on the subsurface, interpreted as weak to moderate compaction, respectively, which would be capable to induce lateral hydric flux routes that cause nutrient loss above the compacted subsurface layer, mainly during rain or fertigation periods above the infiltration rate, what would explain the differences observed in this direction, demanding management adjustments so as not to compromise the agricultural sustainability of this activity.

Keywords: *Fragaria x ananassa* . Environmental impacts. Sustainability. Toposequence.

LISTA DE FIGURAS

Página

1. Planta da espécie *Fragaria x ananassa* Duch..... 33

2. Fruto do morango..... 33

3. Frutos prontos para a colheita..... 34

4. Localização da área de estudos, município de Alfredo Vasconcelos, MG.... 36

5. Foto da área em estudo sendo preparada para plantio 37

6. Canteiro de morango no Sitio São Sebastião, área estudada 38

7. Morangos embalados à esquerda e área cultivada à direita 38

8. Mapa litológico de Alfredo Vasconcelos, MG 41

9. Mapa da hipsometria do município de Alfredo Vasconcelos, MG..... 41

10. Vista panorâmica da paisagem da área de estudo com pastagem. Terço inferior da encosta com pastagem, mata ciliar e reflorestamento ao fundo... 42

11. Mapa de vegetação de Alfredo Vasconcelos, MG..... 43

12. Levantamento planialtimétrico da área estudada com a topossequência..... 47

13. Ensaio de infiltração em campo 55

14. Fotos da seleção de sítios amostrais nas lâminas delgadas..... 67

15. Bloco diagrama esquemático obtido por Modelo Digital do Terreno (MDT) indicando os perfis de solo e as tradagens na topossequência estudada..... 70

16. Topossequência de solos da área estudada em Alfredo Vasconcelos, MG, indicando os perfis descritos de P1 a P4 e seus respectivos horizontes A, A/B, Bw1, Bw2, C e as tradagens (T1 a T3)..... 71

17. Fotomicrografias ilustrativas das microestruturas dos horizontes dos quatro perfis do solo 81

18. Exemplo de Imagens binárias dos sítios amostrais dos horizontes do perfil de solo P1 onde a massa do solo aparece em preto e os poros em branco 84

Página

19. Distribuição dos valores médios da porosidade total visível segundo a forma e o tamanho dos poroides dos horizontes do P1 84

20. Distribuição dos valores médios da porosidade total visível segundo a forma e o tamanho dos poroides dos horizontes do P2 86

21. Distribuição dos valores médios da porosidade total visível segundo a forma e o tamanho dos poroides dos horizontes do P3 87

22. Distribuição dos valores médios da porosidade total visível segundo a forma e o tamanho dos poroides dos horizontes do P4 88

23. Variação percentual da Porosidade Total visível na Lâmina - PTL (%) 89

24. Variação do número total de poros visíveis nas lâminas dos perfis (NP)..... 90

25. Correlação das variáveis argila dispersa em água, grau de floculação, matéria orgânica e H + Al, para os horizontes dos quatro perfis estudados (n = 4), em gráficos de regressão linear..... 95

26. Variação em profundidade da densidade do solo, argila e areia total dos perfis 96

27. Variações do pH, CTC, P e MO em profundidade nos perfis de solo 99

28. Dendrograma das inter-relações dos horizontes (A, Bw1 e Bw2) dos quatro perfis estudados 100

29. Dendrograma das inter-relações dos horizontes A, Bw1 e Bw2 dos quatro perfis estudados, referentes às variáveis grau de floculação, argila dispersa em água, acidez potencial (H + Al) e matéria orgânica (MO)..... 101

30. Curvas de resistência à Penetração (RP) dos quatro perfis do solo 103

31. Gráficos da taxa de infiltração (TI) de água nos quatro perfis de solo avaliados 104

32. Sistema pedológico da topossequência de Alfredo Vasconcelos e rotas de fluxos hídricos 107

LISTA DE TABELAS

Página

1. Classes de solo de acordo com a declividade 48

2. Classes de resistência do solo à penetração 51

3. Classes da taxa de infiltração de cada solo 55

4. Classificação dos poros de acordo com o formato e tamanho 68

5. Resultados das análises físicas dos quatro perfis estudos..... 94

6. Resultados das análises químicas dos quatro perfis estudos..... 98

7. Indicadores da qualidade da água do Córrego Samambaia, no período das águas e da seca..... 109

8. Indicadores da qualidade da água do reservatório, período das águas e da seca 109

9. Produto comercial, ingrediente ativo, indicação, período de carência e classe toxicológica dos defensivos utilizados na cultura do morango na área estudada 110

LISTA DE QUADROS

Página

1. Morfologia dos quatro perfis do solo da topossequência 73

2. Síntese das microestruturas dos quatro perfis de solo 76

SUMÁRIO

Página

1. INTRODUÇÃO 18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA PESQUISA 25
   2.1. Bases conceituais 25
   2.2. O cultivo do morango 32
3. A ÁREA DE ESTUDO 36
   3.1. Localização e caracterização geral da área 36
   3.2. Clima 39
   3.3. Geologia e Geomorfologia 40
   3.4. Cobertura vegetal e uso do solo 42
   3.5. O manejo da cultura do morango em Alfredo Vasconcelos, MG 43
4. METODOLOGIA DA PESQUISA 46
   4.1. Seleção da área estudada 46
   4.2. Topografia e Morfologia da Topossequência 48
   4.3. Plano de amostragem, tipos de coletas e ensaios 49
      4.3.1. Plano de amostragem e tipos de amostras coletadas 49
      4.3.2. Ensaios de resistência e infiltração 50
      4.3.3. Análises de Água 55
   4.4. Análises físicas 56
      4.4.1 Análise textural 56
      4.4.2. Densidade do solo 56
      4.4.3. Densidade de partículas 57
      4.4.4. Porosidade total 57
      4.4.5. Argila dispersa em água 57
      4.4.6. Grau de floculação 58
      4.4.7. Relação silte/argila 58
   4.5. Análises químicas 58
      4.5.1. pH em água 59
      4.5.2. pH em cloreto de potássio e delta pH 60
      4.5.3. Determinação da acidez potencial (H + Al) com solução-tampão SMP 60

Página

4.5.4. Determinação do cálcio, magnésio e alumínio 61
4.5.5. Determinação do potássio 61
4.5.6. Determinação do fósforo disponível 61
4.5.7. Determinação do fósforo remanescente (P. rem.) 62
4.5.8. Determinação da matéria orgânica do solo (MOS) 62
4.5.9. Cálculo da Soma de Bases 62
4.5.10. Cálculo do valor T ou CTC a (pH 7,0) 63
4.5.11. Cálculo do valor V% 63
4.5.12. Cálculo do valor m% 63
4.5.13. Análise estatística multivariada 63
4.6. Análise micromorfológica 64
4.6.1. Preparação das amostras 64
4.6.2. Descrição sumária das microestruturas 65
4.6.3. Análise de imagens da macro e mesoporosidade 66
4.7. Dedução das rotas de fluxos hídricos 69
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 70
5.1. A Topossequência de Alfredo Vasconcelos, MG 70
5.2. A topossequência e os perfis de solos estudados 71
5.2.1. A topossequência 71
5.2.2. Macromorfologia, micromorfologia e micromorfometria dos poros.. 75
5.3. Caracterização analítica 92
5.3.1. Análises físicas 92
5.3.2. Análises químicas 97
5.3.3. Análise multivariada dos resultados analíticos 99
5.4. Ensaios de Campo 102
5.4.1. Resistência à penetração 102
5.4.2. Taxa de infiltração de água no solo 103
5.4.3. As rotas de fluxo hídrico na topossequência 106
5.5. As águas do córrego Samambaia e do reservatório: subsídios à avaliação da qualidade 108
5.5.1. Qualidade geral das águas 108
6. CONCLUSÕES 112
7. REFERÊNCIAS 116

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das atividades de maior impacto ambiental, tanto em escala global como muitas vezes na escala local. Isso ocorre devido ao uso intensivo dos solos e dos recursos hídricos, ao manejo inadequado dos solos e à escolha das culturas, pois nem sempre se usa de práticas conservacionistas e, não raro, a utilização de grande quantidade de insumos e defensivos, objetivando o aumento da produtividade e o atendimento de mercado cada vez maior e mais exigente. Assim, os cuidados em planejar ambientalmente as propriedades rurais com o objetivo de melhoria de sua produção agropecuária, vêm exigindo manejo adequado dos solos, de forma a garantir a sustentabilidade da atividade, mas preservando a qualidade dos mesmos e dos recursos hídricos.

De acordo com Carvalho (2006), as primeiras plantações de morango surgiram nos quintais de São Paulo, podendo ser encontradas, segundo dados da EMATER-MG (2012), em 106 municípios brasileiros, localizados nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Distrito Federal. Segundo Botelho (1999), a cultura do morangueiro é praticada pelo pequeno produtor rural cuja mão de obra é familiar, segmento este enquadrado como agricultura familiar, durante todo o ciclo da cultura, constituindo a principal fonte de renda familiar, a qual é utilizada para a melhoria social, aquisição de insumos, melhoria habitacional e aquisição de bens e consumo.

"O morango é, sem dúvida, dentre as pequenas frutas a mais conhecida e apreciada pelos brasileiros e, por isso, destaca-se como a mais expressiva em termos de produção, com aproximadamente, 105 mil toneladas, distribuídas em 4 mil hectares concentrados nos estados de Minas Gerais (41,4%), Rio Grande do Sul (25,6%), São Paulo (15,4%), Paraná (4,7%) e Distrito Federal (4%)" (BANDEIRA, 2012, p.3). Como se pode deduzir destes dados, o maior produtor do Brasil é Minas Gerais, com 72.716 t cultivadas em 1.790 há, Silveira e Guimarães (2014), representando 45% da produção nacional, o que gera, aproximadamente, 26.000 empregos e 5.900 produtores envolvidos na atividade, "em sua grande maioria produtores integrados à agricultura familiar" (RESENDE et al., 1999; CARVALHO, 2006); fato corroborado pelo tamanho

médio das propriedades que se dedicam a este cultivo no País, o qual varia de 0,5 a 1,5 ha (PAGOT; HOFFMANN, 2003).

Edafoclimaticamente, a região Campo das Vertentes de Minas Gerais, em particular o município de Alfredo Vasconcelos, polo produtor no Estado, está apta para a cultura do morango pelo seu clima ameno, seus solos moderadamente profundos, como os Latossolos, e seu relevo com topos convexos e suavizados dos morros que caracterizam a região conhecida como pertencente ao domínio morfoclimático do Mar de Morros. O cultivo do morango é preferencialmente praticado nos topos e nas encostas superiores dos morros, deixando os segmentos inferiores das encostas destinados a pastagem e outras atividades relacionadas à horticultura.

O grande interesse pela cultura deriva da sua alta rentabilidade e grande demanda de mão de obra, como a familiar, gerando incremento significativo para a economia e contribuindo no processo de desenvolvimento social (VIEIRA, 2001).
É adequada à produção em pequenas áreas, o que favorece a agricultura familiar, pois, além de comercializada na forma in natura, pode ser processada pela própria família, na forma de passas, geleias, sorvetes, sucos e sobremesas, aumentando a renda familiar (GONÇALVES; ALVARENGA, 2012). Todavia, cerca de 90% da produção nacional de morango destina-se à comercialização in natura e 10% ao processamento (ANTUNES; REISSER JUNIOR, 2007).

Devido aos vários usos, a expansão da cultura do morango na região Campo das Vertentes e no município de Alfredo Vasconcelos, MG, vem aumentando mas sem planejamento, sobretudo quanto ao tipo de manejo praticado pela agricultura familiar e já revela que esses agricultores aprenderam a maneira de aplicar agrotóxicos e fazer adubações, entre outras práticas, com os vizinhos; isto é, sem assistência técnica especializada, aumentando os riscos que envolvem tanto ao ambiente quanto aos agricultores e consumidores.

O cultivo do morangueiro recebe, em média, 45 pulverizações de agrotóxicos durante o ciclo da cultura, apresentando por este motivo, muitos resíduos químicos (DAROLT, 2001), o que pode contaminar solo e água, causando sérios danos à bacia hidrográfica como um todo, às pessoas que o cultivam e às que o consomem.

Assim, vem se constatando aumento da área cultivada e da produção no País, principalmente da produtividade e que revela manejos mais produtivos (CARVALHO, 2006).

A importância econômica do município de Alfredo Vasconcelos, na região Campo das Vertentes, MG, está na agricultura, com destaque para a familiar, como já exposto. Os estabelecimentos agropecuários têm na hortifruticultura sua principal fonte de renda, respondendo por mais de 80% do valor de produção, em que a horticultura se destaca com produção em torno de mais de 37%. Observa-se que a hortifruticultura como um todo gira em torno de mais de 74% do valor da produção dos estabelecimentos agropecuários de Alfredo Vasconcelos (IBGE, 2009). O poder aquisitivo das famílias tem aumentado consideravelmente em virtude da produção de morango, pois o retorno financeiro é rápido e tem sido satisfatório para esses produtores.

Porém, um problema vem sendo relatado com frequência, como feito por um dos produtores da área em estudo, refere-se à perda na qualidade da água captada para irrigação, no caso proveniente do córrego Samambaia, na área do presente estudo, uma vez que o mesmo vem sofrendo processo de assoreamento, aumento da turbidez e também perda da fauna piscícola. Além disso, ao contrário da tendência que se verifica no País, a produção de morango vem reduzindo na região, bem como a qualidade dos frutos. Some-se a isto, que a combinação entre outros fatores do relevo forte a forte ondulado do Mar de Morros com o desmatamento intensivo sucedido pelas práticas incorretas de manejo em situação declivosa e o uso indiscriminado de fertilizantes e agrotóxicos, também agrava o quadro ambiental da região.

Segundo observações preliminares em campo, o manejo inadequado do solo no cultivo do morango na região e em particular no município de Alfredo Vasconcelos, se caracteriza por: i) disposição dos canteiros de cultivo inconforme com a topografia, muitas vezes com as linhas de plantio no rumo do declive; ii) fertirrigação acima das concentrações e do número de aplicações recomendadas; e iii) uso crescente de agrotóxicos para controle de pragas e doenças. Estas práticas vêm sendo apontadas como as principais causas de degradação erosiva das encostas e suas consequências, como a perda de fertilidade por lixiviação vertical e lateral e consequente aumento do custo de produção, afetando o desempenho da cultura, o assoreamento do córrego e a mortandade piscícola, dentre outras. Assim, uma das explicações possíveis para o desempenho progressivamente decrescente da produção, da produtividade e da qualidade do morango encontra-se no manejo inadequado dos solos e recursos hídricos, sobretudo considerando as características ambientais da região, levando à hipótese da presente tese de que a causa deste problema estaria neste aspecto da atividade,

resultando fluxos hídricos verticais e lateralizados, relacionados ao escoamento superficial e subsuperficial, os quais necessitam ser investigados.

Algumas das causas da erosão podem ser controladas com técnicas para aumentar a resistência do solo ou as forças do processo erosivo, que podem ser evitadas com práticas conservacionistas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). O preparo do solo acarreta mudanças estruturais que modificam a porosidade, a densidade, a retenção e o armazenamento de água, além da estabilidade de agregados do solo e influenciam os grupos biológicos que participam dos processos físicos e químicos (VIEIRA, 1985). E, dentre os componentes do manejo, o preparo do solo talvez seja a atividade que mais influi no seu comportamento físico-hídrico subsequente, isto porque atua diretamente sobre a estrutura do solo, em função de haver ou não revolvimento e compactação pelo pé-de-grade ou de arado etc. (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Nesse aspecto, a compactação do solo é geralmente um fenômeno indutor da erosão hídrica, dentre outros danos ao solo, como à biota e à circulação hídrica, pois implica aumento de densidade do solo por compressão, com redução notável da macroporosidade, justamente a responsável pela drenagem interna do solo. A compactação é causada por pisoteio animal, e mais comumentemente, pelo manejo agrícola intensivo, associado às lavouras anuais, com uso de máquinas pesadas sobre solos de textura média ou argilosa, em estado de umidade ótima; ou seja, a que resulta em máxima plasticidade do solo. A compactação impede ou dificulta a aeração, a infiltração e a penetração de raízes no solo, causando muitos prejuízos por aumentar a demanda de práticas de recuperação de solos assim degradados, levando ao aumento do custo de produção, além de poder causar danos ambientais, como erosão e outros (RICHART et al., 2005).

Deve-se ressaltar ainda que a erosão remove partículas e junto com elas os nutrientes e resíduos de aplicações, os quais são transportados para jusante com as enxurradas e demais águas escoadas, incluindo as de irrigação, em especial o nitrogênio, por sua alta solubilidade, e o fósforo, por sua rápida adsorção às partículas mais finas dos solos. Alguns nutrientes, como os nitratos, estão mais ligados à água de enxurrada, ao passo que os fosfatos, aos sólidos arrastados pelo escoamento, menos intenso que aquela, mas não menos prejudicial (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Assim, a exploração agrícola dos solos, para ser sustentável, deve ser feita segundo dois preceitos, o conservacionista e o econômico, sendo indispensável a boa planificação de todas as atividades agrícolas, iniciando-se com o plano de manejo da terra (LEPSCH, 2011), o que a caracteriza como atividade multidisciplinar. Caso

contrário, os impactos ambientais poderão ser crescentes, irreversíveis e comprometer a atividade, além de promover danos ambientais que conduzam à sua degradação.

Enquanto combinação de várias áreas de conhecimento, a interdisciplinaridade pressupõe o desenvolvimento de metodologias interativas configurando a abrangência de enfoque, contemplando uma nova articulação das conexões entre as ciências naturais, sociais e exatas (JACOBI, 2007).

Vale lembrar também que o solo e a água são elementos fundamentais na sustentação dos sistemas agrícolas e naturais e refletem as condições ambientais, em virtude de suas funções. No caso do solo, ele desempenha funções de filtro e de recarga hídrica, além das alimentares, ecológicas, econômicas, sociais e culturais (RUELLAN; DOSSO, 1993). Para Morgan (1986; 2005), por exemplo, solos com valores inferiores a 2% de carbono orgânico (C%), equivalentes a 3,5% de matéria orgânica do solo (MOS), podem ser considerados como suscetíveis à erosão. Convém lembrar que nos solos tropicais e, em particular, em áreas de moderado a forte declive, como o das áreas de Mar de Morros, raramente são encontrados teores de MOS superiores a 1%.

Portanto, o conhecimento sobre os solos é indispensável para a avaliação do seu potencial de uso e suas limitações, e é de grande relevância para se compreender as inter-relações entre as variáveis que compõem o sistema ambiental, de modo a prevenir impactos.

O problema desta pesquisa concentrou-se no fato de que o cultivo do morango no município de Alfredo Vasconcelos, MG, tem apresentado problemas que vêm sendo relacionados à erosão hídrica dos solos e suas consequências, mas nada tem sido aventado quanto à compactação, tampouco quanto aos fluxos hídricos lateralizados, capazes de remover partículas e juntos com elas os nutrientes, além de assorear e aumentar a turbidez dos recursos hídricos. Pode-se notar que o relevo da área é íngreme e as práticas de conservação do solo são reduzidas ou nulas, o que favorece a intensificação do escoamento superficial, logo da erosão e translocação de sedimentos e substâncias dissolvidas ou diluídas pela enxurrada para jusante. Paralelamente, o sucesso inicial da atividade levou ao aumento das áreas de cultivo, o que promoveu a intensificação do uso de agrotóxicos; contudo, sem as orientações de cuidados no seu manuseio. Como lembram Manzatto et al. (2002), muitas formas de uso do solo por atividades agropecuárias podem gerar gastos desnecessários, por exemplo com adubações incorretas, fazendo com que a lucratividade decresça e as perdas e a contaminação do solo e da água aumentem.

Conversas preliminares com os produtores de morango na área de pesquisa, além de corroborarem os problemas, ainda permitiram supor que parte das causas do manejo incorreto dos solos pode ser decorrente da falta de informações e da compreensão dos agricultores, em consequência de seu baixo nível de escolaridade e também da negligência.

Neste aspecto, nos seus estudos sobre agricultura sustentável, Ehlers (1996) destaca que o desenvolvimento sustentável é um modelo social e econômico de organização com base na visão equitativa e participativa do desenvolvimento e dos recursos naturais, como fundamentos para a atividade econômica.

Cabe advertir, no entanto, que o conhecimento dos agricultores sobre sustentabilidade e sobre o manejo sustentável dos solos na área não foram aqui aprofundados, porém, os resultados da pesquisa podem contribuir para esclarecê-los oportunamente e assim propor medidas mitigadoras, com o fim de amenizar os efeitos negativos da atividade na área.

Lal (2005) estima que 33% dos solos cultivados do planeta estão degradados em grande parte pela erosão e desertificação. Os danos ambientais que atualmente existem e que são fruto da ação do homem, em parte considerável nasceram de concepções equivocadas sobre o que é e como reage o solo (RUELLAN, 1988). Estudos realizados na área de ensino do solo por Carvalho e Oliveira (1999) e Lima (1999b), por exemplo, confirmam esta falta de informação básica sobre este recurso pelos pequenos agricultores. Para estes autores, o ensino da ciência do solo deveria ser repassado para toda a família, já que as pequenas propriedades são exploradas normalmente de maneira familiar.

Em decorrência da problemática relatada e da hipótese formulada, o objetivo geral da pesquisa foi avaliar as características macro e micromorfológicas, químicas e físico-hídricas dos solos integrantes do sistema pedológico representativo da região de Mar de Morros, constituída de Latossolo – Latossolo Câmbico – Gleissolo, no município de Alfredo Vasconcelos, MG, no Sítio São Sebastião, em topossequência contemplando a área de cultivo de morango fertirrigado, de modo a identificar as causas do decrescente desempenho da cultura na área, associados aos problemas erosivos, de contaminação e de assoreamento, de modo a subsidiar medidas efetivas de manejo, visando alcançar a sustentabilidade agrícola.

A área específica da pesquisa situada no Sítio São Sebastião, município de Alfredo Vasconcelos, MG, foi selecionada por ser considerada como representativa da

problemática relatada e por ter permitido e apoiado o desenvolvimento da pesquisa, de interesse também da associação dos produtores locais. Nele, uma encosta do interflúvio que configura um morro típico do Mar de Morros foi selecionada como área específica para o levantamento da topossequência objeto desta tese.

Especificamente, propôs-se:

- identificar os solos cultivados com morango em uma topossequência representativa do relevo de Mar de Morros na área selecionada;

- caracterizar o comportamento morfológico, físico, químico e físico-hídrico dos solos da vertente da topossequência e confrontá-lo com o manejo adotado;

A preocupação em consolidar uma dinâmica de ensino e pesquisa a partir de uma perspectiva interdisciplinar, enfatiza a importância dos processos sociais que determinam as formas de apropriação da natureza e suas transformações através da participação social na gestão dos recursos ambientais. A ênfase na interdisciplinaridade da análise das questões ambientais deve-se à constatação de que os problemas que afetam e mantém a vida no nosso planeta são de natureza global e que suas causas não podem restringir-se apenas aos fatores estritamente biológicos, revelando dimensões políticas, econômicas, institucionais, sociais e culturais (JACOBI, 2007).

A presente tese está organizada em capítulos, a seguir desta introdução, em: fundamentação teórica da pesquisa, a caracterização da área de estudo, a metodologia utilizada e os resultados obtidos e discussão, os quais se consubstanciam nos capítulos de caracterização do comportamento morfológico, químico e físico-hídrico da topossequência dos solos de área cultivada com morango em Alfredo Vasconcelos, MG. Ao final seguem as conclusões, as recomendações e as referências bibliográficas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA PESQUISA

2.1. Bases conceituais

Para Abreu et al. (2003), o solo, por ser corpo tridimensional formado pela ação de vários fatores e processos biogeoambientais, apresenta variação de suas características na paisagem. Pode-se também considerar que são, em seu conjunto, a parte superficial da crosta terrestre emersa, interrompida apenas por afloramentos rochosos e corpos líquidos, que pode ser denominada de Pedosfera. O solo é recurso natural não renovável e, assim, perder solo, por qualquer razão, é perder a chance de recuperar o equilíbrio de dado ecossistema.

De acordo com Penteado (1974), a interação entre a geomorfologia, a geologia e a pedologia é necessária ao entendimento da relação entre os potenciais de uso e as demandas, visando o manejo das terras, pois, resumidamente, relevo terrestre é sustentado pelo substrato rochoso, que, alterado, constitui o meio no qual os solos se desenvolvem (LEPSCH, 2011). Por integrar ecoagrossistemas e ter comportamento sistêmico, isto é, relacionado a todas as variáveis abióticas, bióticas e antrópicas responsáveis por sua formação e evolução, seu estudo, em perspectiva ambiental é, frequentemente, multi-interdisciplinar.

Para melhor compreender suas funções, a abordagem interdisciplinar integrando Ciências Exatas, Sociais e Humanas (RIST; GUEBAS, 2006), traz a possibilidade de fortalecimento de preceitos éticos da Ciência do Solo e seu ensino, o que permite a potencialização das ações de extensão rural. Assim, a Ciência do Solo pode oferecer sólido contraponto ao modelo de desenvolvimento ora vigente, cujo "caráter exponencial não cria apenas um processo multiforme de degradação da biosfera, mas, também, um processo multiforme de degradação da Psicosfera, ou seja, de nossas vidas mentais, afetivas, morais, e tudo isto tem consequências em cadeia e em anel" (MORIN; KERN, 2011, p. 188).

De uma maneira geral, as atividades humanas afetam todos os componentes do ambiente (ecossistemas), já que os fatores ambientais são interligados nos sistemas ambientais, mas os limites de ação desses fatores são bastante difusos. Por seu lado, o solo está tão fortemente relacionado com a paisagem onde se situa e a influência de tal modo que as causas de degradação do meio ambiente passam pela aptidão agrícola da

paisagem e a ação humana na exploração da terra, que, de maneira inadequada, causa sérios danos aos ecossistemas. Assim, algumas das ações que levam à degradação são o desmatamento, os cultivos de solo em áreas impróprias e o uso excessivo e indiscriminado de agrotóxicos, fertilizantes e de água.

No que se refere às relações do solo com o relevo em uma paisagem, Resende et al. (2007) lembram que ele está intimamente ligado à gênese dos solos. Por isto, é de se esperar que na paisagem brasileira, onde os processos de pedogênese são bastante ativos em virtude do intenso intemperismo desencadeado pela elevada umidade e temperatura, ele tenha papel controlador do tempo de exposição aos agentes biogeoclimáticos. Pode-se considerar, então, que o estudo do solo na avaliação do impacto ambiental, além de ser exigência da legislação, é de suma importância no que diz respeito ao entendimento global do ambiente, ou seja, de seus atributos e comportamentos, de maneira que permita compreender o funcionamento atual e predizer comportamentos futuros.

A paisagem é a expressão espaço-temporal da atuação de fatores representados pelo clima, pelo solo, pelos organismos e pelas atividades socioeconômicas (adaptado de RESENDE et al., 2002). Segundo Pennock e Veldkamp (2006), a paisagem é a combinação entre as feições da superfície da terra e os componentes de subsuperfície (material de origem). São comuns na realidade brasileira, as descontinuidades de paisagem, as quais podem ser correlacionadas, em muitos casos, a uma descontinuidade nas classes de solos no seu interior, relacionadas aos aspectos do seu relevo. O relevo está intimamente ligado ao fator tempo na gênese dos solos; é, portanto, de se esperar que na paisagem brasileira, onde os processos de pedogênese são bastante ativos, o relevo desempenhe um papel crítico como controlador do tempo de expressão aos agentes bioclimáticos (RESENDE et al., 2002).

Portanto, estudar as relações entre o relevo e os solos pode contribuir significativamente para entender, sobretudo, os fluxos hídricos que resultam da distribuição de horizontes ao longo dos interflúvios e suas consequências, podendo-se admitir que são o motor e a resultante desta distribuição, a qual morfologicamente contêm características próprias que podem ser explicadas e ajudam a explicar as trajetórias e a hidráulica dos fluxos hídricos. Assim, é importante compreender que os processos de formação dos solos (adição, remoção, translocação e transformação) correspondem aos fenômenos físicos, químicos e biológicos que atuam no material de origem, motivam progressivas transformações e determinam as características

morfológicas, físicas, hídricas, químicas e mineralógicas dos solos formados, tanto vertical, como lateralmente na paisagem. Sendo assim, é imprescindível reconhecer que os solos são, na verdade, produtos de horizontes tridimensionais (3D) que se superpõem, justapõem e mesmo superimpõem na paisagem e cuja dinâmica se dá no tempo (4D); portanto, o perfil de solo é nada mais que um corte vertical que expõe apenas parte desta mega (paisagem) e macroestrutura (horizontes, agregados), em dado momento, e que se revelam, também, na microestrutura (visível ao microscópio óptico) (RUELLAN; DOSSO, 1993).

Assim, a importância de se estudar as variações nos atributos morfológicos, químicos, físicos, físico-hídricos e biológicos do solo, da paisagem ao microscópio, é importante para identificar o que acontece em relação aos processos de drenagem, erosão e deposição. Neste sentido, as relações solo-paisagem são ferramentas importantes para estudos detalhados dos atributos do solo, mapeamento e levantamento de solos, visto que a associação entre os atributos topográficos (a inclinação e a declividade do terreno, a orientação e a curvatura da superfície terrestre) e as classes de solos, é potencialmente útil para melhorar a predição da própria ocorrência dos tipos de solos nas paisagens (CAMPOS et al., 2006), além de contribuir para a predição de comportamentos diante dos usos e manejos (CASTRO, 2008).

Salomão (1999), ao estudar o comportamento físico-hídrico de duas topossequências, ou sucessões laterais de solos, em área de cerrado convertido à agropecuária, identificou predomínio de fluxos verticais na sucessão Latossolo-Gleissolo e de fluxos laterais Latossolo-Argissolo-Gleissolo. Estes foram explicados pela presença de contraste morfológico, sobretudo textural e poroso entre os horizontes A, E e Bt dos Argissolos, conduzido à elevada e reduzida condutividade hidráulica saturada, respectivamente ocasionando a formação de lençol suspenso na transição A, E e Bt.

Para esse tipo de sucessão lateral de solos, identificou micromorfologicamente presença importante de porosidade cavitária (complexa), progressivamente coalescente por exportação de finos, para baixo e para jusante. Essa dinâmica é produzida pela hidromorfia associada ao lençol suspenso que promove o desmonte dos agregados devido dissociação entre argila e ferro, seu complexante, confirmando sistema similar estudado por Castro (1999).

Marinho et al. (2006), estudando sucessão lateral de Neossolos Quartzarênicos órticos e hidromórficos, também identificaram presença de convergência de fluxos

laterais superficiais com ascensão do freático a jusante no verão chuvoso, promovendo a instalação de voçorocas logo após o desmatamento do fundo de vale.

Pelo exposto pode-se compreender porque a causa das variações do relevo estaria influenciando a produtividade das culturas, o que não é novo na Ciência do Solo, entretanto, tem sido bastante desconsiderado (LEPSCH et al., 1997; RUELLAN, 2005; QUEIROZ NETO, 2000, 2002, 2011). De maneira geral, isto merece destaque pelo fato de o relevo influenciar na quantidade de água incorporada ao solo por infiltração e escoamento (fluxo lateral) associado ao declive. Por outro lado, a água incorporada ao solo acelera as reações químicas e promove o transporte de materiais em solução, podendo ser lixiviados, e em suspensão, podendo ser sedimentados em áreas de baixadas a jusante e, às vezes, a quilômetros de distância da área-fonte.

Mas, para esta compreensão é importante lembrar as mudanças na base conceitual de solo e de métodos de avaliação de seus comportamentos/funcionamentos, como as de levantamentos bidimensionais ou em topossequência, expondo sucessões laterais de solo ou sistemas pedológicos, mudanças essas relativamente recentes, iniciadas na década de 1930 e, sobretudo, na de 1960-70 em diante, e que permitiram o conhecimento do solo como cobertura quadridimensional (três dimensões espaciais ou 3D e uma temporal), cuja distribuição espacial (3D) varia na paisagem (BOULET, 1988; RUELLAN; DOSSO, 1993; SALOMÃO, 1999; CASTRO; SALOMÃO, 2000; QUEIROZ NETO, 2001; RUELLAN, 2005; QUEIROZ NETO, 2011, dentre outros).

Nesse sentido, o comportamento atual dos solos depende de sua origem, evolução, uso e manejo, que frequentemente constituem (pedo) ambientes distintos se o relevo variar para diferentes formas, declives, altitudes e alturas (VIDAL-TORRADO et al., 2006). Estes ambientes podem ser entendidos como áreas homogêneas que correspondem à paisagem ou partes dela, isto é, apresentam um tipo dominante de formas e solos associados que suportam e integram um ecossistema, que, na proposta de Castro e Salomão (2000), correspondem aos compartimentos morfopedológicos, os quais contêm os sistemas pedológicos. Estes sistemas se constituem em um conjunto de solos que se sucede em contínuo, do topo à base de um interflúvio, contendo horizontes que se superpõem, justapõem e, às vezes, superimpõem, os quais são o motor e ao mesmo tempo o resultado dos fluxos de matéria e energia, sobretudo no contexto de pequena bacia hidrográfica (SOUBIÈS; CHAUVEL, 1984; RUELLAN, 2005).

Estas ideias baseiam-se no princípio de que os solos recobrem de modo contínuo a superfície da crosta terrestre, sendo interrompidos somente por afloramentos rochosos

e corpos líquidos, constituindo o que se denominada de cobertura pedológica, como já exposto (BOULET, 1988; RUELLAN; DOSSO, 1993; QUEIROZ NETO, 1988a, 2000, 2002, 2011).

As dinâmicas genético-evolutivas no contexto das relações solo x paisagem condicionam a formação de sistema pedológico (QUEIROZ NETO, 2000, 2002, 2011). Há dois tipos gerais de sistemas pedológicos reconhecidos até o presente: 1) o de transformação vertical, em que o substrato evolui diretamente do substrato rochoso ao solo superposto, sem grandes variações do topo à base dos interflúvios; e 2) o de transformação lateral, em que independentemente do substrato, horizontes aparecem e desaparecem ao longo das encostas, fruto dos fluxos hídricos superficiais, subsuperficiais e até profundos, tanto verticais, como laterais, e que removem e transportam material em solução, suspensão ou outro, de montante para jusante, podendo até mesmo originar novos horizontes e, consequentemente, solos distintos ao longo do transecto, concordantes ou discordantes da topografia atual. Se concordantes são contemporâneos da própria evolução do modelado do relevo; se discordantes sofreram interrupções de tendências na construção do relevo, seja por movimentos tectônicos ou mudanças climáticas, ou ações antrópicas (BOULET et al., 1984).

Assim, a cobertura pedológica (contínuo de solos na paisagem), constituída internamente por sistemas pedológicos, compõe o corpo natural que tem distribuição espaço-temporal resultante da formação de distintos solos em relação com os processos geomórficos e hidrológicos, que são os principais responsáveis pela variabilidade nos atributos dos horizontes pedológicos (YOUNG; HAMMER, 2000). À seção longitudinal que representa esses sistemas pedológicos dispostos do topo à base dos interflúvios dá-se o nome de topossequência (BOULET, 1988).

Convém lembrar que a importância de estudar os solos em topossequência é porque se trata de uma forma eficaz de levantamento e caracterização morfológica do solo em *continuum* no relevo, o que auxilia na compreensão das condições de drenagem na vertente, dentre outras (QUEIROZ NETO, 2000).

O desenvolvimento rural, concebido como sinônimo de modernização, tem implicações sérias na questão da sustentabilidade, tanto econômica, como social e ambiental, e na agricultura de um modo geral, principalmente, na agricultura familiar. Com o surgimento dos agrotóxicos, por exemplo, muitos dos métodos naturais de controle de pragas e doenças caíram no esquecimento, mas a sua utilização não levou em consideração os possíveis problemas de contaminação do ambiente associados aos

fluxos hídricos laterais relacionados aos sistemas pedológicos e à erosão. Antes denominados de defensivos agrícolas, agrupam diferentes drogas e receberam inúmeras denominações relacionadas a um grupo de substâncias químicas utilizadas no controle de pragas e doenças de plantas (Peres; Moreira, 2003). A cultura do morango, em particular, no município de Alfredo Vasconcelos, MG, segundo relatos de proprietários locais, vem apresentando contaminação com resíduos de agrotóxicos acima do limite máximo permitido pela legislação (Resolução CONAMA 357), e por princípios ativos não autorizados, conforme observado nos programas de monitoramento realizados no Brasil (AMARAL; ALTOÉ, 2005).

Atualmente, o termo agrotóxico inclui inseticidas, fungicidas, herbicidas, fumigantes, algicidas, avicidas, nematicidas, moluscocidas, acaricidas, além de reguladores de crescimento, desfoliantes e dissecantes (SILVA; FAY, 2004). Ao serem carregados pelas águas superficiais, os agrotóxicos passam a fazer parte do ciclo natural da natureza. Cabe refletir sobre as consequências deste manejo no contexto dos sistemas pedológicos, visto que estes são mais adequados para entender os fluxos hídricos, tanto verticalizados, como lateralizados na forma de rotas de fluxos.

Nesse sentido, a remoção e o transporte de substâncias utilizadas no manejo agropecuário das terras correm pelas águas infiltradas, pelo escoamento superficial/subsuperficial das águas pluviais, servidas ou de irrigação, pelo vento e pela drenagem interna dos solos. Para Brigante et al. (2002) e Veiga et al. (2006), os lençóis freáticos subterrâneos podem ser contaminados por agrotóxicos através da lixiviação da água e da erosão dos solos. Esta contaminação também pode ocorrer superficialmente, em virtude da intercomunicabilidade dos sistemas hídricos, atingindo áreas distantes do local de aplicação do agrotóxico. As terras carregadas pelas águas das chuvas levam para os rios, lagoas e barragens, os resíduos deste agrotóxico, além de partículas em suspensão, comprometendo a fauna e a flora aquática, e a qualidade das águas captadas para abastecimento (FERRARI, 1985). Isto passa a ser agravado quando o relevo apresenta elevados declives, como é o caso da área de estudo em Alfredo Vasconcelos, MG. Assim, áreas cultivadas com aplicação de agrotóxicos sujeitas à erosão e em condições de elevados declives podem estar sujeitas à contaminação de solos e águas a jusante das áreas de aplicação. Neste ponto, cabe advertir que se cria um círculo vicioso, em que os solos erodidos consomem mais fertilizantes, que nem sempre conseguem suprir todas as necessidades nutricionais da planta. Plantas mal nutridas se tornam mais

suscetíveis ao ataque de pragas e doenças, o que induz maior consumo de agrotóxicos e assim por diante (EHLERS, 1996).

Em síntese, o uso das terras, além dos demais recursos naturais, sem adequar manejos específicos para cada condição de classe de solo e de relevo, dentre outros aspectos ambientais, tem comprometido seriamente a qualidade ambiental e a vida, sendo que os modelos utilizados de uso e manejo das terras vêm causando situações preocupantes em relação à sustentabilidade (ESPÍNDOLA, 2011). Hoje, portanto, se faz necessária a avaliação dos riscos ambientais, considerando o ciclo de vida de cada produto, e além da ecotoxicidade, a exposição dos organismos nos diferentes compartimentos geoambientais, o que demanda entendimento mais amplo e profundo de como todos os componentes dos ambientes se comportam, em especial os agrotóxicos depois de aplicados e de quais efeitos podem causar aos vários organismos (SPADOTTO, 2006).

Porém, é oportuno lembrar que a solução não está em ensinar sobre perfis de solo aos agricultores, mas há que se informar a eles sobre o papel da topografia e a lateralidade dos horizontes que favorecem os fluxos hídricos e a degradação associada. Ruellan (1988) lembra que o solo é organizado e que o homem pode, por meio do uso e do manejo, transformá-lo, e estas alterações podem ser tanto de ordem estrutural, como de funcionamento. Para este autor, uma das soluções para que esses problemas sejam amenizados é o conhecimento básico do agricultor sobre a origem e evolução dos solos na paisagem, já que são eles que lidam no dia a dia com esse recurso da natureza. Pode-se acrescentar a esta ideia o conhecimento sobre as rotas de fluxos, fruto do escoamento tanto das águas pluviais, como da irrigação.

E igualmente informá-los a respeito de se definir um ponto de equilíbrio entre o desenvolvimento e as práticas ambientais conservacionistas, ideias que vêm sendo preconizadas desde o final da década de 1970, quando representantes das principais nações do mundo estabeleceram os princípios norteadores para o desenvolvimento sustentável (TAUK-TORNISIELO et al., 1995). Sachs (2002) chama a atenção para o fato de que o uso produtivo não precisa prejudicar necessariamente o meio ambiente ou destruir a diversidade. Ele enfatiza que devemos ter consciência de que todas as nossas atividades econômicas estão solidamente fincadas no ambiente natural e que o estudo de sistemas de produção integrada, adaptada às condições locais, deve prosseguir em diferentes escalas de produção, desde a agricultura familiar até os grandes sistemas

comerciais ou agronegócio, pois ambos têm lugar na estratégia de desenvolvimento sustentável.

Avaliar a qualidade de um solo tem sido o tema recorrente entre pesquisadores preocupados com o uso sustentável. Segundo estudos de Goedert e Oliveira (2007), definir e quantificar a qualidade do solo tem sido tarefa difícil, uma vez que ela depende das suas características intrínsecas, de suas interações com o ecossistema e de seu uso para diversos fins. Sob este ponto de vista, alguns usos exigem condições de qualidade, para que a sustentabilidade seja mantida (MELLONI et al., 2008). Neste contexto, segundo Arshad e Coen (1992), a qualidade de um solo também depende do clima e do relevo e, muito mais importante, de pessoas, porque as decisões e ações humanas determinam se um sistema de produção agrícola é ou será sustentável em um determinado solo.

Alinhado com esta abordagem, o presente trabalho estudou o solo em relação aos seus atributos morfológicos (sobretudo estruturais e da porosidade), químicos e físico-hídricos, no contexto de um sistema pedológico, como indicadores das rotas de fluxos hídricos, verticais e laterais, capazes de promover erosão e lixiviação, resultando na diminuição da qualidade do solo e das águas a jusante das áreas de plantio, consequentemente, da sua sustentabilidade, na tentativa de produzir e repassar informações úteis aos produtores familiares.

2.2. O cultivo do morango

O cultivo do morangueiro, segundo estudos históricos, foi iniciado nas civilizações indígenas da América Pré-Colombiana, tanto para a espécie de Fragaria chiloensis, quanto para a Fragaria virginiana (DIAS et al., 2007). No século XIV, várias espécies de Fragaria foram retiradas de seu estado selvagem e cultivadas em jardins europeus, com finalidade ornamental e medicinal. Em 1624, plantas da espécie silvestre F. virginiana, procedentes da América do Norte, foram levadas para a França; assim como em 1714, plantas da espécie F. chiloensis também foram levadas para a Europa. Assim, ocorreu no século XVIII, entre as duas espécies, a hibridização natural, dando origem ao morangueiro cultivado atualmente, *Fragaria x ananas*sa Duch (PASSOS, 1999). A partir daí, o cultivo de morangueiro estendeu-se por quase toda a Europa e Américas, sendo produzido tanto para o consumo in natura, como para a industrialização.

As Figuras 1 a 3 mostram aspectos do morango e segundo Dias et al. (2006), o excesso de folhas deve ser eliminado para melhorar o arejamento entre plantas, tornando o ambiente menos propício à manifestação de fungos, além de aumentar a exposição das inflorescências à ação dos polinizadores, que contribuem para a boa formação dos frutos.

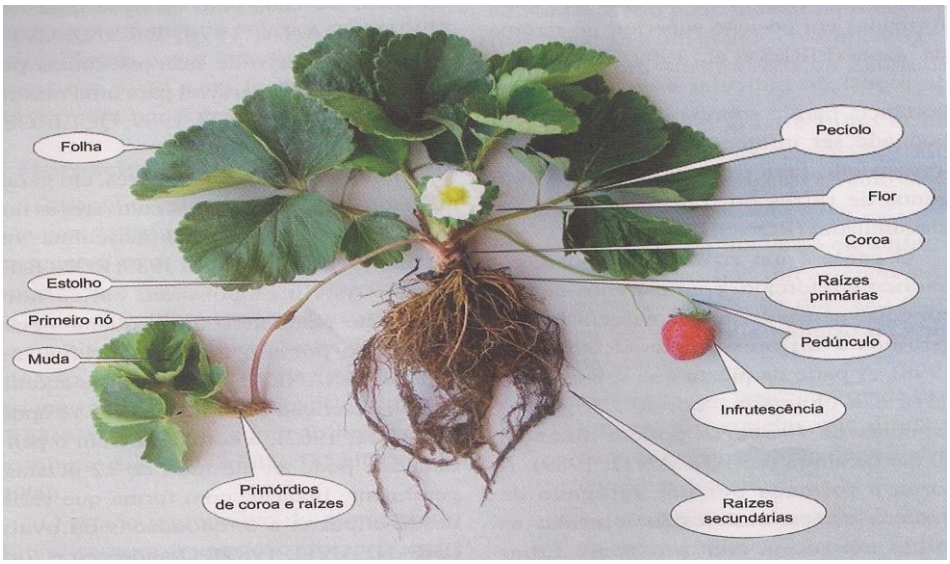


Figura 1 – Planta da espécie *Fragaria x ananassa* Duch.

Fonte: Dias *et al.* (2007). Revista Informe Agropecuário.

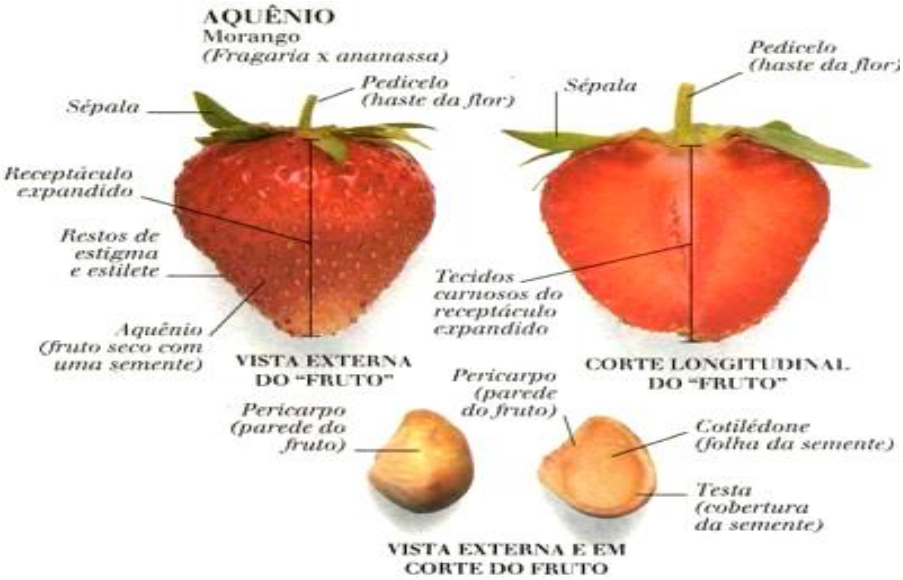


Figura 2 – Fruto do morango.

Fonte: Alexandre Hoffmann (2003). Embrapa Uva e Vinho

Figura 3 – Frutos prontos para a colheita.
Fonte: SILVA et al (2007). Informe Agropecuário

O Brasil, segundo Antunes e Reisser Júnior (2007), ainda não aparece entre os grandes produtores mundiais, mas começa a se destacar, em virtude das condições naturais favoráveis para o cultivo e pela produção em quase todos os meses do ano. Em 2006, o país já produzia cerca de 100.000 t, cultivadas em área próxima a 3.500 ha. No entanto, segundo Madail et al. (2007), esta produção é quase toda voltada para o mercado doméstico, sendo cerca de 70% destinada ao consumo in natura e 30% ao processamento. Nos últimos anos, procurou-se por cultivares que sejam fáceis de manusear (pequenas e eretas), resistente a pragas e doenças, com alta produtividade, tendo frutos grandes, com boa aparência e doçura. Além disto, sabor, tamanho, formato, firmeza, cor da polpa e da epiderme, brilho, teor de vitaminas, teor de sólidos solúveis, acidez e resistência a podridões são características básicas consideradas pelos consumidores em termos de qualidade de frutos (CASTRO, 2002).

Apesar de ser uma cultura muito exigente em tratos culturais e acompanhamento diário durante o ciclo produtivo de cerca de 60 dias, a cultura, segundo Castelane (1993), Ronque (1998) e Lima (1999a), apresenta rendimento que pode chegar a 224%, quando comparados com outras culturas, como, por exemplo, o milho, cujo rendimento é de 72%, independentemente da finalidade a que se destina, para o consumo in natura ou para processamento na indústria alimentícia.

No estado de Minas Gerais, o morangueiro foi introduzido no município de Cambuí, no Vale do Peixe, por volta de 1958. Hoje, ocorre na maioria dos municípios do extremo sul do Estado, na região da Mantiqueira, sendo Pouso Alegre e Estiva os

maiores produtores, e no Campo das Vertentes, em Barbacena e municípios vizinhos (ANTUNES; DUARTE FILHO, 2005). Destes municípios, estão Ressaquinha, Antônio Carlos e, principalmente, Alfredo Vasconcelos, sendo este escolhido para o estudo por ser local de maior expressão produtiva, dentre outras razões já apontadas anteriormente.

A Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do estado de Minas Gerais (SEAPA-MG) aponta que, nos últimos 18 anos, a área cultivada com morango saltou de 172 ha para 1.790 ha no Estado. Segundo o coordenador estadual de Olericultura da Emater-MG, Sérgio Pereira de Carvalho, a atividade, em todas as suas cadeias, emprega mais de 23.000 pessoas e os 4.700 produtores mineiros tiveram, em 2007, uma receita de R$ 200 milhões, correspondendo a 59% da safra nacional.

No país, a produção total do morango alcança 133.000 t e é plantado em 3.718 ha, cuja destinação, cerca de 60% é consumida em São Paulo e 80% no Rio de Janeiro (EMATER-MG, 2014, escritório de Pouso Alegre, MG). Em todo o Estado, que é o maior produtor de morangos do País, a área cultivada em 2013, foi de 1.900 ha e a produção alcançou cerca de 97.000 t. Cerca de 5.000 produtores mantêm as lavouras, com 25.000 trabalhadores diretos e indiretos. O sul de Minas respondeu por 90% da área plantada no Estado (FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS – SISTEMA FAEMG, 2014).

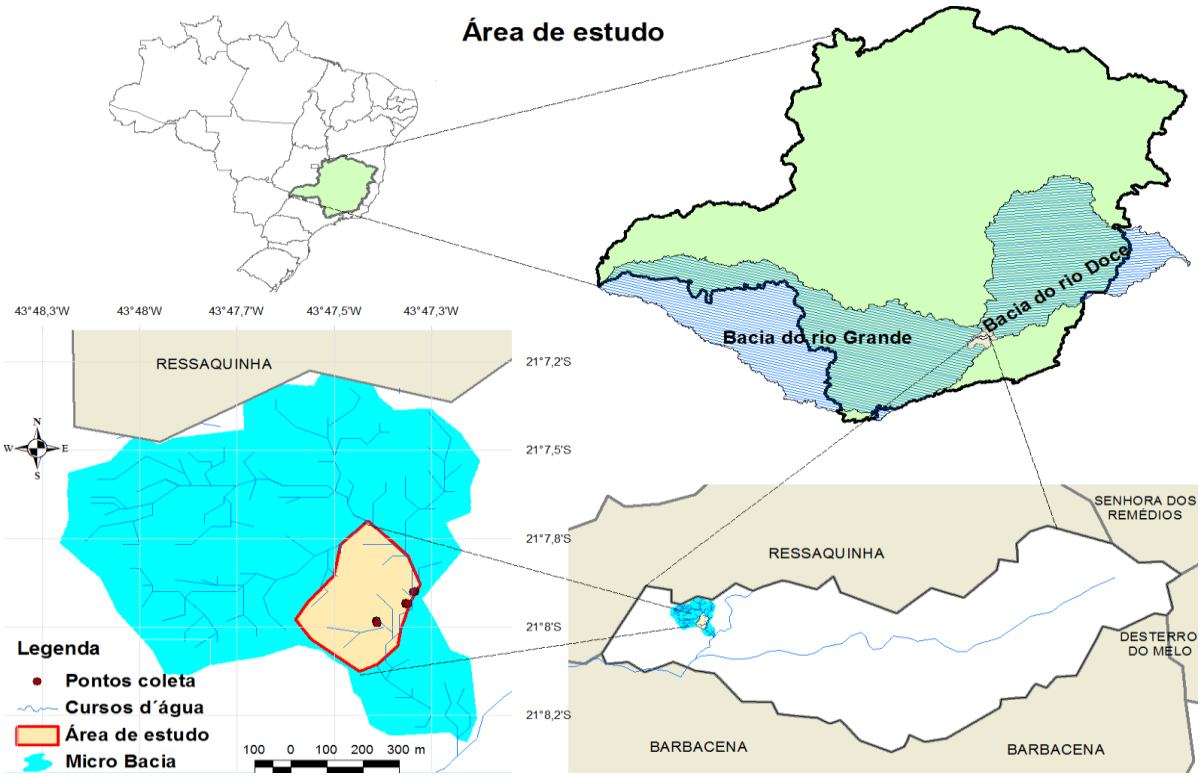
Recentemente, a Epamig introduziu a cultura de morango no norte de Minas e no Vale do Jequitinhonha, no âmbito da agricultura familiar, como mais uma fonte de renda para essas famílias. Estudos desenvolvidos no Centro Tecnológico do Norte de Minas (CTNM), da Epamig, confirmaram o potencial da fruta e indicaram que ela pode se tornar uma opção lucrativa para a região (FAGUNDES, 2005). Some-se a isto que as condições ambientais locais podem diminuir a incidência de doenças e, com isto, reduzir as aplicações de defensivos agrícolas, melhorando a qualidade do morango ofertado aos consumidores (DIAS et al., 2006; LEITE; DIAS, 2006).

Sobre as dificuldades que o cultivo de morango ainda enfrenta, a Emater-MG afirma que é preciso: i) avançar nos trabalhos de redução do uso de agrotóxico nas lavouras; ii) incentivar a agregação de valor do morango, como, por exemplo, adotar o congelamento da polpa para não deixar o produto faltar no mercado em épocas de baixa produção; e iii) melhorar a imagem da fruta junto ao público consumidor, pois “O morango ainda é muito associado à contaminação por agrotóxico” (CARVALHO, 2011). A produção brasileira sequer figura entre os dez maiores produtores mundiais da fruta, mas os próprios números do setor carecem de exatidão.

3. A ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização e caracterização geral da área

A área de estudo situa-se na mesorregião do Campo das Vertentes, sudeste do estado de Minas Gerais, na microrregião de Barbacena (Figuras 4 e 5) e dista 8 km de Barbacena, 110 de Juiz de Fora e 160 de Belo Horizonte. Seu território abrange 131 km2 (IBGE, 2000) e suas coordenadas geográficas são: latitude: 21° 8’ 16” S e longitude: 43° 45’ 52” W. Apresenta 9,78% de área urbana e 90,22% de área rural, cuja população é estimada em 6.075 habitantes (IBGE, 2013). Localiza-se às margens da rodovia BR-040 (Rodovia JK – Rio/Brasília), que atravessa o município de norte a sul, apresentando no quilômetro 690 o acesso principal à sede municipal.



Elaborada por Roselir Silva, 2013.

Figura 4 – Localização da área de estudos, município de Alfredo Vasconcelos, MG.

Foto: Marcelo Zózimo da Silva, 2013.

Figura 5 – Foto da área em estudo sendo preparada para plantio.

Ao norte, limita-se com o município de Ressaquinha; ao sul, com Barbacena; a leste, com Desterro do Melo e Senhora dos Remédios. Ainda a leste, na divisa com o município de Senhora dos Remédios, encontra-se o Morro Queimado, ponto culminante do município com 1.370 m de altitude, onde se encontram as nascentes do Ribeirão Alberto Dias, afluente do Rio das Mortes, que percorre o município por 34,55 km até a divisa tríplice entre Barbacena e Ressaquinha, totalizando sua rede hídrica municipal em 304,55 km. A área é drenada por rios que pertencem à bacia hidrográfica do alto Rio Grande. Apesar do potencial, os rios dessas bacias hidrográficas ainda são pouco utilizados para irrigação na Zona Campos das Vertentes (NAIME et al., 2006). Os rios dos municípios da referida microrregião de Barbacena deságuam no Rio das Mortes, formando a Unidade de Planejamento da Bacia dos Recursos Hídricos GD2 (IGAM) e este, por sua vez, no Rio Grande.

Segundo Fernandes (2010), esta morfologia é a mais expressiva em Minas Gerais, sobretudo nas regiões mais acidentadas. As Figuras 6 e 7 mostram aspectos da cultura do morango.

Foto: Marcelo Zózimo da Silva, 2013.

Figura 6 – Canteiro de morango no Sitio São Sebastião, área estudada.

Fotos: Marcelo Zózimo da Silva, 20

Figura 7 – Morangos embalados à esquerda e área cultivada à direita.

A produção de morangos triplicou nos últimos anos, uma vez que encontrou perfeitas condições de clima, topografia, luminosidade e altitude. Anualmente, são plantados mais de 2.000.000 de plantas de morangueiro, o fruto e a colheita se estende pelo menos por cinco meses, segundo a Prefeitura Municipal de Alfredo Vasconcelos. De acordo com a CEASA-MG, o município é o segundo maior polo de produção de morangos em Minas e continua crescendo.

Desde 1995 é realizada entre os meses de agosto e setembro, a tradicional Festival de Morangos, Rosas e Flores, atraindo milhares de pessoas. A escolha desta área teve a preferência por se tratar do município de maior expressão produtiva no Estado de Minas Gerais.

A origem do município é antiga, iniciando-se como um povoado em março de 1895 nas terras da Fazenda do Ribeirão de Alberto Dias, pertencente ao distrito da cidade de Barbacena e depois foi transferido para o então florescente povoado de São José de Ressaquinha, passando a denominar-se São José do Ribeirão de Alberto Dias. Em 1896, com a inauguração da Estação de Ferro da Central do Brasil, antiga Estrada de Ferro D. Pedro II, o povoado foi elevado à categoria de Vila de Alfredo Vasconcelos, mas ainda integrante do distrito de Ressaquinha, em homenagem ao engenheiro Alfredo Barros de Vasconcelos, morto sob um bloco de pedras quando inspecionava um túnel na ferrovia. Mas, foi graças ao processo industrial iniciado por Pedro Bianchetti, a alma econômica do lugar que foi elevada à categoria de distrito do já então município de Ressaquinha. Finalmente, em 1992, por força da Lei Estadual no 10.704, o distrito de Alfredo Vasconcelos conseguiu sua emancipação político-administrativa.

3.2. Clima

Os dados foram coletados nas estações do 5o Distrito de Meteorologia (DISME), nos municípios de Barbacena, Lavras, São João Del Rei e Santos Dumont, e complementados pelos dados coletados nos postos da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). A caracterização climática inclui a classificação do clima segundo Köppen e Thornthwaite e os balanços hídricos calculados pelo método de Thornthwaite e Mather (1955).

O regime pluviométrico da região caracteriza-se por um período chuvoso de seis meses, distribuído de outubro a março. A precipitação média anual varia entre 1.200 e 1.600 mm, coincidindo o período chuvoso com o período mais quente do ano (primavera-verão). O trimestre mais chuvoso, dezembro-janeiro-fevereiro, com precipitações médias de 750 mm, é responsável por cerca de 50% da precipitação total anual, enquanto o período de menor precipitação prolonga-se por cerca de seis meses, distribuído de abril a setembro, com precipitação média de 123 mm, sendo junho-julho-agosto com média de 43 mm de chuva.

O regime térmico é caracterizado por temperatura média anual entre 17,4 e 20,5 °C. Janeiro e fevereiro são os meses mais quentes do ano, com temperaturas médias variando de 19,9 a 22,9 °C e julho o mês mais frio, com temperaturas médias variando de 14,4 e 16,8 °C (NAIME et al., 2006).

A zona climática indica presença de dois tipos climáticos: 1) o Cwa – clima de inverno seco e verão chuvoso. A temperatura do mês mais frio é inferior a 18 ºC e a do mês mais quente superior a 22 ºC. O mês mais seco tem precipitação inferior à décima parte da precipitação do mês mais chuvoso. (Este tipo de clima predomina na Zona Campo das Vertentes; e 2) o Cwb – clima temperado chuvoso (mesotérmico), também chamado subtropical de altitude. A temperatura do mês mais frio é inferior a 18º C e a do mês mais quente é inferior a 22º C, ocorrendo principalmente em região de elevada altitude (NAIME et al., 2006).

3.3. Geologia e Geomorfologia

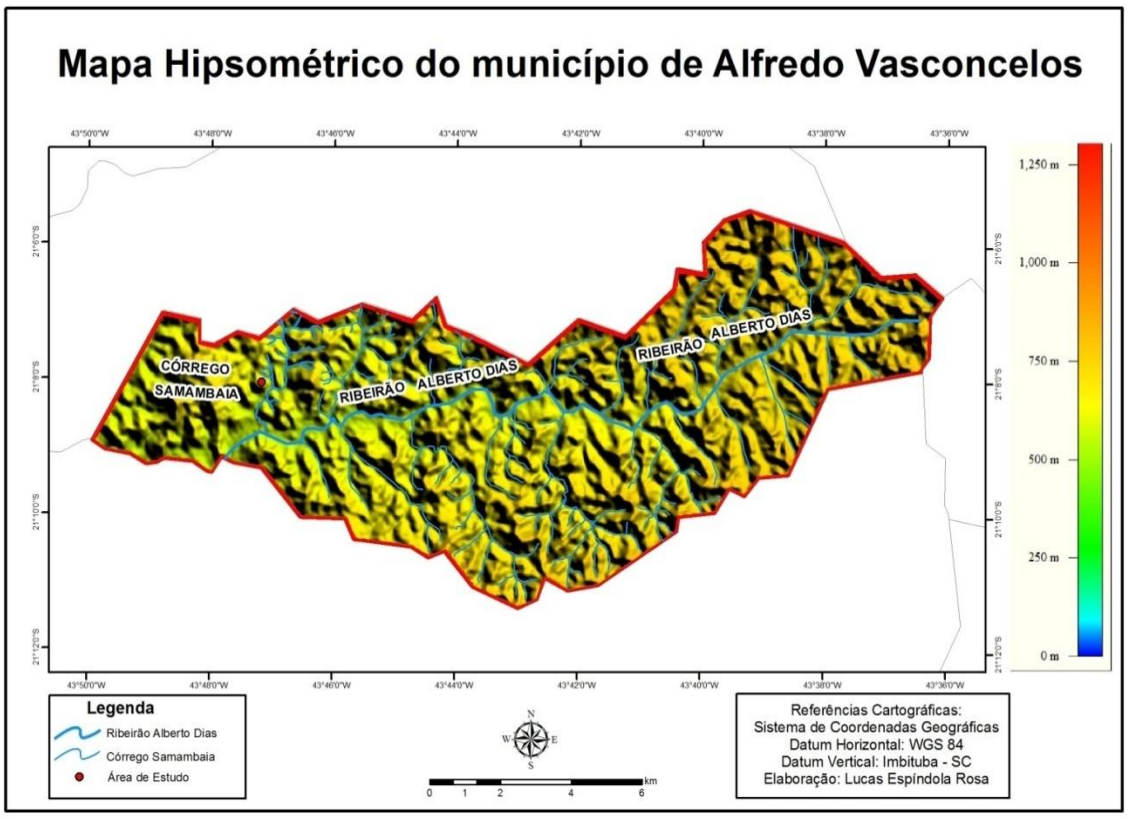
De acordo com Naime et al. (2006), a litologia da região é dominada por rochas gnáissico-graníticas do embasamento cristalino Pré-Cambriano. O Terço-Quaternário corresponde às Coberturas Indiferenciadas e ao Detrito-Lateríticas de alguns topos e os sedimentos do Quaternário associados aos aluviões dos fundos de vale. A cronologia é do Complexo Barbacena, muito antiga (Figura 8).

Em termos de relevo situa-se no domínio morfoclimático do Mar de Morros, na região Campo das Vertentes. A expressão “Mar de Morros” é uma denominação criada pelo geógrafo francês Pierre Deffontaines e consagrada pelo geógrafo brasileiro Aziz Ab’Saber, que se utilizou dessa expressão para designar o relevo das colinas dissecadas do Planalto Atlântico. Diz-se, também, que este relevo configura formas que lembram “meias-laranjas”, em virtude do formato arredondado dos morros (colinas intermontanas), de formas convexas e elevados declives, constituindo conjunto predominantemente montanhoso, responsável por, aproximadamente, 48% do total da região. O relevo ondulado ocupa 39% da área total da região, enquanto os outros 13% são ocupados por planícies (Figuras 9 e 10).

Quando analisada a capacidade de uso das terras, constata-se que os declives não são favoráveis a culturas intensivas de grãos, pois impõem restrições à mecanização, podendo ser trabalhada apenas em curvas de nível e por máquinas simples de tração animal ou em algumas partes, por tratores de esteira.

Elaborado por Lucas Espíndola Rosa, 2012.

Figura 8 – Mapa litológico de Alfredo Vasconcelos, MG.



Elaborado por Lucas Espíndola, 2012.

Figura 9 – Mapa da hipsometria do município de Alfredo Vasconcelos, MG.

Foto: Marcelo Zózimo da Silva, 2012.

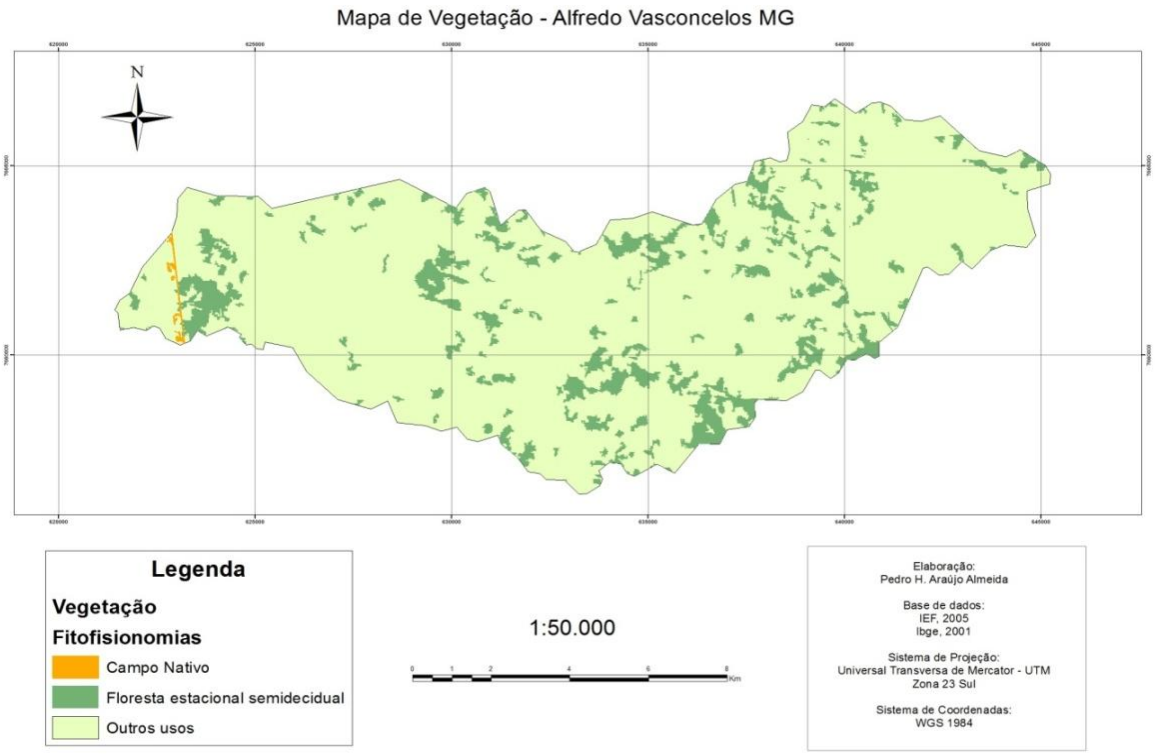
Figura 10 – Vista panorâmica da paisagem da área de estudo com pastagem. Terço inferior da encosta com pastagem, mata ciliar e reflorestamento ao fundo.

3.4. Cobertura vegetal e uso do solo

A área em estudo apresenta três tipos de cobertura vegetal (Figura 11), a saber, em ordem de predominância: Mata Atlântica, Cerrado, Campo Cerrado e Campo Rupestre de Altitude (BARUQUI *et al*., 2006).

O Cerrado aparece em manchas de Campo Cerrado, quase sempre nos terrenos ondulados ou planos, em dorsos, encostas e bordas dos terrenos acidentados, mais frequentes nos Campos das Vertentes. Os Campos Rupestres de Altitude situam-se nos níveis superiores das serras cujas altitudes são variáveis, em geral, sempre acima de 1.000 m. Possuem fisionomia própria e ocorrência de espécies peculiares, inclusive gêneros.

O tipo de vegetação dominante é transição Mata Atlântica e Cerrado Tropical subcaducifólio (MARQUES *et al*., 2002).



Elaboração: Pedro H. Almeida, 2012.

Figura 11 – Mapa de vegetação de Alfredo Vasconcelos, MG.

3.5. O manejo da cultura do morango em Alfredo Vasconcelos, MG

A importância da cultura do morango para este município é tão evidente que constituíram a Cooperativa Agropecuária de Alfredo Vasconcelos (COOPRAV) para dar suporte comercial aos cooperados e, às vezes, aos não cooperados. Além disto, a Festa do Morango e das Flores movimenta a cidade durante três dias, em agosto/setembro, trazendo benefícios à população, divisas ao município e, principalmente, aos produtores de morango. Este evento promove a divulgação das atividades de produção de morango *in natura* e também para indústria no município. Em Alfredo Vasconcelos, os terrenos utilizados para a produção de morangos, na sua grande maioria, são alugados. Estima-se que 70% da área cultivada seja alugada. Em virtude da falta de mão de obra local, a forma de produção mais utilizada é a meia, ou seja, a produção em parceria (meeiro).

Atualmente, o produtor não consegue sobreviver sem a COOPRAV, porque a produção individualizada não consegue atender ao mercado consumidor, ficando o produtor nas mãos do intermediarista, que fica com o lucro do produtor,

descapitalizando-o e levando-o à insolvência e ao abandono da agricultura, partindo para os grandes centros em busca de emprego. A cooperativa surgiu como um freio e contrapeso no comércio regional, em especial quanto à prática de preços.

A fruta se adaptou bem ao clima ameno da região de Alfredo Vasconcelos, com isto cerca de 80% da população sobrevive da atividade agrícola, o que, juntamente com a participação da produção no Estado e a qualidade da fruta, torna a cidade referência na produção de morangos. Com tanta atividade, a COOPRAV, que reúne agricultores locais, faturou em 2012 cerca de R$ 207 mil por mês (AGÊNCIA SEBRAE-MG, 2013).

A importância do morango para o município é fundamental para movimentar a sua economia. Segundo Renivaldo Bageto, gerente de vendas e diretor financeiro da COOPRAV, o município é o segundo maior produtor do estado de Minas Gerais, ficando atrás somente de Pouso Alegre e Estiva, na região do sul de Minas. Informou ainda que foram comercializadas 700 mil caixas em 2013, com faturamento anual de cerca de R$7,5 milhões (COOPRAV, 2014). Toda a agricultura praticada no município está diretamente relacionada com a produção de morangos e com a agricultura familiar. A Festa do Morango e Flores de Alfredo Vasconcelos é hoje de importância fundamental e de referência no município, já fazendo parte do calendário festivo de Minas Gerais.

No que tange ao manejo utilizado de irrigação com fertilizantes para a cultura do morangueiro, as exigências e os cuidados com o monitoramento desta operação são de importância fundamental para o sucesso de todo o processo produtivo. Por ser uma fruta muito apreciada pelos consumidores, principalmente por sua coloração vermelho-brilhante, pelo seu odor e sabor e por ser rica em antocianinas e flavonoides, conhecidos como antioxidantes, o morango é uma cultura muito exigente em nutrientes. A deficiência de determinado nutriente compromete a qualidade presente na fruta. Assim, a adubação é um dos principais fatores para a obtenção de uma boa produtividade e qualidade na cultura do morango. Para isto, é preciso fazer o monitoramento da fertilidade do solo e a avaliação do estado nutricional de planta para que não haja comprometimento das qualidades nutricionais e propriedades organolépticas do morango.

No preparo do solo para o plantio consta a amostragem da área para análise química de fertilidade e, havendo necessidade, aplica-se calcário incorporando-o por meio de aração e gradagem. Após um período em torno de 40 dias, inicia-se o preparo

dos canteiros, elevando-os em 25 a 40 cm de altura por intermédio de encanteirador acoplado a micro trator. Os canteiros são espaçados entre si por 40 cm de distância.

Visando a nutrição mineral da planta, na cultura do morangueiro, o sistema mais utilizado é a fertirrigação, que consiste na aplicação de fertilizantes via água de irrigação por gotejamento e é praticada durante todo ciclo da cultura. Acrescentam-se materiais orgânicos humificados com os fertilizantes minerais, resultando em maior disponibilização dos nutrientes. Antes do plantio é realizado o tratamento das mudas com estimulante enraizador junto com fungo do gênero *Trichoderma*, que apresenta largo espectro de atividades contra fitopatógenos causadores de doenças no morangueiro. Após estas operações, colocam-se duas fitas com cinco gotejadores por metro de fita, com distância entre eles de 20 cm. Após a realização desta etapa é colocado o *mulching* sobre os canteiros. A preferência é pelo *mulching* sob um filme plástico de cor preta na face interna e branca na face externa, que objetiva proteger os frutos do contato com o solo, manter a umidade dos canteiros, além de reduzir a incidência de plantas daninhas nos canteiros. Em seguida, são plantadas as mudas no espaçamento de 35 cm entre elas com duas fileiras. Após o plantio, em torno de 40 dias, é feita nova adubação, via fertirrigação, com um formulado contendo 13% de nitrogênio, 40% de fósforo, 13% de potássio, além de 0,07% de ferro, 0,025% de boro, 0,01% de cobre, 0,04% de manganês, 0,004% de molibdênio e 0,025% de zinco, na dosagem de 20 g para 1.000 plantas, duas vezes por semana. É aplicado um formulado contendo 19% de cálcio e 15,5% de nitrogênio, com 5 g para 1.000 plantas, por todo ciclo da cultura. Seguindo com as adubações, 45 dias após o plantio faz-se mais uma adubação contendo 52% de fósforo e 34% de potássio, na dosagem de 20 g para 1.000 plantas, duas vezes por semana. Depois de 60 dias após o plantio, aplica-se novamente, 2 litros para cada 1.000 plantas de fertilizante organomineral fluido para solo, totalmente solúvel em água, produzido com fertilizantes minerais solúveis e matéria orgânica resultante de processo de fermentação controlada.

Este manejo de adubações através da irrigação por gotejamento é utilizado durante todo o ciclo da cultura, podendo ser aumentado ou diminuído conforme as necessidades apresentadas pelas plantas. Para o sistema de fertirrigação na área estudada, existem três filtros, com a finalidade de neutralizar sujeiras que venham na água, sendo muito importante um bom funcionamento do sistema de irrigação, para suprir com água e fertilizantes 85.000 plantas de morango.

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

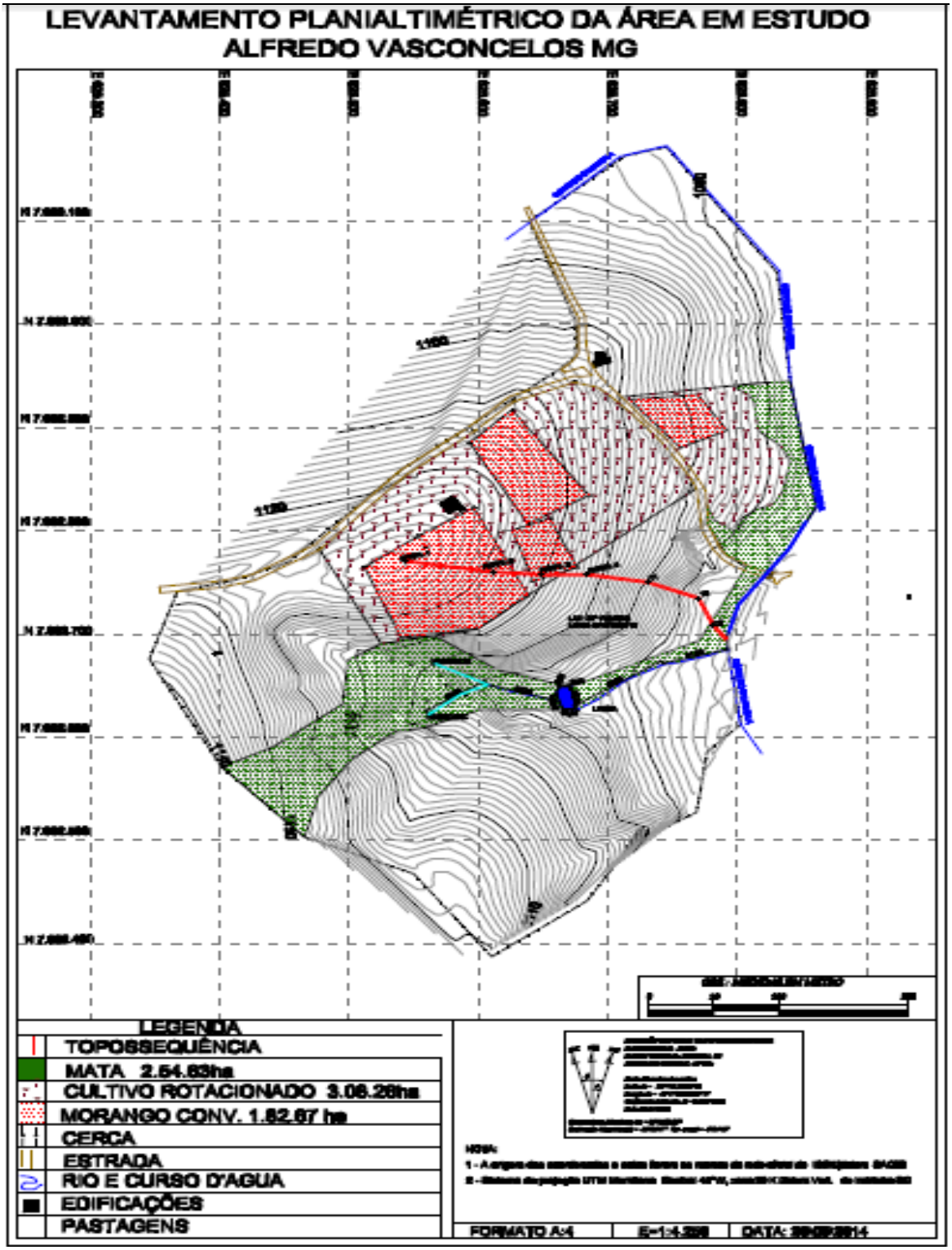
4.1. Seleção da área estudada

A seleção da área específica deste estudo -Sítio São Sebastião- foi realizada com base nos mapas apresentados no item anterior e, principalmente, a partir de observações *in loco* das variações das características geomorfológicas e pedológicas da região, bem como por informações obtidas junto ao presidente da Cooperativa Agropecuária de Alfredo Vasconcelos – COOPRAV, sobre o uso e manejo de solos realizados na sua propriedade e nas propriedades de todos os cooperados. Estas visitas e conversas levaram a um conjunto de critérios, que priorizaram área representativa de: a) relevo acidentado; b) presença de cultivo de morango em sistema de agricultura familiar; e c) vulnerabilidade à degradação do solo, característica marcante da região, em virtude da combinação, entre outros fatores, do relevo forte a forte ondulado, com as práticas de manejo incorretas e o uso indiscriminado de fertilizantes e agrotóxicos.

Optou-se pela área específica do Sitio São Sebastião, localizada no município de Alfredo Vasconcelos, MG, onde foi encontrada a topossequência estudada, sua vegetação original era a de Floresta Estacional Semidecídua (Mata Atlântica), em transição para o Cerrado; do Domínio morfoclimático dos Mares de Morros, típico da região (AB'SABER, 2003); e os solos representativos, Latossolos Vermelho-Amarelos, todos alterados pelo desmatamento e uso com hortifruticultura e pastagens.

Nesta área foi selecionada a vertente cultivada com morango fertirrigado, onde se procedeu ao levantamento planialtimétrico (Figura 12), visando avaliar a topografia e selecionar o eixo topográfico representativo. Este levantamento foi feito pelo técnico em agrimensura, Helison Rodrigues Coelho em 2011. A origem das coordenadas e cotas foram os marcos da rede oficial do IBGE (datum SAD 69). A curva mestra está locada de 10 em 10 m e as curvas auxiliares de metro em metro. A escala adotada foi de 1:4.250. O levantamento topográfico planialtimétrico cadastral foi realizado com o auxílio da estação total Leica TC407, para cadastro e planialtimetria, e GPS Geodésico para georreferenciamento L1-L2.

A linha destacada na cor vermelha mostra a topossequência da área em estudo, referendando os pontos da abertura dos quatro perfis e das três tradagens, de montante a jusante, posicionada, grosso modo, na direção leste-oeste.



Elaborado por Helison Rodrigues Coelho, 2011.

Figura 12 – Levantamento planialtimétrico da área estudada com a topossequência.

De acordo com Garcia e Piedade (1989), a área em estudo está classificada na classe de declividade D, com 20%, correspondente a mais de 11º. Para esta interpretação, a declividade é então classificação em forte, exigindo manejo adequado para uso do solo nessas condições, pois favorecerá a erosão do solo, se não forem adotadas práticas conservacionistas (Tabela 1).

Tabela 1 – Classes de solo de acordo com a declividade

Classe	Declividade (%)	Declividade (%)	Interpretação
A	< 3	< 1,7	Fraca
B	3 a 6	0,16 a 3,4	Moderada
C	6 a 12	3,4 a 6,8	Moderada a forte
D	12 a 20	6,8 a 11,3	Forte
E	20 a 40	11,3 a 21,8	Muito forte
F	> 40	> 21,8	Extremamente forte

Fonte: adaptada de Garcia e Piedade (1989).

4.2. Topografia e Morfologia da Topossequência

As sequências topográficas de solos têm sido consideradas uma importante e eficaz forma de avaliação do desenvolvimento das características e propriedades dos solos (JUHÁSZ *et al*., 2006). Para Park e Burt (2002), os aspectos topográficos do terreno são os mais importantes indicadores da variação das propriedades do solo.

O levantamento específico da topossequência obedeceu aos critérios de Boulet *et al*. (1982), adotados por Barros (1985), e que, resumidamente, consistem da abertura de trincheiras usuais (SANTOS *et al*., 2005). No presente caso foram quatro, alinhadas entre si, ao longo de um eixo topográfico, perpendicular à linha de maior declive, ou seja, cortando as curvas de nível, que sejam representativas da configuração local do relevo, onde a direção e locação dos perfis de solo e das tradagens foi tomada com auxílio de GPS.

Procedeu-se à descrição dos perfis de solo em uma das paredes das trincheiras e à coleta de amostras para análises laboratoriais. Quatro perfis de solo foram expostos, descritos morfologicamente em campo quanto às espessuras, cores, texturas, estruturas,

consistências, porosidades, atividade biológica, feições pedológicas e transição, segundo Santos *et al*. (2005).

O desenho do perfil topográfico e da geometria dos horizontes dos solos na topossequência consistiu na ligação de suas características morfológicas expostas nos perfis de solo, pela intersecção dos eixos X e Y topográficos, o que permitiu constatar a continuidade de horizontes de montante a jusante, bem como o seu aparecimento ou desaparecimento (BARROS, 1985).

Foram realizadas coletas complementares para estudo micromorfológico e ensaios de infiltração e de resistência à penetração, ao lado das trincheiras, mantida a distância segura de cerca de 1 m de suas bordas, além de coletas de água do córrego Samambaia e análise multiparâmetro em três pontos específicos, para avaliação da qualidade da água, como descritas a seguir.

4.3. Plano de amostragem, tipos de coletas e ensaios

4.3.1. Plano de amostragem e tipos de amostras coletadas

Os quatro perfis de solo foram descritos e amostrados, tendo sido feitas as coletas de dois tipos: as amostras com estruturas não conservadas (cerca de 500 g cada e acondicionadas em sacos plásticos) e as conservadas (em anéis volumétricos e em caixas de papel cartão).

As amostras indeformadas, para determinação de densidades e porosidades, foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Solos e Folhas do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – *Campus* Barbacena, onde foram colocadas para secar ao ar. Passadas em peneira de 2 mm de abertura para obtenção de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras com estrutura conservada, destinadas à preparação das lâminas delgadas para estudo micromorfológico, foram encaminhadas ao Laboratório de Micromorfologia do Departamento de Solos da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP).

As amostras com estruturas não conservadas e destinadas às determinações físicas e químicas usuais foram coletadas com auxílio de uma faca, escavando a parede de cada horizonte, com cerca de 500 g e encaminhadas ao laboratório para as análises, onde foram colocadas a secar ao ar, sendo depois trituradas e peneiradas para separação

da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) (≤ 2 mm de diâmetro), destinadas às determinações físicas e químicas.

As amostras com estrutura conservada para a determinação da densidade foram coletadas em anéis volumétricos com capacidade de 50 cm^3 com três repetições, cravados na parede dos perfis em cada horizonte e posteriormente acondicionados e encaminhados ao laboratório. Para o estudo micromorfológico foram coletadas amostras em monolitos esculpidos também na parede dos perfis em todos os horizontes e acondicionadas em caixas de papel cartão nas dimensões de 7 × 5 × 4 cm, segundo instruções contidas em Castro (2008), as quais foram encaminhadas posteriormente ao laboratório de Micromorfologia do Departamento de Solos da ESALQ-USP, para impregnação com resina de poliéster a vácuo, fatiagem, colagem a lâminas delgadas de 5 × 7 cm e desbaste até a espessura de 25 µm, adaptando-se às recomendações de Castro *et al*. (2003) e Stoops (2003).

4.3.2. Ensaios de resistência e infiltração

Dois ensaios de campo foram realizados ao lado das trincheiras e a uma distância de 1 m para evitar-se interferência da descompressão causada pela abertura das mesmas. O primeiro ensaio de resistência do solo à penetração foi realizado com penetrômetro de impacto, Sonda Terra, com haste de 60 cm, pré-fixando o número de seis impactos, anotando-se as profundidades. O registro dos dados foi tabulado em kgf/cm^2, os quais foram convertidos em MPa após multiplicação por 0,0981 (STOLF *et al*.,1983)

A resistência mecânica que o solo oferece à penetração, expressa pelo índice de cone (IC), é utilizada na caracterização de propriedades físicas e mecânicas do solo relacionadas à trafegabilidade, à compactação e ao manejo (CAMPBELL; O'SULLIVAN, 1991). Para determinação da resistência do solo à penetração, utilizou-se um penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar com ângulo de cone de 30°. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração foi obtida pela fórmula dos "holandeses", segundo Stolf *et al.* (1983), a seguir:

$$R = \frac{Mg + mg + \left(\frac{M}{M + n} * \frac{Mg * h}{x} \right)}{A}$$ equação 1

em que

R = resistência à penetração, kgf cm^{-2} (kgf cm^{-2} * 0,098 = MPa);

M = massa do êmbolo, 4 kg (Mg - 4 kgf);

m = massa do aparelho sem êmbolo, 3,2 kg (mg - 3,2 kgf);

h = altura de queda do êmbolo, 40 cm;

x = penetração da haste do aparelho, cm/impacto; e

A = área do cone, 1,29 cm^2.

Iniciou-se o trabalho de campo, colocando-se a bandeja do penetrômetro no solo; em seguida, a ponteira dentro do furo da bandeja. Regulou-se a altura de lançamento do peso, por meio da borboleta localizada na haste superior do equipamento. Segurou-se o penetrômetro pela manopla e elevou-se o peso (êmbolo) até a altura de lançamento, soltando-o em seguida. Foi utilizada a forma em que se fixou e o número de impactos e anotou-se a profundidade em que a haste penetrava no solo. Fixou-se um número de seis impactos, sendo anotado a cada seis impactos a profundidade em que a haste penetrou no solo em planilha de campo. Após a conversão, os resultados foram agrupados em classes que melhor expressam o conjunto dos dados de resistência (Tabela 2).

Tabela 2 – Classes de resistência do solo à penetração

Classe	MPa
Extremamente baixa	< 0,01
Muito baixa	0,01 – 0,1
Baixa	0,1 – 1,0
Moderada	1,0 – 2,0
Alta	2,0 – 4,0
Muito alta	4,0 – 8,0
Extremamente alta	> 8,0

Fonte: adaptada de Soil Survey Staff (1993), citado por Arshad *et al.* (1996).

O segundo ensaio foi o de infiltração para medir o volume de água que penetra no solo em um dado tempo. A taxa de infiltração (TI) de um solo é um fator de grande importância na avaliação do comportamento físico-hídrico do solo. Em irrigação é ela que indica qual o método mais adequado para ser usado, bem como permite determinar a intensidade de precipitação máxima, que poderá permitir a irrigação por aspersão (BERNARDO *et al.*, 2006). A determinação da TI é fundamental para avaliação da fertirrigação.

Para caracterização da infiltração de água no solo foi utilizado o método do infiltrômetro de anéis concêntricos, composto por um anel metálico maior, com 50 cm de diâmetro e 25 cm de altura e um anel menor, com 25 cm de diâmetro e 25 cm de altura, cravados ao solo de maneira concêntrica, conforme citado por Bernardo *et al*. (2006).

Primeiramente, fez-se a limpeza superficial do solo, cravando no mesmo os cilindros externo e interno. Depois, colocou-se água nos cilindros externo e interno, com leituras realizadas somente no cilindro interno, pois o externo é utilizado apenas para que seja neutralizado o efeito da infiltração lateral. A partir da leitura inicial da altura de água, com régua graduada, iniciou-se a contagem de tempo para a infiltração da água no solo, com reposição da água sempre que o nível de água nos anéis chegava próximo dos 6 cm de altura. Foram realizadas leituras da altura de água no interior do cilindro interno aos instantes 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 minutos, salvo nas vezes em que foi necessário um menor período de tempo entre as leituras em virtude da rápida infiltração e, ou, quando houve a necessidade de um maior período de tempo para a velocidade de infiltração se tornar constante. Neste ponto, diz-se que o solo atingiu sua taxa de infiltração.

A infiltração acumulada de água no solo (I) pode ser descrita por meio de várias equações, onde serão apresentadas as duas mais utilizadas:

- Equação tipo potencial

A equação potencial mais conhecida é denominada equação de Kostiakov, representada pela equação 1.

I = K*Tm equação 2

em que

I = infiltração acumulada (cm, mm);

K = constante dependente do solo (adimensional);

T = tempo de infiltração (horas, min); e

m = constante dependente do solo [adimensional], variando de 0 a 1 em valor absoluto.

Os parâmetros da equação da infiltração foram definidos pelo método da regressão linear, em que se utilizou a transformação logarítmica da equação da infiltração. Então, tem-se:

I = K*Tm (modelo potencial)

Transformando-se para logaritmo, tem-se que

log I = log K+ log T

que, na verdade, representará a equação da reta que é

Y= A + B*X (modelo linear)

em que

Y = log I equação 3
A = log K equação 4
B = m equação 5
X = log T equação 6

O coeficiente angular (B) e a interseção (A) da reta são dados por

$$B = \frac{\sum X.Y - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{N}}{\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{N}}$$ equação 7

$$A = \overline{Y} - B\,\overline{X}$$ equação 8

Sendo o N o número de leituras realizadas na régua durante o teste de infiltração.

Log K = A K = ant. log A equação 9

Velocidade instantânea (I)

I = K . Tm equação 10

Derivando a lâmina de infiltração em relação ao tempo, tem-se:

VI = dI/dT equação 11

Desenvolvendo-se a equação de VI, tem-se:

TI = m . K . Tm ; n = m - 1 equação 12

TI = m . K . Tn, em cm/min ou VI = 60.10.m.K.Tn, em mm/h equação 13

Verifica-se na equação 13 que à medida que o tempo de infiltração vai se tornando muito grande, a velocidade de infiltração tende a zero. Essa situação não é real, uma vez que, na realidade, a velocidade tende para a TI, cujo valor é diferente de zero.

Os fenômenos de infiltração e redistribuição caracterizam a capacidade de infiltração do solo, que, por sua vez, vai comandar a taxa de infiltração (TI) da água aplicada a uma determinada taxa (taxa de aplicação). A TI condiciona o tempo de irrigação necessário para a aplicação da quantidade de água desejada, como, também, determina a escolha do melhor método de irrigação. À medida que se vai adicionando água no solo, a frente de umedecimento vai atingindo uma profundidade cada vez maior, diminuindo a diferença de umidade entre essa frente e a camada superficial, que vai se tornando cada vez mais úmida. Com isto, a TI vai se reduzindo substancialmente até atingir um valor constante, característico de cada tipo de solo, e que recebe o nome de taxa de infiltração (TI).

Portanto, a TI depende diretamente da textura e estrutura do solo e, para um mesmo solo, depende do teor de umidade na época da irrigação, da sua porosidade, do tipo de argila predominante e da existência de camada menos permeável (camada compactada) ao longo do perfil.

Outro termo muito utilizado é a infiltração acumulada (I), que é a quantidade total de água infiltrada, durante um determinado tempo. Geralmente, é expressa em mm ou cm (altura de lâmina de água infiltrada na superfície do solo).

A taxa de infiltração (TI) adotada neste estudo foi a proposta por Bernardo *et al*. (2006) (Tabela 3)

Tabela 3 – Classes da taxa de infiltração de cada solo

Solo de TI muito alta	> 3,0 cm h^{-1}
Solo de TI alta	1,5 – 3,0 cm h^{-1}
Solo de TI média	0,5 – 1,5 cm h^{-1}
Solo com TI baixa	< 0,5 cm h^{-1}

De posse da planilha com os resultados calculados, classificou-se o solo em condições de taxa de infiltração, conforme os parâmetros apresentados na Tabela 3. As fotos apresentadas na Figura 13 mostram detalhes dos anéis utilizados na determinação da taxa de infiltração da água no solo.

Foto: Marcelo Zózimo da Silva, 2012.

Figura 13 – Ensaio de infiltração em campo.

4.3.3. Análises de Água

Foram coletadas amostras de águas do córrego Samambaia e do lago, para ordenação dos parâmetros de suas qualidades em termos, sobretudo, químicos, de modo

a identificar substâncias utilizadas na cultura do morango que pudessem estar contaminando esses recursos hídricos. As medidas foram feitas com analisador multiparâmetro HANNA, modelo HI 9828 e as amostras coletadas em garrafas (2 L). Foram feitas coletas em três pontos no córrego: (P1) 2 m acima do local de captação da água; (P2) 3 m abaixo do local de captação; e (P3) 5 m abaixo do P2. Nestes mesmos pontos foram feitos testes de turbidez com o disco de Secchi. Nas águas do reservatório, também amostradas em três pontos (P1 a P3), nas margens, em distâncias de cerca de 4 m entre eles (a lagoa tem 64 m^2 com profundidade média de 1,70 m na seca). As amostras foram coletadas no período da seca, no mês de agosto de 2012, e no período das águas, no mês de abril de 2013, nos dois mananciais. Os resultados são representados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente, localizadas à página 100.

4.4. Análises físicas

Todas as análises físicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Solos e Folhas do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – *Campus* Barbacena, seguindo-se a metodologia da Embrapa (2011). A relação entre o manejo e a qualidade ambiental do solo foi avaliada pelo comportamento das propriedades físicas (DORAN; PARKIN, 1994).

4.4.1 Análise textural

Foi utilizado o método da pipeta, que tem como princípio a velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição do dispersante químico hidróxido de sódio (NaOH), na concentração 1 molar, de acordo com EMBRAPA (2011).

4.4.2. Densidade do solo

Utilizou-se o método do anel volumétrico, que tem como princípio a coleta de amostras de solo com estrutura indeformada através de um anel de aço (Kopecky), de bordas cortantes e volume interno de 50 cm^3, de acordo com EMBRAPA (2011).

Determinou-se a Ds (g cm^{-3}), por meio da equação:

$$Ds = Ms/Vt \qquad \text{equação 14}$$

em que:

Ms = massa da amostra de solo seca à 105 °C (kg);

Vt = volume do anel (cm^3).

4.4.3. Densidade de partículas

A determinação baseou-se no princípio do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico contendo solo seco em estufa, de acordo com a metodologia EMBRAPA (2011).

O volume de TFSE contido no balão volumétrico foi determinado pela expressão: Vs = 50 - L. A densidade de partículas (Dp), em g cm^{-3}, foi calculada usando-se a equação abaixo:

$$Dp = Ms/Vs \qquad \text{equação 15}$$

em que

Ms = massa da TFSE (g);

Vs = volume de sólidos (cm^3).

4.4.4. Porosidade total

O princípio utilizado foi determinado pelo volume de poros totais do solo ocupado por água e/ou ar.

A porosidade total (Pt) foi obtida indiretamente por meio da relação existente entre a densidade do solo (Ds) e a densidade de partículas (Dp), como demonstra a equação 16.

$$Pt = [1- (Ds/Dp)] \qquad \text{equação 16}$$

44

4.4.5. Argila dispersa em água

Utilizou-se do princípio que o material em suspensão confere determinada densidade ao líquido. Decorrido o período para a coleta do material, se não tiver

nenhuma partícula coloidal em suspensão, a argila estará 100% floculada, de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2011).

Foi calculada utilizando a seguinte equação:

$X_{ADA} = M_{ADA} \times V_T/V_C \times 1/M_{TFSA}$ equação 17

em que

XADA = refere-se à proporção da argila dispersa em água, em (kg kg-1);

M = massa da ADA e da TFSA, em (g);

VT = volume total da dispersão em (mL);

Vc = volume coletado em (mL).

4.4.6. Grau de floculação

O grau de floculação (GF) é a relação entre a argila dispersa mecanicamente por agitação lenta, e a argila total, obtida por dispersão mecânica e química, utilizando de agitação lenta e uma solução de NaOH 0,1 $mol.L^{-1}$, segundo a metodologia da EMBRAPA (2011). Este índice indica a proporção de argila que se encontra floculada, informando sobre o grau de estabilidade dos agregados. O GF foi obtido pela equação 18.

GF = {[(argila total – argila natural) . 100]/argila total} equação 18

4.4.7. Relação silte/argila

É obtida pela divisão do percentual de silte pelo percentual de argila, sendo um parâmetro muito utilizado em classificação e gênese de solos. É considerado um índice de intemperismo. Quanto menor esta relação, mais evoluído ou intemperizado é o solo. EMBRAPA (2011). O cálculo foi obtido através da equação 19:

Relação (silte/argila) = X_{silte}/X_{argila} equação 19

4.5. Análises químicas

Todas as análises químicas que compõem o complexo sortivo dos solos também foram analisadas no Laboratório de Análise de Fertilidade de Solo e Folhas, do Instituto

Federal do Sudeste de Minas Gerais – *Campus* Barbacena. A metodologia utilizada baseou-se na EMBRAPA (2011), sendo analisados o pH, em H_2O; pH, em KCl; P e K disponíveis e extraídos pelo método da solução duplo ácido (extrator Mehlich-I), sendo que o K é analisado por fotometria de chama e o P analisado por colorimetria; Ca e Mg trocáveis extraídos com KCl, a 1 mol L^{-1}, analisados em espectrofotômetro de absorção atômica; H + Al foi determinado pelo método do SMP (pH SMP). Para determinar o Al, o extrator usado foi o KCl 1 mol L^{-1}, analisado pelo método da titulometria.

A soma de bases (SB) foi calculada pelo somatório das bases Ca + Mg + K + (Na) e a CTC (T) foi calculada pela expressão SB + (H + Al), que se relaciona com muitos atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo, notadamente com a textura, mineralogia da argila, teores de matéria orgânica e o V (saturação por bases, em %), refere-se à proporção taxa percentual de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca determinada a pH 7,0. Este valor V permite classificar o solo em eutrófico ($V \geq 50\%$) e distrófico ($V \leq 50\%$), de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca determinada a pH 7,0. Também foi analisado o pH em KCl a 1 mol L^{-1}.

A diferença entre o pH em água e o pH em cloreto de potássio é chamada de ΔpH; serve para se obter a estimativa da carga líquida do solo: $\Delta pH = pHKCl - pHH_2O$. Se o valor de ΔpH for negativo ($pHKCl < pHH_2O$), o solo tem predominância de cargas negativas, adsorvendo maior quantidade de cátions que de ânions. Em caso contrário, significa um solo com predominância de cargas positivas, capaz de adsorver mais ânions do que cátions.

Os solos são constituídos de componentes de origem mineral ou orgânica e que parte destes componentes apresenta natureza coloidal com atividade eletroquímica, em função da geração de cargas elétricas negativas e, ou, positivas que permitem a absorção e troca iônica. Quando o solo apresenta predominância de cargas eletronegativas tem-se a capacidade de troca catiônica (CTC) e quando as cargas são positivas o solo apresenta capacidade de troca aniônica (CTA) (BALIEIRO; TAVARES, 2008).

4.5.1. pH em água

O princípio é baseado na medição eletroquímica da concentração efetiva de íons H^+ na solução do solo, por meio do eletrodo combinado, imerso em suspensão solo-água, na proporção de 1:2,5. O procedimento é determinado pela medição do potencial

eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido, de acordo com EMBRAPA (2011).

4.5.2. pH em cloreto de potássio e delta pH

Refere-se ao pH determinado em solução de cloreto de potássio (KCl) 1 mol L^{-1}. O procedimento é determinado seguindo os passos para determinar o pH em água e cloreto de cálcio, de acordo com EMBRAPA (2011). De maneira geral, os valores de pH em água são superiores aos obtidos em KCl. Em solos muito intemperizados, ricos em óxidos (gibbsita, hematita, goetita, óxidos de ferro amorfos), os horizontes inferiores do perfil, com baixos teores de matéria orgânica, podem exibir valores de pH em KCl iguais ou superiores aos valores de pH em água (LIMA, 2004). Isto é verificado com o resultado das análises dos perfis estudados, conforme quadro de resultados anexo.

4.5.3. Determinação da acidez potencial (H + Al) com solução-tampão SMP

Este método foi proposto Shoemaker *et. al.* (1961), cuja sigla vem das letras iniciais dos sobrenomes desses autores Shoemaker, MacLean & Pratt **(**SMP). Baseia-se no decréscimo de pH da solução-tampão SMP, preparada a partir de várias substâncias com características de tampão (resistência à mudança de pH), para exercer forte tamponamento na faixa de pH entre 7,0 e 7,5, Quaggio (2000). A solução-tampão SMP foi desenvolvida como método rápido de determinação de calagem por Shoemaker *et. al*. (1961), obtendo-se o índice SMP com base na mudança de pH da solução tamponada diante da acidez potencial do solo. O índice SMP apresenta alta correlação com o valor H + Al (acidez potencial do solo), utilizado em critérios de recomendação de calagem.

A leitura é obtida diretamente no equipamento potenciômetro, obtendo-se o valor de H + Al. O resultado H + Al é obtido com o uso da equação:

$$\text{Ln (H + Al)} = 8{,}062 - 1{,}111 \times \text{pH SMP} \quad \text{(CORRÊA } et\ al.\text{, 1985).} \qquad \text{equação 20}$$

Esta equação é ajustada para uso na estimativa diretamente da necessidade de calcário para o estado de Minas Gerais.

4.5.4. Determinação do cálcio, magnésio e alumínio

Os elementos cálcio e magnésio trocáveis são extraídos por solução extratora KCl na concentração de 1 mol L^{-1}, em conjunto com o Al trocável, titulando-se, em uma fração do extrato, o alumínio com NaOH, na presença de azul-de-bromotimol como indicador. Em outro extrato, são titulados o cálcio e o magnésio por complexometria com EDTA, usando como indicador o negro-de-eriocromo. Em uma terceira alíquota é feita a determinação de cálcio por complexometria com EDTA e murexida como indicador. Os dois elementos podem ser determinados também por espectrofotometria de absorção atômica a partir do mesmo extrato. O procedimento segue a metodologia EMBRAPA (2011).

4.5.5. Determinação do potássio

O procedimento baseia-se na extração com solução extratora de Mehlich 1, também chamada de solução duplo-ácido ou de Carolina do Norte, sendo constituída por uma mistura de HCl 0,05 M + H_2SO_4 0,0125 M, e posterior determinado por espectrofotometria de chama. O emprego dessa solução também é usado na extração de fósforo, sódio e micronutrientes do solo, com base na solubilização desse elemento pelo efeito do pH, entre 2 e 3, sendo o papel do Cl^- o de restringir o processo de readsorção dos fosfatos recém-extraídos, de acordo com EMBRAPA (2011).

O cálculo do teor de potássio trocável na amostra é dado pela leitura: mg de K^+/dm^3 na TFSA = leitura x F_k x 390. O fator F_k é o coeficiente angular da reta de padrões utilizado na calibração do fotômetro de chama.

4.5.6. Determinação do fósforo disponível

A solução extratora é a mesma utilizada na determinação do potássio especificada anteriormente. O fósforo extraído é determinado por espectrofotometria, por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolíbdico produzido pela redução do molibdato com ácido ascórbico, EMBRAPA (2011).

4.5.7. Determinação do fósforo remanescente (P. rem.)

A determinação do fósforo remanescente (P. rem.) foi introduzida como critério auxiliar e fundamental para a interpretação da análise de solo, Recomendações para Uso de Corretivos e Fertilizantes de Minas Gerais-5ª Aproximação (RIBEIRO *et al.*, 1999).

4.5.8. Determinação da matéria orgânica do solo (MOS)

A determinação da quantidade de matéria orgânica dos solos baseia-se na sua oxidação a CO_2 por íons dicromato, em meio fortemente ácido. A determinação é feita por colorimetria, normalmente utilizada em rotina, e requer a montagem de uma curva-padrão de calibração. O método colorimétrico baseia-se na leitura colorimétrica da cor verde do íon Cr (III) reduzido pelo carbono orgânico (QUAGGIO; RAIJ, 1979). O valor do teor de matéria orgânica na amostra é calculado pela equação da curva de calibração do equipamento.

$$MO\ (\%) = 43{,}5 - 9{,}5\ Ln\ T\ (\%) \qquad \text{equação 21}$$

em que

MO se refere ao teor de matéria orgânica do solo;

T se refere a leitura do equipamento em transmitância;

Ln se refere ao logaritmo natural.

Já o teor de carbono orgânico é determinado dividindo-se o teor encontrado da matéria orgânica por 1,724. Este fator é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58% (EMBRAPA, 2011).

4.5.9. Cálculo da Soma de Bases

O valor de SB, que é a soma de bases trocáveis no complexo, é calculado em centimol de carga por decímetro cúbico ($cmol_c/dm^3$) de TFSA, EMBRAPA (2011), de acordo com a seguinte expressão :

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} \qquad \text{equação 22}$$

4.5.10. Cálculo do valor T ou CTC a (pH 7,0)

O valor T, ou capacidade de troca de cátions (CTC), que corresponde à soma de bases trocáveis mais a acidez potencial, é calculada em centimol de carga por decímetro cúbico ($cmol_c/dm^3$) de TFSA, EMBRAPA (2011), de acordo com a seguinte expressão:

$$CTC\ a\ pH\ 7{,}0\ (T) = SB + (H^+ + Al^{3+}) \qquad \text{equação 23}$$

4.5.11. Cálculo do valor V%

É o índice de saturação de base, calculado em percentagem EMBRAPA (2011), de acordo com a expressão:

$$V\% = 100 \times SB/T \qquad \text{equação 24}$$

4.5.12. Cálculo do valor m%

O valor m, ou índice de saturação por alumínio trocável ou % de Al^{3+}, é calculada em porcentagem, EMBRAPA (2011), de acordo com a seguinte expressão:

$$m\% = 100 \times Al^{3+/}SB + Al^{3+} \qquad \text{equação 25}$$

4.5.13. Análise estatística multivariada

De acordo com Netto (2014), a denominação de análise multivariada corresponde a grande número de métodos e técnicas que utilizam, simultaneamente, todas as variáveis na interpretação teórica do conjunto de dados obtidos. A análise multivariada foi utilizada para explicar a estrutura de dados analíticos a partir da observação de parâmetros sobre um mesmo indivíduo ou unidade amostral. No presente trabalho foram aplicados os métodos de Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Grupos, por serem empregados com sucesso em diversos trabalhos que relacionam solo e relevo (SOUZA *et al*., 2006; SIQUEIRA *et al.*, 2010; CAMPOS *et al*., 2012). Inicialmente, os dados foram normalizados considerando a média igual a zero e variância um.

O objetivo da ACP é encontrar os componentes de um conjunto de dados que sejam capazes de explicar parte significativa da variância de toda população amostrada,

por meio de correlações lineares. De acordo com Theocharopoulos *et al.* (1997), esse tipo de análise é interessante para a ciência do solo porque pode eleger as variáveis mais significativas nos processos pedogenéticos.

O dendrograma é uma ilustração gráfica da similaridade ou distância entre as variáveis ou grupos formados. A distância euclidiana é uma medida adimensional, ou seja, quanto maior a distância euclidiana maior a diferença entre as variáveis, chamado de ponto de corte. Variáveis dentro de um mesmo grupo formado abaixo da linha de corte possuem maior similaridade entre si do que variáveis de outro grupo.

O método de agrupamento utilizado foi o algoritmo *Complete Linkage*, em que o número de grupos formados pode ser definido de diversas formas, como: a assistida ou "a sentimento" (JOHNSON; WICHERN, 1992; MARDIA *et al*., 1997) cujo pesquisador pode especificar o nível de agrupamento de acordo com um critério de fácil interpretação.

Assim, foram calculadas as distâncias euclidianas de cada atributo em relação a todos os demais, em que quanto menor for o valor da distância euclidiana maior é a semelhança entre os grupos (HAIR *et al*., 2005).

4.6. Análise micromorfológica

4.6.1. Preparação das amostras

As amostras para a fabricação de lâminas delgadas, coletadas em campo em monolitos, como já exposto, foram encaminhadas para impregnação e fabricação de lâminas delgadas no Laboratório de Micromorfologia da ESALQ/USP. Foram submetidas ao método com base no protocolo compilado por Castro *et al*. (2003), que, resumidamente, consiste na sua impregnação com resina de poliéster pré-acelerada, diluída com solvente (monômero de estireno), adicionada de um catalisador (peróxido metiletilcetona) e adicionado de um pigmento fluorescente sob luz ultravioleta, aplicada ao lado da amostra por gotejamento ou lentamente e deixada sob vácuo para favorecer a capilaridade. Em seguida, foi deixada em repouso para polimerizar e quando endureceram puderam ser cortadas, afinadas, coladas em lâminas delgadas, desbastadas e polidas até alcançarem a espessura de 25 µm. As lâminas foram montadas nas dimensões de 5 × 7 cm. O referido pigmento é visível sob dois *spots* de luz ultravioleta, posicionados a 45º que, por reflexão, ressalta a porosidade em cores esbranquiçadas e a massa do solo em

cor escura, o que permite binarizar as imagens assim obtidas, como descrito no item a seguir.

Ao todo foram montadas 13 lâminas delgadas correspondentes aos horizontes descritos e coletados de cada perfil de solo em campo.

4.6.2. Descrição sumária das microestruturas

Como referência, considerou-se estrutura do solo as formas geométricas dos torrões de solo observados em campo (SANTOS *et al*., 2005), os quais contêm material fino, grosseiro e poros (CASTRO *et al.*, 2003). Neles, a microestrutura corresponde ao arranjo interno desses constituintes nos agregados elementares, observada com auxílio de microscópio óptico binocular polarizante, cujas dimensões são superiores a 5 µm de diâmetro (BULLOCK *et al*., 1985; CASTRO *et al*., 2003; STOOPS, 2003). A fração grosseira frequentemente é composta por grãos de areia e silte, correspondentes aos minerais primários, principalmente, o quartzo, residuais da alteração e pedogênese. A fração fina corresponde comumente à argila granulométrica, constituída, sobretudo, por minerais de argila, oxidohidróxidos, gel, cinzas, matéria orgânica e amorfos. Os poros correspondem aos espaços de circulação de ar, de soluções diversas e de organismos (macro, meso e micro fauna e flora). Anteriormente, esses constituintes eram denominados de esqueleto, plasma e poros, respectivamente (CASTRO, 2008).

Ainda, segundo aqueles mesmos autores, as microestruturas podem se organizar em microagregados (diâmetros < 1 mm) quando o material é denominado de pédico, ou não, quando é denominado de apédico. Quando pédico apresenta formas e tamanhos diversos, reconhecidos internacionalmente; em geral, similares aos padrões das estruturas em campo, podendo, como estas, apresentar graus de evolução distintos (forte, moderada e fraca), mas, desta vez, denominados de pedalidade (idem). Paralelamente, os constituintes também podem se organizar em feições pedológicas específicas, isto é, produzidas pela pedogênese, como nódulos, revestimentos (cerosidade), preenchimentos, crescimentos cristalinos e outros. Os poros, por seu turno, também podem variar de formas e dimensões, além de poderem ser comunicantes entre si ou não no plano da lâmina, formando rede contínua ou descontínua. Stoops (2003), com base em Bullock *et al*. (1985), arrolou 19 tipos de microestruturas possíveis, frutos do arranjo dos constituintes e dos poros do solo, subdivididos em comuns e específicas e as associou aos processos de pedogênese (formação do solo).

A morfoporosidade constitui a análise da forma, dimensão e frequência da macro e mesoporosidade, as únicas visíveis em lâminas delgadas, dada a resolução do microscópio óptico, e contribui para a avaliação do comportamento físico-hídrico dos solos, uma vez que a circulação de água depende deles, ao contrário da microporosidade, determinada por outros métodos, que contribui para a avaliação da retenção de umidade nos solos (CASTRO *et al*., 2003). Conforme Bullock *et al*. (1985), os mesoporos possuem diâmetros entre 50 a 500 µm e os macroporos de 500 a 5000 µm.

Neste trabalho, a descrição foi feita com auxílio de lupa binocular Zeiss, polarizante e microscópio Axiophot Zeiss, igualmente binocular e polarizante, cujo protocolo adotado foi simplificado desses autores, anotando-se os constituintes, sua proporção representada pela relação G/F; ou seja, o limite de dimensão entre a fração grossa e a fina, respectiva-mente, cuja separação se deu em 2 µm de diâmetro, equivalente à dimensão máxima da argila granulométrica, padronizada como $G/F_{2\mu m,}$ e o tipo de microestrutura, adotando-se o diagrama triangular duplo e os padrões granular (grãos soltos), chitônica (grãos grossos envolvidos por películas de finos), gefúrica (pontes de finos entre grãos grossos), porfírica (cimentação) e enáulica (agregados finos separados dos grãos grossos) (STOOPS, 2003).

A descrição sumária foi organizada em quadro e em figura, na forma de prancha, contendo, respectivamente, os dados relativos à identificação de cada amostra em lâmina; as proporções dos componentes fino, grosso e poros; a descrição da microestrutura dominante na superfície da lâmina; e eventuais observações. Paralelamente, foram feitas fotomicrografias com lupa estereoscópica Zeiss, sob baixo aumento óptico (10 a 40 X), de modo a perceber o maior conjunto possível.

4.6.3. Análise de imagens da macro e mesoporosidade

As análises das imagens das lâminas enfatizaram o reconhecimento e quantificação da morfoporosidade. Para tanto, as imagens digitais das lâminas delgadas foram obtidas sob luz ultravioleta e transmitidas diretamente ao microscópio, como acima exposto. Em cada lâmina foram selecionados sítios representativos das microestruturas observadas compondo imagens com dimensões de 12 × 15 mm (180 mm^2), com auxílio de um gabarito (Figura 14). Foram delimitados em média cinco a seis sítios de cada lâmina, totalizando 84 sítios para análise da morfoporosidade. O critério para seleção dos sítios amostrais obedeceu aos principais arranjos contidos em cada lâmina.

(a) (b) (c)

(a) gabarito metálico contendo a abertura de 12 × 15 mm; (b) lâmina com os sítios amostrais para ser imageada; e (c) luz ultravioleta aplicada sobre as lâminas para obtenção das fotos binárias.

Figura 14 – Fotos da seleção de sítios amostrais nas lâminas delgadas.

Para a aquisição, binarização, análise e quantificação dos macro e mesoporos das imagens adotou-se o mesmo protocolo executado por Silva (2011), que consiste na digitalização das imagens adquiridas de cada sítio em 1024 × 768 pixels, com resolução espectral de 256 tons de cinza, aumento de 10X, em que a área de cada pixel foi de 156,25 μm^2. Nas imagens, a identificação dos poros foi feita pela delimitação da limiarização dos tons de cinza para cada conjunto de imagens de cada horizonte/perfil. A seguir, as imagens foram submetidas à binarização e etiquetagem, empregando-se o programa de análises de imagem Noesis Visilog 5.4. Esta operação possibilitou reconhecer e individualizar os poros diretamente nas imagens binárias, por meio de um critério de conexão, os quais apareceram em cor clara, tendendo ao branco, enquanto a massa do solo em cor escura tendendo ao preto (Figura 18). Esse protocolo permitiu a obtenção de mais de 200-300 linhas para cada sítio, os quais foram agrupados por perfil.

Conforme relatou Silva (2011), as variáveis básicas quantificadas pelo programa se referem à área, ao número de objetos, ao perímetro, aos diâmetros de Feret horizontais e verticais, às projeções horizontais e verticais do objeto; e as derivadas se referem às entidades discretas, que se constituem de duas ou mais variáveis combinadas, como forma e dimensão, dentre outra, permitindo uma caracterização mais completa dos poros (MURPHY *et al*., 1977).

Após estas determinações, os poros foram classificados por classes de tamanhos, de forma ou suas combinações, procedimento este otimizado com aplicação das

funções-macro (JUHÁSZ *et al*., 2006), em linguagem visual Basic, no Microsoft® Excel. A porosidade total em lâmina (PTL) foi obtida pela soma das áreas de todos os poroides, denominação genérica proposta por MORAN *et al*. (1988), em percentagem dividida pela área total do campo (HALLAIRE; CONTEIPAS, 1993). Os poroides foram distribuídos em três grupos, segundo sua forma (COOPER *et al*., 2010), em arredondados (canais e cavidades isoladas); alongados (fissuras, fendas, rachaduras e canais); e complexos (irregulares, empacotamento e outros).

Dois índices foram utilizados para determinar a forma dos poros e poroides (COOPER *et al.*, 2010); o índice I1, o mais simples, que separa adequadamente poros arredondados de poros alongados; e o índice I1 é igual a 1 para uma forma perfeitamente circular e maior do que 1 quando a forma do poro desvia-se do círculo. O segundo índice de forma foi utilizado como complemento ao índice I1 que permite maior precisão na separação entre os grupos de forma. A Tabela 4 apresenta a classificação dos poros de acordo com a forma e o tamanho. Os poros arredondados foram classificados utilizando-se o índice I1. Ambos os índices foram utilizados na classificação dos poros alongados. Para valores de I1 > 25, os poros foram classificados como complexos, independentemente do valor de I2.

Tabela 4 – Classificação dos poros de acordo com o formato e tamanho

Poroide	**Índice de Forma**		
	I_1		**I_2**
Arredondados (Arr)	$I_1 \leq 5$		
Alongados (Alon)	$5 < I_1 \leq 25$		$\leq 2,2$
Complexos (Comp)	$5 < I_1 \leq 25$ ou > 25		$> 2,2$
Limite das Classes e Tamanhos (mm^2)	**Classe de Tamanho e Formas**		
	Arredondados	**Alongados**	**Complexos**
$\leq 0,001$	Arr. p	Alon. p	Comp. p
$> 0,001 \leq 0,1$	Arr. m	Alon. m	Comp. m
$> 0,01$	Arr. g	Alon. g	Comp. g

p = pequeno; m = médio; e g = grande.

Foram adotados os mesmos parâmetros utilizados por Silva (2011), a saber: a porosidade total do solo (PT); a distribuição da porosidade; e o tamanho e a forma dos poroides. A análise de imagens quantifica apenas os macro e mesoporos , sendo

contados como número total de poros (NP). Aplicaram-se os mesmos tratamentos estatísticos anteriores, a partir de delineamento inteiramente aleatorizado. A análise exploratória dos dados foi feita por perfil e por horizonte, com normalidade dos dados feita pelo teste de Shapiro-Wilk (1965).

Os outros dados foram gerados automaticamente pelo programa Visilog, como a variabilidade do conjunto de dados expressa pelo coeficiente de variação (CV, %), segundo os critérios de Warrick e Nielsen (1980); a análise de variância, pelo teste F, com comparação de médias pelo teste de DUNCAN, com 5% de probabilidade. Para realização das análises foi utilizado o programa computacional SAS (SAS Institute, 1990).

Os resultados obtidos neste trabalho destacaram a PTL, o NP, a distribuição das três formas (arredondados, alongados e complexos), por classe de tamanho para cada horizonte de cada perfil (pequeno, médio e grande), os quais foram representados graficamente com auxílio do programa estatístico Sigmaplot, em gráficos de barra, após sua conversão para planilha Excel.

A partir dos resultados gerais foi interpretada a morfoporosidade de cada lâmina, a qual foi comparada às demais do mesmo perfil e depois feita a comparação entre lâminas de um mesmo horizonte em todos os perfis topossequência, de modo a identificar tendências, agrupamentos possíveis, variações e limites que pudessem ser indicadores dos fluxos hídricos e representativos de eventuais graus de compactação distintos, forte, moderado e fraco e não compactado; e, por fim, correlacioná-los aos demais resultados da pesquisa, em especial a textura, a densidade do solo, a RP e a TI.

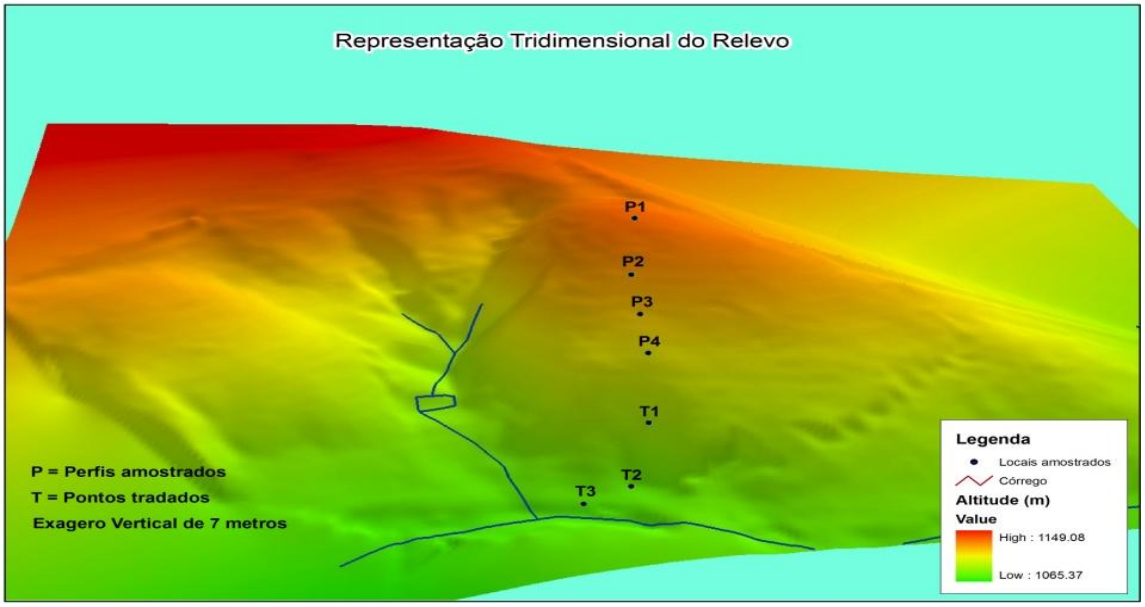
4.7. Dedução das rotas de fluxos hídricos

A dedução das rotas de fluxos hídricos foi feita diretamente sobre o desenho da morfologia da topossequência utilizando-se flechas indicadoras da direção, orientadas verticalmente em profundidade e a jusante. A implantação dessas flechas resultou, sobretudo, da correlação positiva entre a morfologia dos perfis de solo ao longo da topossequência, dos dados de densidade e de porosidade do solo, das taxas de infiltração, dos valores de resistência à penetração e da análise de imagens da morfoporosidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. A Topossequência de Alfredo Vasconcelos, MG

O modelo tridimensional da face do morro convexo selecionado, obtido a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), pelo tratamento feito no programa ARCSENNE, aplicando-se exagero vertical de 7 e, ou, 10 (relação entre as escalas horizontal e vertical) é apresentado na Figura 16, onde está lançada também a direção escolhida para implantação do eixo da topossequência que foi A – B, N 33º 15'.



Elaborada por Marcelo Zózimo da Silva, 2012.

Figura 15 – Bloco diagrama esquemático obtido por Modelo Digital do Terreno (MDT) indicando os perfis de solo e as tradagens na topossequência estudada.

A Figura 16 foi colorida no intervalo das altimetrias de modo a mostrar a planialtimetria da área os pontos dos perfis P1 a P4 e das tradagens T1 a T3 ao longo do eixo da topossequência. Pode-se constatar pela Figura 16 um desnível acentuado (55,20 metros) em uma vertente relativamente curta, o que representa relevo declivoso.

Ressalte-se que o morango é cultivado no topo (altura do P1) e se estende até o P3, já na encosta média, ou média vertente, onde o declive é maior e o solo muda como se verá mais adiante. Entre os perfis P1 e P2 pode-se perceber pequena ruptura de declive que também marca mudança do tipo de solo, consequentemente, do manejo, a qual se aproxima mais e mais do P3. Já o P4 situa-se bem abaixo do P3, em posição de terço inferior. A linha preta contínua indica o córrego Samambaia, no meio do qual um pequeno polígono representa o lago que garante o abastecimento de água para a irrigação do morango, sobretudo durante a estação seca.

5.2. A topossequência e os perfis de solos estudados

5.2.1. A topossequência

A topossequência apresenta 20% de declividade total e está representada na Figura 17. Nota-se nesta figura, que os horizontes são geometricamente concordantes entre si e com a topografia externa do terreno, mesmo o horizonte A/B, restrito apenas ao topo da encosta, no P1. Ainda na mesma figura, os horizontes representam os Latossolos identificados em campo. Podem-se constatar dois deles, o do topo, representado pelo P1 e o da vertente média e inferior, representadas pelos perfis P3 ao P4. O que diferencia estes dois conjuntos é principalmente a profundidade maior do P1 e a presença de um horizonte de transição A/B que não apareceu nos demais perfis, além do fato de que o P2 é menos espesso e se encontrar próximo à ruptura de topo. O P3 volta a ser espesso, mais que o P1 e o P4 encontra-se em pastagem e apresenta horizontes menos espessos.

A Figura 16 representa a topossequência e as fotos dos perfis em campo.

Na Figura 16 está ilustrado a presença de Latossolo Vermelho Amarelo, reconhecido em campo pela textura, estrutura, pela cor e presença dos horizontes diagnóstico Bw, em todos os quatro perfis. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2013), são solos profundos, em geral, porosos, além de homogêneos e bem drenados. O perfil 4 chama a atenção porque difere dos demais no horizonte A, por ser menor em relação aos demais e apresentar coloração mais clara em superfície. As descrições macro e micromorfológicas desses perfis são apresentadas no Quadro 1.

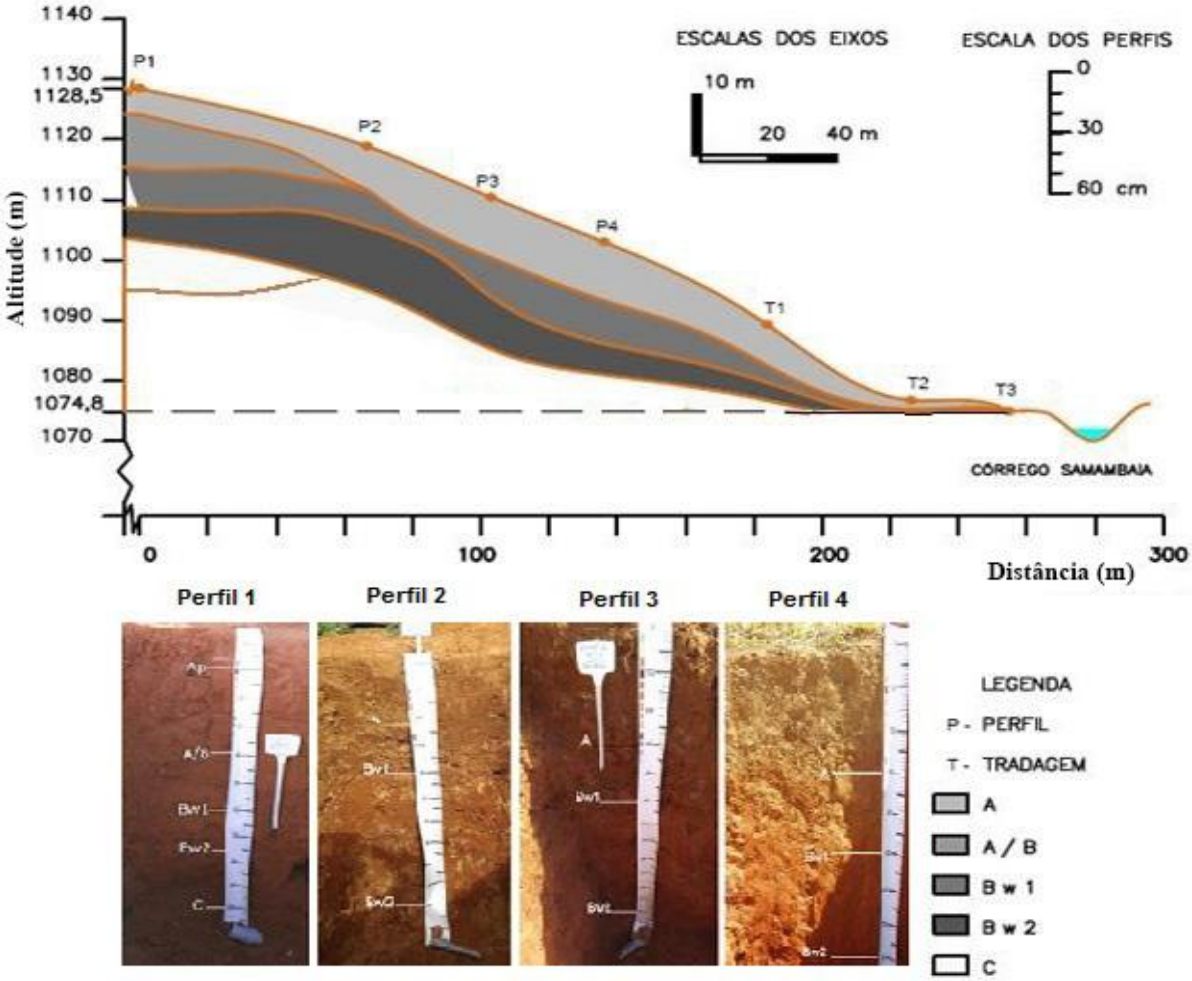


Figura 16 – Topossequência de solos da área estudada em Alfredo Vasconcelos, MG, indicando os perfis descritos de P1 a P4 e seus respectivos horizontes A, A/B, Bw1, Bw2, C e as tradagens (T1 a T3).

Quadro 1 – Morfologia dos quatro perfis do solo da topossequência

Símbolo	Prof. (cm)	Cor	Textura	Estrutura	Consistência	Porosidade	Transição	Feições
Perfil 1								
Ap	0-13	5YR 5/4 seco Bruno avermelhado e 5Yr 4/6 úmida Vermelho amarelo.	Argilosa	Blocos pequenos a médios fracos.	Macia, pegajosa a muito pegajosa e friável.	Pequena, tubular e inter-microagregados.	Ligeiramente ondulada e difusa.	Nódulos pequenos, frequentes, maciços e de cor vermelha.
A/B	13-40	5YR 5/6 seco Vermelho amarelo e 5YR 4/6 úmido Vermelho amarelo.	Argilosa	Blocos médios fracos.	Maciça, pegajosa e friável.	Tubular e dominante.	Transição plana e difusa.	Nódulos pequenos, frequentes, maciços e de cor vermelha.
Bw1	40-60	5YR 4/6 seco Vermelho amarelo e 5YR 4/4 úmida Bruno avermelhado.	Argilosa	Blocos pequenos que desfazem em granular pequena.	Fraca, friável e pegajosa a muito pegajosa.	Tubular com galerias de insetos em maior quantidade.	Transição plana e clara.	Nódulos pequenos e de cor vermelha mais escura.
Bw2	70-80	5YR 5/6 seco Vermelho amarelo e 5YR 4/6 úmida Vermelho amarelo.	Argiloso	Blocos que desfazem em granular pequena.	Fraco, friável e pegajoso.	Tubular com galerias.	Transição clara.	Nódulos pequenos e de cor vermelha bem mais escura.
C	80-100+	5YR 4/6 seco Vermelho amarelo.	Argilosa com presença de cascalho e quartzo	Maciça que se desfaz em granular pequena.	Friável, plástica e pegajosa.	Pouca porosidade tubular e aumento da porosidade intragranular.	Transição difusa	Nódulos pequenos de cor vermelha bem mais escura.
Perfil 2								
A	0-22	7,5YR 4/4 seco marrom e 7,5YR úmido marrom forte	Argilosa	Estrutura granular pequena e inter-microagregados.	Plástico, pegajoso e friável	Presença de grãos médios de quartzo.	Clara e plana	Nódulo, pequeno, macios e frequentes
Bw1	22-40	5YR 4/6 seco vermelho amarelo e 5YR 4/6 úmido vermelho amarelo	Argiloarenosa	Em bloco, médio e fraco que se desfaz em granular pequena.	Solta quando seco, muito friável quando úmido.	Porosidade tubular. Poucas raízes. Presença de matacão.	Plana e clara	Matacões, Concreções de cor ferruginosa
Bw2	40-100	5YR 4/6 seco vermelho amarelo e 5YR 4/6 úmido vermelho amarelo	Franco-argiloarenosa	Estrutura fraca, pequena e granular.	Pouco plástica e pegajoso. Quebra com facilidade.	Boa porosidade com presença de galerias de insetos.	Gradual e plana	Ocorre a presença de cascalho milimétricos

Continua...

Quadro 1, Cont.

Perfil 3								
A	0-30	5YR 4/4 seco, Bruno avermelhado e 5YR 4/4 úmido, bruno avermelhado	Argiloso	Granular pequena	Plástico, e friável, rompendo com toque.	Presença de fragmentos de quartzo, cascalho miúdo.	Clara e plana	Ocorre a presença de poucos insetos. Ocorre a presença de cascalhos
Bw1	30-50	5YR 4/6 seco, vermelho amarelo e 5YR 4/6 úmido, vermelho amarelo	Argiloarenosa	Em blocos médios, fracos que se desfaz em granular pequeno.	Plástico, pegajoso, mas rompe com toque.	Tubular	Clara e plana	Ocorre a presença de pouco cascalho. Presença de matacões.
Bw2	50-130+	5YR 5/6 seca, vermelho amarelo e 2,5YR 4/6 vermelho amarelo úmida	Argiloarenosa	Maciça	Pouco pegajoso e rompe com toque.	Presença de fragmentos de pequenos.	Plana a clara	Ocorre pouca presença de pequenos quartzos.
Perfil 4								
A	0-30	7,5YR 4/4 seco, bruno e 5YR 4/4 úmida, bruno avermelhado.	Argiloso	Granular pequena, blocos fracos que desmancha.	Com plasticidade e pegajosidade.	Tubular pequena e intermicroagregado.	Gradual e plana	Presença de grãos médios de quartzo. Presença de raízes.
Bw1	30-50	5YR 4/6 seco, vermelho amarelo e 2,5YR, úmido vermelho.	Argilosa	Presença cavidades pequenas e fração grossa menos abundante.	Plasticidade e pegajosidade, moldável.	Tubular com microagregados.	Clara e plana	Presença raízes, e grãos de quartzo.
Bw2	50-120+	5YR 4/6 seco, vermelho amarelo e 5YR 4/6 úmido, vermelho amarelo.	Argilosa	Maciça. Ocorre galerias de inseto.	Plasticidade, moldável e pegajoso.	Tubular.	Clara e plana	Grande quantidade de grãos pequenos e médio de quartzo.

Pode-se deduzir que, grosso modo, por serem horizontes paralelos entre si e com a topografia de superfície do terreno, são contemporâneos à evolução do próprio relevo. Pode-se dizer ainda que se trata de solos desenvolvidos a partir da rocha do substrato (gnáissico-granítica), nada havendo que indique processos de deposição como colúvios, nem tampouco descontinuidades litológicas ou fenômenos de deslizamentos ou similares. Os Latossolos dominam a topossequência e pelo exposto se trataria de um sistema pedológico de transformação vertical (BOULET *et al*., 1984), relativamente estável.

A descrição morfológica individualizada dos perfis apresentada no Quadro 1 corrobora o exposto e mostra que o P1 é o mais profundo, os P2 ao P3 têm profundidades intermediárias e abaixo do P4; nas tradagens os solos voltam a ser pouco profundos, menos ainda que o P2. Pode-se observar também diferença nas cores entre os perfis, sendo que o P1 e o P4 apresentam cores mais avermelhadas, enquanto os perfis P2 e P3 tendem a ser mais amarelado, o que pode sugerir mudança de drenagem interna do solo associada à topografia, sendo mais oxidante nos avermelhados e mais hidroxidante nos demais, fato que leva a supor fluxos hídricos laterais para jusante. Os perfis P1 e P4 são argilosos e o P2 e P3 são arenoargilosos, que pode corroborar essa ideia, ou ainda menor evolução pedogenética ou mudança litológica no substrato, não investigada por fugir ao escopo deste trabalho.

5.2.2. Macromorfologia, micromorfologia e micromorfometria dos poros

A descrição sumária das lâminas delgadas considerou a composição, a distribuição dos finos e grossos e sua relação G/F, a microestrutura dominante e as observações relativas a algum aspecto que chamou a atenção, como consta no Quadro 2 e na Figura 18, que apresentam, respectivamente, o resumo das características observadas para os quatro perfis e as fotomicrografias de aspectos principais das microestruturas dos horizontes dos quatro perfis, P1 ao P4.

Quadro 2 – Síntese das microestruturas dos quatro perfis de solo

Perfis/Horizonte/Profundidade (cm)	Composição	% dos componentes	Microestruturas Dominantes	Observações
P1 Ap 0-13	**Finos**: Caulinítico-ferruginosos, bruno avermelhados escuros, isóticos (opacidade pelo Fe); **Grossos**: areia grossa, média, fina e silte, mal selecionados (bem distribuídos), de quartzo, subangulosos e subarredondados **Poros**: cavidades e irregulares dominantes, fissuras e fendas esparsas.	60 30 10	Porfírica fissurada fina descontinua com cavidades esparsas médias e grandes. Presença de zonas mais densas, formando blocos médios porfíricos acima e pórfiro-enáulicos abaixo, onde há preenchimento descontínuo dos poros maiores (cavidades e câmaras) desprendendo-se das paredes	Presença de quartzos grandes fragmentando-se em grãos menores
P1 A/B 13-40	idem	70 25 05	Porfírica fissurada, porém aumentou a fissuração, pequena, e cavidades esparsas médias e pequenas	-
P1 Bw1 40-60	Idem	70 25 05	Idem anterior	-
P1 Bw2 60-80	Idem	70 15 15	Pórfiro-enáulica com zonas porfricas fissuradas com cavidades similares às anteriores	-
P2 A 0-22	Idem	60 25 15	Porfírica com zonas descontínuas, presença de fendas; grandes câmaras com fragmentos pequenos (microagregados) descolando das paredes	Alguns nódulos ferruginosos pretos. isóticos, originando zonas de finos mais avermelhados mantendo a microestrutura

Continua...

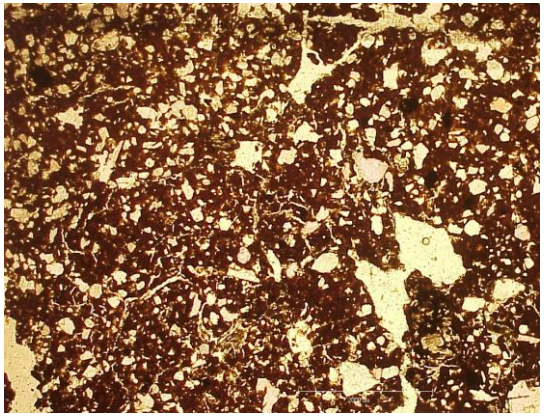
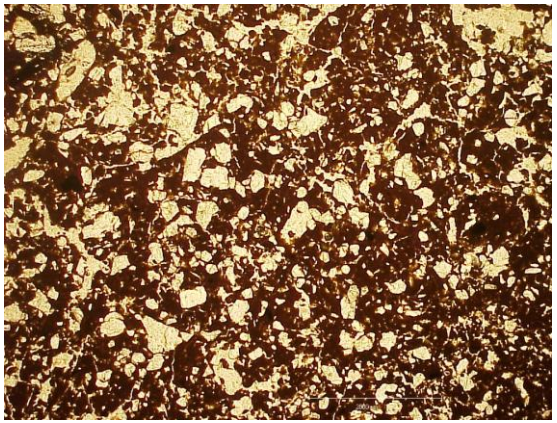
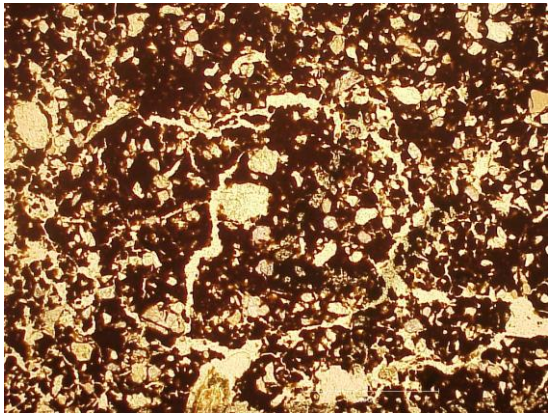
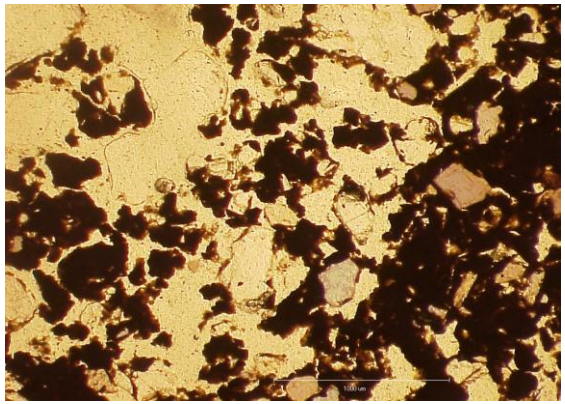
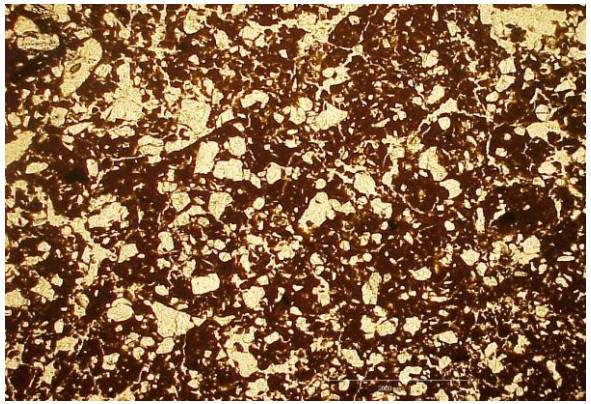
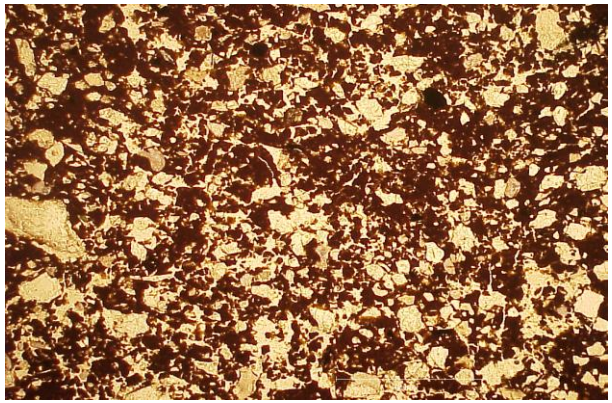
Quadro 2, Cont.

Perfis/Horizonte/Profundidade (cm)	Composição	% dos componentes	Microestruturas Dominantes	Observações
P2 Bw1 22-40	Idem com litorrelíquias de quartzo microcristalino	60 20 20	Porfírica fissurada descontínua como as anteriores, porém menos e concentrada na base e porfírica cavitária grande na parte superior da lâmina;	Presença de cascalho de quartzo microcristalino fino com zonas ferritizadas e finos vermelho amarelados claros
P2 Bw2 40-100+	Idem mas sem litorrelíquias	55 30 15	Idem anterior, porém com menos cavidades e menores.	---
P3 A 0-30	Idem	55 30 15	Pórfiro-enáulica com muitas cavidades e poros de empilhamento no interior de blocos subangulares grandes separados por fendas	A olho nu apresenta blocos subangulares grandes bem individualizados
P3 Bw1 30-50	Idem	50 30 20	Idem anterior, porém sem blocos individualizados	Presença de cascalho grande de quartzo microcristalino com faixas alternadas grosseiras e finas
P3 Bw2 50 -130+	Idem	70 20 15	Porfírica contínua com canais preenchidos (enáulica)	---
P4 A 0-30	Idem	40 30 30	Porfírica com muitas cavidades médias e fissuras pequenas descontínuas, alguns grãos de quartzo descolados	---

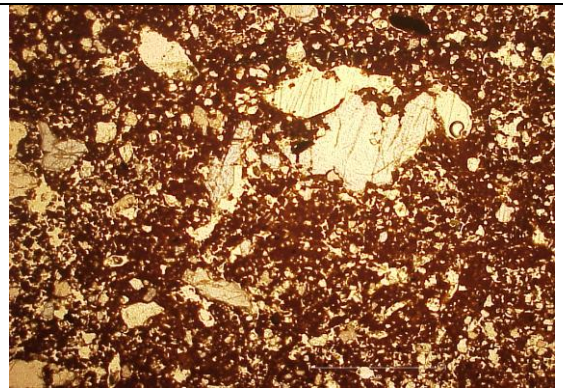
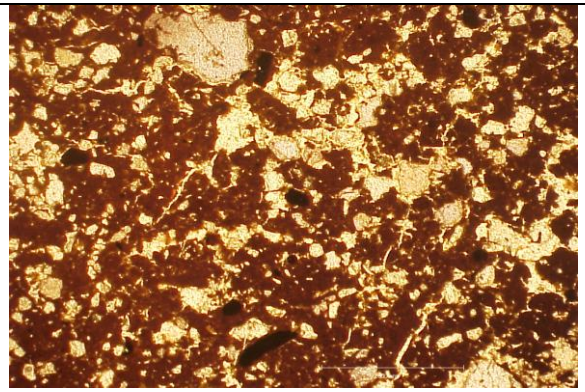
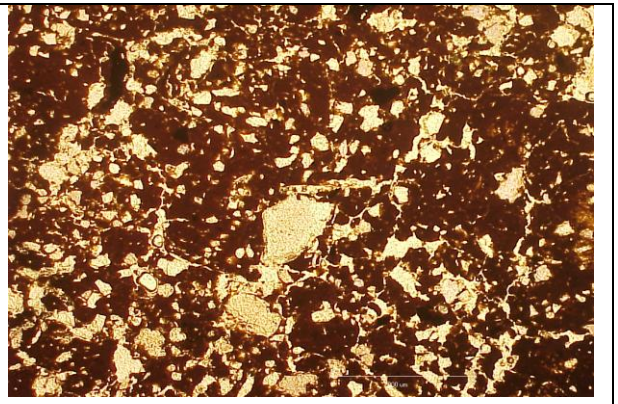
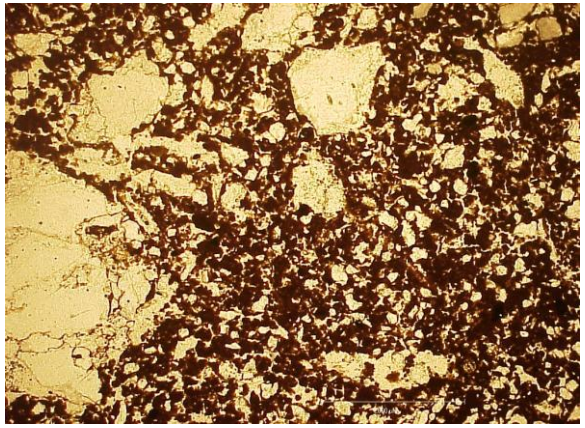
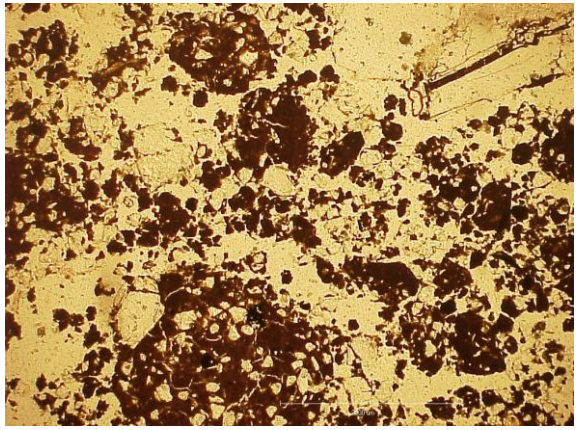
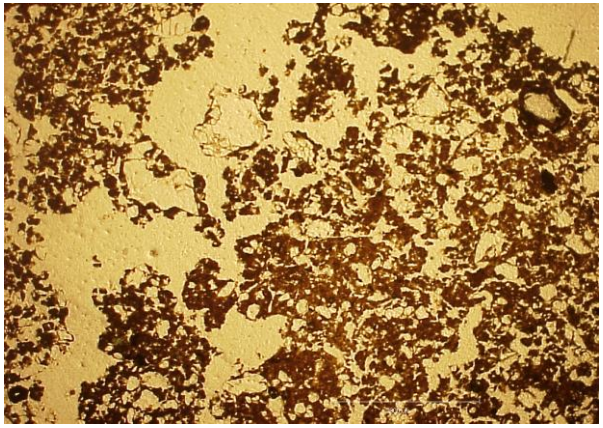
Continua...

Quadro 2, Cont.

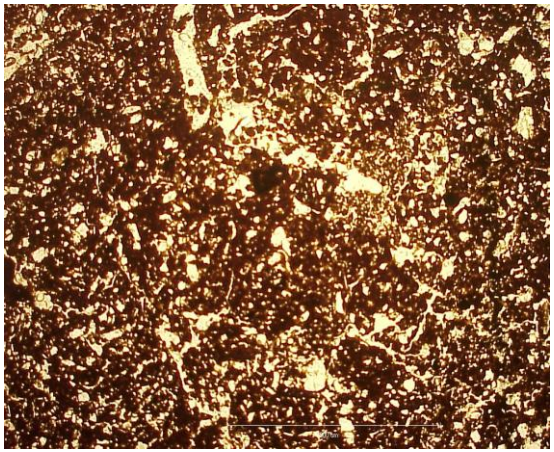
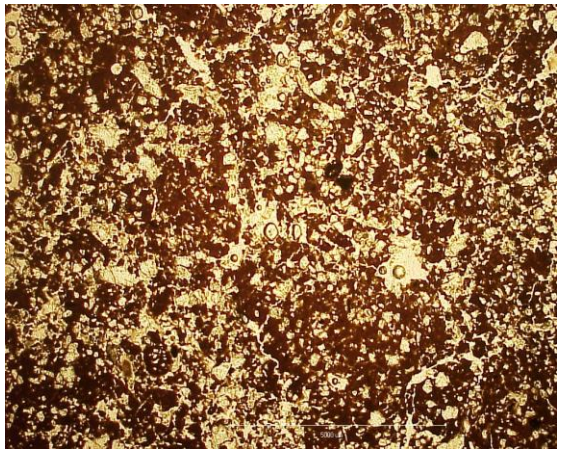
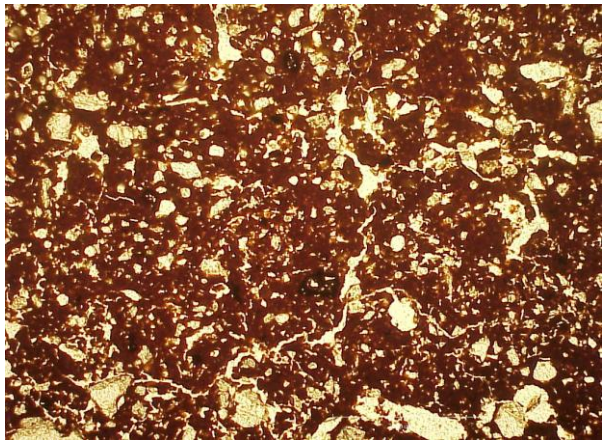
Perfis/Horizonte/Profundidade (cm)	Composição	% dos componentes	Microestruturas Dominantes	Observações
P4 Bw1 30-50	Idem	60 30 10	Enáulica com zonas porfíricas fissuradas descontínuas, esparsas, e muitas cavidades pequenas	Alguns grãos de quartzo descolados da matriz no meio das cavidades
P4 Bw2 50-120+	Idem	60 30 10	Porfírica fissurada descontínua formando blocos grandes angulosos/subangulosos de pedalidade moderada	----

 P1 Ap PPL 16 x G/F $_{2\mu m}$ 1:2 Porfírica densa fissurada fina incompleta com cavidades pequenas indicando compactação fraca	 P1 A/B PPL 16 x G/F$_{2\mu m}$ 1:2 Porfírica densa com agregados elipsoidais e arredondados parcialmente fundidos, compactação fraca.	 P1 A/B PPL 16 x G/F$_{2\mu m}$ Porfírica fissurada média moderada, com agregados ainda conjuntivos, compactação fraca.
 P1 A/B PPL 40 x G/F$_{2\mu m}$ 1:3 Porfírica gerando enáulica por fragmentação de borda de agregados e dissociação moderada dos grossos	 P1 Bw1 PPL 16 x G/F$_{2\mu m}$ 1:3 Porfírica, moderadamente compactada, com agregados parcialmente fundidos ainda reconhecíveis.	 P1 Bw2 PPL 16 x G/F$_{2\mu m}$ 1:3 Pórfiro-enáulica não compactada.

Continua...

 P2 A PPL 16 x G/$F_{2\mu m}$1:2,5 Porfírica fissurada densa com grãos grossos frequentes	 P2 Bw1 PPL 16 x G/$F_{2\mu m}$1:2,5 Porfírica fissurada formando blocos fracos e cavidades grandes	 P2 Bw2 PPL 16 x G/$F_{2\mu m}$1:2,5 Porfírica fissurada fina formando blocos fracos e pequenas cavidades
 P3 A PPL 16 x G/$F_{2\mu m}$1:3 Porfírica com fissuras finas, densa, blocos moderados, grãos grossos comuns e cascalhos e quartzos	 P3 Bw1 PPL 16 x G/$F_{2\mu m}$1:2,5 Pórfiro-enáulica porosa com grãos grossos dissociados	 P3 Bw2 PPL 16 x G/$F_{2\mu m}$1:2,5 Porfírica porosa com fissuras e fendas e bordas se fragmentando

Continua...

		
P4 A PPL 16 x G/$F_{2\mu m}$1:0,8 Porfírica fissurada densa, agregados pequenos conjuntivos e canais preenchidos incompletos comuns	P4 Bw1 PPL 10 x G/$F_{2\mu m}$1:2 Porfírica densa, com agregados moderados, cavidades pequenas e fração grossa menos abundante	P4 Bw2 PPL 16 x G/$F_{2\mu m}$1:2 Porfírica densa, fissurada, com agregados moderados.

Perfil1 (P1): Horiz. Ap; A/B; Bw1 e Bw2; Perfil2 (P2): Horiz. A; Bw1 e Bw2; Perfil3 (P3): Horiz. A; Bw1e Bw2; Perfil4 (P4): Horiz. A; Bw1 e Bw2; Luz polarizada (PPL); razão entre a parte ocupada pelo material grosseiro (G) e material fino (F), que define a relação G/F, sendo material fino com tamanho de 2µm, na relação 1:2 e 1:3; 16x, 40x e 10x: referente a número de vezes em que a imagem foi aumentada.

Figura 17 – Fotomicrografias ilustrativas das microestruturas dos horizontes dos quatro perfis do solo.

O Quadro 2 permite deduzir que se trata de solos de textura média, ainda que o P1 contenha mais argila, corroborando os resultados analíticos e testes de campo. A fração argila é caulinítico-ferruginosa, como esperado, em se tratando de solo de região tropical (ferralítico) com duas estações alternadas, de cor bruno avermelhada muito escura, isótica e cimentante da fração grossa quartzosa, que é constituída de grãos de quartzo incolor nas dimensões areia grossa, média e fina. Mostra também o silte, sendo mal selecionados (bem distribuídos), angulosos, subangulosos e mais raramente subarredondados (apenas alguns maiores), sendo mais abundantes nos horizontes superiores, onde os maiores são também mais frequentes. Alguns destes se fragmentam em grãos menores a partir de fissurações, cáries e cavidades de dissolução nas bordas.

A porosidade cavitária chama a atenção pela sua abundância, sendo mais expressiva nos horizontes superiores, podendo ocupar zonas expressivas das lâminas, onde é dominante. Na maioria são irregulares e decorrentes do arranjo, nada indicando origem por eluviação intensa dos finos. Chama a atenção ainda o fato de que nos perfis P2 Bw1 e P3 Bw1 ocorrem cascalhos e mesmo calhaus, centimétricos, subangulosos/ subarredondados, constituídos por quartzo microcristalino, típico da rocha metamórfica subjacente (granito-gnáissica), indicando filiação direta rocha – solo, sem movimentos laterais significativos de solo, o que permite deduzir que se trata de material relativamente estável em condições de uso conservacionista.

A microestrutura da matriz é porfírica (cimentada) dominante, porém fissurada fina, compondo rede em geral descontínua, excepcionalmente contínua, formando blocos subangulares e bem desenvolvidos (só ocorre no P3, sobretudo no horizonte A), embora indique tendência em outros. Entretanto, com pedalidade moderada a fraca, como nos P1 Ap e A/B, no P2 A e no P4 Bw2. Este inclusive sugere tratar-se de fissuração típica de horizonte BC, onde é conjuntiva (as paredes se ajustam claramente), a litodependência ainda é forte (presença de litorrelíquias, como calhaus e cascalhos de quartzo microcristalino) e a pedogênese é inicial (fissuração fraca).

Segundo Ruellan e Dosso (1993), a fissuração marca o início do processo pedogenético, o qual, à medida que evolui, configura uma estrutura em blocos, separados por fissuras e fendas, e prepara os finos das suas paredes para futuras mobilizações pelas fissuras e fendas, onde a água passa a circular. Assim, a microestrutura porfírica fissurada, mas fina e descontínua, revelaria processo pedogenético ainda pouco desenvolvido, tratando-se, portanto, de Latossolos geoquimicamente pouco evoluídos. A microestrutura enáulica, ao contrário, é muito comum em Latossolos bem desenvolvidos e ricos

em argila e ferro e, ou, alumínio, configurando microagregação típica (pó-de-café) (CASTRO *et al*, 2003), mas esta só aparece nos horizontes P1 Bw1, P3 A e Bw1 e no P4 Bw1, sendo o Bw esperado, já que se trata de horizonte diagnóstico de latolização (SiBCS, 2013). Mesmo assim, é secundária, isto é, associada ao desprendimento de fragmentos das paredes dos poros maiores, preenchendo as cavidades com fragmentos menores e mais subangulosos, e nos canais (biológicos) por excrementos da mesofauna misturados aos fragmentos da própria matriz do solo, no interior das microestruturas porfíricas.

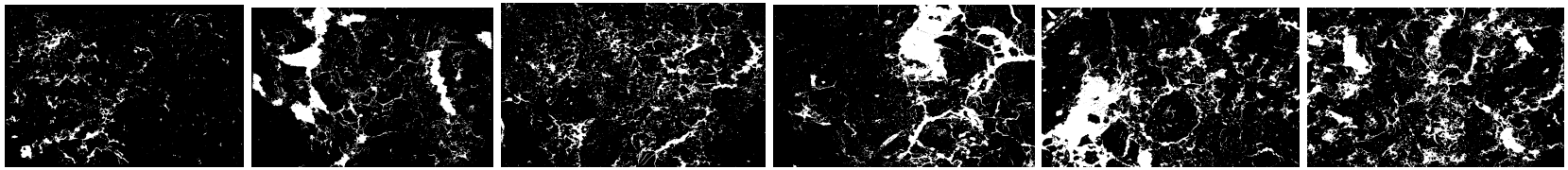
A micromorfometria dos poros e poroides está representada pelas fotomicrografias binárias (Figura 18) e pelos gráficos da porosidade correspondentes, contidos nas Figuras 19 a 22 dos horizontes dos perfis estudados.

Na Figura 24 mostra-se o resultado da análise de imagens da porosidade em que o comportamento dos macro e mesoporos foi analisado em relação à porosidade total visível nas lâminas (PTL), o número de poros (NP), suas formas (arredondados, alongados e complexos) e tamanhos (pequenos, médios e grandes), de acordo com os parâmetros indicados anteriormente. Observando-se essa figura pode-se constatar o que segue (Figuras 19 a 22).

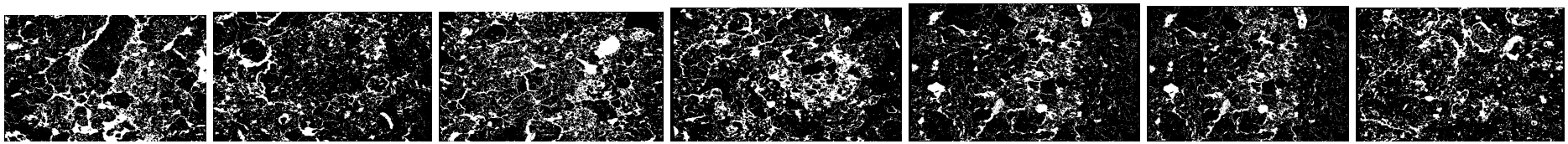
Analisando-se globalmente a topossequência quanto à morfoporosidade (Figuras 19 a 22) e quanto ao comportamento da PTL, pode-se constatar que P1 possui a segunda mais elevada dos quatro perfis, aumenta em profundidade, isto é do horizonte Ap para o Bw2, depois diminui notavelmente no P2, embora repita a mesma tendência de aumento em profundidade, como no P1. Depois a porosidade volta a aumentar fortemente no P3, o mais poroso dos quatro perfis, sobretudo no A e Bw1, mas, contrariamente aos anteriores, decresce fortemente no Bw2. Em seguida, aumenta ligeiramente no A do P4, mas, igualmente, diminui drasticamente nos Bw1 e Bw2, repetindo a mesma tendência do P3, porém mais acentuada (Figura 23).

Assim, podem ser considerados dois conjuntos de comportamento, o de montante (P1 e P2) e o da vertente média/inferior, em que a porosidade aumenta e diminui em profundidade, respectivamente. Nos dois conjuntos há diminuição lateral também, contudo o patamar inicial do perfil a montante é menor, embora mais contrastado, enquanto do segundo é maior e menos contrastado. Estes comportamentos sugerem boa infiltração nos perfis P1 e P2, embora menor neste, e boa no P3, mas dificultada em profundidade, o que se acentua no P4.

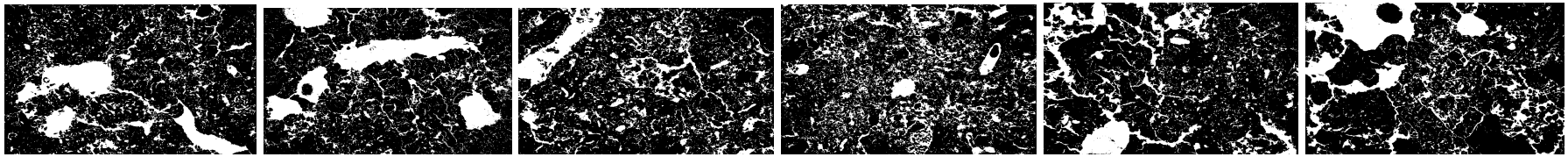
Horizonte Ap



Horizonte AB



Horizonte Bw1



Horizonte Bw2

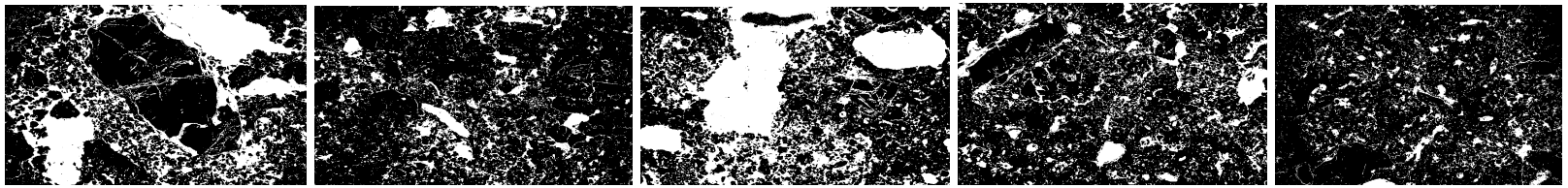


Figura 18 – Exemplo de Imagens binárias dos sítios amostrais dos horizontes do perfil de solo P1 onde a massa do solo aparece em preto e os poros em branco.

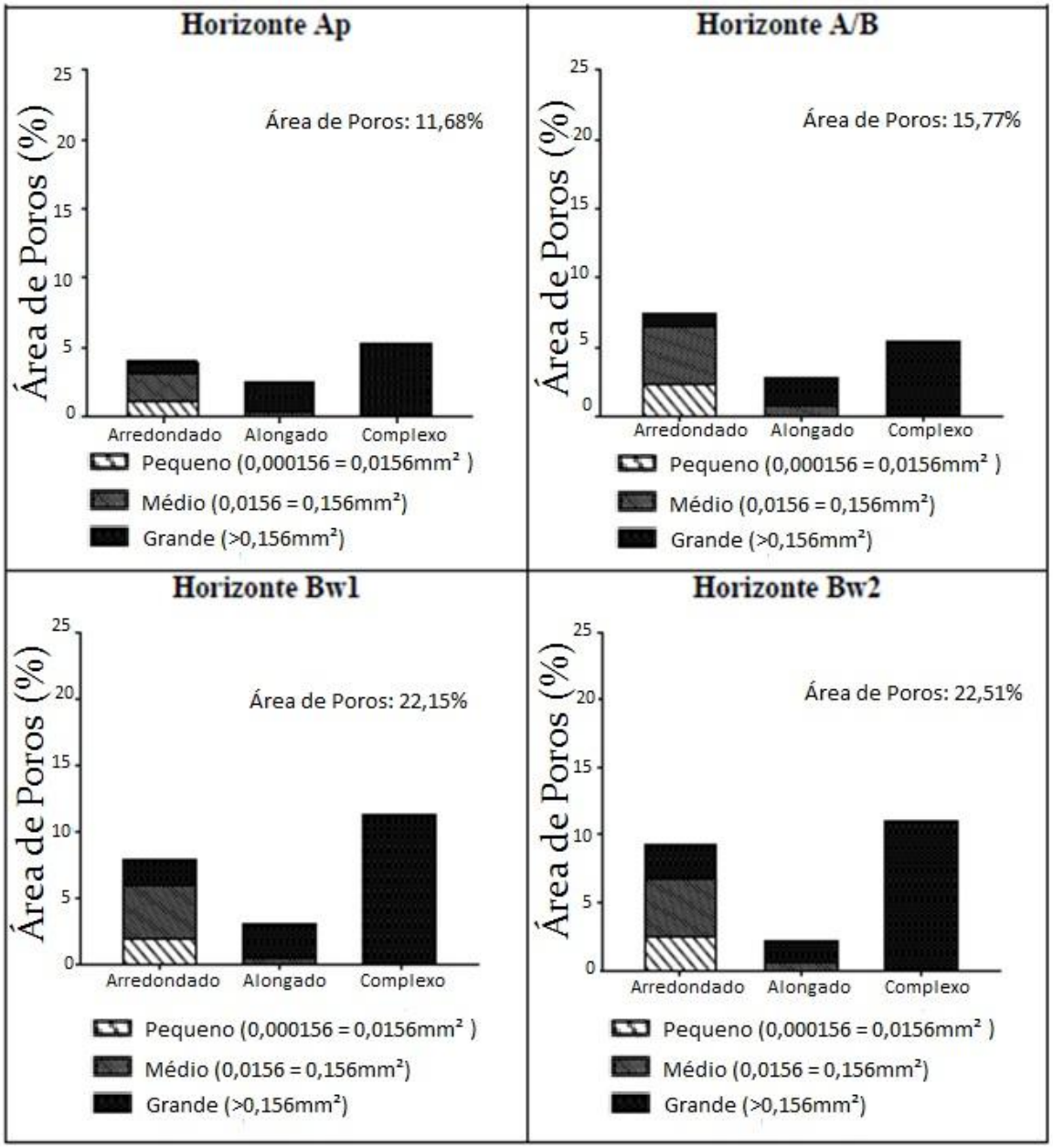


Figura 19 – Distribuição dos valores médios da porosidade total visível segundo a forma e o tamanho dos poroides dos horizontes do P1.

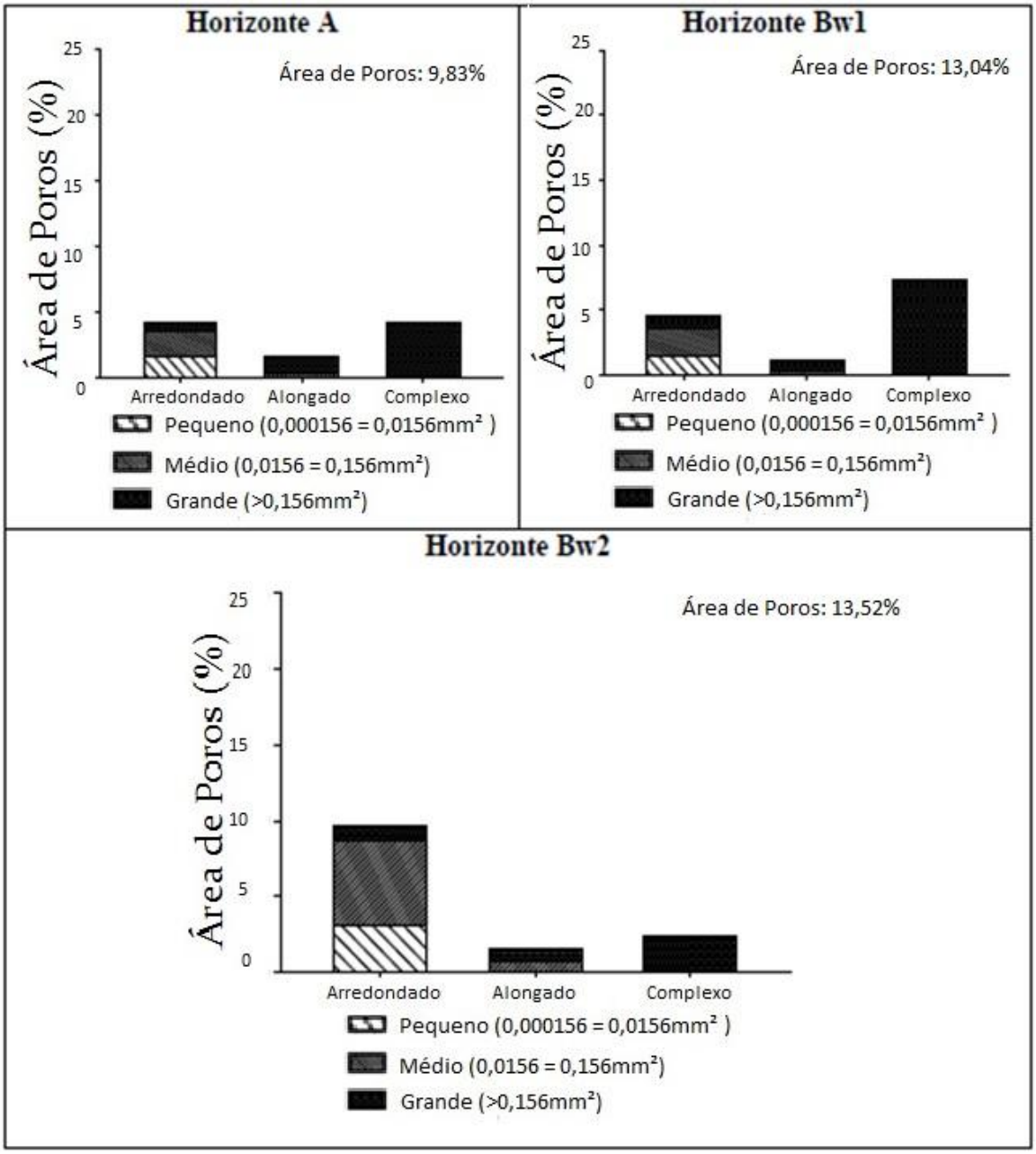


Figura 20 – Distribuição dos valores médios da porosidade total visível segundo a forma e o tamanho dos poroides dos horizontes do P2.

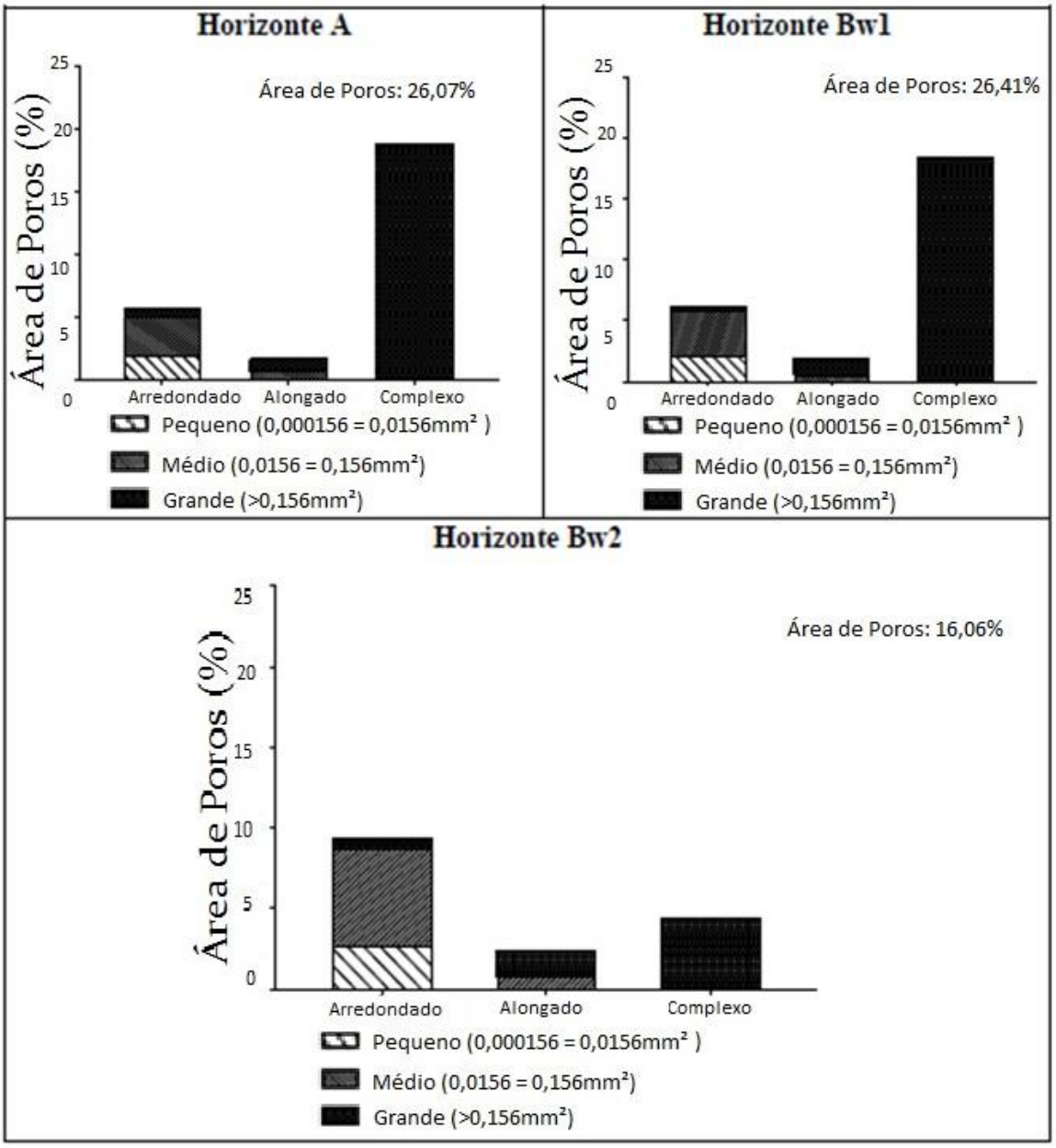


Figura 21 – Distribuição dos valores médios da porosidade total visível segundo a forma e o tamanho dos poroides dos horizontes do P3.

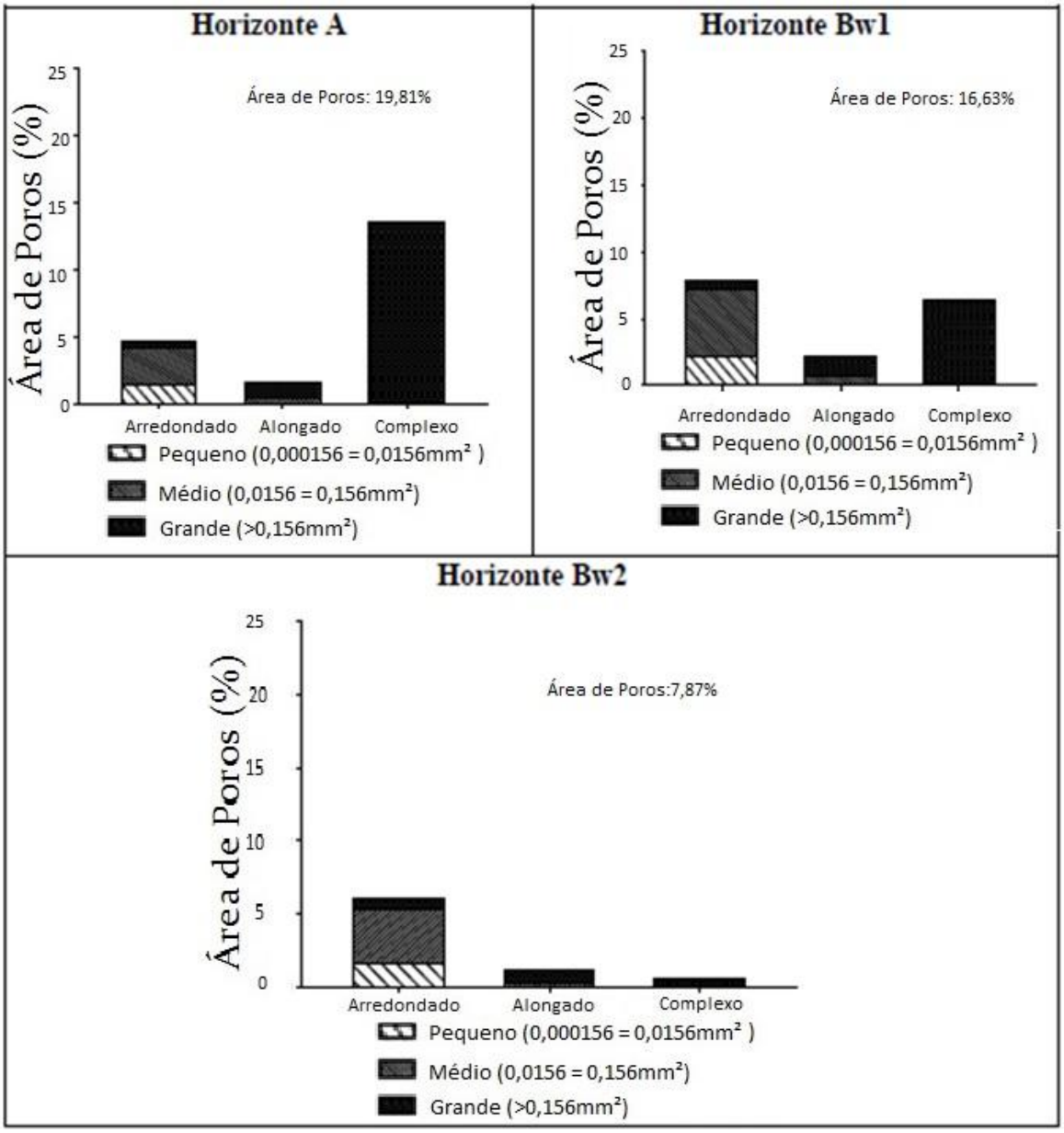
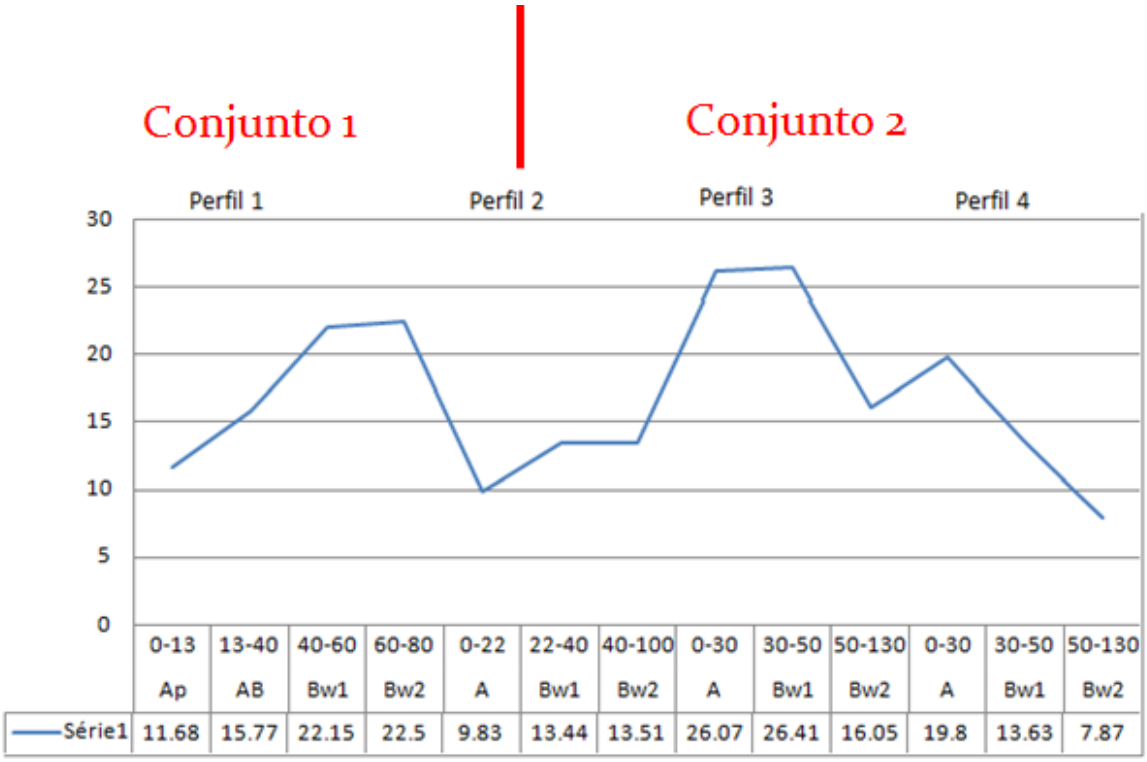


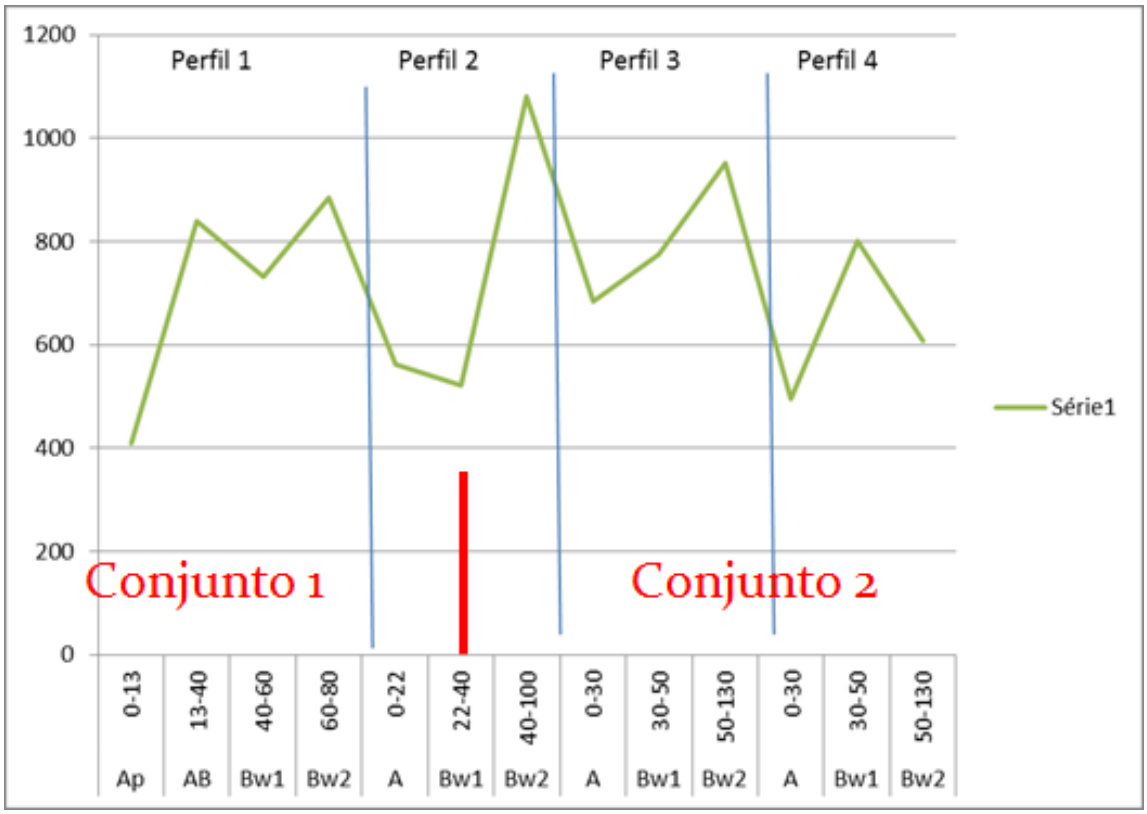
Figura 22 – Distribuição dos valores médios da porosidade total visível segundo a forma e o tamanho dos poroides dos horizontes do P4.



O valor X, corresponde aos perfis e Y aos valores numéricos correspondentes.
Fonte: valores extraídos da planilha produzida pelos programas Vizilog e Sigmaplot.

Figura 23 – Variação percentual da Porosidade Total visível na Lâmina - PTL (%).

O número de poros (NP) variou mais que a porosidade total na lâmina (PTL) para o conjunto dos perfis, embora graficamente possa-se dizer que, grosso modo, repita a mesma tendência de dois comportamentos distintos. No P1, o NP oscilou, pois aumentou do Ap para o A/B, diminuiu no Bw1 e voltou a aumentar no Bw2. No P2, o horizonte A voltou a apresentar valores baixos, próximos daqueles do Ap do P1, e diminuiu ainda mais no Bw1, mas retomando aumento notável no Bw2, quando atingiu os valores mais elevados dentre os quatro perfis. No P3, os valores do horizonte A foram mais baixos ainda que os do P2 Bw2, aumentaram no Bw2, porém sem atingir os valores máximos nele encontrados. No P4, o horizonte A apresentou valores próximos do A do P2, aumentou no Bw1, mas, também, não alcançou os valores máximos. A Figura 24 ilustra o exposto.



O valor X, corresponde aos perfis e Y aos valores numéricos correspondentes.

Figura 24 – Variação do número total de poros visíveis nas lâminas dos perfis (NP).

Comparativamente, os horizontes A e Ap apresentaram os menores valores de NP e PTL, ao contrário dos Bw1 e Bw2, mais elevados, fato esperado em decorrência do manejo que pode diminuir a porosidade e o número de poros em superfície. Do mesmo modo que para a PTL, perceberam-se duas tendências, uma de redução crescente entre o P1 e o P2, com patamar inicial mais elevado e decréscimo mais baixo; e outra de diminuição dos valores máximos aos mínimos do P3 ao P4, mas iniciando-se de patamar mais elevado (P3), o que permitiu distinguir também dois grupos de perfis, como já notado e discutido na PTL, além dos dados analíticos e os testes físico-hídricos de TI e RP. Em síntese, as maiores PTL corresponderam aos maiores NP.

Quanto às formas (Figuras 19 a 22), no P1 dominaram os poros complexos e subdominaram os arredondados, embora no AB tenha ocorrido o inverso. Analisando os tamanhos dos poros constata-se que os complexos são grandes em todos os horizontes e perfis, já os arredondados contêm os três tamanhos, ainda que predominassem os médios. No P2, a porosidade diminuiu notavelmente, em relação ao P1. Dominaram os

poros complexos e grandes no A e Bw1, seguidos pelos arredondados que também contêm os três tamanhos como assinalado acima, porém foram equivalentes. No Bw2, além da porosidade aumentar, passou a dominar os poros arredondados e, do mesmo modo acima, contendo as três classes de tamanho, porém já mostrando ligeiro domínio dos médios, logo seguidos dos pequenos. No P3, horizontes A e Bw1 repetiu-se o mesmo comportamento dos anteriores; entretanto, a porosidade aumentou notavelmente nestes dois horizontes, foi complexa e grande, voltou a diminuir no Bw2, onde os arredondados passaram a dominar, mas, do mesmo modo, contendo as três classes de tamanho, com predomínio dos médios, seguidos dos pequenos, como observado no P2. Finalmente, no P4, a porosidade foi maior no horizonte A, mas decresceu notavelmente no Bw1 e mais ainda no Bw2. No horizonte A, os poros complexos e grandes dominaram largamente e os arredondados continuaram contendo as três classes de tamanho, com leve predomínio dos médios, seguidos dos pequenos. No Bw1, os complexos grandes e os arredondados, contendo os três tamanhos, desta feita equivalentes, se aproximaram, com ligeiro predomínio destes últimos. No Bw2, além da porosidade diminuir drasticamente, os arredondados predominaram, sendo médios seguidos dos pequenos.

Comparando-se os quatro perfis, embora houvesse variações, percebeu-se que a porosidade complexa e grande, se destacou em quase todos os horizontes superiores dos perfis (Ap, A e Bw1), mas essa tendência não se aplicou aos Bw2, onde os arredondados médios seguidos dos pequenos dominaram, relegando os complexos e grandes a uma segunda posição, mas, não subdominante. Nota-se que os alongados foram sempre grandes, mas, não se destacaram no conjunto dos perfis e respectivos horizontes, embora no P1 tenham sido mais evidentes.

Estes comportamentos não sugerem compactação forte em nenhum dos perfis, ainda que os menores valores de NP e PTL possam indicar maiores densidades do solo nos horizontes superiores Ap, AB e Bw1, dos perfis P1 e P2, sugerindo possível compactação, porém fraca. Além do inferior, Bw2, do P4, este de certo modo surpreendente, fazendo supor que se trataria muito mais de um BC.

Em síntese, esses resultados apresentaram correspondência com os demais resultados da morfologia em campo e de análises físicas e ensaios obtidos, embora não indicasse compactação forte. Comportamentos similares têm sido encontrados por outros autores, mas para outras culturas, como, por exemplo, as relatadas por Dias Júnior (2000) e Richardt *et al*. (2005), em que o cultivo convencional de grãos em solos

de textura média a argilosa/muito argilosa, são mais compactantes em virtude da maquinaria pesada empregada em todas as fases do processo.

Convém lembrar que, no morango, o emprego de máquinas se dá apenas no preparo do solo, os quais são mais leves que os utilizados nas culturas de grãos e, além disto, mistura-se substrato ao próprio solo como antes descrito, o que o torna mais leve e mais orgânico. Assim, pode-se dizer que haveria adensamento dos horizontes superficiais e subsuperficiais, sem, contudo, impedir a infiltração, muito embora os testes de resistência a penetração (RP) já tenham sinalizado restrições em virtude dos valores acima de 2 MPa e mesmo maiores do que 4 MPa, nas profundidades entre 10 e 20 cm, levando a supor a ocorrência de fluxos hídricos lateralizados, acima do deles e para jusante, como deduzido no item anterior com relação às rotas de fluxo.

Corroboram esta interpretação, a redução de PTL e NP nos horizontes superiores, o que favorece o aumento do escoamento superficial (lateral), tanto das águas pluviais como das águas de irrigação. Por outro lado, a redução notável destes mesmos indicadores no P2, aliada ao aumento do declive, leva a supor a potencialização deste fenômeno a partir deste ponto na encosta. Entretanto, no P3, a situação voltou a favorecer a infiltração, mas no rumo do P4 e nele próprio, novamente a situação observada para o P2 se repetiu; contudo, desta feita, no perfil todo, embora mais grave no Bw2; por esta razão, possivelmente possa ser denominado de BC.

Em síntese, embora a taxa de infiltração (TI) indique possibilidade de boa drenagem, a resistência a penetração (RP) sugere alerta, bem como os resultados da morfometria dos poros, para o caso de haver episódios de chuvas intensas ou irrigação cujos volumes sejam superiores aos das TIs, situação esta que pode induzir lateralização de fluxos hídricos e, consequentemente, erosão hídrica. Adiante, estes fluxos serão mais bem indicados. Com valores alto de RP, porosidade total alta e baixa PTL, isto está correlacionado diretamente com os microporos.

5.3. Caracterização analítica

5.3.1. Análises físicas

Os resultados da análise textural estão apresentados na Tabela 5, onde se pode constatar que os perfis enquadraram-se na classe textural média (argiloarenosa), segundo diagrama textural adotado pela EMBRAPA (2011), observando-se presença

significativa de areia total, teores baixos de argila dispersa, ainda que ligeiramente menores no Perfil P1, e graus de floculação elevados, o que sugere bom desenvolvimento e boa estabilidade aos solos. Neste sentido, a relação silte/argila também indica materiais bastantes intemperizados, exceto no P4, o que corrobora a discussão do item anterior. E a porosidade total é elevada, podendo-se concluir com isto, boa circulação hídrica vertical importante, do tipo recarga no P1 e menor no P2 e P3.

A argila dispersa em água (ADA) permite avaliar o grau de floculação (GF). Em relação aos teores de ADA nas diferentes profundidades, observa-se que, em todos os horizontes avaliados nos perfis estudados, não houve diferença significativa, já que os teores de ADA tendem a diminuir com o aumento da profundidade do solo, conforme observado por Alleoni e Camargo (1994). Segundo Lima (2004), o teor da ADA é muitas vezes usado como indicativo da suscetibilidade do solo à erosão e ao encrostamento superficial, que são causadores da degradação do solo. A ADA e o GF são dois parâmetros indicadores das condições de estabilidade dos agregados do solo, refletindo, de maneira generalizada, em maior ou menor grau, a resistência do solo à erosão.

Raij (1971) afirmou que a argila é completamente floculada quando o pH está em torno de 6,0, o que pode ser comprovado com os resultados obtidos nos perfis estudados.

Quanto aos valores da densidade do solo (Ds) elevados, eles podem incorrer em impedimento mecânico para o crescimento das raízes. A porosidade do solo apresentou íntima correlação com a taxa de infiltração, a permeabilidade e a condutividade hidráulica dos solos, que definem o comportamento do solo relativo à drenagem e à sua capacidade de armazenamento de água.

O comportamento vertical da densidade, da argila e da areia total dos solos, evidenciam um nítido aumento de densidade e de argila para jusante, contrariamente à areia total, o que pode ser resultante de migração lateral de argila nos horizontes superficiais e subsuperficiais (lessivagem). Corrobora, neste sentido, o fato de a argila dispersa aumentar significativamente no horizonte Bw1, o que o deixa mais vulnerável à circulação hídrica, enquanto no Bw2 subjacente diminui. Isto porque a argila dispersa indica instabilidade potencial da estrutura por liberação dessa fração para a circulação de água e concentração residual da fração grossa (areia).

Tabela 5 – Resultados das análises físicas dos quatro perfis estudos

Horizonte		Composição Granulométrica da Terra Fina				Argila Disp. em H_2O[5/]	Grau de Floculação[6/]	Relação Silte/Argila[7/]	Densidade		Porosidade Total[10/]
Símb.	Prof. (cm)	Areia Grossa[1/]	Areia Fina[2/]	Silte[3/]	Argila[4/]				Solo[8/]	Pat[9/]	
		---------- dag/kg ----------					------ % ------	------ % ------	---------- g/ cm^3----------		------ % ------
		Perfil 1									
Ap	0 – 13	33	8	16	43	9,44	78,04	37,21	1,09	2,85	61,75
A/B	13 – 40	41	2	11	46	9,10	80,21	23,91	1,17	2,77	57,76
Bw1	40 – 60	28	11	15	46	11,2	75,65	32,60	1,22	2,77	55,96
Bw2	70 -80	26	11	14	49	0,22	99,55	28,57	1,25	2,79	55,20
C	80-100	27	8	17	48	0,62	98,7	35,42	1,28	2,82	54,46
		Perfil 2									
A	0 – 22	39	7	10	44	8,2	81,36	22,73	1,20	2,82	57,44
Bw1	22 – 40	45	8	8	39	6,54	83,23	20,51	1,35	2,89	53,28
Bw2	40-100$_+$	51	6	12	31	0,22	99,29	38,71	1,33	2,52	47,22
		Perfil 3									
A	0 – 30	24	22	11	43	8,86	79,39	25,58	1.29	2,55	49,41
Bw1	30 – 50	14	20	23	43	0,72	99,48	53,49	1,33	2,78	52,15
Bw2	50-130	25	24	11	40	6,52	83,7	27,50	1,48	2,28	35,08
		Perfil 4									
A	0 – 30	40	2	12	46	3,74	91,86	26,08	1,19	2,20	44,90
Bw1	30 – 50	30	1	24	45	0,12	99,73	53,33	1,38	2,79	50,53
Bw2	50-120	31	1	17	51	4,5	91,17	33,33	1,44	2,65	45,66

Hor = horizonte; Símb = símbolo; Prof. = profundidade; [1/] Areia Grossa; [2/] Areia Fina; [3/] Silte; [4/] Argila; [5/] Arg./Água = Argila Dispersa em água; [6/] GF = Grau de Floculação; [7/] S/Arg. = relação Silte/Argila; [8/] Ds = Densidade do Solo; [9/] Dp = Densidade de Partículas; e [10/] PT = Porosidade Total do solo.

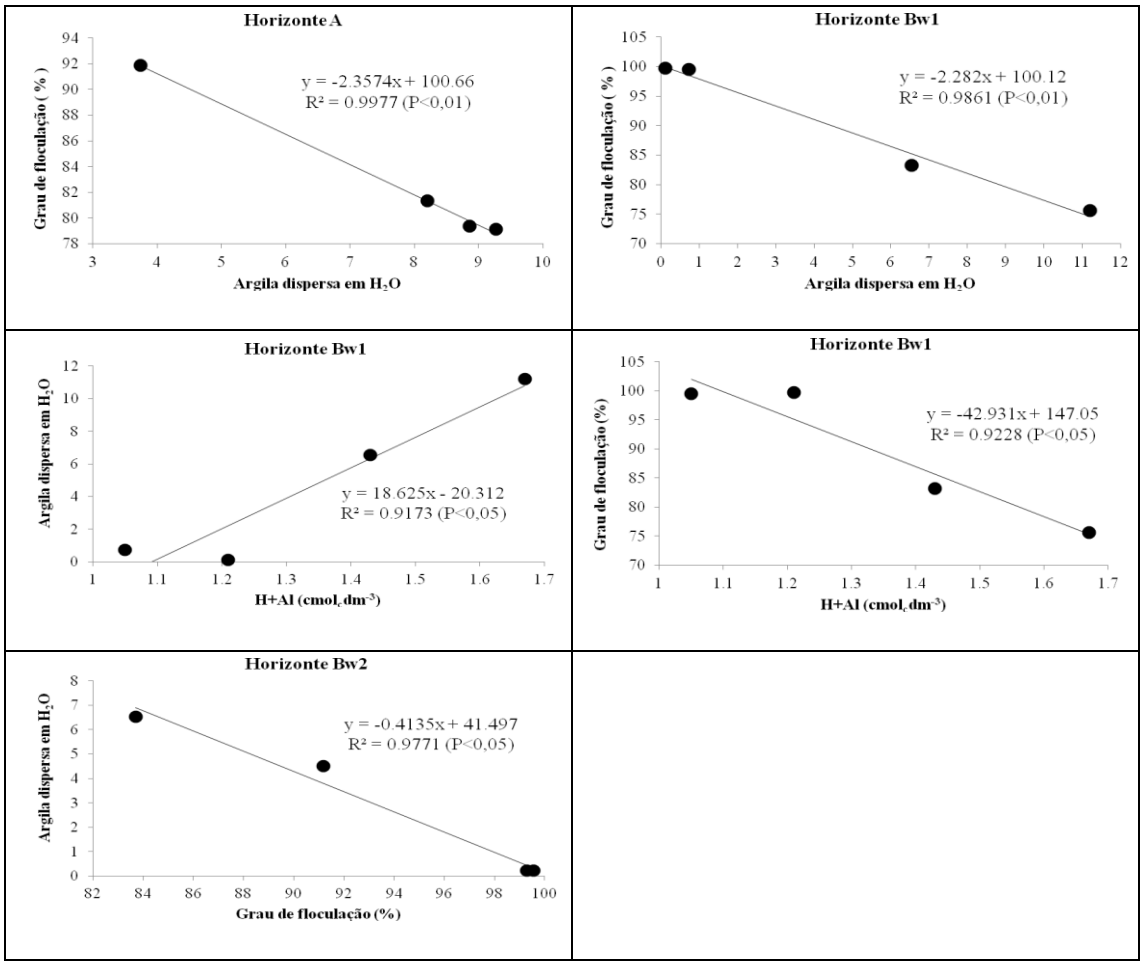


Figura 25 – Correlação das variáveis argila dispersa em água, grau de floculação, matéria orgânica e H + Al, para os horizontes dos quatro perfis estudados (n = 4), em gráficos de regressão linear.

Neste caso, o morango está sendo cultivado, portanto, sobre material com instabilidade potencial, principalmente se irrigado excessivamente, seja por erro no cálculo do volume, seja por acidente com a tubulação. Por outro lado, a argila translocada poderá enriquecer outros horizontes para jusante e aumentar a densidade do solo, o que estaria ocorrendo, embora, de modo geral, possa-se afirmar que nos diferentes horizontes dos perfis de solo, as váriaveis densidade do solo, areia fina, pH em H_2O, grau de floculação e areia grossa sejam mais similares entre si, do que o restante das váriaveis utilizadas. Mas, essa informação é importante para identificar grupos de váriaveis principais, com vistas a detectar o comportamento morfológico marcado por eventual potencial de instabilidade estrutural.

A análise dos gráficos da Figura 26 permite corroborar a interpretação anterior, ou seja, de que houve um aumento vertical e lateral da densidade do solo, com as menores registradas no P1 e as maiores nos P3 e P4. Igualmente, a argila aumentou em subsuperfície em todos os perfis, com destaque para os perfis P1 e P4. A areia total, ao contrário, diminuiu significativamente no sentido inverso ao da argila, exceto no P2. Estes comportamentos refletem o enriquecimento de argila em profundidade e a concentração residual de areia, exceto no P2 em superfície, ou ainda perda lateral de argila em superfície até cerca de 50 cm de profundidade, com ganhos no P2, no terço superior, próximo à ruptura de declive de topo, o qual pode ser uma barreira.

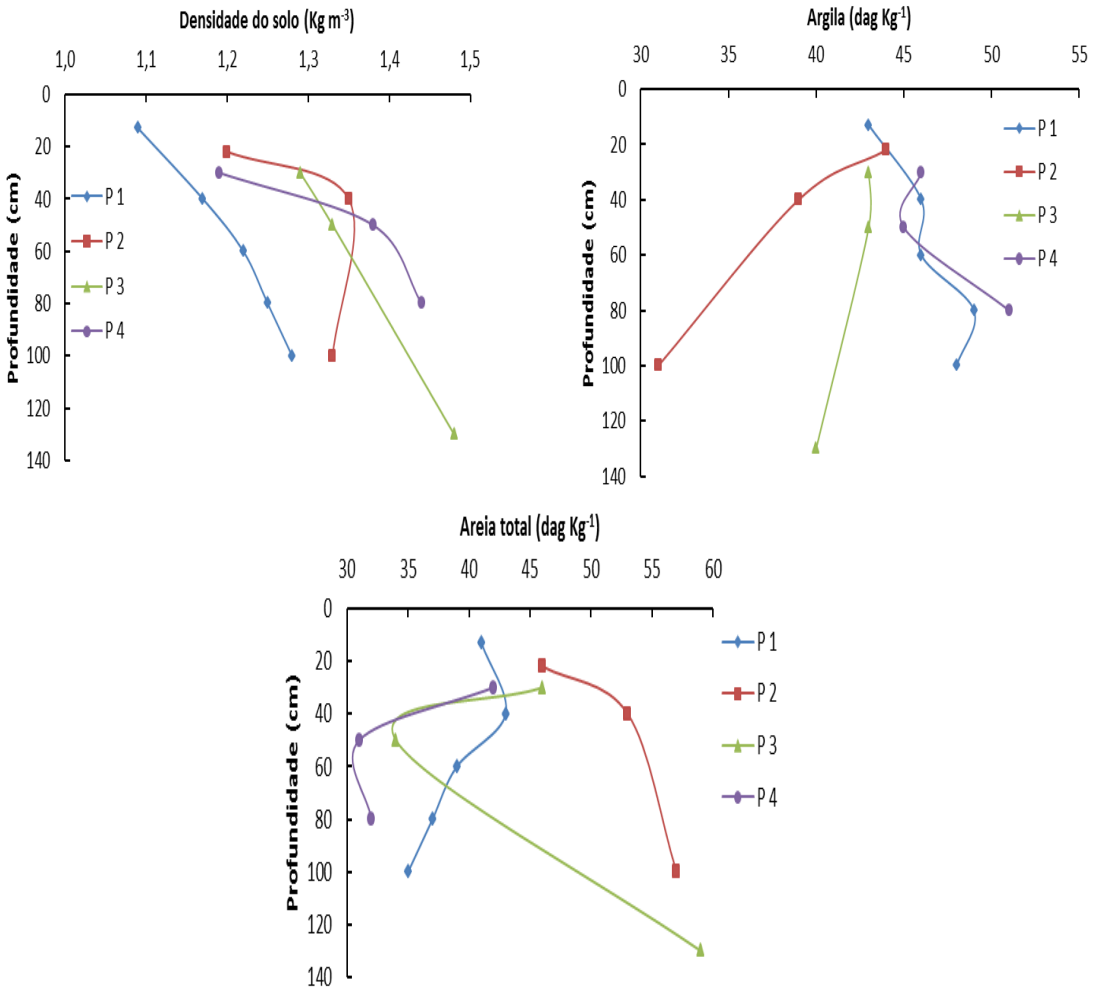


Figura 26 – Variação em profundidade da densidade do solo, argila e areia total dos perfis.

5.3.2. Análises químicas

Os resultados apresentados na Tabela 6 evidenciam que se trata de solos ácidos a moderadamente ácidos, pobres em nutrientes no complexo sortivo (valor S), em que o Ca^{++} é maior, o que foi associado à calagem, características corroboradas pelo valor de saturação em bases V%, a baixa CTC, baixos teores em P assimilável, exceto nos horizontes A superficiais, o que foi associado à adubação. Chama a atenção o pH dos Bw 1 e Bw 2, próximo de 6, com saturação de alumínio do P1 maior do que 12% nos horizontes exceto o A, e Bw2 do P3 e P4 e neste ainda no A, quando comparados aos demais horizontes e perfis. Estes teores e respectivos parâmetros confirmam o caráter distrófico dos Latossolos, exceto do Perfil 1, que pode ser considerado alumínico.

De qualquer modo, fica evidente que há mesmo dois conjuntos de Latossolos, o do topo, mais fortemente intemperizado e o da vertente, menos. Isto explica, em parte, a diferença de rendimento e qualidade do morango. A qualidade, apresentada pelo morango cultivado na parte do topo, tem apresentado melhor desenvolvimento e, consequentemente, melhor qualidade. As condições do perfil nesta localização apresentou melhores características químicas de fertilidade.

A Tabela 7 apresenta os resultados das análises químicas dos perfis estudados e a Figura 27 apresenta os gráficos das variáveis pH, CTC, P e MOS consideradas mais significativas para avaliação do comportamento da fertilidade dos solos da topossequência, comparativamente. Segundo o observado nessa tabela e em particular na Figura 33, o comportamento da fertilidade dos solos analisados encontra-se dentro do esperado, ou seja, o pH aumentou em profundidade, ao contrário da CTC, do P e da MO, podendo está relacionado com fluxo lateral.

Entretanto, chama a atenção o P1 que se destacou entre os demais por apresentar esses valores maiores em superfície; o P1 e o P3, por apresentarem aumento notável de P em subsuperfície; e o P2 a 20 cm de profundidade, pelo teor um pouco maior de MOS em relação ao P1 e ambos se destacaram em relação aos demais perfis que não apresentaram teores relevantes. A variação do P e da MOS pode estar relacionada à adubação e adição de substrato ao solo, respectivamente, pois coincide com os canteiros do morango. Se houve perda nos demais perfis não há como saber, a menos que fosse analisada uma topossequência em área preservada, o que fugiu aos objetivos desta pesquisa.

Tabela 6 – Resultados das análises químicas dos quatro perfis estudos

Horiz.	Profundidade (cm)	pH (1:2,5)			Complexo Sortivo								MO[4]	V[5]	m[6]	P	P. rem.[7]
		KCl	H_20	$\Delta pH^{(1)}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K	Na	Al^{3+}	H+Al	$SB^{(2)}$	$T^{(3)}$					
					---------- $cmol_c dm^{-3}$ ----------								$dag.kg^{-1}$	---------- % ----------		$mg.dm^{-3}$	---- mg/L ----
Perfil 1																	
A	0-13	5,25	6,02	-0,77	2,74	0,65	0,21	0,04	0,00	2,07	3,60	5,67	0,96	63,50	0,00	8,50	23,20
A/B	13-40	4,60	5,35	-0,75	0,52	0,12	0,09	0,02	0,10	1,95	0,73	2,48	0,54	29,40	12,00	1,30	16,1
Bw1	40-60	4,82	5,70	-0,88	0,28	0,03	0,03	0,02	0,05	1,67	0,34	1,91	0,44	17,80	12,80	0,90	13,3
Bw2	60-80	5,81	5,80	0,01	0,22	0,02	0,02	0,01	0,05	1,29	0,26	1,45	0,33	17,90	16,10	0,80	7,3
C	80-100+	5,82	5,80	0,02	0,18	0,01	0,02	0,01	0,10	1,32	0,21	1,33	0,13	15,80	32,10	0,80	6,50
Perfil 2																	
A	0-22	4,61	5,35	-0,74	0,86	0,15	0,18	0,02	0,10	2,27	1,13	3,20	1,07	35,30	8,10	1,50	16,5
Bw1	22-40	5,15	5,45	-0,30	0,44	0,13	0,06	0,02	0,05	1,43	0,63	1,96	0,54	32,10	7,40	0,80	17
Bw2	40-100+	6,33	5,85	0,48	0,34	0,08	0,04	0,01	0,05	1,05	0,46	1,41	0,12	32,60	9,80	0,30	9,1
Perfil 3																	
A	0-30	4,49	5,30	-0,81	0,87	0,06	0,10	0,03	0,10	2,05	1,03	2,88	0,64	35,80	8,80	9,10	19,5
Bw1	30-50	6,29	5,70	0,59	0,56	0,18	0,15	0,03	0,05	1,05	0,89	1,84	0,41	48,40	5,30	1,10	9,1
Bw2	50-130+	6,10	5,70	0,40	0,53	0,04	0,04	0,01	0,10	1,21	0,61	1,62	0,11	37,70	14,10	0,40	7
Perfil 4																	
A	0-30	4,57	5,25	-0,68	0,41	0,11	0,15	0,01	0,10	1,68	0,67	2,15	0,75	31,20	13,00	1,10	15,2
Bw1	30-50	6,38	5,65	0,73	0,51	0,04	0,02	0,01	0,05	1,21	0,57	1,63	0,44	35,00	8,10	1,30	4,5
Bw2	50-80+	5,59	5,55	0,04	0,48	0,05	0,05	0,01	0,10	1,26	0,58	1,64	0,13	35,40	14,70	1,50	2,6

em que [1]ΔpH = pH KCl - pH H_2O; [2]SB = soma de bases (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+); [3]T = capacidade de troca de cátions (SB + H + Al^{3+}); [4] MO = matéria orgânica; [5]V = saturação por bases (SB x 100/T). [6] m = saturação por alumínio (Al^{3+} x 100/t); [7] P. rem.= fósforo remanescente (ALVAREZ V. *et al.*, 2000).

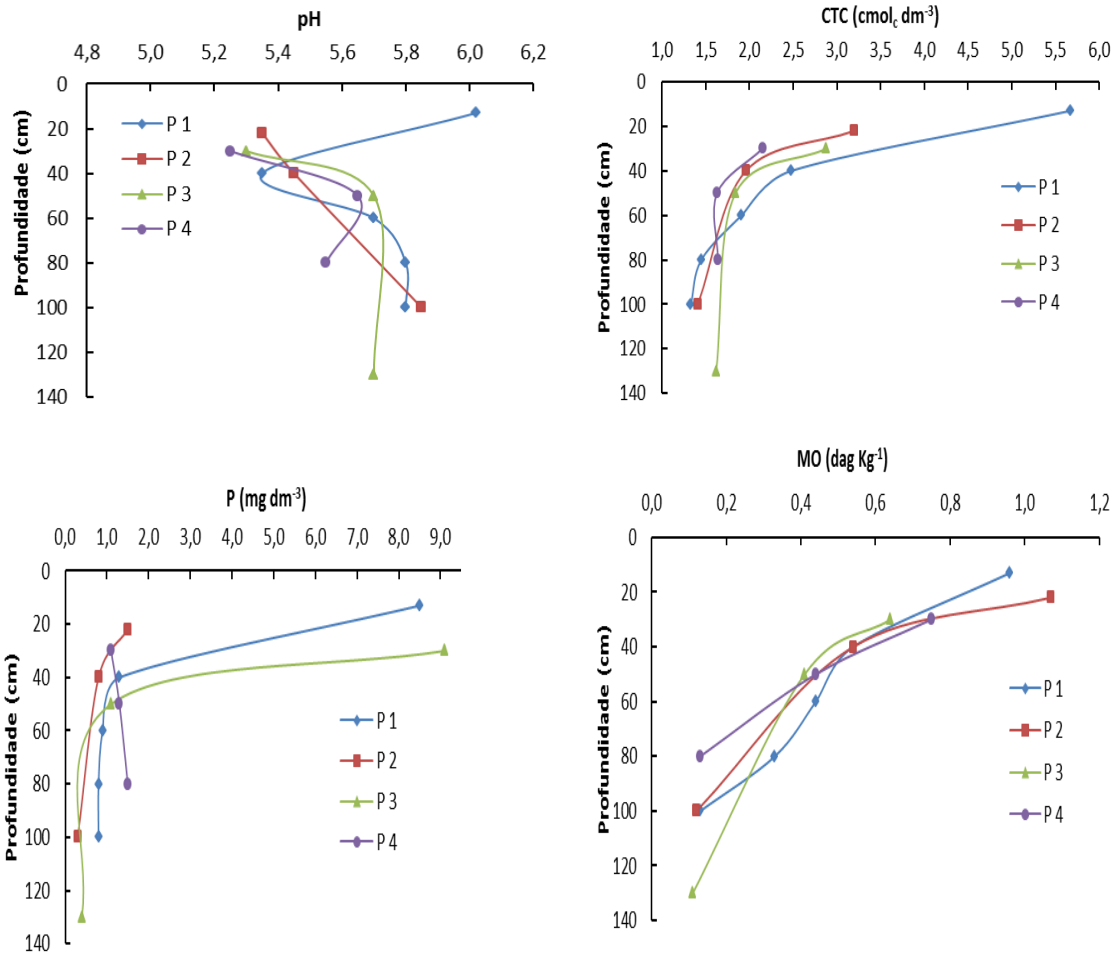
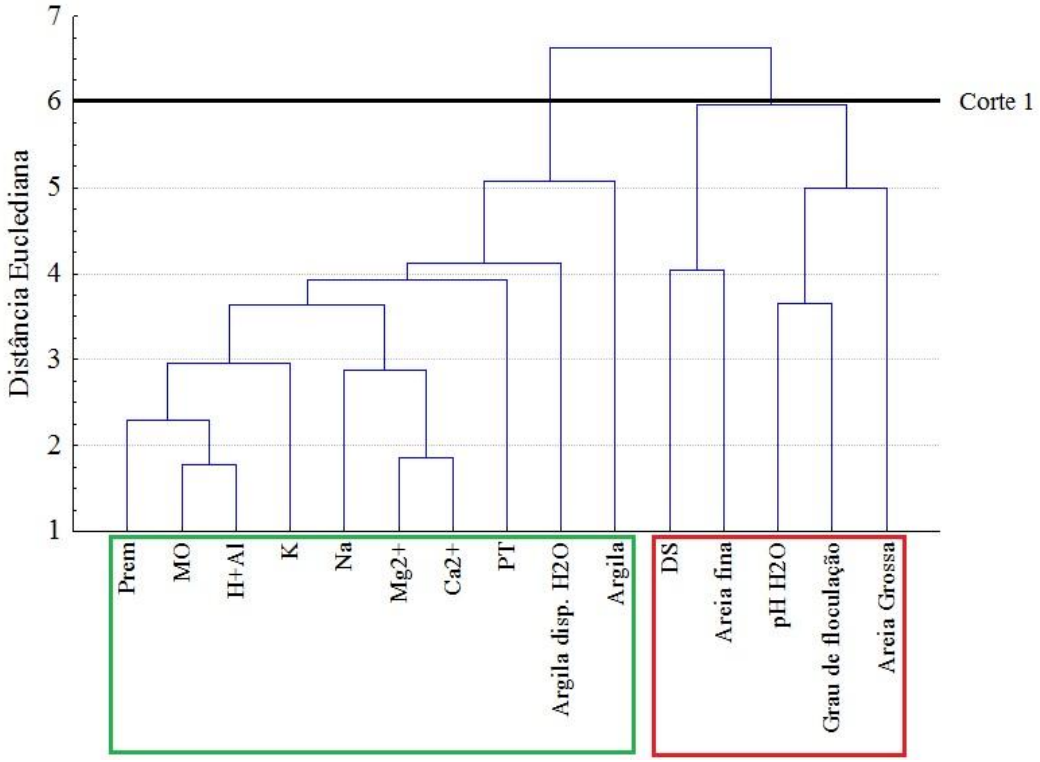


Figura 27 – Variações do pH, CTC, P e MO em profundidade nos perfis de solo.

5.3.3. Análise multivariada dos resultados analíticos

A Figura 29 apresenta o resultado da análise multivariada dos resultados analíticos obtidos para os quatro perfis, referentes ao conjunto de parâmetros físicos (areia grossa, areia fina, grau de floculação, argila, Ds, PT, argila dispersa em água) e químicos (pH em água, Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^{+}, Na^{+}, H^{+} + Al^{3+} , P. rem, e MO) nos horizontes superficiais e subsuperficiais. Nesta figura, o corte 1, feito na distância euclidina 6, mostra a formação de dois grupos de variáveis.



Fósforo remanescente (P. rem); matéria orgânica (MO); porosidade total (PT); densidade do solo (Ds)

Figura 28 – Dendrograma das inter-relações dos horizontes (A, Bw1 e Bw2) dos quatro perfis estudados.

Como exposto anteriormente, nos diferentes horizontes dos perfis as váriaveis Ds, areia fina, pH H_2O, grau de floculação e areia grossa apresentaram maior similaridade entre si, do que o restante das váriaveis apresentadas (Figura 30). Esta informação é importante para identificar grupos de váriaveis que sejam mais correlacionadas entre si. Os grupos, nos métodos hierárquicos, são geralmente representados por um diagrama bidimensional chamado de dendograma ou diagrama de árvore. Neste diagrama, cada ramo representa um elemento, enquanto a raiz representa o agrupamento de todos os elementos. Pode-se constatar que, na figura 28 com exceção do horizonte A do perfil 1, ocorreram similaridades entre os horizontes Bw1 e Bw2 dos demais perfis analisados, com pequenas diferenciações.

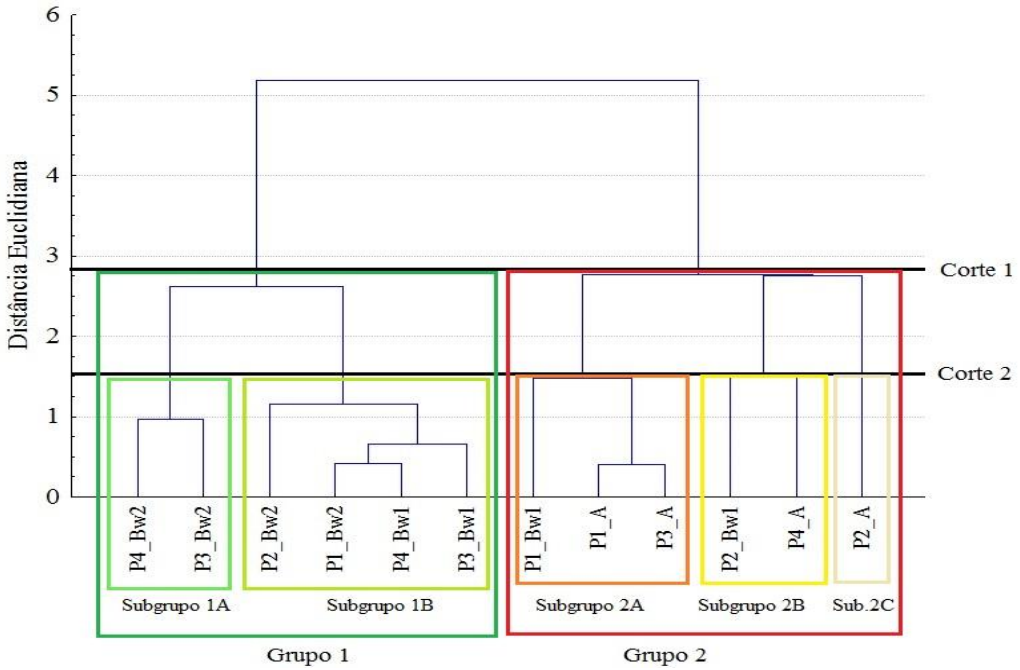


Figura 29 – Dendrograma das inter-relações dos horizontes A, Bw1 e Bw2 dos quatro perfis estudados, referentes às variáveis grau de floculação, argila dispersa em água, acidez potencial (H + Al) e matéria orgânica (MO).

O corte 1, feito na distância euclidiana 2,8, mostra a formação de dois grupos de variáveis. Ele separa o horizonte A dos horizontes Bw1 e Bw2, com exceção dos perfis 1 e 2, pois os horizontes Bw1 apresentaram comportamento similar ao horizonte A. O corte 2, feito na distância euclidiana 1,5, mostra a formação de cinco subgrupos. Os subgrupos formados acentuam as similaridades entre os horizontes dos perfis estudados. O horizonte Bw2, do perfil 4, é mais similar ao horizonte Bw2, do perfil 3, de acordo com os valores de cálcio. magnésio, sódio, alumínio, acidez potencial e matéria orgânica. Os horizontes Bw2, dos perfis 1 e 2, são similares aos horizontes Bw1, dos perfis 3 e 4, diante dos valores similares de potássio, sódio, alumínio, matéria orgânica e fósforo. O horizonte A, do perfil 4, é similar ao horizonte do Bw1, do perfil 2. Isto mostra uma interrelação direta entre essas variáveis nesses horizontes, de acordo com gráfico dendograma apresentado para os grupos 1 e 2 (Figura 29).

Essa similaridade é comprovada por algumas variáveis do complexo sortivo desses horizontes, tais como os teores de cálcio, magnésio, sódio, acidez potencial e soma de bases, associando-se à diferença de produtividade e qualidade do fruto, causados por perdas de solos e nutrientes.

5.4. Ensaios de Campo

5.4.1. Resistência à penetração

A Figura 36 apresenta as curvas de resistência à penetração (RP) já convertidas em MPa dos quatro perfis estudados, onde se pode constatar claramente o aumento muito proeminente à direita no P4, na profundidade de 10 cm, típico de pisoteio de gado. Nos demais, o aumento foi bem menor. Porém, a linha de maiores RP superficiais encontra-se a 30 cm de profundidade.

Analisando a RP dos perfis estudados e representados na Figura 31, observam-se valores no limite de 2 MPa, na camada de 0-20 cm, nos perfis P1, P2 e P3, sugerindo, no máximo, um moderado impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Entretanto, na profundidade média de 25 cm, observou-se alta RP, próxima de 4 MPa, como evidenciado acima, o que já indicaria camada de impedimento para o desenvolvimento das raízes, podendo ser causa de pressão exercida pelos discos de arado e grade exercidos no fundo do sulco de revolvimento, herdados do preparo do solo, o que remete à porosidade da influência dos microporos. Entretanto, no P4 os valores ficaram entre 4 e 5 MPa, e já na camada superficial do solo (entre 5 e 10 cm), indicando uma forte compactação na superfície deste solo, provavelmente associada ao pisoteio animal. Pode-se afirmar que estes valores tendem a induzirem a formação de lençol suspenso acima dos horizontes compactados no segmento entre os perfis P1 e P3 e sua infiltração, seguida de aumento da enxurrada a partir deste ponto e, sobretudo, do P4 em diante para jusante até o córrego Samambaia. As taxas de infiltração adiante corroboraram e detalharam esta possibilidade. Nota-se ainda, pela mesma Figura 30, que os perfis P1 ao P3 em profundidade aumentaram bastante a RP, atingindo valores superiores a 3 e mesmo 4, entre 50 e 60 cm de profundidade. Por outro lado, os menores valores da densidade do solo em superfície podem ser atribuídos ao intenso revolvimento do solo e à incorporação dos resíduos culturais (HILL; CRUSE, 1985). A presença de zona compactada em subsuperfície, a cerca de 20 cm de profundidade, permitiu deduzir possível rota de fluxo hídrico interno lateralizado, na forma de lençol suspenso, acima do horizonte Bw1, indicador de potencial de processo erosivo hídrico e de perda da fertilidade do solo por lixiviação para jusante, o que condicionou o transporte de material em suspensão e solução neste rumo, apresentaram cores mais amareladas e o perfil 4, cor mais clara no horizonte A e mais avermelhada nos demais horizontes. Nesse sentido, foi observado indício de erosão em todos os perfis, na forma de sulcos e difusa (laminar), sendo que no topo e terço superior eram mais evidentes.

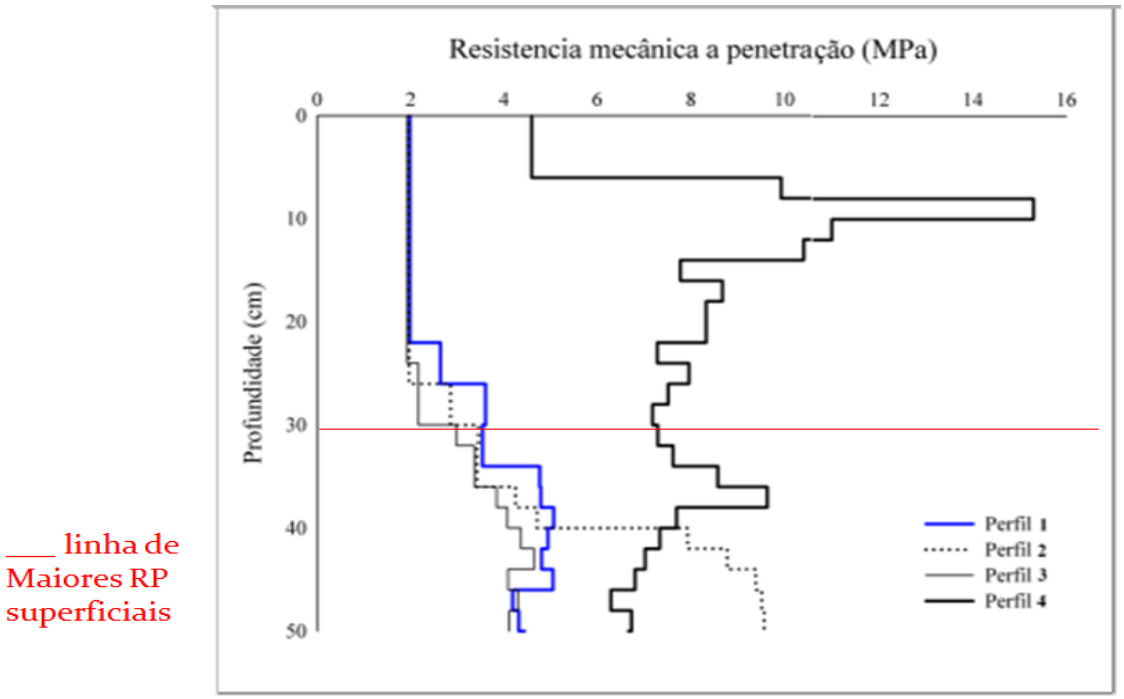


Figura 30 – Curvas de resistência à Penetração (RP) dos quatro perfis do solo.

Comparando-se a RP dos quatro perfis, ficou em torno de 2 MPa nos perfis 1 a 3, mas alcança 4 MPa no perfil 4, o que significa relativa dificuldade de penetração do sistema radicular do morango nos três primeiros perfis e maior ainda no 4; este, provavelmente, associado ao pisoteio de animais. A partir de 20 cm de profundidade, a RP dobra e até mesmo triplica, o que evidencia dificuldade notória de penetração do sistema radicular mais profundo, criando limitações para outras culturas de raízes mais profundas. Como o morango utiliza apenas cerca de 20 cm, então o solo está próximo do nível tolerado de resistência.

Assim, não se percebeu problemas severos de drenagem nos três primeiros perfis, mas, foi severo no último, o que também poderia explicar as diferenças de rendimentos da cultura entre eles, o que deverá ser avaliado em termos de valores da colheita e de qualidade do fruto.

5.4.2. Taxa de infiltração de água no solo

As taxas de infiltração (TI) dos perfis estudados estão representadas na Figura 32, onde se verifica que à medida que o tempo de infiltração aumentou, a velocidade de infiltração tendeu a zero. Esta situação não é real, uma vez que, a velocidade tendeu

para a TI, cujo valor foi diferente de zero. A Figura 32 representa os gráficos dos ensaios de infiltração nos quatro perfis. De modo geral, comparando-se os quatro perfis, em termos de TI, pode-se constatar sua diminuição notável para jusante, que variou de 1.500 mm h^{-1} a 500 mm h^{-1}, do P1 ao P3 e no P4; mais crítico ficou em 67 mm h^{-1}. Isto levou a admitir que para os três primeiros perfis não haveria possibilidade de impedimento à infiltração, com estes valores ou maiores, o que não aconteceu no P4 e daí em diante até o córrego Samambaia. Contudo, houve variações entre os perfis.

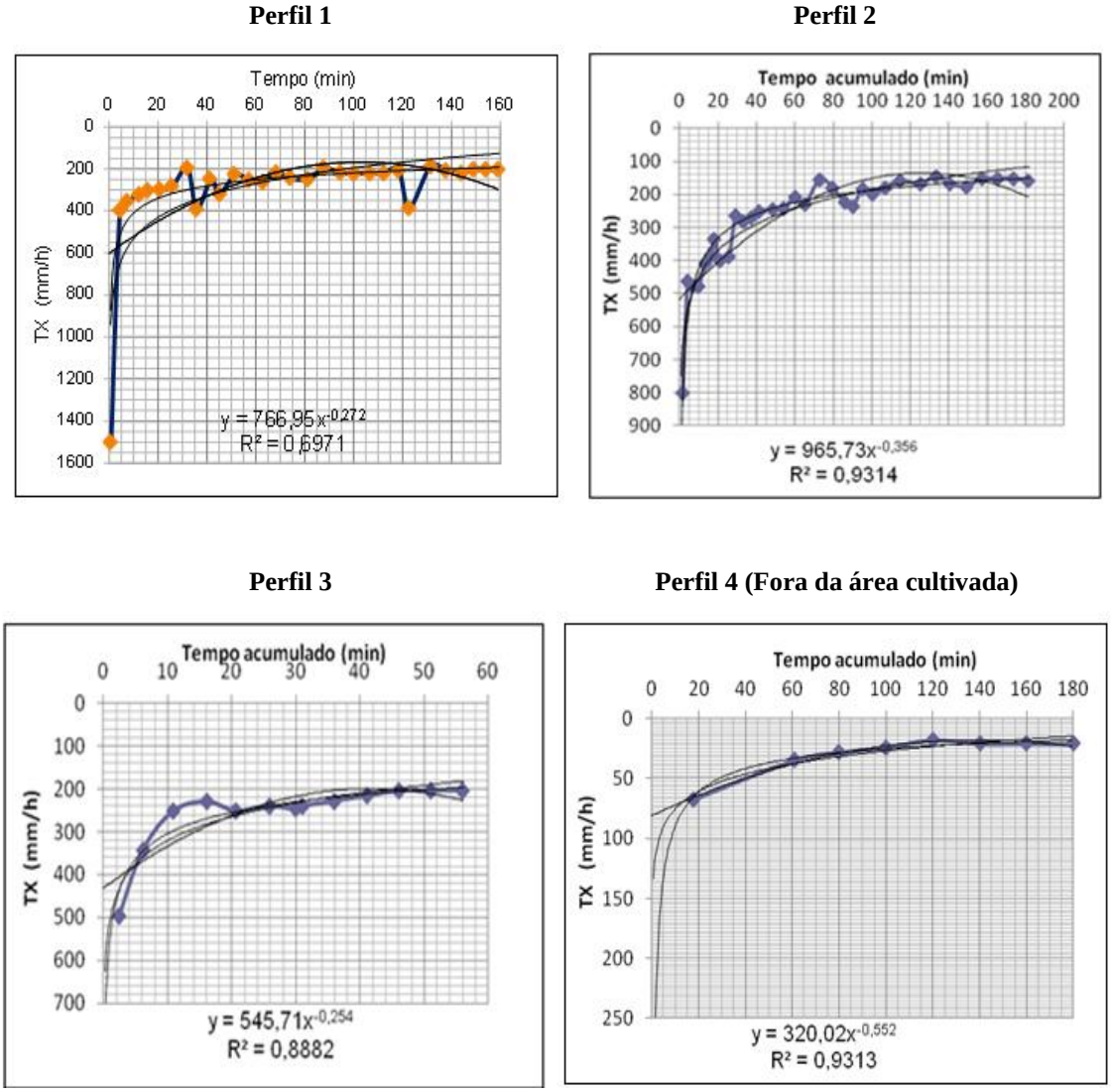


Figura 31 – Gráficos da taxa de infiltração (TI) de água nos quatro perfis de solo avaliados.

Fonte: Marcelo Zózimo da Silva, 2012.

A TI, do perfil 1, com morango, mostrou velocidade inicial de 1.500 mm h^{-1} que, gradativamente, foi diminuindo, até atingir o valor constante de 200 mm h^{-1}; sendo esta velocidade considerada a TI, do perfil, a qual foi classificada como muito alta. Como este canteiro foi arado, gradeado e utilizou-se encanteiradeira, elevando-o a uma altura em 30 cm, justificou-se essa TI mais rápida. Nesse perfil, a porosidade total foi maior em relação aos demais, como mostrado na Tabela 5 e na Figura 38, corroborando, portanto, esta constatação.

A TI, do perfil 2, com morango, alcançou uma velocidade de infiltração inicial de 800 mm h^{-1}, diminuindo, gradativamente, atingindo 480 mm h^{-1} e estabilizando em 140 mm h^{-1}; sendo considerada para o perfil e classificada como alta, sobretudo, nos horizontes A e Bw1.

A TI, do perfil 3, com morango, registrou velocidade de infiltração inicial de 500 mm h^{-1}, diminuindo, gradativamente, até chegar a 204 mm h^{-1}; velocidade esta considerada a TI do perfil. Justificou-se por apresentar porosidade em torno de 50%.

Finalmente, a TI, do perfil 4, com pastagem, registrou infiltração inicial de 67 mm h^{-1}, diminuindo gradativamente para 21 mm h^{-1}, considerada como a do perfil, muito baixa. Neste caso, a justificativa se deve à alta compactação, fato relacionado ao pisoteio animal.

Estes dados sinalizam na direção de boa infiltração e percolação verticais nos perfis P1 a P3, mas, também, indicam dificuldade em subsuperfície, a cerca de 20 cm de profundidade, o que leva a supor a presença de camada mais densa abaixo, o que pode instalar fluxos laterais acima dela, principalmente entre caminhos e canteiros, rumo jusante e indicando provável compactação. Também indicam, do P3 em diante, presença de camada adensada em superfície, o que sugere aumento de fluxos de escoamento superficial acima desta e para jusante, fazendo supor aumento do escoamento superficial daí em diante, incluindo possível exfiltração do lençol suspenso procedente de montante e que se soma ao fluxo superficial, potencializando a ação erosiva a partir deste ponto.

Em síntese, as TI dos quatro perfis foram: P1 = 200 mm h^{-1}; P2 = 180 mm h^{-1}; P3 = 200 mm h^{-1}; e P4 = 20 mm h^{-1}. Estes dados apontam na direção de elevada competência de drenagem interna, até o início da pastagem. Do ponto de vista da eventual lateralização dos fluxos hídricos, há três prováveis fenômenos a destacar: i) a presença de lençol suspenso entre P1 e P3, induzindo fluxo subsuperficial acima de 20 cm de profundidade, lateralizado para jusante; ii) exfiltração deste fluxo a partir do

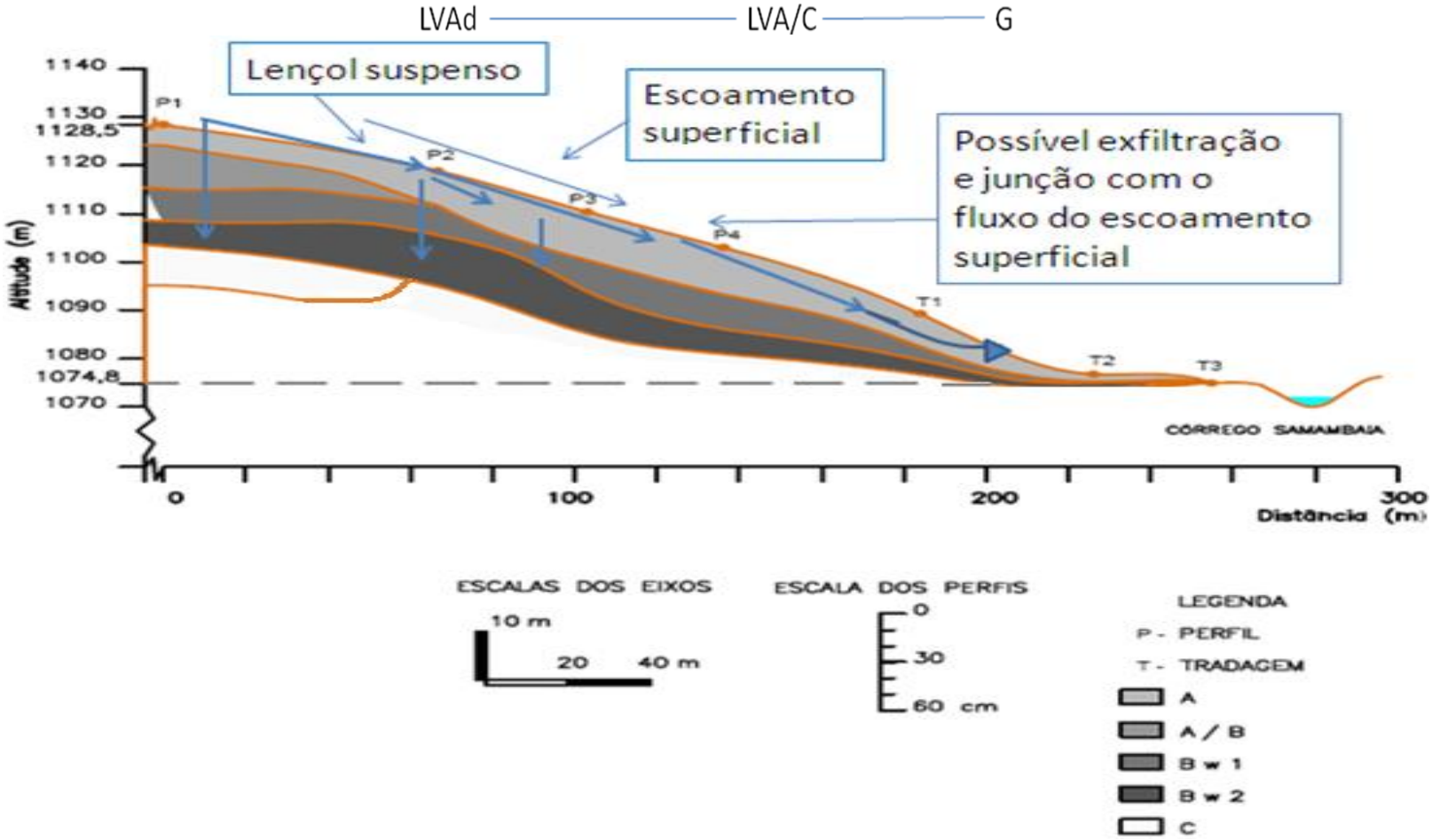
P3, em virtude da geometria do horizonte Bw1, juntando-se ao escoamento superficial (enxurrada); e iii) a partir do P3, fluxo superficial lateralizado até o córrego Samambaia, com poder erosivo. A influência do relevo “vertentes convexas”, promove comportamento por escoamento superficial.

5.4.3. As rotas de fluxo hídrico na topossequência

A Figura 33 representa a interpretação das possíveis rotas de fluxos hídricos na topossequência, com base nos dados das características físico-hídricas, como textura, estrutura, densidade do solo, porosidade, esta incluindo a morfoporosidade avaliada com análise de imagens, e as curvas de resistência à penetração (RP) e da taxa de infiltração (TI). Nesta mesma figura, pode-se perceber fluxos verticais e também laterais, tanto superficiais como subsuperficiais no interior do horizonte A, acima da camada compactada (Bw1).

Assim, duas resultantes desses fluxos podem ser destacadas. No horizonte Bw1, apesar da textura ser média, o maior teor de argila dispersa e o menor teor de nutrientes, sobretudo, do P2 ao P3, poderiam explicar a perda lateral de argila e conjuntamente de nutrientes nos horizontes superficiais, como constatado pelos dados de fertilidade, o que foi associado também ao aumento do declive neste segmento. A erosão superficial ou externa resultaria da exfiltração de água na altura do P3, gerando uma força associada a um gradiente de potencial hidráulico, que atua sobre um grão ou sobre um grande volume de rochas e de solo, de acordo com Fernandes (1990). Associou-se também, ao fluxo de água oriunda dos tubos de irrigação, transportando um grande volume de solo, formando verdadeiras canaletas no sentido jusante. Some-se a esses os dados da morfoporosi-dade, que indicaram facilidade de circulação hídrica nos horizontes superficiais do P1 ao P3, dando-se quase o contrário no P4.

Em síntese, a morfologia do solo é uma variável resultante também de perturbações causadas por temperatura, vegetais, animais e, particularmente, pela ação do homem (CASTRO *et al*., 2000). Acrescenta-se a estas variáveis, a forte declividade (20%) e o manejo impróprio a essa condição de relevo, vindo a favorecer, certamente, o transporte de materiais por erosão, em particular da argila até cerca de 50 cm de profundidade. Contudo, avalia-se que, dificilmente uma chuva, mesmo que excepcional, ou uma irrigação, possam superar as TI constatadas do P1 ao P3.



LVAd – LVA/C - G = Sistema pedológico

em que LVAd = Latossolo Vermelho Amarelo distrófico; LVA/C = Latossolo Vermelho-Amarelo Câmbico; e G = Gleissolo (não descrito em detalhe)

Figura 32 – Sistema pedológico da topossequência de Alfredo Vasconcelos e rotas de fluxos hídricos.

5.5. As águas do córrego Samambaia e do reservatório: subsídios à avaliação da qualidade

5.5.1. Qualidade geral das águas

As águas do reservatório correspondem a um ecossistema lêntico, em que a água por ser parada, apresenta um tempo de residência longo. Segundo Esteves (1998), o conteúdo químico da água dos lagos muda de local para local, sendo ocasionadas pelas diferenças da geologia da área de drenagem dos efluentes, geologia da bacia de acumulação do lago e regime de chuvas e a vegetação. Tanto no córrego Samambaia como na Lagoa, a temperatura média da água no período mais frio e seco foi de 17,64 ºC e no período mais quente e chuvoso foi de 19,03 ºC, sendo consideradas temperaturas esperadas para a região.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os resultados das análises químicas das águas do córrego e do reservatório coletadas, como exposto, para medir parâmetros da água usada na fertirrigação do morangueiro, procedentes de ambos com auxílio de uma sonda multiparâmetros (HANNA – modelo HI 9828) e de coleta de água em garrafas (2 L).

Quanto ao pH, de acordo com Sperling (2005), os valores muito afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática, como peixes e micro-organismos. Para Franca *et al.* (2006), o pH pode ser influenciado por despejos domésticos e pela erosão de áreas agrícolas que recebem corretivos e fertilizantes. Os valores de pH registrados estão abaixo de 6, indicando águas ligeiramente ácidas e um pouco abaixo do mínimo estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/2005.

O oxigênio dissolvido (OD) é um fator limitante para manutenção da vida aquática e de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Durante a degradação da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar redução de sua concentração no meio. Uma das causas mais frequentes de mortandade de peixes é a queda na concentração de oxigênio nos corpos d’água. O valor mínimo de oxigênio dissolvido (OD) para a preservação da vida aquática, estabelecido pela Resolução Conama nº 357/2005(2) é de 4,0 mg/L, mas há uma tolerância variável de espécie para espécie.

Tabela 7 – Indicadores da qualidade da água do Córrego Samambaia, no período das águas e da seca

Parâmetros	Córrego Samambaia Período das águas 25/04/2014				Córrego Samambaia Período da seca 21/08/2013				Resolução Conama nº 357/2005 II-classe 1/d
	A 1	**A 2**	**A 3**	**Média das Amos tras**	**A 1**	**A 2**	**A 3**	**Média das Amos tras**	
OD[1/] (mg/L)	6,1	5,9	6,8	6,3	7,3	7,2	7,26	7,25	Não inferior a 4,0 mg/L
pH[2/]	6,1	5,8	5,9	5,93	6,09	6,26	6,40	6,25	6,0 a 9,0
T[3/] (ºC)	19,2	18,9	19,1	19,06	14,7	14,1	14,2	14,33	Não estabelecido
CE[4/] (µS/cm)	14,4	14,2	14,6	14,4	19,0	19,0	19,0	19,0	Não estabelecido
Transparência[5/] (cm)	22,0	18,0	20,0	20,0	56,0	56,0	43,0	51,7	Não estabelecido

em que [1/]OD = oxigênio dissolvido; [2/]pH = potencial hidrogeniônico; [3/] Temperatura em graus Celsius; [4/]condutividade elétrica = µS/cm; e [5/]Transparência, medida pelo disco de Secchi.

Tabela 8 – Indicadores da qualidade da água do reservatório, período das águas e da seca

Parâmetros	Lagoa Período das Águas 25/04/2104				Lagoa Período das Secas 21/08/2013				Resolução Conama nº 357/2005 II-Classe 1/d
	A 1	**A 2**	**A 3**	**Média das Amos tras**	**A 1**	**A 2**	**A 3**	**Média das Amos tras**	
OD[1/] (mg/L)	5,36	5,42	5,91	5,57	6,53	7,23	7,60	7,12	Não inferior a 4,0 mg/L
pH[2/] (und.)	5,40	5,80	5,20	5,47	5,93	5,57	5,42	5,64	6,0 a 9,0
T[3/] (ºC)	19,1	19,0	19,0	19,03	17,42	17,61	17,88	17,64	Não estabelecido
CE[4/] (µS/cm)	22,0	24,0	20,0	22,0	19,0	18,0	18,0	18,33	Não estabelecido
Transparência[5/] (cm)	15,0	17,0	15,0	15,7	59,0	53,0	48,0	53,33	Não estabelecido

em que [1/]OD = oxigênio dissolvido; [2/]pH = potencial hidrogeniônico; [3/] Temperatura em graus Celsius; [4/]condutividade elétrica = µS/cm; e [5/]Transparência, medida pelo disco de Secchi.

A condutividade elétrica (CE) pode ser muito útil para detectar variações nas características qualitativas da água, pois está diretamente relacionada com a concentração total de íons (ARCOVA, 1996). Nos pontos amostrados encontra-se na média de 15 a 25 µS/cm, por isso pode ser considerada intermediária, indicando características mesotróficas, quando comparada com reservatórios considerados eutróficos, em que valores da condutividade chegaram a 291 $\mu S.cm^{-1}$ (SANTOS;

WISNIESWSKI, 1998). Isto significa que a qualidade das águas está adequada aos ecossistemas aquáticos.

Os valores da transparência da água podem ser considerados similares entre o córrego e a lagoa, porém são baixos (15 cm) na estação chuvosa, indicando águas mais turvas e mais profundas (cerca de 50 cm) na estação seca. No entanto, pode-se observar que as condições da lagoa são melhores do que as do córrego, ou seja, águas mais cristalinas, indicando maior zona eufótica, tendo como consequência uma maior taxa fotossintética.

As águas do córrego Samambaia e do reservatório foram analisadas no período da seca e das águas. Os ingredientes constantes na Tabela 9 utilizados pelo agricultor, no controle de pragas e doenças do morangueiro, não foram detectados nas amostras das águas analisadas, no Laboratório de Análises de Resíduos e Agrotóxicos-LARA, do Instituto Mineiro de Agropecuária-IMA.

Tabela 9 – Produto comercial, ingrediente ativo, indicação, período de carência e classe toxicológica dos defensivos utilizados na cultura do morango na área estudada

Produto comercial	Ingrediente ativo	Indicação	Período de carência	Classe toxicológica
Amistar	Azoxistrobina	Fungicida	2	IV
Frowcide 500 CE	Fluazinam	Fungicida	14	II
Tiomet 400 CE	Dimetoato	Pulgão	3	I
Danimen 300 CE	Fenpropathin	Ácaro	3	II
Sumilex 500 WP	Procimidona	Fungicida	1	II
Omite 720 CE	Propargite	Ácaro	4	II
Vertmec 18 CE	Abamectin	Ácaro-rajado	3	II
Cercobin	Tiofanato-Métilico	Fungicida	14	I

Fonte: Brasil (2012)

Classe: I-extremamente tóxico (cor vermelha); II-altamente tóxico (cor amarela); III- moderadamente tóxico (cor azul); IV- levemente tóxico (cor verde).

Os resultados apresentados pelo laboratório conferem com a seguinte informação no laudo: “os ingredientes ativos abaixo citados não foram detectados nas amostras analisadas”.

Estes dados não indicaram diferenças entre as águas do córrego e o do reservatório, sem contaminação, eutrofização, acidificação ou outro tipo de impacto,

embora indiquem leve turbidez na estação chuvosa, sobretudo no córrego, contudo baixa, certamente ocasionada por processos erosivos leves, tanto das encostas como nas margens do próprio canal. Em campo, constatou-se circulação de gado bovino pra beber água em ambos, levantando grande quantidade de partículas em suspensão nas águas.

Em síntese, os dados dos recursos hídricos não indicam problemas que possam estar causando consequências ambientais e para a saúde humana e animal no período analisado.

6. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos na presente pesquisa e respectiva discussão pode-se concluir que:

- a topossequência é constituída de três tipos de Latossolos Vermelho-Amarelos, o superior (P1) mais homogêneo e com mais argila, bem estruturado e mais estável, de circulação vertical, logo de recarga do lençol freático; o segundo, representado pelos perfis P2 e P3, de textura média, embora similares ao anterior, exceto quanto à textura e ao horizonte A, mais pobres em nutrientes; e o P4, que indica provável perda de finos (argila e matéria orgânica) no horizonte superficial em virtude da maior compactação associada à pastagem;

- as diferenças entre esses solos podem estar associadas à posição topográfica em virtude da indução de fluxos laterais do terço superior para jusante, promovendo diferenças no desempenho da cultura com a circulação hídrica lateral;e que condiciona respostas diferentes ao manejo, sobretudo à fertirrigação;

- a densidade e a porosidade indicaram bom desempenho físico-hídrico dos perfis P1 ao P3, em virtude das altas taxas de infiltração e percolação, porém não para o P4, que concentraria água e potencializaria a erosão hídrica, em função da junção do fluxo de água exfiltrada do lençol suspenso, procedente de montante e o acúmulo de jusante, aumentando muito a energia nesse segmento do morro, interpretação corroborada pela concavidade do relevo aí presente;

- as diferenças morfológicas, físicas e químicas encontradas, permitem afirmar que além de serem solos pobres têm probabilidade de perdas químicas laterais subsuperficiais, associadas a um eventual lençol suspenso acima de camada subsuperficial compactada, justamente na profundidade ao alcance das raízes do morango, o que explicaria em parte as diferenças de desempenho da cultura entre as parcelas do setor cultivado, em especial no P2 e P3, corroborado pela textura argiloarenosa que indica perda de finos e matéria orgânica.

- o Latossolo do topo (P1) e do terço superior (P2) são favoráveis ao cultivo do morango, embora exijam correção e adubação, além de demandarem atenção com o elevado potencial de compactação e subsequente lateralização de fluxos hídricos, com perda lateral de nutrientes, afetando o terço médio, podendo induzir erosão hírica

superficial, recomendando-se monitoramento do volume e balanço de nutrientes da fertirrigação;

- o sistema pedológico encontrado é de transformação vertical (rocha-solo), constituído por Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) (P1, P2 e P3), Latossolo Vermelho Amarelo Câmbico (LVA/C) (P4) e Gleissolo (reconhecido apenas por tradagem), não havendo indício forte de erosão lateral; no entanto, os horizontes superficiais A e A/B, apresentaram indício de mobilidade de nutrientes e finos;

- os dados analíticos indicam que não se trata de Latossolos pedogeneticamente bem evoluídos do P2 ao P4, fato corroborado pela espessura total os perfis, pela presença de fração grossa herdada da rocha matriz subjacente e pelos demais indicadores morfológicos e analíticos, embora contraditoriamente a relação silte/argila desses solos indique o oposto;

- não houve evidências claras de movimentos laterais de massa solo; assim, sua elevada porosidade, em geral, cavitária comunicante e fissural média a grande garantem boa drenagem interna, ou seja, TI satisfatórias, como os testes de infiltração revelaram; as presenças de zonas porfíricas densas e pouco fissuradas, globalmente poderiam afetar essa drenagem, significando compactação, mas os valores de TI não confirmaram essa tendência, a qual foi caracterizada apenas para o perfil P4; no entanto, os testes de RP revelaram resistências elevadas até 60 cm de profundidade, principalmente neste perfil, ao contrário dos demais, que embora tenham alcançado valores preocupantes, ainda não são impeditivos de infiltração;

- o estudo micromorfológico e micromorfométrico dos poros ou morfoporosidade revelou, comparativamente, que os horizontes A e Ap apresentaram os menores valores de NP e PTL, ao contrário dos Bw1 e Bw2, fato esperado em decorrência do manejo, mas, também, permitiram perceber duas tendências, uma de redução crescente entre o P1 e P2, e outra de aumento entre P3 e P4;

- o mesmo estudo revelou ainda, que dominaram as formas de poros complexos e subdominaram os arredondados no conjunto superior dos perfis de solos, ocorrendo o contrário no conjunto inferior e que os poros complexos são grandes em todos os horizontes e perfis, já os arredondados contêm os três tamanhos, ainda que predominem os médios; tais resultados indicam mudança do sistema poroso associada espacialmente aos manejos do morango e da pastagem;

- comparando-se os quatro perfis, quanto aos aspectos micromorfológicos, embora haja variações, percebeu-se que a porosidade complexa e grande se destacou em

quase todos os horizontes superiores dos perfis (Ap, A e Bw1), mas essa tendência não se aplicou aos Bw2, onde os arredondados médios seguidos dos pequenos dominaram, relegando os complexos e grandes a uma segunda posição; notou-se que os alongados são sempre grandes, mas não se destacaram no conjunto dos perfis e respectivos horizontes, embora no P1 tenham sido mais evidentes;

- estes comportamentos não sugerem compactação forte em nenhum dos perfis, mas moderada a fraca, ainda que os menores valores de NP e PTL possam indicar maiores densidades do solo nos horizontes superiores Ap, A/B e Bw1 dos perfis P1 e P2, além do inferior Bw2 do P4; este de certo modo surpreendeu, fazendo supor que se trataria muito mais de um BC;

- fazendo uma comparação global entre os perfis estudados, pode-se concluir que as diferenças encontradas geram fluxos verticais subsuperficiais e laterais entre canteiros e caminhos e também em superfície nos perfis na parte superior da topossequência, o que confirma efeitos do manejo (grade e arado), além de pisoteio animal, respectivamente;

- assim, as características descritas e discutidas para a topossequência indicaram muito mais escoamento apenas se houvesse excedente de água em relação à TI, isto é, só ocorreria escoamento superficial lateralizado quando o *input* de água fosse maior do que a TI, cumulativamente ao longo da encosta, como na estação chuvosa durante episódios extremos e intensos e também no caso da irrigação.

- não foram detectados ingredientes ativos (agrotóxicos), utilizados no cultivo do morango, nas águas do córrego Samambaia e do reservatório, conforme laudo do laboratório de análises de resíduos e agrotóxicos do Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA);

- por fim, a hipótese levantada no início da investigação confirmou-se quanto à possibilidade de fluxos laterais associados às camadas compactadas, moderadas a fracas, tanto em subsuperfície de montante, como em superfície a jusante; mas, sugere necessidade de aprofundamento dos estudos relativos ao clima e ao solo em termos da umidade antecedente do solo e à curva de retenção hídrica;.

- a metodologia mostrou-se satisfatória e permitiu avaliação adequada do comportamento morfológico e físico-hídrico da cobertura pedológica, em termos da lateralização de fluxos, porque se fundamentou na abordagem do contínuo do solo em topossequência;

- a percepção do agricultor em relação ao antes e após o trabalho realizado, mostrou mudanças no que se refere a utilização do solo e da água para os cultivos subsequentes, tanto é que irá utilizar das curvas de níveis do levantamento plano altimétrico para os cultivos seguintes, após as orientações técnicas recebidas, justificando tais medidas conservacionistas;

- foi constatado observações pelo agricultor em relação as perdas de solo provocadas pelo rompimento das tubulações utilizadas na captação da água, tanto do córrego quanto do reservatório, pois a diferença de nível de 20% e a distância de mais de 300 metros dos locais de captação evidenciaram o transporte de solo pelo uso incorreto das tubulações provocado pelo seu rompimento.

7. REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.; REINERT D. J.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 275-282, 2003.

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil**. Potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159 p.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos de Latossolos ácricos do norte paulista. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, p. 321-326, 1994.

ALVAREZ V.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **B. Inf. SBCS**, n. 25, p. 27- 32, 2000.

AMARAL, E. H.; ALTOÉ, I. M. F. F. Monitoramento de resíduos de agrotóxicos no morango de Minas Gerais. **Boletim do morango**: cultivo convencional, segurança alimentar, cultivo orgânico. Belo Horizonte: Ceasa Minas, 2005. p. 137-142.

ANTUNES, L. E. C.; DUARTE FILHO, J. Importância do cultivo. In: PEREIRA, D. P.; BANDEIRA, D. L.; QUINCOZES, E. da R. F. (Ed.). **Sistema de produção de morango**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado. Sistema de Produção de morango, 2005. Disponível em: <http://sistemasdeprodução.cnptia.embrapa.br/Fontes HTML/Morango>. Acesso em: 29 Nov. 2012.

ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C. Produção de morangos. **Jornal da Fruta**, Lages, SC, v. 15, n. 191, p. 22-24, 2007.

ARCOVA, F. C. S. **Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na Serra do Mar, SP**. Piracicaba, SP, 1996. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1996.

ARSHAD, M. A.; COEN, G. M. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. **American Journal of Alternative Agriculture**, Cambridge, v. 7, n. 1/2, p. 25-31, 1996.

BALIEIRO, F. de C.; TAVARES, S. R. de L. (Coord.). **Curso de recuperação de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. (Documentos 103).

BANDEIRA, A. L. Pequenas frutas: tecnologia de produção. Pequenas frutas atraem consumidor brasileiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 33, n. 268, Maio/Jun. 2012.

BARROS, O. N. F. **Análise estrutural e cartografia detalhada de solos em Marília, estado de São Paulo**: ensaio metodológico. 1985. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

BARUQUI, A. M.; NAIME, U. J.; MOTTA, P. E. da; CARVALHO FILHO, A. de. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da Zona Campos das Vertentes-MG**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 625 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BOTELHO, J. A. Situação atual da cultura do morangueiro no estado de Minas Gerais. Informe Agropecuário. **Morango**: **tecnologia inovadora**, Belo Horizonte, v. 20, n. 198, p. 22-23, Maio/Jun. 1999.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et pédologie I. Prise em compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cahier – ORTOM**, v. 19, n. 4, p. 309-322, 1982. (Serie Hydrobiologie, Bondy).

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; LUCAS, Y. Les systèmes de transformation en pédologie. In: **LIVRE Jubilaire du Cinquentenaire l'AFES**, Paris, 1984. p. 167-179.

BOULET, R. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e Cartografia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Campinas, 1988. **Anais...** Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 79-90.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**: sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: Jan. 2012.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2009. Disponível em: <www.http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/default.shtm>. Acesso em: Jan. 2012.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2013. Disponível em: <www.http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel.php?Codmun=310163>. Acesso em: Jan. 2014.

BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; POVINELLI, J.; ELER, M. N.; SILVA, M. R. C.; DORNFELD, C. B.; NOGUEIRA, A. M. **Avaliação ambiental do rio Mogi-Guaçu**: resultados de uma pesquisa com abordagem ecossistêmica. São Carlos, SP: Rima, 2002.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGUERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook of sail thin section description**. Albrington United Kingdom: Waine Research, 1985.

CAMPBELL, D. J.; O'SULLIVAN, M. F. The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction and tillage. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. (Ed.). **Soil analysis**: physical methods. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 339-429.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 6, p. 104-114, 2006.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, M. Z.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, T. P. Discrimination of geomorphic surfaces with multivariate analysis of soil attributes in sandstone – basalt lithosequence. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 429-438, 2012.

CARVALHO, A. M.; OLIVEIRA, C. V. Sugestão de atividades didático-pedagógicas em solos, para o ensino básico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 8., 1999, Belo Horizonte. **Uso múltiplo dos recursos naturais**. Belo Horizonte: Editora Gráfica Ana Pontes, 1999. p. 116-118.

CARVALHO, S. P. Histórico, importância socioeconômica e zoneamento da produção no Estado de Minas Gerais. In: CARVALHO, S. P. (Coord.). **Boletim do morango**: cultivo convencional, segurança alimentar, cultivo orgânico. Belo Horizonte: FAEMG, 2006. p. 9-14.

CARVALHO, S. Coordenador estadual de fruticultura da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (Emater-MG). Publicado em 21/07/2011. **51ª Congresso Brasileiro de Olericultura**. Disponível em: <www.emater. mg.gov.br>. Acesso em: 21 Set. 2012.

CASTELANE, P. D. Nutrição e adubação do morangueiro. In: FERREIRA, M. E.; CASTELANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. da. **Anais do Simpósio sobre Nutrição e Adubação de Hortaliças**. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1993. p. 261-279.

CASTRO, S. S. (Coord.). **Diagnóstico, prognóstico e controle de erosões urbanas e rurais nos estados de Goiás e Mato Grosso**. [S.l. : s.n.]: PCOPG/CNPq, 1999.

CASTRO, R. L. **Diversidade genética, adaptabilidade e estabilidade do morangueiro (*Frafaria x ananassa* Duc.) em cultivo orgânico**. 2002. 145 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

CASTRO, S. S.; COOPER, M.; VIDAL TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. **Tópicos Ci. Solo**, v. 3, p. 107-164, 2003.

CASTRO, S. S. Micromorfologia de solos: bases para descrição de lâminas delgadas. Goiânia: UFG-IESA; Campinas, SP: UNICAMP-IG-DGEO, Fev. 2008.143 p.

CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas. **GEOUSP**, v. 7, p. 27-37, 2000.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P.; GRIMALDI, M. Soil structure transformations from ferrolec to nitic horizons on a toposequence in southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1685-1699, 2010.

COOPERATIVA AGROPECUÁRIA DE ALFREDO VASCONCELOS (COOPRAV). Renivaldo Bageto, gerente de vendas e diretor financeiro da COOPRAV. **Dados de Contabilidade**, mar. 2014.

CORRÊA, J. B.; COSTA, P. C.; LOPES, A. S.; CARVALHO, J. G. Avaliação de H + Al pelo método SMP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1985. p. 111-112.

DAROLT, M. R. **Morango**: sistema orgânico apresenta viabilidade técnica econômica e ecológica. Planeta orgânico, 2001. Disponível em: <http://www.planetaorganico.com. br>. Acesso em: 5 Dez. 2012.

DIAS JÚNIOR, M. de S. Compactação do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 1, p. 55-94, 2000.

DIAS, M. S. C.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; SILVA, M. S.; SANTOS, L. O.; CANUTO, R. da S.; CASTRO, M. V. de; COSTA, S. M. **Caracterização físico-químico de morangos cultivados na região norte de Minas Gerais**. Pelotas, RS: UFPel, 2006. Disponível em: <http://www.ufpel.tche.br/sbfruti/anais_xvii_cbf/tecnologia_de_alimen tos/830.htm>. Acesso em: 10 Jan. 2014.

DIAS, M. S. C.; SILVA, J. J. C.; PACHECO, D. D.; RIOS, S. de A.; LANZA, F. E. Morango: conquistando novas fronteiras. Produção de morangos em regiões não tradicionais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 236, p. 24-33, Jan./Fev. 2007.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and asses sing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDI CEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (Special Publication, 35).

EHLERS, E. **Agricultura sustentável**: origens e perspectivas de um novo paradigma. São Paulo: Livros da Terra, 1996. 178 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro acional de Pesquisa de Solos – EMBRAPA, Dez. 2011. 230 p.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS (EMATER-MG). Disponível em: <http://www.emater.mg.gov.br/ portal.cgi?flagweb=site_tpl_paginas_internas&id=7916>. Acesso em: 20 Fev. 2014.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS (EMATER-MG). Workshop sobre cultivo do morango. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 51., Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: EMATER-MG, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA UVA E VINHO. **Sistema de produção 6**. Dez. 2005. Versão eletrônica.

ESPÍNDOLA, E. A. **Análise de percepção de riscos de uso de agrotóxicos em áreas rurais: um estudo junto aos agricultores no Município de Bom Repouso, MG**. 2011. 147 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, SP, 2011.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998. 540 p.

FAGUNDES, V. Morango: livre de agrotóxicos, a fruta é a nova opção para produtores do Nordeste de Minas. **Revista Minas Faz Ciência**, Belo Horizonte, n. 22, p. 16-17, Jul./Ago. 2005. Disponível em: <http://revista.fapemig.br/materia.php? id=228>. Acesso em: 30 Nov. 2012.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Sistema FAEMG**. Belo Horizonte, 2014. Publicado em 25 Ago. 2014.

FERNANDES, N. F. **Hidrologia subsuperficial e propriedades físico-mecânicas dos "complexos de rampa"** – Bananal (SP). 1990. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

FERNANDES, M. R. **Manejo integrado de bacias hidrográficas** - Fundamentos e aplicações. Belo Horizonte, MG: SMEA/CREA-MG; Gráfica e Editora "O Lutador", 2010. 228 p.

FERRARI, A. **Agrotóxico**: a praga da dominação. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1985. p. 110-112.

FRANCA, R. M.; FRISCHKORN, H.; SANTOS, M. R. P.; MENDONÇA, L. A. R.; BESERRA, M. C. Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte-CE. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 92-102, 2006.

GARCIA, G. J.; PIEDADE, G. C. R. **Topografia aplicada às ciências agrárias**. 5. ed. São Paulo: Nobel, 1989. 257 p.

GONÇALVES, E. D.; ALVARENGA, A. A. Pequenas frutas: tecnologia de produção. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 33, n. 268, Maio/Jun. 2012.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 595 p.

HALLAIRE, V.; COINTEIPAS, J. P. Caracterization de la macroporisité d'un sol de verger por analyse d'image. **Agronomic**, Paris, v. 13, p. 155-164, 1993.

HILL, R. L.; CRUSE, R. M. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 1270-1273, 1985.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. Vinculado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). **Governo do Estado de Minas Gerais**. Acesso em: 3 Fev. 2013.

JACOBI, P. R. Educar na sociedade de risco: o desafio de construir alternativas. **Revista Pesquisa em Educação Ambiental**, Faculdade de Educação da USP e PROCAM – USP, v. 2, n. 2, p. 49-65, 2007.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3. ed. New Jersey: Prantice Hall, 1992. 642 p.

JUHÁSZ, C. E. do P.; CURSI, P. R.; COOPER, M.; OLIVEIRA, T. C.; RODRIGUES, R. R. Dinâmica físico-hídrica de uma topossequência de solos sob Savana Florestada (Cerradão) em Assis, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, 2006.

KOSTIAKOV, A. N. On dynamics of the coefficient of water – Percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purpose of mediation. In: COMMITTEE OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SOIL SCIENCE, 6., Part A., 1932, Rússia. **TRANS…** Rússia, 1932. p. 17-21.

KUBIENA, W. L. **Micropedology**. Ames, Iowa: Collegiate Press, 1938. 242 p.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **For. Ecol. Manage**, v. 220, p. 242-258, 2005.

LEITE, M. A. V.; DIAS, M. S. C. **A cultura do morango como alternativa de trabalho e renda para o agronegócio do Norte de Minas Gerais**. Nova Porteirinha, GO: EAMIG-CTNM, 2006.14 p. (Relatório Técnico).

LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W.; DANIELS, R. B. Soil-landscape relationships in Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil: I. Geomorphic surfaces and soil mapping units. **Soil Science Society American Journal**, v. 41, p. 104-9, 1997.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LIMA, L. C. de O. Qualidade, colheita e manuseio pós-colheita de frutos de morangueiro. **Informe Agropecuário, Morango**: tecnologia inovadora, Belo Horizonte, v. 20, n. 198, p. 80-83, Maio/Jun. 1999a.

LIMA, S. do C. Aprendendo pedologia com arte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 8., 1999, Belo Horizonte. **Uso múltiplo dos recursos naturais**. Belo Horizonte: Editora Gráfica Ana Pontes, 1999b. p. 104-106.

LIMA, V. C. **Material didático da disciplina fundamentos de pedologia**. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias/Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2004. 233 p.

MADAIL, J. C. M.; ANTUNES, L. E.; BELARMINO, L. C.; SILVA, B. A.; GARDIN, J. A. **Avaliação econômica dos sistemas de produção de morango**: convencional, integrado e orgânico. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2007. (Comunicado Técnico, 181).

MARDIA, A. K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. M. **Multivariate analysis**. London: Academic Press, 1997. 518 p.

MARINHO, G. V.; CASTRO, S. S.; CAMPOS, A. B. Hydrology and gully processes in the upper Araguaia River Basin, Central Brazil. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, v. 145, p. 119-145, 2006.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; LIMA, J. M. **Recursos ambientais da Bacia do Alto Rio Grande**, Minas Gerais. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 2002. 33 p.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174 p.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagens no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2461-2470, 2008.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. London: Longman, 1986.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. 3rd ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. 304 p.

MORIN, E.; KERN, A. B. **Terra-pátria**. 6. ed. Tradução por Paulo Neves. Porto Alegre: Sulina, 2011.

MURPHY, C. P.; BULLOCK, P.; TURNER, R. H. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis: Past I. Principles and techiniques. **Journal of Soil Science**, v. 28, p. 4980508, 1977.

NAIME, U. J.; MOTTA, P. E. da; BARUQUI, A. M.; CARVALHO FILHO, A. de. **Aptidão agrícola das terras da Zona Campos das Vertentes, MG**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 96).

PAGOT, E.; HOFFMANN, A. Produção de pequenas frutas no Brasil. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS FRUTAS, 1., 2003, Vacaria. **Anais...** Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2003. p. 9-17.

PARK, S. J.; BURT, T. P. Identification and characterization of pedogeomorphological processes on a hillslope. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 66, n. 2, p. 1897-1910, 2002.

PASSOS, F. A. Melhoramento do morangueiro no Instituto Agronômico de Campinas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO, 1., 1999. Pouso Alegre, MG. **Anais...** Morango: tecnologia de produção e processamento. Caldas, MG: Epamig/FECD, 1999.

PENNOCK, D. J.; VELDKAMP, A. Advances in landscape-scale soil research. **Geoderma**, v. 133, p. 1-5, 2006.

PENTEADO, M. N. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, Biblioteca Geográfica Brasileira, 1974. n. 3, 158 p. (Série D. Publicações).

PERES, F.; MOREIRA, J. C. **É veneno ou é remédio?** Agrotóxicos, saúde e ambiente. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2003.

PLANO ESTRATÉGICO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Produção de morangos em regiões não tradicionais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, p. 24-33, Jan./Fev. 2007.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, p. 184-187, 1979.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas, SP: Instituto Agronômico, 2000. p. 18-19.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988, Campinas. **Anais...** Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 415-430.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, USP, v. 15, p. 77-90, 2002.

QUEIROZ NETO, J. P. Geomorfologia e pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, p. 59-67, 2000.

QUEIROZ NETO, J. P. O estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, v. 22, p. 65-78, 2001.

QUEIROZ NETO, J. P. Relação entre solo e vertente: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, p. 15-24, 2011.

RAIJ, B. van. **Electrochemical properties of some Brazilian soils**. 1971. 144 f. Tese (Ph. D.) – Cornell University, Ithaca, 1971.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2002. 338 p.

RESENDE, L. M. A.; MASCARENHAS, M. H. T.; PAIVA, B. M. Panorama da produção e comercialização de morango. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 198, p. 5-19, 1999.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVRES, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** – 5ª Aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 1999. p. 47-48.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, Jul./Set. 2005.

RIST, S.; GUEBAS, F. D. Ethnosciences – A step towards the integration of scientific and indigenous forms of knowledge in the management of natural resources for the future. **Environ. Dev. Sustain.**, 2006.

RONQUE, E. R. V. **A cultura do morangueiro**: revisão e prática. Curitiba: EMATER-PR, 1998. 206 p.

RUELLAN, A. Contribuição das pesquisas em zona tropical ao desenvolvimento da ciência do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO – A responsabilidade social da ciência do solo, 21., 1988, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, SP: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 1988a. p. 05-414.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Paris: Univ. Francophones, Foucher Alpelf, 1993.

RUELLAN, A. Classification of pedological systems: a challange for the future of soil Science. **Ann. Agr. Sci**., v. 3, p. 24-28, 2005.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. In: STROH, Paulo Yone (Org.). Rio de Janeiro: Garamond, 2002. 96 p.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção de processos erosivos. In: GUERRA, A. J.; GARRIDO, R.; SOARES, A. (Org.). **Erosão e conservação de solos**: conceitos, bases e aplicações. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 1999. p. 229-267.

SANTOS-WISNIEWSKI, M. J. **Distribuição espacial e produção secundária da comunidade zooplanctônica do Reservatório de Barra Bonita, SP**. 1998. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 1998.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2005. 100 p.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, n. 52, p. 591-611, 1965.

SHOEMAKER, H. E.; MCLEAN, E. O.; PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amount of extractable aluminum. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, n. 25, p. 274-277, 1961.

SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS. 3. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa.Embrapa, 2013. 353 p. (Informação Tecnológica).

SILVA, C. M. M.; FAY, E. F. **Agrotóxicos e ambiente**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SILVA, A. F.; DIAS, M. S. C.; MARO, L. A. C. Morango: conquistando novas fronteiras. Botânica e fisiologia do morangueiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 236, p. 7-13, Jan./Fev. 2007.

SILVA, L. F. S. da. **Atributos físicos e micromorfológicos da estrutura de um latossolo vermelho distroférrico típico submetido ao manejo agrícola**. 2011. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, 2011.

SILVEIRA, G. S. R.; GUIMARÃES, B.C. Aspectos sociais e econômicos da cultura do morangueiro. Morango: tecnologia de produção ambientalmente corretas. **Informe Agropecuário,** Belo horizonte, v. 35, n. 279, p. 7, Mar./Abr. 2014.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JUNIOR, J.; MATIAS, S. S. R.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAFFA, O.; OLIVEIRA, L. C. Correlation of properties of Brazilian Haplustalfs with magnetic susceptibility measurements. **Soil Use and Management**, v. 26, p. 425-431, 2010.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, USDA-SCS: U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437 p. (Handbook 18).

SOUBIÉS, F.; CHAUVEL, A. Présentation de quelques systèmes de sols observes au Brésil. **Cah. ORSTOM**, v. 4, p. 237-251, 1984.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Small relief variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 161-168, 2006.

SPADOTTO, C. A. Abordagem Interdisciplinar na avaliação ambiental de agrotóxicos. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006. **Revista Núcleo de Pesquisa Interdisciplinar**, São Manuel. Disponível em: <http://www.fmr.edu.br/npi_2.php.9p>. Acesso em: 10 Maio 2011.

von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2005.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI-NETO, V. L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf. STAB. **Açúcar, Álcool & Subprodutos**, v. 1, n. 3, p.18-23, Jan./Fev. 1983.

STOOPS, G. **Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections**. Madison: Soil Sci. Soc. Am., 2003.

THEOCHAROPOULOS, S. P.; PETRAKIS, P. V.; TRIKATSOULA, A. Multivariate analysis of soil grid data as a soil classification and mapping tool: the case study of a homogeneous plain in Vagia, Viotia, Greece. **Geoderma**, v. 77, p. 63-79, 1997.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Drexel: Institute of Technology, 1955. 104 p.

TAUK-TORNISIELO, S. M.; GOBBI, N.; FORESTI, C.; LIMA, S. T. (Ed.). **Análise ambiental**: **estratégias e ações**. São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf/T. A. Queiroz, 1995.

VEIGA, M. M.; SILVA, D. M.; VEIGA, L. B. E.; FARIA, M. V. C. Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 11, p. 2391-2399, Nov. 2006.

VIDAL-TORRADO, P.; MACIAS, F.; CALVO, R.; CARVALHO, S. G.; SILVA, A. C. Gênese de solos derivados de rochas ultramáficas serpentinizadas no sudoeste de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 523-541, 2006.

VIEIRA, M. J. Comportamento físico do Solo em plantio direto. In: FANCELLI, A. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. (Ed.). **Atualização em plantio direto**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1985. p. 163-179.

VIEIRA, F. C. V. **A cultura do morangueiro**. Fruticultura – Preços agrícolas. [S.l. : s.n.t.], Jan. 2001.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academia Press, 1980.

YOUNG, F. J.; HAMMER, R. D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy, and cluster analysis. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 64, p. 989-998, 2000.