UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

ESTUDO DA COBERTURA PEDOLÓGICA E SUA RELAÇÃO COM A FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO DE DEPRESSÕES NO SUDOESTE DE MARACÁI (SP)

GRACE BUNGENSTAB ALVES

ORIENTADOR JOSÉ PEREIRA DE QUEIROZ NETO

SÃO PAULO
2015

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

GRACE BUNGENSTAB ALVES

**O estudo da cobertura pedológica e sua relação com a formação e
evolução de depressões no sudoeste de Maracáí (SP)**

(versão corrigida)

São Paulo
2015

GRACE BUNGENSTAB ALVES

**O estudo da cobertura pedológica e sua relação com a formação e
evolução de depressões no sudoeste de Maracaí (SP)**

(versão corrigida)

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia, da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Doutora em Geografia Física.

Área de concentração: Estudos interdisciplinares em Pedologia e Geomorfologia.

Orientador: Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto

De Acordo:

**São Paulo
2015**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CAPA: Edgard Regolão Júnior

FOTOS:

Canto inferior esquerdo - Marcelo Reis Nakashima

Demais fotos: Grace B Alves.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

A474e Alves, Grace Bungenstab
Estudo da cobertura pedológica e sua relação com a
formação e evolução de depressões no sudoeste de
Maracá (SP) / Grace Bungenstab Alves ; orientador
José Pereira de Queiroz Neto. - São Paulo, 2014.
189 f.

Tese (Doutorado)- Faculdade de Filosofia, Letras
e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
Departamento de Geografia. Área de concentração:
Geografia Física.

1. Gênese do solo. 2. Relação solo-relevo. 3.
Couraça Ferruginosa. 4. Geografia Física. 5. Paisagem.
I. Queiroz Neto, José Pereira de, orient. II. Título.

Nome: ALVES, Grace Bungenstab.

Título: O estudo da cobertura pedológica e sua relação com a formação e evolução de depressões no sudoeste de Maracaí (SP).

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia, da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Doutora em Geografia Física.

Orientador: Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto

Aprovada em:

Banca Examinadora

Titulares:

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Dedico este trabalho aos meus pais por terem permitido meu contato com o Três Cantos desde cedo.

AGRADECIMENTOS

Enfim, é chegada a hora de agradecer a todos aqueles que contribuíram com a realização deste trabalho, direta ou indiretamente.

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais pelos ensinamentos, carinho e por toda a preocupação com o andamento das coisas, não só nesta trajetória, mas ao longo de toda a vida. Eles tiveram participação ativa no desenrolar desta pesquisa, meu *Pai* sempre me acompanhando nos campos e organizando a logística dos trabalhos, que contaram percursos de trator, barco, carro, à pé, sendo sempre muito prestativo. Minha *Mãe* era a responsável pela boa nutrição não só minha, mas de todos os companheiros de campo, que uma hora ou outra me passaram pela área. Ela também me proporcionou um pouco mais de atenção e cuidados na fase final de redação. Além disso, agradeço aos meus pais por terem me apresentado o “Três Cantos”, e possibilitado que este pudesse ser um dos meus cantos, posso dizer que essa paixão por solos e geografia nasceu ali.

Gostaria de agradecer especialmente ao Professor Queiroz, pessoa admirável pela dedicação que tem ao orientar seus alunos e ao construir verdadeiros cientistas, responsável por grandes contribuições no estudo do solo e relevo. Obrigada por ter colocado tantas caraminholas em minha cabeça, tenho certeza que não chegaria até aqui sem as tantas indagações. Pude contar com sua participação ativa em todas as etapas da pesquisa, inclusive no campo, fatores que contribuíram grandemente para a elaboração deste trabalho.

Agradeço também ao professor Paulo Nakashima, meu “pai pedológico”, orientador de mestrado que possibilitou a observação dos problemas que trouxeram ao

doutorado. Além disso, é responsável por meus primeiros ensinamentos de pedologia e por eu ter me apaixonado por essa ciência.

À professora Maria Teresa de Nóbrega, excelente professora, sempre muito atenciosa, me possibilitou grandes ensinamentos ao longo de toda a graduação e mestrado.

À professora Rosely Pacheco Dias, pessoa muito doce, também excelente professora, me ensinou a fotointerpretação, técnica que se mostrou valiosíssima para o desenrolar deste trabalho. Obrigada também pelas contribuições na banca de qualificação.

Ao colega e professor Fábio Soares de Oliveira, jovem pedólogo, muito capacitado, uma verdadeira promessa para a evolução da pedologia no Brasil. Obrigada pela realização da mineralogia e pelas discussões na etapa final do trabalho que apontaram para os caminhos que a evolução do solo na área tem tomado.

Ao professor Francisco Ladeira pelas contribuições colocadas na qualificação e que contribuíram para o desfecho do trabalho.

À Professora Sidneide Manfredini pelas discussões pedológicas e pelas excelentes experiências gastronômicas proporcionadas.

À Juliana de Paula Silva, grande amiga, companheira de viagens e aventuras. Obrigada pela reformulação do layout dos mapas, a revisão de todo o texto e pelas discussões sobre geomorfologia fluvial.

Ao Edgard Regolão Júnior, grande companheiro e artista gráfico, foi responsável por toda a remodelação do layout das pranchas e auxiliou nos últimos trabalhos de campo. Obrigada também pela paciência neste desfecho do doutorado.

Ao Marcelo Reis Nakashima, companheiro de cerveja e discussões geográficas pedológicas, entre outras mais, ajudou na revisão do texto sem esperar muito em troca (*lembre-se os Alves sempre pagam suas dívidas*).

Ao Gustavo, Antônio, Paulo, Marcos, Thomaz, André, Wendy, entre outros, que me auxiliaram em alguns dos tantos trabalhos de campo. Ao Marcos pela ajuda com geoprocessamento, fotointerpretação e tantas outras discussões e etapas da pesquisa.

Ao proprietário da área em que foram realizadas as topossequências, o Sr João Rocha (*in memorian*), pelo entusiasmo com que recebeu a pesquisa e por permitir tamanha ousadia da minha parte em abrir trincheiras de tal dimensão, essa contribuição foi valiosíssima. Estendo o agradecimento aos seus familiares.

À Prefeitura Municipal de Maracáí, que abriu as trincheiras com a retroescavadeira.

Aos laboratórios que realizaram parte das análises na UFOP e UFV, e aos professores Nádia Nascimento, Miguel Cooper e Sheila Furquim que abriram seus laboratórios para que eu mesma pudesse realizar parte das análises.

Aos amigos do grupo Nostradamos pela agradável companhia nas tardes de quarta no LABOPED, e também pelas discussões dos colóquios que foram muito proveitosas para esta pesquisa e para minha formação de pesquisadora.

Aos colegas de disciplinas e congressos, e aos amigos com os quais pude conviver ao longo destes anos, em especial aos meus ex-companheiros de casa Juliana (já citada acima), Márcio Correa, Beatriz Sorrentino, que compõem a família que eu adotei, a companhia de vocês tornou essa caminhada muito mais leve.

Aos que me hospedaram durante as minhas andanças para fazer disciplinas e confeccionar as lâminas: em Piracicaba, à Tati, Débora, Vivian, Luli e Gabi, e em Rio Claro, à Bruna, foi bom contar com a ajuda de vocês.

Por fim, agradeço a FAPESP pelo apoio financeiro, sem o qual essa pesquisa teria sido inviável.

A todos meus sinceros agradecimentos, esse trabalho também é de vocês!

– **Bill Watterson** – *Calvin & Haroldo*: Existem tesouros em todo lugar, 2013

RESUMO

Esta pesquisa investigou a cobertura pedológica para compreender os processos pedogenéticos que atuam na formação e evolução das depressões fechadas existentes no Compartimento Três Cantos. A área de estudo está situada no sudoeste do município de Maracaí-SP, no interflúvio entre o ribeirão das Anhumas e o rio Capivara, afluentes do rio Paranapanema. A área apresenta depressões fechadas na parte cimeira, com solos vermelho-amarelos e vermelhos, de textura média, e couraças.

Para atingirmos o nosso objetivo avaliamos duas topossequências na depressão da lagoa Mandacaru, e os fatores regionais e locais que poderiam contribuir para a formação e evolução das depressões. O estudo da cobertura pedológica seguiu os procedimentos da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica propostos por Boulet et al. (1982).

Os resultados mostraram que os processos pedológicos que predominam na área são latossolização, a hidromorfia e a iluviação. A latossolização transforma a couraça em Latossolos. A hidromorfia ataca a couraça e os horizontes Bw, transformando-os em uma estrutura em blocos quando seca, e maciça quando úmida, é combinada com o processo de iluviação que transforma o horizonte A e Bt em E, resultando em Argissolos.

A latossolização foi o primeiro processo a transformar as couraças, e com a instalação de condições mais úmidas, a hidromorfia transformou as couraças e os latossolos, deformando o platô em que estavam instalados. A hidromorfia, portanto, seria a responsável pelo início da formação da depressão, e o processo de iluviação seria subsequente e contribuiria para o aprofundamento e alargamento das depressões.

A formação das depressões está relacionada à estrutura geológica, e as depressões são o estágio inicial da rede de drenagem, como pode ser observado nas áreas em que as depressões foram abertas e que os solos ainda não estão ajustados à nova forma das vertentes.

Palavras-chave: Relação solo-relevo, Couraça, Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, Hidromorfia, Latossolo/Argissolo.

ABSTRACT

This research investigates the pedological cover to understand genetic processes at work in the formation and evolution of closed depressions in the Três Cantos compartment. The study area is located in the municipality Maracaí-SP (Brazil), at the interfluvium between Anhumas and Capivara rivers, both tributaries of the Paranapanema River. The area has closed depressions in the top of local surface, with red-yellow and red soils and iron crust.

To achieve our goal we evaluated two toposequences in the Mandacaru depression, as well as regional and local factors that could contribute to the formation and evolution of depressions. The procedures adopted for this research were based on the Structural Analysis of the Pedologic Coverage, proposed by Boulet et al. (1982).

The results showed that the pedological processes that dominate are latosolization, hydromorphy and illuviation. The latosolization transforms the iron crust into Latosol in the Brazilian System of Soil Classification (Ferrasols -FAO, 2006). The hydromorphy that attacks the iron crust and Bw horizons – resulting in a block structure when dry, and massive when wet – combined with the illuviation process that transforms the horizons A and Bt into E result in Argisol in the Brazilian System of Soil Classification (Lixisols – FAO, 2006).

The latosolization process was the first to transform the iron crust, followed by wet conditions, transforming the iron crust and latosols due to hydromorphy action; consequently, the plateau was deformed. Hydromorphy, therefore, was responsible for initiating depression formation and subsequently the illuviation process contributed to it. Currently these two processes act deepening and widening the depressions.

The formation of depressions is related to the geological structure, and these depressions are the initial stage of the area's drainage system, as may be observed in areas where the depressions have been opened, and where the soils are not yet adjusted to the new form of the slope.

Key-words: soil-relief relationship, iron crust, Structural Analysis of the Pedologic Coverage, hydromorphy, Latosol/Argisol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização e Compartimentação do município de Maracá/SP.	5
Figura 2: Fotografia 8580, do ano de 1962, com indicação da área inundada pelo reservatório Capivara.....	23
Figura 3: Representação esquemática um perfil laterítico típico, com couraça sobrejacente.	36
Figura 4: Mapa geológico da região em que se insere o Compartimento Três Cantos, com indicação da ocorrência de solos de textura média.....	42
Figura 5: Coluna litoestratigráfica da parte superior da bacia sedimentar do Paraná. ...	43
Figura 6: Principais elementos estruturais da Bacia do Paraná, em São Paulo.	46
Figura 7: Carta hipsométrica da região em que se insere o Compartimento Três Cantos.	49
Figura 8: Carta clinográfica da região em que se insere o Compartimento Três Cantos.	50
Figura 9: Médias mensais de temperatura e precipitação.....	58
Figura 10: Carta morfológica do Compartimento Três Cantos e arredores, Maracá/SP.	62
Figura 11: Perfil topográfico d'ô interflúvio principal do Compartimento Três Cantos, com a distribuição dos solos.....	63
Figura 12: Barramento do córrego da Viúva ao fundo, em primeiro plano a água do canal reativado.	79
Figura 13: Lagoa menor na depressão da lagoa Mandacaru.	84
Figura 14: Pedocomparador com a sequência de solos levantada na depressão dos Guedes. Com indicação de localização no mapa.....	86

Figura 15: Esboço do afloramento de couraça que há na sequência do colo entre ribeirão das Anhumas e lagoa dos Guedes.	88
Figura 16: Perfil hipotético construído a partir da interpretação dos dados morfológicos da área.....	97
Figura 17: Fragmento do mapa morfológico mostrando a área da lagoa Mandacaru e o alinhamento estrutural da drenagem que acompanha a mudança de solo e os colos na depressão da lagoa Mandacaru.	101
Figura 18: Forma das vertentes nas topossequências de solos Mandacaru e Grevílea, com pontos de tradagens e nível de água.	103
Figura 19: Trincheira vista da margem oposta da lagoa. Destaque para a variação da cor do material retirado do interior da trincheira.	105
Figura 20: Topossequência mandacaru	106
Figura 21: Trincheira com couraça.....	107
Figura 22: Fissura existente entre o P2 e P3.....	109
Figura 23: Trecho final da trincheira mostrando os horizontes A, E e Bt, em que a transição de E para Bt é facilmente observável, ao contrário da transição de A para E.	111
Figura 24: Trecho inicial da trincheira mostrando os horizontes A, Bw, Couraça e Bt. Destaque para a mudança de cores mais avermelhadas a direita para cores mais bruno-amareladas a esquerda.	111
Figura 25: a) Lâmina delgada do Horizonte A do P4; b) Lâmina delgada do Horizonte A do P1.....	112
Figura 26: Transição interdigitada entre A1 e A2.	113

Figura 27: Trecho final da trincheira mostrando como o horizonte E se torna mais evidente em direção ao P5, e quase imperceptível no lado direito da fotografia.	115
Figura 28: Acumulação de água na transição do horizonte E para o Bt, próximo ao P4.	116
Figura 30: Transição E/Bt existente no P4.	116
Figura 30: Transição E/Bt existente no P5.	116
Figura 31: Fissura saindo do horizonte A, passando pelo Bw e Couraça.	118
Figura 32: Transição horizonte Bw/Couraça na base do P1.....	120
Figura 33: Fragmento de bloco de couraça com material microagregado na borda direita e em macroporo vertical.	121
Figura 34: Setores da trincheira em que são encontradas as feições de cortificação de ferro.	127
Figura 35: Trecho entre P3 e P2, mostrando a diferença de coloração entre os horizontes Bt1, Bt2 e Bt3.	129
Figura 37: Torrão com cerosidade em parede de fissura, no Bt2 do P4.....	130
Figura 37: Cerosidade em torrão retirado do horizonte Bt2, no P4.....	130
Figura 38: Volumes vermelhos presentes no horizonte Bt2, entre P3 e P4. (aumento da saturação para destacar o vermelho).....	130
Figura 39: Topossequência Grevílea	133
Figura 40: Vertente da topossequência Grevílea, com indicação das trincheiras abertas.	134
Figura 43b: Trincheira da baixa vertente após desmoronamento e inviabilização de sua utilização para descrição e coleta. Vista da cabeceira da trincheira, em setembro de 2012.	135

Figura 43c: Trincheira da baixa vertente em outubro de 2013.....	135
Figura 43a: Trincheira da baixa vertente aberta na transição de cores bruno-amareladas para acinzentadas. Vista da cabeceira da trincheira, em abril de 2012.	135
Figura 44: a) amostra da trincheira do horizonte Bw da média vertente; b) amostra do horizonte Bt da baixa vertente.	137
Figura 45: Trincheira da média vertente, com delimitação dos horizontes.....	139
Figura 46: Solo hidromórfico recoberto com material avermelhado. Tradagem realizada na margem da lagoa, à jusante do afloramento de couraça.	145
Figura 47: Gráfico de distribuição das frações areia fina, média e grossa nas topossequências Mandacaru e Grevílea.....	153
Figura 48: Difratomogramas dos horizontes Bt das duas topossequências.....	169
Figura 49: Difratomogramas das amostras Bw das duas topossequências.....	169
Figura 50: Sequência de difratogramas do horizonte A das duas topossequências.....	169
Figura 51: Difrátograma de raio-x das amostras da base da trincheira.	170
Figura 52: Difratomogramas de raio-x das amostras da T16 em direção a superfície, com amostras da couraça e do bolsão de material solto.4.....	170
Figura 53: Perfil Topográfico AC e sua localização no compartimento.	178
Figura 54: Esboço da forma como teria se dado a formação das depressões.....	179
Figura 55: Esboço da formação do Bt em detrimento do Bw.	180
Figura 56: Esboço da depressão com vertentes com solos amarelados de um lado e avermelhados de outro.....	183

LISTA DE PRANCHAS

Prancha 1: Cascalheiras na margem da Represa	66
Prancha 2: Afloramentos de basalto e arenito na margem da Represa Capivara	68
Prancha 3: Córrego do Dourado e da Barraca.	70
Prancha 4: Córrego Água Grande, Perfil Topográfico 1	74
Prancha 5: Perfil topográfico P2.....	75
Prancha 6: Perfil topográfico 3	76
Prancha 7: Córrego da Viúva.....	80
Prancha 8: Córrego Água da Galvoa.	82
Prancha 9: Afloramentos de couraça e basalto, próximos a lagoa dos Guedes I	85
Prancha 10: Afloramentos de couraça e basalto, próximos a lagoa dos Guedes II.	87
Prancha 11: Córrego da Anta e ribeirão das Anhumas.....	89
Prancha 12: Margem direita do Córrego da Anta.....	91
Prancha 13: Depressões do Compartimento Três Cantos.....	93
Prancha 14: Solos da Depressão Mandacaru	100
Prancha 15: Degradação da couraça na trincheira.	123
Prancha 16: Detalhes do horizonte de acumulação ferruginosa.	142
Prancha 17: Afloramento de couraça na margem da lagoa Mandacaru.	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados da análise granulométrica por método: amostras submetidas a quatro diferentes métodos de preparação.	16
Tabela 2: Descrição morfológica resumida dos perfis descritos na trincheira da topossequência Mandacaru.....	108
Tabela 3: Descrição morfológica resumida das trincheiras da topossequência Grevílea.	135
Tabela 4: Granulometria das amostras da topossequência Mandacaru.	149
Tabela 5: Granulometria das amostras da topossequência Grevílea.	149
Tabela 6: Resultado do fracionamento da areia em seis classes texturais, das amostras da topossequência Mandacaru.....	152
Tabela 7: Resultado do fracionamento da areia em seis classes texturais, das amostras da topossequência Grevílea.	152
Tabela 8: Características químicas dos solos da Topossequência Mandacaru.....	157
Tabela 9: (cont.) Características químicas dos solos da Topossequência Mandacaru.	157
Tabela 10: Características químicas dos solos da Topossequência Grevílea.	158
Tabela 11: Análises de Fe, Al, Si e Ti, por Ataque Sulfúrico e outros extratores, e a relação entre os elementos, na topossequência Mandacaru.....	163
Tabela 12: Análises de Fe, Al, Si e Ti, por Ataque Sulfúrico e outros extratores, e a relação entre os elementos, na topossequência Grevílea.	164

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
3 OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	7
4 MATERIAL E MÉTODO	9
1.1 Técnicas de Campo	9
1.1.1 Reconhecimento da paisagem	9
1.1.2 Análise dos solos e das vertentes.....	10
1.2 Técnicas de Laboratório.....	14
1.2.1 Granulometria.....	14
1.2.2 Argila dispersa.....	18
1.2.3 Química de rotina para levantamento de solos.....	18
1.2.4 Composição química da argila por ataque sulfúrico, ditionito- citrato-bicarbonato de sódio e oxalato ácido de amônio	19
1.2.5 Análises mineralógicas por difração de raios X.....	20
1.3 Técnicas de Gabinete	20
1.3.1 Material cartográfico	21
2 FUNDAMENTOS	25
1.1 Depressões Fechadas.....	25
1.2 Couraças.....	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40

3.1	Análise regional	40
3.1.1	Síntese da região	59
3.2	Análise do Compartimento Três Cantos	61
3.2.1	Rio Capivara e afluentes	69
3.2.2	Ribeirão das Anhumas e afluentes.....	72
3.2.3	Síntese do Compartimento Três Cantos	94
3.3	Análise da Lagoa Mandacaru	99
3.3.1	Topossequência Mandacaru	104
3.3.2	Topossequência Grevílea.....	132
3.3.3	Couraça na margem da lagoa.....	144
3.3.4	Análises de laboratório	147
3.3.5	Síntese da Depressão Mandacaru	171
3.4.6	Processos e síntese do funcionamento.....	175
4	INTERPRETAÇÃO DA FORMAÇÃO DAS DEPRESSÕES E SOLOS	179
5	CONCLUSÃO	182
6	PROPOSTAS PARA NOVOS TRABALHOS	188
	REFERÊNCIAS.....	189

1 INTRODUÇÃO

Depressão é uma forma de relevo que se apresenta em posição altimétrica mais baixa que as porções contíguas (Guerra, 1989). Estas depressões podem ser fechadas, sem saída aparente para as águas, ou abertas, formando cabeceiras amplas. Depressões como estas foram assinaladas no Planalto Ocidental Paulista em interflúvios rebaixados de zonas de contato entre o arenito e o basalto, e foram consideradas por Ab'Saber (1969) como feições exóticas à região, pois seriam mais características do domínio dos Chapadões do Centro-Oeste.

A formação e a evolução de depressões resultariam de processos de transformação dos solos que podem ser observados através de análises detalhadas da cobertura pedológica conforme indicam Rosolen e Herpin (2008) e Filizola (1993). Para Uagoda et al. (2010) e Queiroz Neto (2010) essas depressões constituiriam um estágio inicial da formação da rede hidrográfica.

Os processos de transformação da cobertura pedológica também permitem a formação de couraças ferruginosas em climas de estação contrastada (TARDY, 1993). De acordo com Millot (1964), o encouraçamento é fruto da imobilização do ferro transportado em parte por lessivagem de alto a baixo, mas sobretudo pela circulação lateral dos níveis freáticos circulantes no manto de alteração. Desta forma, seriam os mecanismos físicos e químicos de desagregação e hidrólise que colocariam em transporte os elementos e permitiria que o ferro, o alumínio e o silício fossem em parte retidos e se reorganizassem podendo formar acumulações ferruginosas. A evolução do processo levaria à formação de couraças. Já a transformação das couraças em solo se daria pela própria evolução do

processo ou pela mudança para climas mais úmidos ou secos, tendo diferentes tipos de solos como resultado (NAHON, 1991).

Aos processos de transformação dos solos também estaria relacionada a formação de solos amarelados em detrimento de solos vermelhos (MALA, 1993). A coexistência de solos avermelhados e amarelados em áreas deprimidas também foi verificada por Ladeira (1995), Ferreira et al. (2010) e Bispo et al. (2011).

As cores vermelho e amarela estão relacionadas aos produtos ferruginosos, sendo a cor amarela associada à presença de goethita e ausência de produtos amorfos, e a cor vermelha à existência de produtos ferruginosos amorfos que recobrem os constituintes dos solos, mascarando a cor original (SÉGALEN, 1969).

Legros (2012) defende que os solos vermelhos envolvem um clima seco e um solo aerado e que a instalação de um ambiente úmido e relativamente rico em matéria orgânica levaria a perda da coloração vermelho devido a extração do ferro e sua transformação em goethita.

Para Beaudou (1971) essas sequências de cores de solo ocorrem em toda a zona intertropical e mais do que o clima, o responsável pela diferenciação seria a posição no modelado, estando os solos vermelhos ligados aos interflúvios com vertentes convexas e os solos amarelados em vertentes que terminam em vales de fundo plano.

Blavet et al. (2000) afirmam que as cores menos avermelhadas no solo, tanto em manchas quanto na cor de fundo, seriam potenciais indicadores da exposição à água que os solos teriam sofrido ou estariam sendo submetidos. Estas cores amareladas seriam ocasionadas por processos de drenagem mais lenta (MALA, 1993), que concentrariam maior umidade, mas não apresentariam fase redutora (SÉGALEN, 1969).

Os períodos de saturação levariam, ainda, os minerais de argila a se tornarem mais ácidos, colapsando suas estruturas e o pacote de solo, levando a períodos mais e mais

longos de saturação (LEGROS, 2012). Segundo o autor, neste tipo de ambiente a goethita torna-se dominante e o solo amarelado, com a continuação do processo a goethita seria eliminada e o solo tornaria-se acinzentado ou esbranquiçado.

Mala (1993) relacionou ainda a existência de solos amarelados a um sistema subterrâneo profundo que determina o escoamento lateral, originando concavidades na superfície topográfica na baixa vertente. Este sistema subterrâneo seria condicionado pelas direções estruturais, aparecendo na intersecção de lineamentos, permitindo assim que as diferenciações pedológicas ajudem a determinar lineamentos.

Acreditamos que o entendimento dos solos e de seu comportamento é essencial para a compreensão das depressões e das couraças, e da própria evolução do solo em Maracaí (SP). Muitos trabalhos destacam a importância de se estudar a cobertura pedológica para compreender a gênese e evolução das depressões, do relevo, das couraças e dos solos (CHAUVEL, 1977; FILIZOLA e BOULET, 1993; LADEIRA, 1995; BELTRAME, 1997; FELTRAN FILHO, 1997; BRICALLI, 2006; FONTANA, 2008).

Para tanto, a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET, 1992) se mostra de fundamental importância, pois permite entender a organização e dinâmica da cobertura pedológica e as relações espaciais existentes entre as características observadas. Além disso, permite observar, analisar e correlacionar os elementos que compõem a paisagem e qual a relação destes com a formação das depressões, solos e couraças existentes na área.

2 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Maracaí, localizado na região do Médio Paranapanema (Figura 1), Planalto Ocidental Paulista, apresenta uma grande diversidade de paisagens resultantes da relação solo/material de origem/relevo (ALVES, 2010). Essa diversidade de paisagens se deve principalmente ao contato do arenito Adamantina (Grupo Bauru) e o basalto (Grupo São Bento), responsáveis por solos que sustentam grandes produções de cana-de-açúcar e soja/milho.

Essa diversidade de paisagens levou a autora a uma compartimentação baseada nas características geomorfopedológicas, tendo sido identificados quatro compartimentos (ALVES, 2010), conforme (**Figura 1**):

- 1- Compartimento Cervo:** localizado na porção nordeste do município, possui a maior diversidade de solos de todos os compartimentos, que são oriundos de basaltos e arenitos, apresentando desde solos arenosos até solos argilosos, desenvolvidos em relevo suavemente ondulado. Destacando-se os seguintes tipos de solos: LATOSSOLO VERMELHO, NITOSSOLO VERMELHO férrico, ARGISSOLO VERMELHO, LATOSSOLO VERMELHO férrico. Possui uma variação altimétrica de 180 metros e uma área de 27.248 ha.
- 2- Compartimento Anhumas:** situado na porção central do município, cortado pelo Compartimento Barra Mansa. É caracterizado pela dominância de solos muito argilosos e espessos, derivados de basalto, que se distribuem em relevo suave. Os principais solos são LATOSSOLO VERMELHO férrico e NITOSSOLO VERMELHO férrico. Possui uma variação altimétrica de 120 metros e uma área de 18.165 ha.

Figura 1: Localização e Compartimentação do município de Maracáí/SP.

Fonte: Alves, 2010.

3- Compartimento Barra Mansa: localizado no centro do município, é caracterizado pela dominância de solos muito argilosos e rasos, oriundos do basalto, distribuídos em relevo mais dissecado. Destacam-se os seguintes tipos de solos: NITOSSOLO VERMELHO férreo, que pode ou não se apresentar como latossólico; e NEOSSOLO LITÓLICO. Possui uma variação altimétrica de 140 metros e uma área de 2.504,6 ha, apresentando a segunda maior variação de altitude e a menor área, evidenciando seu maior entalhamento.

4- Compartimento Três Cantos: situado na porção sudoeste do município. É caracterizado por solos areno-argilosos e argilosos, desenvolvidos em área mapeada como basáltica e em relevo quase plano. A predominância é de LATOSSOLO VERMELHO e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO. Possui uma variação altimétrica de 40 metros e uma área de 5.659 ha.

O Compartimento Três Cantos se mostrou o mais instigante por apresentar solos que não concordam com o basalto registrado nos mapeamentos da área (PAULIPETRO, 1980), além disso, apresenta depressões na parte cimeira do relevo local, em área plana com baixa densidade de drenagem.

Segundo o mapeamento pedológico apresenta LATOSSOLO VERMELHO e VERMELHO-AMARELO, que segundo a antiga classificação de solos se dividiam em Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho-Amarelo (ROSSI et al., 2000). A depressão Mandacaru, no centro do compartimento, apresenta concreções ferruginosas e solos hidromórficos na baixa vertente (ALVES, 2010), que não foram assinalados no mapeamento de solos da área (ROSSI et al., op.cit.).

3 OBJETIVOS E HIPÓTESES

Este trabalho teve como objetivo o estudo da cobertura pedológica, no intuito de compreender os processos pedogenéticos que estariam atuando na formação e evolução das depressões fechadas existentes no Compartimento Três Cantos.

As características do Compartimento Três Cantos nos suscitaram a seguinte questão: *Por que as depressões teriam se formado nessa área e qual seria sua relação com a formação e evolução dos solos ali existentes?*

Essa questão motivou a realização desta pesquisa, e a busca por outras questões que também foram levantadas:

- Qual o papel das depressões na evolução do relevo?
- Qual é o material de origem dos solos de textura média relacionados às áreas com depressões e localizados em área mapeada com basalto?
- Qual é a relação dos corpos de acumulação ferruginosa com a formação e evolução da depressão?

Dentro de todas estas questões, tínhamos como hipóteses que:

- As transformações observadas na cobertura pedológica seriam as responsáveis pela formação e evolução das depressões;
- A estrutura geológica contribuiria para instalação de transformações na cobertura pedológica;
- As depressões seriam o estágio inicial da rede de drenagem;
- O material de origem dos solos de textura média seria um Depósito Cenozóico;
- A couraça estaria relacionada à formação da depressão.

Propomos com essa abordagem esclarecer os fatores que teriam contribuído/permitido a existência de depressões nesse compartimento, e qual seria a relação dessas depressões com os solos e as couraças encontradas na área. Não pretendemos aqui esgotar o tema, pois acreditamos que este trabalho é apenas o início de inúmeros outros que devem ser realizados na área para um melhor entendimento desta paisagem.

Este tipo de pesquisa se justifica pela possibilidade de contribuir para o aprofundamento do conhecimento sobre a gênese de solos, a gênese e degradação de couraças e a relação de ambos com a formação de depressões. Possibilita ainda o entendimento do solo e seu comportamento, que são fatores essenciais para a compreensão da paisagem e para uma utilização adequada destes recursos (RUELLAN e DOSSO, 1993).

4 MATERIAL E MÉTODO

Para responder as questões e cumprir os objetivos apresentados, realizamos uma investigação multiescalar, que vai da paisagem ao solo, por meio de observações, análise e correlação dos elementos encontrados nas diferentes escalas. Apresentaremos o trabalho por escala de abordagem partindo de uma abordagem regional que caracteriza a região em que o compartimento está inserido, com destaque para a geologia e geomorfologia. Na sequência apresentaremos as características do compartimento destacando a morfologia, os solos e seus possíveis materiais de origem. Por último destacaremos a depressão da lagoa Mandacaru, destacando sua cobertura pedológica em duas topossequências, por meio de observações morfológicas e análises de laboratório.

Trataremos agora de descrever as técnicas e procedimentos utilizados nesta pesquisa, divididos de acordo com os tipos adotados: técnicas de campo, técnicas de laboratório e técnicas de gabinete.

1.1 Técnicas de Campo

O trabalho de campo é a fase mais importante da pesquisa, pois norteia todo o seu andamento, levantando elementos que subsidiam as duas outras etapas: o laboratório e o gabinete. Os dados de campo é que determinam as técnicas e amostras a serem analisadas em laboratório e permitem a checagem do material cartográfico produzido em gabinete.

1.1.1 Reconhecimento da paisagem

Embora houvesse um bom conhecimento da região, fruto da pesquisa de mestrado desta autora (ALVES, 2010), e dos anos de vivência na área, ainda assim, foram realizados

dois campos. No nível de análise regional identificamos principalmente as formações geológicas, além de realizar um reconhecimento de formas de relevo e solos.

Com a elaboração do mapa morfológico da área de estudo, foram realizados trabalhos de campo no compartimento em busca de afloramentos de rocha, reconhecimento das formas de relevo e, principalmente, da distribuição dos solos. Para a observação da distribuição dos solos, procuramos delimitar os mais vermelhos com textura de média a argilosa, e os solos vermelho-amarelados, um pouco mais arenosos. Além disso, foram observados os solos das depressões sem água, com água e intermitentes.

As observações de campo para a checagem das formas de relevo e dos afloramentos foram norteadas pelo mapa morfológico, confeccionado com o auxílio de fotografias aéreas e que será descrito junto com as técnicas de gabinete.

A percepção da distribuição dos solos no compartimento foi feita com a observação da coloração e textura dos solos nas estradas e com tradagens, de modo a permitir a delimitação dos solos mais amarelados. Nas depressões foi observada a variação dos solos com tradagens na alta, média e baixa vertente, apenas para uma caracterização geral e escolha das vertentes a serem trabalhadas com a análise estrutural. As amostras representativas de cada tradagem eram acondicionadas no pedocomparador para uma rápida identificação dos solos do compartimento.

1.1.2 Análise dos solos e das vertentes

As observações de campo nos permitiram escolher a depressão da lagoa Mandacaru para uma abordagem mais detalhada de seus solos, pois esta apresenta solos vermelhos e vermelho-amarelos de textura média, mudanças no solo de alta para baixa vertente, e materiais da acumulação ferruginosa.

Escolhemos trabalhar com a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (AECp) (BOULET et al., 1982), baseada na observação e análise das organizações verticais e laterais do solo, levando em conta a organização dos elementos e suas relações espaciais, em todas as escalas, fornecendo dados para a compreensão da gênese e a dinâmica das coberturas pedológicas e auxiliando o entendimento da evolução do modelado (BOULET et al., 1990). Trata-se de uma análise do solo que destaca as transições entre horizontes que são os setores onde as transformações ocorreram e ocorrem mais claramente. A disposição geométrica e a caracterização dos horizontes e transições permitem o entendimento dos processos envolvidos na transformação destas coberturas pedológicas. A forma da vertente deve ser comparada com a forma dos horizontes, de modo a identificar se as transformações ocorreram conjuntamente, e que processos pedológicos estariam coordenando estas mudanças.

Para caracterizar os horizontes presentes e suas relações espaciais foram realizadas tradagens nas duas vertentes escolhidas, sempre buscando um maior detalhamento das transições dos solos (BOULET et al., 1982). Em cada tradagem as amostras que apresentavam mudanças eram acondicionadas no pedocomparador para permitir uma rápida identificação dos setores que necessitavam maior detalhamento.

Para as tradagens foram utilizados um trado holandês e um trado mecânico. Este último foi utilizado apenas em dois pontos, um em cada vertente, para a observação dos horizontes mais profundos e, principalmente, para observar os horizontes existentes abaixo do volume encouraçado da topossequência Mandacaru. Enquanto o trado holandês demanda apenas uma pessoa para efetuar as tradagens, o trado mecânico necessita de pelo menos quatro pessoas devido ao seu tamanho e peso, e também devido à natureza do material em que foi utilizado.

Durante a realização das tradagens foram analisadas a textura expedita e a cor de acordo com a Tabela de cores de Munsell (MUNSELL, 2010). Além disso, foram anotadas a presença e caracterização de material grosseiro, como fragmentos de rocha, nódulos e concreções. As observações foram efetuadas, em média, a cada 10cm nas tradagens com trado Manual, e 40cm com o trado mecânico, que correspondem à capacidade da caçamba existente na ponta dos trados. Cada amostra analisada foi guardada em saquinhos separados e identificados para posteriores conferências e análises, caso se julgasse necessário. As tradagens foram aprofundadas até o limite da resistência do material, que era maior na vertente Mandacaru que na vertente Grevílea.

O levantamento topográfico foi realizado com trena, metro graduado e clinômetro, permitindo obter a forma detalhada das vertentes. O levantamento das tradagens, juntamente com o levantamento topográfico, permitiu a elaboração gráfica do modelo bidimensional das topossequências, incluindo a geometria dos horizontes e a indicação das transições verticais e laterais. A escala horizontal é de 1:1.245, a escala vertical e do solo é de 1:248.

Decidimos trabalhar com duas vertentes na depressão da lagoa Mandacaru: uma que aproveitava a topossequência Mandacaru com solos vermelhos e vermelho-amarelos, levantada parcialmente por Alves (2010), com tradagens até 2m de profundidade em toda a vertente; e outra, que denominamos topossequência Grevílea, realizada na vertente oposta à topossequência Mandacaru, com solos vermelho-amarelos. Embora ambas apresentassem solos de textura média, os solos da topossequência Grevílea tendem mais para arenosos, enquanto os da topossequência Mandacaru tendem mais para argilosos.

Na topossequência Mandacaru, do topo da vertente (T10) até o ponto da T6, o solo é bastante homogêneo, assim como já observado por Alves (2010), que realizou uma série de tradagens intermediárias com 2m de profundidade e que estão assinaladas como *S* na

representação da topossequência. Estes dados nos levaram a concentrar as tradagens mais profundas apenas nas zonas de transição, além de realizarmos uma tradagem profunda no topo.

Na topossequência Mandacaru as expressivas mudanças existentes na zona de transição e a impossibilidade de realizar tradagens profundas devido à grande resistência do material, levou-nos a abertura de uma trincheira nessa área. Esse trabalho foi possível graças à Prefeitura Municipal de Maracaí, que disponibilizou uma retroescavadeira capaz de escavar até mesmo a couraça. Dessa forma, optamos por abrir uma trincheira mais longa nesta vertente (26m de comprimento e 2m de profundidade) para podermos delimitar claramente os horizontes e suas transições. Realizamos observações em toda a trincheira e escolhemos cinco perfis verticais representativos para descrição e coleta de amostras, e também de algumas amostras da couraça e do material friável existente entre as fissuras.

Na topossequência Grevílea o levantamento da topossequência e as condições da área de trabalho nos levaram a selecionar dois pontos para a abertura de trincheiras. Uma na média vertente, pois o solo possui as mesmas características que foram observadas à montante, e nesta área havia autorização para abertura de trincheira. Na trincheira da média vertente da Grevílea não foram observadas grandes variações, então foi descrito apenas um perfil vertical.

Na baixa vertente foi aberta outra trincheira que seria comparável com o trecho final da trincheira da Mandacaru. Este ponto foi escolhido por estar na área de transição de cores bruno-amareladas a acinzentadas, além de estar localizada em área não cultivada. Esta trincheira começou a desmoronar no setor mais amarelado, enquanto estava sendo aberta, ainda assim, foi possível descrever e coletar amostras de sua parte superior, mas antes de terminar a descrição e coleta de amostras, entre um campo e outro, a trincheira terminou de desmoronar.

Nas trincheiras foram realizadas observações detalhadas que permitiram uma melhor caracterização dos horizontes, de seus limites e de suas transições. Os horizontes foram descritos de acordo com as características morfológicas, dando especial destaque para as mudanças de coloração, textura e estrutura, que são as que mais se destacam na trincheira. Foram coletadas amostras deformadas para as análises químicas, físicas e mineralógicas para caracterizar os volumes descritos.

1.2 Técnicas de Laboratório

As análises de laboratórios foram realizadas para complementar as observações de campo e também evidenciar atributos que não podem ser verificados apenas com a observação macromorfológica, como é o caso das análises químicas e, em parte, da mineralógica e micromorfológica. A correlação das observações de campo com as análises de laboratórios serve para inferir os processos pedogenéticos que estão atuando ou já atuaram na área.

1.2.1 Granulometria

A análise granulométrica permite classificar o diâmetro das partículas presentes nos solos, cuja determinação leva à distribuição em classes texturais. Os resultados obtidos com essa análise foram classificados de acordo com a nova proposta SIBCS 2013 (EMBRAPA, 2013) de subgrupamento textural para diferenciar classes de solos no 5º nível categórico, que permite um melhor detalhamento das classes do grupamento textural convencional. Com a utilização da classificação textural simples, quase todas as amostras das topossequências seriam classificadas como de textura média.

A análise granulométrica foi utilizada para caracterizar as amostras de solos das vertentes e identificar possíveis acréscimos ou decréscimos de argila, que dão indícios de processos de migração ou destruição de argila.

Realizamos uma série de ensaios granulométricos para avaliar qual seria a técnica mais interessante a ser aplicada, comparando os diferentes dispersantes químicos e agitação mecânica.

Realizamos os testes com agitação rápida no Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia, da Universidade de São Paulo. Utilizamos o método da pipeta com preparação da amostra em agitador elétrico *Stirrer*, conforme os procedimentos descritos por EMBRAPA (1997).

Usamos solução de pirofosfato de sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 0,1 M) conforme Camargo et al. (2009). Nas amostras de horizontes A realizamos um pré-tratamento para efetuar a queima de matéria orgânica conforme os procedimentos descritos pela EMBRAPA (1997).

Além disso, fizemos testes com pré-tratamentos antes de aplicarmos o pirofosfato. Dentre eles, testamos um pré-tratamento com ácido clorídrico (HCl), conforme Mauri (2008), para ajudar na desagregação de microagregados de ferro e argila que superestimam os valores de silte. Fizemos duplicata nas análises feitas no Laboratório de Pedologia da USP. Também foram realizados testes no laboratório de solos da Universidade Federal de Viçosa com agitação lenta e hidróxido de sódio (NaOH), conforme EMBRAPA (1997).

Como os testes mostraram resultados interessantes, consideramos importante apresentá-los e discuti-los aqui nesta seção. Na **Tabela 1** podemos observar a variação encontrada nos resultados de quatro amostras, sendo uma de Bw e uma de Bt para cada topossequência.

Tabela 1: Resultados da análise granulométrica por método: amostras submetidas a quatro diferentes métodos de preparação.

Tipo de dispersão adotada	P15 ¹		P47 ²		Tm42 ³		Tb4 ⁴	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Argila (%)								
a) Na ₄ P ₂ O ₇ .10H ₂ O 0,1 M + AR	18	16	34	34	23	23	20	21
b) HCl+Na ₄ P ₂ O ₇ .10H ₂ O 0,1 M + AR	31	32	38	38	24	24	21	21
c) 2(HO) + Na ₄ P ₂ O ₇ .10H ₂ O 0,1 M + AR	12	13	37	38	19	17	18	19
d) NaOH 0,1 M + AL*	40	*	42	*	26	*	24	*
Silte (%)								
a) Na ₄ P ₂ O ₇ .10H ₂ O 0,1 M + AR	34	35	12	12	14	14	14	13
b) HCl+Na ₄ P ₂ O ₇ .10H ₂ O 0,1 M + AR	20	19	10	10	14	13	13	13
c) 2(HO) + Na ₄ P ₂ O ₇ .10H ₂ O 0,1 M + AR	38	35	13	12	20	19	16	14
d) NaOH 0,1 M + AL*	11	*	7	*	11	*	7	*
Areia (%)								
a) Na ₄ P ₂ O ₇ .10H ₂ O 0,1 M + AR	48	49	53	53	63	63	66	66
b) HCl+Na ₄ P ₂ O ₇ .10H ₂ O 0,1 M + AR	49	49	51	52	62	63	66	66
c) 2(HO) + Na ₄ P ₂ O ₇ .10H ₂ O 0,1 M + AR	50	52	50	50	62	63	66	67
d) NaOH 0,1 M + AL*	49		51	*	63	*	69	*

AR: desagregação mecânica com agitação rápida (2000 rpm por 15min); AL:desagregação mecânica com agitação lenta (50 rpm por 16h).

* Realizada no laboratório de solos de Viçosa, sem resultado de repetição.

¹ Amostras do Perfil 1 da trincheira da topossequência Mandacaru, do horizonte Bw.

² Amostras do Perfil 4 da trincheira da topossequência Mandacaru, do horizonte Bt.

³ Amostras da trincheira da média vertente da topossequência Grevílea, do horizonte Bw.

⁴ Amostras da trincheira da baixa vertente da topossequência Grevílea, do horizonte Bt.

Notamos que o ensaio *d* se mostrou mais eficaz na dispersão apresentando maiores quantidades de argila; não há diferença significativa na fração areia nas diferentes opções de métodos; quanto maior a quantidade de areia, menor a variação nas frações menores; a amostras P15 (mais vermelho) foi a que apresentou maior variação nas frações silte e argila em todos os métodos aplicados.

No teste *a* notamos que as amostras P15 e Tm42, ambas de Bw, apresentam valores de argila de 18 e 23%. Quando observamos os resultados de argila destas mesmas amostras no teste *d* verificamos que passam a apresentar 40 e 26%, respectivamente. Estes dados mostram que a opção *a*, está mais próxima de caracterizar o comportamento da textura desses solos no campo, evidenciando que há grandes quantidades de argila que formam os microagregados e que são difíceis de dispersar; enquanto que a opção *d* tende a caracterizar a textura de acordo com suas condições mineralógicas. Optamos por utilizar a análise do tipo *a* para todas as amostras, exceto as amostras de horizonte A. A opção *a* foi escolhida por demandar menos tempo, ser amplamente utilizada e por evidenciar a ação dos óxidos na alteração das texturas, mostrando características mais próximas à realidade encontrada no campo. Nos horizontes A optamos por utilizar o método do tipo *c* que não apresentou grandes diferenças na textura obtida com o método *a*, além de atuar na eliminação da matéria orgânica.

Além disso, escolhemos a opção *a* por já ter sido utilizada no trabalho de Alves (2010) nos solos da região e por não demandar produtos químicos tão agressivos. O agitador elétrico *Stirrer* foi escolhido por permitir uma análise mais rápida e estar disponível no laboratório de pedologia da USP.

Após a realização da análise granulométrica efetuamos a separação das areias por peneiramento. As areias foram separadas em seis classes através da utilização de um jogo de peneiras, possibilitando fracionar as areias nas seguintes classes de tamanho: 0,053-0,062mm; 0,062-0,125mm; 0,125-0,25mm; 0,25-0,5mm; 0,5-1mm; 1-2mm. Para tanto, primeiro lavamos as areias com a peneira de 0,053mm, limite da areia fina, e secamos as amostras para submetê-las ao peneiramento e posterior pesagem.

Durante a lavagem das areias foi possível observar que uma fração do silte grosso passava direto pela peneira de 0,053mm (usada para lavar as areias). Esse silte se

depositava no fundo da pia que as areais são lavadas e era composto por grãos de quartzo, minerais escuros, e agregados de argila, estes últimos eram mais comuns em amostras mais avermelhadas dos Latossolos. Notamos que esta fração também não podia ser coletada durante a pipetagem, pois, ao recolhe-la e misturar na água o silte rapidamente se depositava no fundo do vidro.

Diante do exposto, embora os resultados somente com análise do tipo *a* tenha demonstrado que a fração silte foi superestimada, acreditamos que os resultados são válidos e comparáveis entre eles, indicando inclusive as amostras que apresentam microagregados de argila em maior quantidade e mais resistentes.

1.2.2 Argila dispersa

Realizamos a análise de argila dispersa em água para avaliar a quantidade de argila que está naturalmente dispersa e, portanto, estaria mais susceptível a migrar vertical ou lateralmente, dando indícios dos processos pedológicos ativos na área.

Esta análise foi realizada no Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia, da Universidade de São Paulo, conforme os procedimentos descritos por EMBRAPA (1997).

1.2.3 Química de rotina para levantamento de solos

As análises químicas de rotina foram realizadas para o levantamento de alguns atributos dos solos para identificação dos solos e também por contribuírem para a identificação de processos pedológicos presentes na área.

O pH traz indicativos da acidez ou alcalinidade do solo, importante para a *solubilidade* de alguns elementos e disponibilidade de nutrientes. Fizemos a determinação do pH em H₂O e em KCl, sendo que a diferença entre eles fornece dados a respeito das

cargas existentes no solos, e quando $\text{pH H}_2\text{O}-\text{pH KCl}$, denominado ΔpH é positivo, indica a predominância de cargas positivas, fato associado à presença de óxidos (LEPSCH, 2011).

Analizamos também as bases (P , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e a acidez (Al^{3+} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), que são usados nos cálculos de soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions a pH 7 (T), capacidade de troca de cátions efetiva (t), porcentagem de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

Estas análises foram efetuadas no Laboratório de Análise de Solos, do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Viçosa, conforme os procedimentos propostos pela EMBRAPA (1997).

1.2.4 Composição química da argila por ataque sulfúrico, ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e oxalato ácido de amônio

Realizamos análise com ataque sulfúrico de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 e TiO_2 que servem para identificar as relações moleculares entre os constituintes dos minerais dos solos e dão indicativos dos processos pedológicos que atuam na vertente e influenciam nas quantidades destes óxidos.

A quantificação de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 e TiO_2 , foi realizada de acordo com EMBRAPA (1997). Os resultados de Ferro desta análise serão denominados de **Fet**.

Além desta análise, realizamos outras para auxiliar a caracterização do, apenas para aquelas amostras submetidas à análise mineralógica. Para tanto foram utilizados os extratores: ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (MEHRA e JACKSON, 1960), obtendo o **Fed**; e oxalato ácido de amônio (MCKEAGUE e DAY, 1966), obtendo o **Feo**. A utilização de diferentes extratores permite que sejam feitos cálculos com os diferentes produtos de Ferro obtidos, nos permitindo inferir:

- Ferro de silicatos = $\text{Fet} - \text{Fed}$ (MATHIEU e PIELTAIN, 2003).

- Óxidos de Ferro bem cristalizados = Fed – Feo (MATHIEU e PIELTAIN, 2003).
- Óxidos de Ferro mal cristalizados = Feo (MCKEAGUE e DAY, 1966).

Todas estas análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Viçosa.

1.2.5 Análises mineralógicas por difração de raios X

As análises mineralógicas foram utilizadas apenas para a caracterização geral dos minerais presentes. Utilizamos amostras pulverizadas, dispostas em lâminas de vidro e submetidas ao Difratorômetro X'Pert Panalytical com radiação de $\text{CuK}\alpha$, no intervalo 2 a 70° 2 θ para a fração pó total (TFSA). Os difratogramas foram interpretados no Software X'Pert HighScore Plus e através de padrões da literatura (BROWN e BRINDLEY, 1980).

Esta análise foi realizada no Laboratório de Difração de Raios-X do Departamento de Geologia, da Universidade Federal de Ouro Preto; a interpretação foi realizada em conjunto com o Professor Fábio Soares de Oliveira, na Universidade Federal de Minas Gerais.

1.3 Técnicas de Gabinete

O trabalho de gabinete permeia toda a pesquisa, inicialmente fornecendo os dados para as primeiras explorações de campo, e no prosseguimento da pesquisa essa etapa é constantemente alimentada com os dados obtidos nas etapas de campo e laboratório, também fornecendo diretrizes para ambas.

O desenvolvimento da pesquisa se dá justamente pela junção das três etapas com as muitas horas dedicadas às análises dos dados levantados e produzidos. Passaremos agora a descrever a elaboração dos materiais produzidos em gabinete.

1.3.1 Material cartográfico

O material cartográfico é importante para espacialização dos elementos relevantes para o entendimento da área, em especial relacionados com formação/evolução dos solos. Essa etapa foi dividida na confecção de cartas temáticas regionais e carta morfológica do Compartimento Três Cantos, além da organização do material gráfico

1.3.1.1 Cartas temáticas

As cartas temáticas são importantes para observar o contexto regional da área de trabalho. Foram confeccionadas cartas geológica, hipsométrica e clinográfica. Todas essas cartas foram apresentadas na escala 1:250.000.

A base cartográfica utilizada foram as cartas do IBGE na escala 1:50.000 de Bela Vista do Paraíso (IBGE, 1973a), Cruzália (IBGE, 1975a), Florínea (IBGE, 1975b), Iepê (IBGE, 1975c), Maracaí (IBGE, 1975d), e Paranaji (IBGE, 1973b). Para a confecção das cartas hipsométricas e clinográficas foram utilizadas as curvas de nível vetorizadas, com equidistância de 20m.

Para o carta geológica foram utilizadas as cartas da PAULIPETRO (1980), folhas Cruzália, Maracaí e Paranaji, na escala 1:50.000 e a carta pedológica semidetalhada do Estado de São Paulo, folha Maracaí (ROSSI et al., 2000), na escala 1:100.000. Também foram utilizados os dados dos solos de textura média do Compartimento Três Cantos e a localização das cascalheiras, ambos obtidos em campo.

Todos os mapeamentos foram realizados no software ArcGIS 9.3, licenciado pelo Laboratório de Pedologia, da Universidade de São Paulo.

1.3.1.2 Carta morfológica

A carta morfológica foi elaborada para compreender a distribuição e morfologia das depressões, e do próprio Compartimento Três Cantos, além de permitir localizar afloramentos existentes nas vertentes. Este mapeamento foi apresentado na escala 1:50.000, com o Compartimento Três Cantos no centro.

Realizamos o mapeamento com fotografias aéreas de escala 1:25.000 (1962), pertencentes ao Arquivo de Fotografias Aéreas (AFA) do Departamento de Geografia da FFLCH/USP. Foi selecionado o mapeamento com fotografias dessa época, por permitir a observação dos elementos do relevo existentes antes da criação do reservatório Capivara. O controle da fotointerpretação foi feito com trabalhos de campo, exceto no trecho que atualmente está inundado pelo reservatório Capivara (**Figura 2**).

Para a fotointerpretação foi utilizado um estereoscópio de bolso e um estereoscópio de espelho, papel ultraphan e lápis de cor. Após a delimitação das formas e conferências de campo, o material foi escaneado, georreferenciado e vetorizado. Para complementar o mapeamento das formas acrescentamos as curvas de nível das cartas do IBGE na escala 1:50.000 e a delimitação dos solos vermelho-amarelos de textura média e dos afloramentos de couraça, basalto, arenito e cascalheiras observados durante os trabalhos de campo.

Figura 2: Fotografia 8580, do ano de 1962, com indicação da área inundada pelo reservatório Capivara.

A legenda da carta foi baseada no trabalho Coutard et al. (1978) e Pinheiro (2009).

Todo o tratamento digital foi realizado no software ArcGIS v. 9.3.

1.3.1.3 Material Gráfico

O material gráfico é importante para ilustrar as observações efetuadas na área e criar esquemas que facilitem o entendimento dos itens que estão sendo relatados no texto. Para a elaboração deste material utilizamos as fotografias, as observações de campo e as cartas elaboradas. Utilizamos o software CorelDraw 16 para organizar e diagramar as figuras.

Todas as pranchas identificadas com o logo “Três Cantos” serão disponibilizadas no site www.trescantos.com.br, juntamente com a explicação pertinente, para que possam

ser consultadas por qualquer pessoa que tenha interesse na área ou nos assuntos tratados nesta pesquisa. Acreditamos que dessa forma poderemos contribuir para a divulgação científica, possibilitando que o nosso trabalho não fique restrito à Academia.

2 FUNDAMENTOS

Neste item iremos apresentar uma revisão bibliográfica sobre as depressões fechadas, com indicação de tipos de material de origem e solos associados, com especial destaque para os processos que estariam influenciando na formação dessas feições. Apresentaremos também uma revisão sobre couraças, em que trataremos de descrever o termo, a constituição e os processos de formação e degradação desses materiais.

1.1 Depressões Fechadas

Depressões similares às encontradas no Compartimento Três Cantos, são denominadas, por IBGE (2009), como pseudocársticas e caracterizadas por apresentar forma:

[...] deprimida, com fundo chato, geralmente fechada, às vezes comunicando-se com a rede de drenagem, mas concentrando água da chuva. Assemelha-se às elaboradas no relevo cárstico, porém tem a sua origem e desenvolvimento associados a processos diferentes dos que envolvem o carste propriamente dito. Ocorre nos tabuleiros e chapadas recobertos por colúvios e/ou latossolos, sobre variados tipos de litologia [...]. (pág. 56).

Hardt e Pinto (2009) discutem essa terminologia e sugerem que tais feições sejam denominadas cársticas a partir do momento que a dissolução tenha um papel fundamental em seu desenvolvimento, independente da litologia na qual se inserem. Como exemplos, os autores citaram diversas áreas no Brasil que apresentam feições cársticas desenvolvidas em arenitos e quartzitos. Neste trabalho não discutiremos essa terminologia, procuraremos apenas descrever a forma e avaliar os processos que teriam levado à sua formação.

Verifica-se que essas formas deprimidas têm sido assinaladas em diferentes substratos geológicos. As depressões existentes nos Baixos Chapadões do oeste paulista foram mencionadas por Ab'Saber (1969), que salientou o fato de se situarem em zonas de

contato entre o basalto e o arenito ou em espigões rebaixados.

Segundo o Levantamento dos solos do Rio Grande do Sul (DPFS, 1967), na região do Planalto Médio é possível encontrar depressões abertas e fechadas em áreas com solos provenientes de basalto (unidade de mapeamento Passo Fundo), de arenito (unidade de mapeamento Tupanciretã) ou arenitos com basalto (unidade de mapeamento Cruz Alta).

As depressões em áreas de rochas básicas parecem ser comuns conforme destacam Castro Françoso et al. (1974). Segundo Castro (1980) as depressões em áreas de rochas basálticas têm sido interpretadas como resultantes da alteração e solubilização das rochas, facilitadas pela existência de densa rede de fraturas e diaclases.

O IPT (1981b) assinala que a bacia do rio Pardo, no estado de São Paulo, possui um grande número de lagos e pequenas lagoas, distribuídas em colinas amplas, sobre substrato basáltico, com solos espessos e bastante permeáveis. Segundo o IPT (op. cit.) essas condições favorecem a percolação das águas de superfície, o aparecimento de lagoas perenes ou temporárias, além de contribuírem para um maior espaçamento dos cursos de água. Queiroz Neto (1972) confirma a presença de depressões fechadas sobre substrato basáltico na região de São Francisco de Paula-RS, no topo do planalto localizado no reverso das escarpas da Serra Geral.

Coltrinari (1975), ao estudar a região de Guaratinguetá-Aparecida, assinalou a presença de depressões úmidas fechadas nos interflúvios largos e contínuos, especialmente nos setores de colinas mais baixas, assentadas sobre formações sedimentares da bacia de Taubaté. São depressões similares às cabeceiras em anfiteatro que ocorrem por vezes nas ladeiras das colinas e nas rampas de colúvio.

Essas depressões mais tarde foram estudadas por Filizola (1993) sobre material sedimentar de natureza quartzo-caulinítico da bacia de Taubaté. Os solos vermelho-amarelos das colinas passam progressivamente, em direção as depressões a solos bruno-

amarelo-claros, mantendo a textura argilo-arenosa. A autora observou, ainda, que as depressões encontram-se alinhadas, apontando uma influência estrutural, relacionando sua gênese com a ocorrência de falhas e fraturas. A erosão geoquímica seria responsável pelo abatimento e a erosão mecânica recobriu com colúvio pouco espesso o solo turfoso existente no fundo da depressão (FILIZOLA, 1993; FILIZOLA & BOULET, 1993).

Pereira et al. (2013) também verificou que os processos de dissolução são os responsáveis pela formação de depressões fechadas em Itabiritos e couraças na região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais.

Em trabalho realizado no Senegal, na região da média Casamance, Chauvel (1977) e Chauvel e Pedro (1978) estudaram a gênese de solos formados a partir de rocha sedimentar areno-argilosa em um clima com estações bem contrastadas, onde solos vermelhos evoluem para solos mais claros, formando depressões fechadas. Os solos vermelhos com estrutura microagregada, a partir de uma ultradessecação, teriam sua estrutura destruída, possibilitando uma reorganização dos elementos e a uma perda de argila e ferro. Esta reorganização possibilita a formação de uma estrutura mais adensada formando solos mais amarelados e pequenas depressões. Nesse caso a transformação dos solos e a formação das depressões estariam relacionadas a uma organização e reorganização dos constituintes do solo, e não a alterações geoquímicas ou mineralógicas, sendo essas duas últimas as normalmente atribuídas como responsáveis pela formação de depressões fechadas (FELTRAN FILHO, 1997; FILIZOLA, 1993; BRICALLI, 2006).

Chauvel (1977) destaca ainda que as transformações do solo se fazem mais rapidamente se houver pouca cobertura vegetal, pois a vegetação funciona como uma proteção, regulando a umidade atmosférica, e diminuindo os contrastes pedohídricos. Entretanto, devemos destacar que em alguns casos a instalação da cobertura vegetal densa pode contribuir para a transformação dos solos, ao passo que proporciona uma ação biótica

mais intensa e inclusão de ácidos húmicos, como é o caso de couraças que passam a se transformar em solos (MAIGNIEN, 1966). A instalação de uma vegetação densa, que levará a uma transformação das couraças em solos, também pode se dar por alteração para um clima mais úmido (MAACK, 1950).

Feltran Filho (1997) estudou a geomorfologia das Chapadas de Uberlândia, no Triângulo Mineiro. No topo da chapada as depressões são comuns, tendo sido estudada a Lagoa da Estação Irara, em área da formação Marília. Esse autor verificou a continuidade lateral dos horizontes dos solos entre o fundo da lagoa e o interflúvio, atribuindo o fato a processos geoquímicos que teriam causado transformações e deformações na cobertura pedológica, formando a depressão. Destacou que a presença das lagoas segue o condicionamento estrutural observado na rede de drenagem e que é comum a presença de lagoas próximas a cabeceiras de drenagem, além de lagoas interligadas entre si e/ou a rede de drenagem.

Rosolen e Herpin (2008), ao estudarem depressões em sedimentos arenosos da formação Solimões, no Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental, verificaram uma estreita relação entre a distribuição dos principais horizontes dos solos e a topografia. Identificaram frentes de transformação lateral através da expansão dos horizontes hidromórficos, à montante a partir do centro da depressão, com exportação de matéria particulada e/ou dissolvida que modifica a textura, a estrutura e as propriedades geoquímicas da matriz, acarretando uma diminuição do volume do solo e consequentemente do relevo.

Demattê et al. (1996) ao estudar uma depressão fechada desenvolvida em “relevo de tabuleiro” sobre rocha da formação Barreiras, localizada próxima à Maceió/Al, verificou que a formação do solo na depressão está diretamente relacionada com as condições de drenagem, de acordo com as posições que os solos ocupam no relevo. Dessa

forma, um LATOSSOLO AMARELO se transforma em um PODZOL ACINZENTADO, com mudanças texturais que são oriundas de processos de dissoluções e neoformação influenciadas pelos fluxos hídricos no solo.

Espindola (2010) acredita que as depressões são incorporadas pela rede de drenagem através da evolução dos mecanismos de formação das próprias depressões que modificam o relevo, formando incisões que criam vertentes e podem chegar a expor rochas nas incisões mais profundas. Esse rejuvenescimento do relevo propiciaria o truncamento de porções de solos antigos e a instalação de novos mecanismos pedogenéticos, impulsionados pelas modificações na circulação hídrica externa e interna, criando solos mais jovens. O autor defende ainda que o mecanismo auto evolutivo é genérico para qualquer embasamento.

Segundo Queiroz Neto (2001), as transformações da cobertura pedológica se dão com perda de matéria, tendo início com os processos de alteração das rochas pelo intemperismo. Essas perdas seriam mais intensas seguindo as linhas de fraqueza (estrutural, fraturas, diáclases e falhas), caminhos preferenciais de passagem das soluções que provocarão perdas geoquímicas mais localizadas e direcionadas. Essas modificações ocorrem em profundidade e resultam em deformações nos materiais de recobrimento, formações superficiais e solos. Estes abatimentos localizados e direcionados poderiam servir para a instalação da futura rede de drenagem. Considera ainda que as formas de relevo como depressões fechadas e diferenciações entre perfis de solo ao longo das vertentes ou em níveis topográficos sucessivos, não podem ser consideradas como fases ou ciclos climáticos diversos, pois podem representar apenas momentos de um processo contínuo no tempo e no espaço, que evoluindo, irá provocar o rebaixamento geral do relevo.

Alguns autores sugerem que as depressões seriam o estágio inicial da instalação da

rede de drenagem (BELTRAME, 1997; FELTRAN FILHO, 1997; QUEIROZ NETO, 2010; CABRAL et al., 2005; BRICALLI, 2006). Castro e Coelho Netto (2002) defendem que “as depressões fechadas podem ser vistas também como protovais, ou seja, como formas que poderiam ter evoluído como vales de cabeceiras de drenagem, mas que foram interrompidas”. Coelho Netto (2003) defende que estágios mais avançados de intemperismo no entorno de fraturas permite supor que há maior disponibilidade de regolito, favorecendo a abertura e evolução das cabeceiras por ação mecânica, dando maior destaque a este tipo de erosão na formação do relevo.

Coelho Netto (2003) e Xavier e Coelho Netto (2008) estudaram a evolução geomorfológica da bacia do rio Bananal (SP) e destacam a importância das depressões na evolução da rede de drenagem e do relevo. Coelho Netto (2003) considera que “os processos químicos e mecânicos não são excludentes entre si, mas resta saber a magnitude dos diferentes processos nos diferentes estágios da evolução do modelado, tanto nas cabeceiras de drenagem como nas suas bacias principais”.

Etchebehere et al. (2007) destacam que há uma notável coincidência das zonas de lagoas com feixes de lineamentos que devido a estrutura favoreceriam a geração dessas feições, seja por colapso, seja por carstificação.

Diante do exposto, verificamos que as depressões parecem ser comuns tanto em sedimentos arenosos, basaltos e embasamento granito-gnaíssico. O principal motor para sua formação seria a dissolução geoquímica, tendo como importante condicionador de fluxos a estrutura geológica.

1.2 Couraças

Acumulações ferruginosas passíveis de endurecimento foram primeiramente assinaladas por Buchanan no início do século XIX na Índia. Nesta ocasião o autor

denominou estes materiais de “laterita”. Tratava-se de um material enriquecido com ferro que endurecia com a exposição ao sol e era utilizado pela população local para fazer tijolos (MAIGNIEN, 1966a; CHATELIN, 1987).

No Brasil o material ferruginoso, com coloração negra e endurecido, foi descrito por viajantes naturalistas já no século XIX, entre eles Spix e Martius, Eschewege, Costa Sena (SCHAEFER et al., 1997). Esse material foi amplamente utilizado para a construção e pavimentação, devido a sua resistência e durabilidade, sendo popularmente conhecido como *Tapunhunacanga*¹ (*tapuyuna* significa o negro e *acanga* a cabeça), o que corresponderia a cabeça de negro (Sampaio, 1955), pode também ser chamada de *Tapanhoacanga*, *Tapiocanga*, *Itapanhucanga*, ou somente *Canga*, que seriam todas palavras derivadas de *Tapunhunacanga*.

A palavra Laterita, depois de Buchanan, passou a designar acumulações ferruginosas como as outrora descritas por aquele autor, como também solos vermelhos com concentrações de ferro, bastante comuns em áreas tropicais, levando ao desenvolvimento do termo “solos lateríticos”. Maignien (1966a) considerava, já naquela época, que o termo laterita atingiu tal generalidade que não possuía mais um significado pedológico.

Tardy e Roquin (1998) defendem que a palavra laterita deveria ser utilizada em um senso mais amplo, designando todos os materiais friáveis ou endurecidos que tenham sua cor e estrutura relacionadas à predominância de caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro ou de alumínio livres e minerais primários resistentes, tais como quartzo.

A ampla utilização do termo para designar os mais diversos tipos de materiais originados de acumulações ferruginosas em ambiente tropical, somada a evolução dos

¹ Como não haviam negros no Brasil, essa palavra foi criada com a junção da palavra tapútiã (índio não tupi) e acréscimo da palavra *una* (preto), e, então, a palavra *akanga* foi associada para designar as pedras muito escuras e arredondadas, que lembraria a cabeça de uma pessoa negra (BAGNO e CARVALHO, 2014).

conhecimentos na área, levou à criação de outros termos para substituírem o termo laterita, dentre eles destacamos: ferricrete (*duricrust*), plintita, petroplintita, couraça e carapaça.

O termo ferricrete surge pela primeira vez com Lamplugh (1902) para designar leitos de areia e cascalho cimentados por deposição de ferro através de soluções carregadas pelas águas que infiltram nesses materiais, tornando-os endurecidos. Goudie (1973) associa este termo com *duricrust*, proposto por Woolnough, em 1927, para designar crostas formadas pela acumulação de diferentes elementos. Nestes autores não encontramos um termo correspondente para a camada de acumulação de ferro não endurecida.

Este termo é mais adotado por geomorfólogos, fato que talvez explique a colocação de Thomas (1974) de que as acumulações ferruginosas só se tornam importantes para os geomorfólogos quando perdem a camada superficial do solo e são expostas, se tornando endurecidas e influenciando nas formas de relevo.

Segundo Daniels et al (1978) a plintita corresponde ao material rico em ferro que endurece com repetidos ciclos de umedecimento e secagem, especialmente quando exposta ao sol. Embora o material se torne endurecido, ainda assim, pode ser quebrado com a mão. A plintita possui uma gama de cores de 10R até 7,5YR para matizes. O termo plintita foi criado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em 1960 (MAGNIEN, 1966a).

Já a petroplintita surge para diferenciar as acumulações ferruginosas mais endurecidas, se configurando como acumulação de ferro bastante resistente que contém irregularidades tubulares, canais com terra fina, condutos de raízes e água (SMITH et al, 1977). Para a EMBRAPA (2013) são incluídos nesta designação os nódulos e concreções ferruginosas de dimensões e formas variadas. A existência destes materiais em solos em quantidade igual ou superior a 15% e espessura $\geq 15\text{cm}$ em horizontes de cores pálidas, classifica-os como PLINTOSSOLO (EMBRAPA, op.cit). Estes termos são amplamente

adotados por pedólogos, sobretudo por seguidores da linha norte americana, como é o caso de grande parte da pedologia brasileira, incluindo aí, a Classificação Brasileira de Solos (EMBRAPA, op.cit).

Os pedólogos franceses optam pela utilização de carapaça e couraça. O termo carapaça foi introduzido por Arsandaux no ano de 1909, e o termo couraça foi criado por Lacroix no ano 1913 (TARDY, 1993). Plaisance e Cailleux (1958) descrevem a couraça como a camada endurecida resultante da incrustação da carapaça dos solos tropicais por óxidos de ferro desidratados em forma de gel, enquanto a carapaça seria a camada endurecida e cimentada por ferro. A diferença entre elas é que a carapaça pode ser fragmentada com a mão ou faca, sem muito esforço, já a couraça não. Neste trabalho optamos pela utilização do termo couraça, seguindo a linha francesa que foi adotada.

A couraça pode se formar na maioria das rochas sedimentares, metamórficas e ígneas (NAHON e TARDY, 1992), desde que haja suprimento de ferro adequado para a acumulação de sesquióxidos (TARDY e ROQUIN, 1998). O encouraçamento se forma por enriquecimento em ferro no nível piezométrico flutuante e profundo, cuja acumulação de ferro se mantém no solo em domínio não saturado, acima do teto do nível de água (TARDY e ROQUIN, op.cit).

Este tipo de material é encontrado principalmente em climas tropicais com estações alternadas, sendo menos abundantes em condições semi-áridas e muito úmidas (NAHON e TARDY, 1992). Tardy e Roquin (1992) defendem que as couraças se formam em clima tropical com estações contrastadas, com temperatura de 30°C e precipitação entre 1.300 e 1.700mm por ano. Os autores acreditam que desde o Jurássico, partes do Brasil foram submetidas a climas equatorial, tropical úmido e tropical árido, permitindo que a superfície tenha sido coberta por lateritas de diferentes tipos e diferentes idades.

A formação de couraça se dá pela acumulação de sesquióxidos de ferro. A acumulação de sesquióxidos pode resultar de dois processos distintos: da importação de sesquióxidos (acumulação absoluta), ou da exportação de não sesquióxidos (acumulação relativa) (D'HOORE, 1954). Para Alexander e Cady (1956) estes processos ocorrem da seguinte forma: adição de substâncias cimentantes a partir de horizontes superiores, através da água do solo, levando a formação de uma crosta com pouca perda de volume; e condensação por remoção de sílica e outros constituintes por lixiviação, acompanhada pelo colapso e cimentação através de solução e precipitação, levando ao desenvolvimento de uma crosta com considerável perda de volume e desenvolvimento de endurecimento sem adição de substâncias externas. Alexander e Cady (op.cit) afirmam que em muitos casos estes processos podem coexistir.

O processo de acumulação de ferro na baixa vertente necessita que o ferro tenha sido liberado por hidrólise, migre em solução ou pseudo-solução na água do solo, e seja imobilizado por oxidação, sendo que na estação úmida há a mobilização e lessivagem, e na estação seca ocorre imobilização na zona do lençol freático (MILLOT, 1964), exclusivamente em meio oxidante (Tardy, 1993).

Maignien (1954) indica algumas condições que influenciam na existência de acumulações ferruginosas:

- Áreas planas e baixos platôs representam os endereços naturais onde as soluções de ferro se concentram, se estas soluções não forem eliminadas na drenagem acabam se imobilizando e encoraçando o meio;
- A presença de uma camada de rocha menos permeável pode ocasionar uma limitação à drenagem profunda, levando a acumulação do ferro imediatamente acima;

- A textura do solo também pode influenciar, na medida em que solos arenosos necessitam de maior quantidade de ferro para serem encoraçados;
- Em áreas deprimidas a migração de ferro dissolvido na vertente leva à impermeabilização de níveis inferiores por acumulação ferruginosa, colmatando o fundo e criando lagoas.

As couraças têm como principais minerais, por ordem de importância: a hematita, a caulinita, a goethita, o quartzo e gibbsita, sendo os dois primeiros indispensáveis e os três últimos facultativos (Tardy, 1993). Para o autor, os valores de Fe_2O_3 podem chegar a 75%, mas geralmente variam entre 40 e 65%.

Nahon (1977) defende que em uma mesma rocha mãe as couraças podem apresentar uma série de fácies que resultam da evolução no tempo e no espaço das couraças de origem. Essas evoluções são mineralógicas e estruturais e correspondem aos períodos sucessivos de encorçamento a que são submetidos os perfis encorçados, sendo que as couraças não podem ser consideradas como formações relíquias estáticas.

Tardy e Nahon (1985) apresentam um perfil laterítico típico com couraça no topo (Figura 3) no qual podemos verificar a variação mineralógica. Trataremos aqui de apresentar a descrição dos autores para a formação e evolução deste perfil típico construído a partir dos trabalhos de Tardy (1969) e Nahon (1976). A apresentação deste perfil é bastante interessante para o entendimento das fácies da couraça e dos solos relacionados. Portanto, apresentaremos a seguir um apanhado dos pontos principais dos horizontes que compõem este perfil, de acordo com a descrição realizada por Tardy e Nahon (op.cit):

Figura 3: Representação esquemática um perfil laterítico típico, com couraça sobrejacente.

Fonte: Tardy e Nahon, 1985 (Tradução nossa).

1. Horizonte de saprólito grosso com caulinita e esmectita;
2. Horizonte de saprólito fino com caulinita e goethita, que prossegue sem alterações até o nível do freático, ficando permanentemente saturada. Esta zona não apresentaria hematita e nem formação de concreções;
3. Horizonte de mosqueamento localizada acima do freático, na zona insaturada. Este horizonte é invadido por uma rede de canais e vazios tubulares com diâmetro centimétrico que passariam a acumular caulinita neoformada e detritos. Estas condições levariam a uma remobilização do ferro que seria lixiviado das áreas com poros mais largos e se concentrariam em áreas ricas em argila, formando mosqueado, estágio precursor das concreções. As caulinitas concentradas nos poros largos seriam também progressivamente enriquecidas com ferro. Nesta zona

mosqueada a goethita dominaria, mas a hematita apareceria em pequenas porcentagens. Com a evolução dos mosqueados para concreções, a hematita passa a substituir a goethita.

4. Horizonte de couraça. Este horizonte possui alguns metros de espessura com acumulação de ferro, que pode ser maior que 20%.

- Na parte central ocorre cimentação abundante de nódulos. O ápice em formação de concreções corresponde ao máximo endurecimento e ao máximo em desenvolvimento de hematitas, corresponde também à completa substituição da caulinita por hematita aluminosa.
- Em direção ao topo, anéis de goethita aparecem em torno dos nódulos hematíticos, como um processo secundário de degradação formando córtex de ferro. Este córtex também se forma na borda dos poros maiores. Estas goethitas são formadas por reidratação de hematitas aluminosas. As goethitas que neste ponto são altamente aluminosas e passam a perder alumínio no processo de degradação, tendo como produto final a goethita pura.
- Próximo ao topo a coesão diminui e há nódulos que tendem a se separarem e formar uma camada cascalhenta.

Em todo este processo de formação há ainda o ferro dissolvido que desce do topo para a base da crosta, acrescentando ferro às concreções e à formação de nódulos (Tardy e Nahon, 1985). De acordo com os autores, a acumulação de ferro, progressivamente removeria Al e Si, dissolvendo a caulinita e corroendo o quartzo, tornando a hematita e goethita dominantes. Toda essa evolução e distribuição da goethita e hematita é regulada pela atividade da água (Tardy, 1993).

Os pisolitos existentes no topo de couraças podem se formar a partir de vários materiais de origem, mas são mais comuns em áreas com rochas básicas de granulação fina (ALEXANDER e CADY, 1956). Segundo os autores estas feições possuem elevada concentração de minerais de ferro e podem conter uma quantidade considerável de hidróxidos de alumínio, e somente traços de caulinita, se esta não for ausente. A formação se daria em ambiente mais hidratado, através de ciclos de hidratação e precipitação, após serem formados os pisolitos tendem a serem estáveis.

A presença de couraça na paisagem poderia ser revertida com a instalação da vegetação que possibilita efeitos combinados de água e matéria orgânica abundante (MAIGNIEN, 1954), levando à hidratação e redução com empobrecimento em Fe e enriquecimento em Si e Al, ocasionando desmantelamento geoquímico da couraça (BEAUVAIS e TARDY, 1991). A hidratação combinada com a redução ataca principalmente a associação caulinita/hematita que é responsável pela resistência do encouraçamento. Essa associação também pode ser atacada apenas por hidratação, que levaria a transformação de hematita em goethita (TARDY, 1993). Segundo Alexander e Cady (1956), a fragmentação mecânica também contribuiria para a degradação da couraça.

A transformação da couraça em solo, em zona úmida de domínio florestal, ocorre por degradação interna, formando blocos, que se tornam cada vez menores, chegando a tamanhos milimétricos, que são os micronódulos (TARDY e ROQUIN, 1998). Beauvais e Tardy (1991) defendem que os solos formados nestas condições são vermelhos.

No sudoeste de São Paulo e noroeste do Paraná, as couraças foram poucas vezes assinaladas. Os primeiros registros parecem ser os de Maack (1950), nas matas do norte do Paraná, o autor assinalou que haveria na região grandes extensões de couraça, que teriam sido alteradas, e formando solos após a instalação de clima mais úmido e vegetação densa.

Ocorrências localizadas de couraça foram citadas por Tardy e Roquin (1998), no topo dos morros do Diabo (sudoeste de São Paulo) e Três Irmãos (Noroeste do Paraná), ambos com mais ou menos 450m, com arenitos do grupo Bauru e Caiuá. Os autores apresentam um mapa que indica que a região teria apresentado um clima propenso à formação de couraça no Eoceno médio.

As couraças foram observadas também: por Zaparoli (2009), no noroeste do Paraná, em área de arenito Caiuá, e por Ladeira (1995) no Planalto Ocidental Paulista, em área de basalto. Níveis ferruginizados foram assinalados por Coelho et. al. (2001) e Barros (1985) no Planalto Ocidental Paulista, em arenitos do grupo Bauru.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Passaremos aqui à parte central do trabalho, na qual iremos discutir os resultados alcançados. Primeiramente, faremos uma abordagem geral sobre as características naturais da região, concentrando nossas observações no compartimento de paisagem Três Cantos (Alves, 2010). Em sequência, apresentaremos os detalhes das observações morfológicas do compartimento por meio da apresentação do mapa morfológico e das observações de campo. Por fim, apresentaremos o levantamento das duas vertentes escolhidas para o detalhamento dos solos, seguida da discussão das análises das propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos destas vertentes.

3.1 Análise regional

O rio Paranapanema é um dos três maiores rios que banham o Planalto Ocidental Paulista, juntamente com o Tietê e o Grande. Na região do médio Paranapanema se insere o município de Maracaí que possui um compartimento de paisagem com diferentes combinações pedogeomorfológicas, e que foi denominado por Alves (2010) de Três Cantos.

O Compartimento Três Cantos é delimitado ao norte pelo divisor de água local, a leste pelo ribeirão das Anhumas, a oeste pelo rio Capivara e ao sul pelo rio Paranapanema. Este compartimento está localizado no sudoeste do município de Maracaí/SP e se diferencia dos demais elencados por Alves (2010), devido à predominância de Latossolos, que variam de areno-argilosos a argilosos, distribuídos em relevo suave-ondulado com grande quantidade de depressões fechadas presentes nas partes cimeiras do relevo local, concentradas, principalmente, em áreas de solos de textura média (**Figura 4**). Embora a

área apresente solos de textura média, os mapeamentos geológicos indicam apenas a presença de basaltos (PAULIPETRO, 1980).

Na região de estudo só é possível observar os estratos superiores da coluna estratigráfica da bacia sedimentar do Paraná: basaltos da Formação Serra Geral, Grupo São Bento; rochas sedimentares da Formação Adamantina (Grupo Bauru), e Depósitos Quaternários (PAULIPETRO, 1980) (**Figuras 4 e 5**). Nos mapas da PAULIPETRO (1980), em IPT (1977) e Hasui et al. (1978) não foi usado o termo Depósito Cenozóico, que aparece em outros trabalhos (IPT, 1979; 1981; STEIN et al., 1979).

Os basaltos atingem mais de 1.000m de espessura nessa região (ETCHEBEHERE et al., 2007), e são o produto do intenso vulcanismo fissural ocorrido no Cretáceo Inferior, a 134.7 Milhões de anos atrás, e que durou menos de 1,2 Milhões de anos (THIEDE e VASCONCELOS, 2001), servindo de base para o Grupo Bauru (**Figura 5**).

Cada derrame de basalto possui em média 15,5m, chegando a atingir no máximo 32,3m, apresentando uma faixa amigdaloidal a vesicular no topo, que grada para uma maciça no centro, na base é comum encontrar uma estreita faixa (10-30cm) de basalto vesicular/amigdaloidal (IPT, 1978). Entre esses derrames podem ser encontradas intercalações de estratos menos espessos de rochas clásticas (2-8m) (IPT, 1977, 1978; 1979; 1981; SOARES et al., 1979; STEIN et al., 1979), correspondentes à brechas sedimentares com matriz silto-argilosa ou arenito de coloração avermelhada (Formação Botucatu), envolvendo quantidade variável de seixos, normalmente angulosos, de basalto amigdaloidal ou vesicular.

FIGURA 4: MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO EM QUE SE INSERE O COMPARTIMENTO TRÊS CANTOS, COM INDICAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE SOLOS DE TEXTURA MÉDIA

		GRUPO	Formação	LITOLOGIA
MESOZÓICO	JURÁSSICO A CRETÁCEO	BAURU	Marília Km	Arenitos de granulação fina a grossa, compreendendo bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte. Subordinadamente ocorrem lentes de siltitos, argilitos e arenitos muito finos. Presença comum de nódulos carbonáticos.
			Adamantina Ka	Arenitos finos e muito finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos com lentes de siltitos arenosos e argilitos ocorrendo em bancos maciços, estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno a médio porte.
			Santo Anastácio Ksa	Arenitos muito finos a médios, mal selecionados, subordinadamente de caráter arcoseano, geralmente maciços, apresentando localmente cimento e nódulos carbonáticos.
			Cuiá Kc	Arenitos finos a médios, com grãos bem arredondados, com coloração arroxeada típica, apresentando abundantes estratificações cruzadas de grande e médio porte. Localmente ocorrem cimento e nódulos carbonáticos.
	TRIÁSSICO	SÃO BENTO	Serra Geral Jkcs	Rochas vulcânicas toleíticas dispostas em derrames basálticos, com coloração cinza a negra, textura afanítica, com intercalações de arenitos intertrapianos, finos a médios apresentando estratificação cruzada tangencial. Ocorrem esparsos níveis vitrofíricos não individualizados.
			Botucatu Jkb	Arenitos eólicos avermelhados de granulação fina a média com estratificações cruzadas de médio a grande porte. Ocorrem restritamente depósitos fluviais de natureza areno-conglomerático e camadas localizadas de siltitos e argilitos lacustres.
			Pirambóia TrJp	Depósitos fluviais incluindo arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos com estratificação cruzada ou plano paralela, com níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variegadas e raras intercalações de natureza areno-argilosa.

Figura 5: Coluna litoestratigráfica da parte superior da bacia sedimentar do Paraná.

Fonte: IPT, 1981.

Os afloramentos de basalto são frequentemente encontrados nos cortes de estrada, nos barrancos das margens dos rios e no próprio assoalho destes. Além disso, é possível observar alguns blocos isolados e de grande dimensão nas margens da represa Capivara, quando esta apresenta um nível mais baixo. Os afloramentos observados são, em geral, de basalto maciço, e por vezes apresentam uma fina camada de basalto amigdaloidal e/ou vesicular. Quando estes últimos aparecem é comum encontrar blocos ou finas camadas de arenito silicificado associados.

A sedimentação do Grupo Bauru ocorreu em discordância sobre o basalto, com conglomerados basais seguidos por arenitos da Formação Adamantina (**Figuras 4 e 5**). Este processo de deposição se deu em ambiente fluvial (IPT, 1978). Segundo alguns autores, são arenitos finos e bem selecionados, com ou sem conglomerados, e aparecem na paisagem como platôs isolados, moldados pela erosão (IPT, 1977, 1978; 1979; 1981; SOARES et al., 1979; STEIN et al., 1979).

Estes arenitos aparecem em cotas altimétricas mais altas a leste que a oeste, aparecendo a 480m de altitude ao sul do ribeirão Cervo e a 380m a noroeste no mapa (**Figura 4**). Segundo IPT (1979), a movimentação pós-basáltica na Bacia do Paraná, aliada a período posterior de intensa erosão, teria formado um relevo profundamente irregular que serviu de embasamento para as sequências detríticas posteriores. Para Almeida et al. (1981) essa irregularidade se deve não só pela disposição irregular dos topos dos derrames, como também pelos movimentos tectônicos.

Não foram observados afloramentos de arenito Adamantina na região de Maracaí, apenas rupturas convexas fruto do recuo diferencial das vertentes e que marcam a passagem de um solo mais arenoso para solos argilosos, provenientes do basalto imediatamente abaixo. Os afloramentos desse arenito são mais comuns no município de Assis, onde o pacote arenítico é mais espesso, e ainda assim, bastante intemperizado. No município de Assis foram reconhecidos dois afloramentos registrados como arenito Adamantina (BONGIOVANNI, 2008), um deles com arenito ferruginizado e o outro com arenito acompanhado de argilito, siltito e conglomerado de cascalhos quartzíticos, com seixos de tamanhos variados.

Vários autores mencionam a ocorrência de Depósitos Cenozóicos (não mapeados), compostos por materiais arenosos, areno-argilosos e até mesmo argilosos,

além de fragmentos de laterita e cascalhos (STEIN et al.,1979; SOARES et al.,1979; ALMEIDA et al.,1980; IPT, 1977; 1979; 1981; HASUI et al., 1978;).

Stein et al. (1979) afirmam que os Depósitos Cenozóicos nos vales dos rios Paraná e Paranapanema, possuem pequena espessura e grande expressão areal, sendo de natureza aluvial e coluvial. Para Hasui et al. (1978) a sucessão de colúvios separados por linhas de seixos, representariam mais de uma fase de formação e seriam constituídos por material areno-argiloso de coloração variada, principalmente vermelha, em arranjos mosqueados.

Soares et al.(1979) destacam que sobre a Formação Serra Geral, nos principais interflúvios do sudoeste do estado de São Paulo, ocorrem remanescentes de antigas superfícies terraceadas com coberturas coluvial e aluvial pouco espessas, sendo possível encontrar estes depósitos em faixa paralela ao rio Paranapanema, em área de relevo suave e baixa densidade de drenagem. Esta cobertura foi observada em imagens de satélite pelos autores, mas não foi mapeada e nem foram expostas maiores considerações sobre o assunto.

Na área ocorrem ainda depósitos de cascalhos acima do nível atual dos rios. Em relação a estes depósitos de cascalhos encontrados nos grandes rios da Bacia do Paraná, Fúlfaro e Suguio (1974) sustentam que a reativação Miocênica de falhas no interior do continente teria causado uma barragem natural da paleodrenagem, com sedimentação e colapso após o preenchimento dos vales fluviais. O reestabelecimento da rede de drenagem, com nível de base diferente, teria deixado as camadas de seixos de quartzo e quartzito em nível superior ao dos canais dos principais rios.

Sampaio et al. (1889) relatam que os bancos de areia são raríssimos no trecho do Paranapanema entre o rio das Cinzas e o rio Tibagi, e que os bancos existentes são de cascalho e aparecem nas proximidades de grandes lajeados, cachoeiras ou nas pontas

Vale do Paranapanema e com origem presumida no Cambro-Ordoviciano (FULFARO, 1974; HASUI et al., 1999).

A fase tectônica mais intensa da Bacia Sedimentar do Paraná foi a partir do Triássico Superior (STEIN et al., 1979), que originou fraturamentos e falhamentos normais, arqueamentos regionais e estruturas dômicas (VIEIRA, 1973). Nesta fase ocorreu uma intensa reativação da tectônica do Arco de Ponta Grossa, responsável por algumas estruturas de caráter regional que perturbaram a área de estudo. Essa movimentação originou extensos derrames basálticos e numerosos diques e soleiras de diabásio (STEIN et al., *op. cit.*).

Após este grande evento houve a sedimentação do Grupo Bauru que não adicionou novos elementos tectônicos, mas foi influenciada pelos elementos já existentes, que controlaram a sedimentação e influenciaram nas zonas de fraqueza do material sedimentado (SOARES *et al.*, 1979). Além disso, segundo os autores, estes elementos tectônicos contribuíram para o levantamento das bordas da Bacia Bauru e consequentemente forneceram material para os Depósitos Cenozóicos.

Hasui *et al.* (1978) não encontraram falhas maiores expressas na morfologia ou afetando sedimentos quaternários, que pudessem ser associadas a movimentações recentes. No entanto, esclarecem que a falta de afloramentos na área dificulta uma melhor avaliação da atividade tectônica. Para os autores, grande parte dos movimentos tectônicos que tiveram influência na área é pós-basáltica, e provavelmente ocorreram no intervalo entre o Cretáceo Superior e Terciário, não sendo possível precisar sua idade exata e duração (IPT, 1978).

O quadro estrutural mostra que há uma convergência de sistemas de lineamentos que apontam para todas as direções, onde cada direção possui algum setor de maior expressividade. O IPT (1978) destaca que, em termos gerais, os sistemas predominantes

na região são NW-SE, NE-SW e N-S, estando o primeiro relacionado ao Arco de Ponta Grossa.

Os principais lineamentos apontados pelo IPT (1978) são facilmente reconhecidos na drenagem, onde os rios Paranapanema, Tibagi e Capivara, seguem justamente essas direções NW-SE, N-S e NE-SW, respectivamente.

O lineamento N-S é o responsável pelo condicionamento do leito do rio Tibagi, importante afluente do rio Paranapanema. Além desse, a maior parte dos afluentes da margem direita do rio Paranapanema na região possui um trecho com essa direção. O rio Capivara e Anhumas possuem um pequeno trecho N-S e após uma inflexão mudam para direção E-W e NW-SE, respectivamente.

Na drenagem presente na **Figura 7** é possível verificar que o sistema NW-SE controla o leito do Paranapanema e do médio Anhumas e do baixo Tibagi, e também alguns outros pequenos cursos d'água, principalmente afluentes do Tibagi. O sistema NE-SW corta todos os principais rios da área, que apresentam seus cursos desviados pela estrutura NE-SW que corta o centro do mapa, atingindo o alto Capivara, baixo Anhumas, Paranapanema e baixo Tibagi. A estrutura N-S é bastante evidente nos pequenos afluentes do Paranapanema, existentes na porção sudeste do mapa e também em toda sua parte leste. Há ainda um sistema E-W que controla um trecho do Capivara, do Cervo e do Paranapanema.

FIGURA 7: CARTA HIPSOMÉTRICA DO COMPARTIMENTO TRÊS CANTOS

FIGURA 8: CARTA CLINOGRÁFICA DA REGIÃO DO COMPARTIMENTO TRÊS CANTOS

Os eixos de drenagem evidenciam que os principais cursos d'água existentes na área seguem a direção das principais estruturas que controlam os cursos mais importantes. Destacamos o alinhamento N-S com influência no ribeirão Capivari e rios Capivara e Tibagi, sendo que os dois últimos apresentam desvios devido a estrutura NW/SE existente. A área com maior densidade de drenagem fica a sudoeste da área observada nos mapas de escala regional, seguida pelo trecho a nordeste, sendo estas as áreas mais altas e entalhadas.

O trecho central das **Figuras 7 e 8**, onde o Compartimento Três Cantos aparece, apresenta importante sinuosidade observada nos rios Capivara e Tibagi. Os cursos do ribeirão das Anhumas e do rio Capivara apresentam trechos tortuosos com maiores mudanças de direções, conforme a proposta de Knighton (1998). As lagoas e depressões ocorrem majoritariamente na área central do Compartimento Três Cantos e seguem as principais estruturas existentes nas adjacências.

Na região todos os afluentes das duas margens do Paranapanema se desenvolveram sob forte controle estrutural (**Figura 4**). O rio Capivara possui na maior parte do seu trecho meandros encaixados, com planície estreita ou ausente. Segundo Christofolletti (1981) os meandros são encaixados quando a escala do meandramento do canal tem a mesma proporção do seu vale atual. Isso ocorre quando há um soerguimento regional ou abaixamento do nível de base, gerando o entalhamento das camadas subjacentes que preservam o mesmo traçado sinuoso do rio meândrico antecedente, formado no antigo ambiente de sedimentação.

Devido ao seu comportamento predominantemente erosivo, o rio Capivara apresenta corredeiras em vários trechos, associadas às áreas com um estreitamento ou desaparecimento da planície. A maior quantidade de corredeiras encontra-se nas proximidades da desembocadura do rio São Mateus. Os afluentes da margem direita do

rio Capivara são mais extensos e expressivos que os afluentes da margem esquerda, nesta última o único afluente de maior calibre é o ribeirão Cervo.

Em geral, os afluentes dos rios Capivara, Tibagi e demais ribeirões a leste possuem áreas de relevo com maior declividade, com vales encaixados, simétricos ou assimétricos (**Figuras 7 e 8**).

O ribeirão das Anhumas apresenta fundo chato, com área brejosa ou alagada. Todo o seu curso e de seus afluentes apresentam segmentos retilíneos e mudanças bastante abruptas no sentido do curso, formando por vezes ângulos de 90°. No baixo Anhumas, após a confluência com o córrego Água Grande, é possível observar extensa planície por onde o ribeirão meandra. Os afluentes do Anhumas encontram-se nas áreas de menor declividade, com vales em V, abertos, e em geral simétricos, apresentando, por vezes, fundo chato.

O rio Paranapanema apresenta uma leve inclinação SE-NW, formando uma estreita bacia alongada no sentido do mergulho regional das camadas da Bacia Sedimentar do Paraná, em direção ao rio Paraná (ALMEIDA, 1974). A bacia do rio Paranapanema é assimétrica, com tributários mais expressivos em sua margem esquerda.

Do ribeirão Dourado até o rio Capivara, na margem direita do Paranapanema, ocorrem depressões fechadas com algumas centenas de metros de comprimento, com ou sem água, e canais de drenagem com amplas cabeceiras (depressões semifechadas); além de áreas brejosas ou alagadiças. As depressões fechadas se concentram no Compartimento Três Cantos e as semifechadas nas cabeceiras dos ribeirões das Anhumas, do Bugio e Dourado, e de seus afluentes. As lagoas apresentam-se alongadas, nas diferentes direções, mas em conjunto seguem principalmente o alinhamento N-S, além de outras direções.

Os principais rios que drenam a área demonstram regimes predominantemente erosivos (STEIN et al., 1979), apresentando, frequentemente, afloramentos de rochas em seus cursos, indicando que correm diretamente sobre o embasamento. Segundo aqueles autores, em alguns locais é possível observar que os rios escavaram seus próprios depósitos, atualmente suspensos, chegando a apresentar 40m de desnível, indicando um movimento ascensional recente da área. Os autores destacam ainda que nos vales onde há basalto os fundos são achatados e as vertentes amplas.

As margens do Paranapanema apresentavam planícies com grande quantidade de áreas brejosas e alagadiças, que foram, em grande parte, utilizadas para o cultivo de arroz. Também foram utilizadas para o cultivo de arroz as depressões fechadas e semifechadas existentes próximas ao rio Paranapanema. Atualmente o cultivo de arroz é realizado apenas nas depressões fechadas e semifechadas e em áreas brejosas do município de Pedrinhas Paulista.

O rio Paranapanema apresenta alguns trechos com corredeiras seguidos de afunilamentos, apresenta ainda trechos mais largos com ilhas. Sampaio et al. (1889) destaca que os grandes espraamentos em leito rochoso caracterizam o trecho do Paranapanema, entre os rios das Cinzas e Tibagi, com mais de 200m de largura no leito, e até 400m, tornando a navegação impossível devido à falta de profundidade. O autor destaca ainda que neste trecho, atrás dos diques marginais, ocorriam compridos banhados ou alagadiços cercados por espessa mata virgem em ambas as margens, as ilhas também apresentavam frondosa vegetação. Toda esta área hoje em dia está submersa pela represa Capivara.

Soares et al. (1979) destacam a magnitude da erosão causada pelos modernos sistemas fluviais do Paraná, como o Paranapanema, atestada pelos níveis remanescentes dos morros do Diabo e dos Três Irmãos, no sudoeste de São Paulo e noroeste do Paraná,

respectivamente. Tais morros apresentam elevações de até 200m acima do nível regional (FERNANDES, 1992).

A região é caracterizada por apresentar relevo de colinas amplas, que se desenvolveram tanto em áreas de rochas basálticas quanto em áreas de rochas sedimentares (IPT, 1981b). Há uma sucessão de baixas colinas de formas suavizadas e com topos subaplainados, ligeiramente convexos, situados geralmente entre as cotas de 310 e 550 metros de altitude, com relevo plano e suave-ondulado, e declives que, em sua maior parte, são inferiores a 8% (JOAQUIM et al., 2003). O nível de base da área, o rio Paranapanema, encontra-se na cota de 280m. Para IPT (1981a) a drenagem é de baixa densidade, com padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais restritas, presença de lagos perenes ou intermitentes.

As porções mais elevadas e dissecadas encontram-se a nordeste, no alto curso do rio Capivara e ribeirão Cervo e a sudoeste, nos afluentes da margem esquerda do Tibagi e nas cabeceiras dos ribeirões Bonito e Barra Bonita, todos esses afluentes do rio Paranapanema. A sudoeste a maior dissecção está nos basaltos intensamente fraturados, levando a uma alta densidade de drenagem. Esta densidade de drenagem diminui em direção ao Paranapanema, assim como a declividade. Ao norte, a alta dissecção está associada ao recuo dos arenitos da Formação Adamantina e à própria evolução fluvial condicionada também pela estrutura geológica.

Em geral, se observam rampas alongadas em direção ao rio Paranapanema, mas no Compartimento Três Cantos e adjacências há um platô entre as curvas de 300 e 320m de altitude, entre o rio Capivara e o ribeirão das Anhumas, e entre o ribeirão das Anhumas e rio Paranapanema. Este platô forma um interflúvio com pouca declividade, onde se desenvolveram solos mais arenosos e a maioria das lagoas encontradas na

região. Além disso, nas bordas desse platô, próximo aos canais de drenagem, foram observados alguns afloramentos de couraça.

Em relação aos solos, as áreas de basalto abrigam predominantemente LATOSSOLO VERMELHO (antigo Latossolo Roxo) na maior parte das vertentes e NITOSSOLO VERMELHO na baixa vertente, em áreas de vertentes amplas, além de solos rasos nas áreas mais dissecadas e nas proximidades de afloramentos (Alves, 2010). Nas áreas com arenito Adamantina são encontrados LATOSSOLO VERMELHO (antigo Latossolo Vermelho-Escuro), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e ARGISSOLO VERMELHO (ROSSI et al., 2000).

Apesar de toda a área do Compartimento Três Cantos ser mapeada com basaltos (**Figura 4**), são encontrados solos de textura média, ricos em quartzo (ROSSI et al., op.cit.; ALVES, op.cit.). O material de origem destes solos não é descrito por aqueles autores, mas Alves (op.cit.) levanta três hipóteses para explicar a presença deste material sobre o basalto: depósito sedimentar recente (Cenozóico); arenito do Grupo Bauru alterado; ou ainda, camada de arenito intertrapiano, pertencente ao Grupo São Bento.

Embora não tenha feito uma investigação detalhada sobre o assunto, a pesquisa de Alves (op.cit.) trouxe algumas reflexões sobre o assunto. Ao analisar duas topossequências, uma no contato arenito/basalto, a nordeste de Maracaí, e uma área de solos de textura média no Compartimento Três Cantos, concluiu que os solos das sequências são bastante diferentes em termos físicos, químicos e morfológicos, não parecendo se tratar do mesmo tipo de material de origem. O LATOSSOLO VERMELHO do compartimento com arenito Adamantina possui maior porcentagem de areia, com 60% areia fina e 13% areia grossa, 20% de argila e 22% de saturação em

bases, enquanto que o LATOSSOLO VERMELHO do Compartimento Três Cantos é mais argiloso e possui 26% de areia fina e 15% de areia grossa, 46% de argila e 47% de saturação em bases.

As vertentes das duas áreas também são diferentes. Na primeira, são mais altas e convexas, com maior declividade e mudança abrupta dos solos, marcada por ruptura convexa exatamente onde há variação de substrato rochoso de arenito para basalto. Já as vertentes do Compartimento Três Cantos são mais longas, convexas/retilíneas e com baixa declividade (Alves, 2010).

Em tradagem realizada no centro do compartimento, entre a lagoa das Tilápias e a Mandacaru, chegou-se a 7m de profundidade sem variação de cor e textura no solo, indicando que o material de origem teria uma espessura muito maior (ALVES, op.cit.). Naquela pesquisa não foram encontrados afloramentos do material que poderia ter dado origem aos solos de textura média.

A revisão da literatura indica que 8m seria a espessura máxima para depósitos de arenito Botucatu na região (IPT, 1977, entre outros), não podendo, desta forma, originar solos mais espessos que isso. No entanto, o professor Antônio Manoel dos Santos Oliveira, que foi funcionário do IPT e trabalhou bastante na região, acredita ser possível a existência de depósitos superiores a espessura de 8m (informação pessoal).

As informações encontradas acerca dos Depósitos Cenozóicos também não permitem atribuir o material do compartimento a depósitos desta natureza. Portanto, o material de origem dos solos ainda permanece como uma questão a ser investigada com maior nível de detalhe.

No mapeamento dos solos (ROSSI et al., 2000) e no memorial descritivo (JOAQUIM et al., 2003) não há menção da existência de corpos ferruginosos nem de solos plínticos ou petroplínticos. Os trabalhos sobre a geologia da área também não

mencionam tal fato. Somente em Alves (2010) aparece uma indicação da existência de concreções na baixa vertente da lagoa Mandacaru, fato observado durante a realização de tradagens para o levantamento dos solos a vertente. A autora, entretanto, não aprofundou a investigação neste tema.

Originariamente a área de estudo era coberta por Floresta Estacional Semidecidual em transição para o Cerrado (IBGE, 2004). Em seus textos, Sampaio (1889, 1890) descreveu a exuberância da vegetação nas margens do rio Paranapanema bem como a riqueza da fauna.

Atualmente a vegetação original encontra-se reduzida a pequenas áreas, predominando atividades agropecuárias, sendo que em alguns pontos é possível reconhecer uma vegetação secundária. Os resquícios da vegetação primitiva se concentram em solos rasos e área de relevo mais dissecado; Já os resquícios de cerrado são encontrados em área com Latossolo Roxo distroférico, no interflúvio entre o rio Capivara e o ribeirão das Anhumas (DEPRN, 1989), e também em áreas de solos com textura média, tendendo a arenosa, com relevo suave ondulado (JOAQUIM et al., 2003).

Nas porções mais úmidas, representadas pelas planícies aluviais mal drenadas e depressões, observa-se uma vegetação de campos hidrófilos, composta principalmente por gramíneas e ciperáceas, com algumas ervas arbustivas adaptadas ao meio constantemente alagado (JOAQUIM et al., op. cit.).

O uso atual da terra nas áreas com solos originados do arenito Adamantina é predominantemente cana-de-açúcar. Nas áreas de solos argilosos, provenientes do basalto, estão as culturas de soja/milho, com algumas intrusões de cana-de-açúcar nas áreas mais próximas à cidade de Maracaí. Já nas áreas de solos de textura média do Compartimento Três Cantos são cultivados soja/milho, mas também é possível

encontrar lavouras de mandioca e alguns remanescentes de pastagens, que outrora ocuparam a quase totalidade do compartimento.

Com relação ao clima, encontramos o Clima tropical com pequena estação seca (Aw), segundo a classificação de Köppen. A temperatura média dos meses mais quentes (novembro a março) é superior a 25°C e a temperatura média dos meses mais frios (junho e julho) é inferior a 20°C. As chuvas tendem a se concentrar entre os meses dezembro e março, épocas em que as temperaturas também possuem médias mais elevadas. Os meses de junho, julho e agosto representam o período de menor precipitação, com precipitações e temperaturas bem menores que a encontrada nos outros meses (**Figura 9**).

Figura 9: Médias mensais de temperatura e precipitação.

Fonte: Dados de temperatura da estação de Assis (22°40'S e 50°25'W). Dados de precipitação da estação Paranaji (22°51'S e 50°52'W).

A média anual de temperatura é de 23,5°C e a de precipitação anual é de 1.454mm. De acordo com Reco (2008) embora a distribuição média anual das chuvas na região seja frequentemente tida como suficiente para a agricultura, têm-se observado que é comum a ocorrência de veranicos em dezembro e janeiro, fato, que contribui para a redução da produtividade da soja, principalmente.

3.1.1 Síntese da região

A análise regional permitiu-nos confirmar que o Compartimento Três Cantos possui diferenças, sobretudo morfológicas, em relação ao restante da área analisada. Tal constatação já havia sido feita por Alves (2010), considerando apenas os limites do município de Maracaí. Na presente pesquisa observamos que além dos limites do município, o compartimento pode ser estendido para o interflúvio existente entre o ribeirão das Anhumas (margem esquerda) e o rio Paranapanema (margem direita), além do trecho final do interflúvio entre o rio Tibagi (margem direita) e o rio Paranapanema (margem direita). Todas estas áreas apresentam um platô, com baixa densidade de drenagem, solos de textura média, grande densidade de lagoas, marcado por controles estruturais que são evidentes, tanto nos canais de drenagem existentes em seu entorno, com nas lagoas encontradas em seu interior.

A morfologia do ribeirão das Anhumas indica regime voltado à deposição, onde a água tende a ficar mais tempo no sistema influenciando nos processos pedológicos. Já a morfologia do rio Capivara indica um regime mais erosivo, relacionado às vertentes mais convexas. Estes sistemas de drenagem possuem diferentes níveis de base, estando o rio Capivara um pouco mais baixo que o ribeirão das Anhumas.

A presença de cursos de drenagem com cabeceiras amplas (estilo palito de fósforo), comum nos afluentes do ribeirão das Anhumas, parece indicar que estas estariam em um estágio mais avançado que o encontrado no Compartimento Três Cantos, em que a maioria das depressões ainda estão isoladas no centro do platô. Tal característica é mais rara nos afluentes do rio Capivara.

Destacamos ainda, a presença de solos de textura média, cujo material de origem ainda não foi precisamente identificado.

O relevo relativamente plano do Compartimento Três Cantos pode ter alguma contribuição na formação de depressões, pois permite a permanência de água durante mais tempo atuando mais efetivamente na transformação dos solos. A água, que penetra nos solos, ao encontrar as fraturas encontra caminhos preferenciais possibilitando a formação de depressões. Além disso, essas condições de relevo poderiam favorecer a formação de couraças. No entanto, o clima atual seria desfavorável para tanto. As condições de relevo contribuem ainda para a formação de solos amarelados, relacionados principalmente com áreas mais planas e com depressões que dificultam a saída rápida da água.

As cascalheiras estariam relacionadas com uma época de maior deposição, possivelmente a época de deposição do material de textura média, presente no topo do compartimento.

3.2 Análise do Compartimento Três Cantos

As observações em âmbito regional nos apontaram a necessidade de buscar indicativos de materiais de origem para os solos de textura média do compartimento, e também de detalhar a morfologia da área e os solos relacionados. Neste item iremos apresentar o mapeamento morfológico e as observações de campo deste compartimento. A **Figura 10** apresenta a morfologia do Compartimento Três Cantos, juntamente com a indicação de afloramentos.

Passaremos à descrição detalhada das características do compartimento que nos conduziram à escolha das vertentes a serem trabalhadas com a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica. Primeiramente apresentaremos algumas características gerais da área. Depois passaremos para observações do rio Paranapanema e de seus afluentes e, finalmente, para uma descrição mais detalhada nas observações do Compartimento Três Cantos, por canal de drenagem.

O Perfil topográfico AB (**Figura 11**) mostra a forma do interflúvio principal do Compartimento Três Cantos, que é N/S. Podemos observar que este interflúvio inicia com uma rampa que é interrompida por uma depressão. Na sequência o perfil se torna mais retilíneo, com leve inclinação que é interrompida no afloramento de basalto que sustenta uma cascalheira. Após este afloramento há um aumento brusco na declividade. O perfil termina no nível do rio Paranapanema indicado na carta do IBGE (1975a).

FIGURA 10: CARTA MORFOLÓGICA DO COMPARTIMENTO TRÊS CANTOS, MARACÁI/SP

Figura11 : Perfil Topográfico do interflúvio principal do compartimento Três Cantos, com distribuição dos solos

Indicamos também no perfil o nível da represa Capivara. Atualmente, os três cursos d'água principais (o ribeirão das Anhumas, o rio Capivara e o rio Paranapanema) apresentam parte de seus vales submersos devido à construção da represa. A representação do nível da represa no mapa morfológico é aproximada, seguindo o seguinte critério: nos períodos de menor nível da represa o limite da lâmina d'água é observado por volta da curva de 300m, e nos períodos de nível mais alto não ultrapassa a curva de 320m, desta forma, optamos por usar a curva de 300m para indicar o nível da represa.

Na porção mais alta do Perfil N-S ocorrem solos vermelhos. Na área mais aplainada se concentram os solos mais amarelados e arenosos, passando a vermelhos e argilosos no final do perfil. A concentração de depressões no compartimento ocorre no setor mais retilíneo do perfil, com solos vermelho-amarelos.

Acima dos 340m de altitude o interflúvio forma uma rampa alongada com predominância de solos vermelhos. Nas vertentes voltadas para o rio Capivara e Figueira (**Figura 10**) estão concentradas a maior quantidade de feições erosivas.

As áreas com maiores declividades e maior quantidade de rupturas de declive são observadas nas vertentes voltadas para os principais cursos d'água, concentrando-se na média/baixa vertente. Essa característica é observada também nas vertentes que terminam em planície, como é o caso do baixo Anhumas.

No trecho analisado, o rio Paranapanema possui sentido quase E-W, com leves mudanças de direção após a desembocadura do ribeirão das Anhumas, do rio Capivara e do rio Tibagi. Esse rio possui ilhas nos trechos com maior concentração de corredeiras e uma planície que se estreita após a confluência do ribeirão das Anhumas. Nas vertentes das áreas com estreitamento da planície, foram observados afloramentos de basalto

sustentando cascalheira, nas duas margens do rio, entre 300 e 320m de altitude, enquanto o rio Panapanema está no nível de 280m (**Figura 11 e Prancha 1**).

Estas cascalheiras possuem predominantemente seixos de quartzitos e de arenitos, com raros seixos de calcedônia. Sobre as cascalheiras há uma deposição de sedimento vermelho e argiloso. Atualmente, estas cascalheiras estão sendo exumadas no nível da represa, que acaba por retirar o material fino (argiloso) que lhes dá sustentação (**Prancha 1.5 e 1.6**).

Na cascalheira da margem direita do Paranapanema encontramos peças líticas e alguns fragmentos de cerâmica que nos permitiram identificar um sítio arqueológico, confirmado pela pesquisadora Professora Neide Barrocá Faccio, da UNESP de Presidente Prudente (ainda não há trabalhos publicados sobre o tema).

A cascalheira da margem esquerda possui maior dimensão que a da margem direita, e apresenta um trecho encouraçado (**Prancha 1.2**). Além disso, apresenta um trecho com predomínio de calcedônias (**Prancha 1.3**) e outro trecho com seixos de até 70cm (**Prancha 1.7**). As partes que foram pouco afetadas pela represa possuem material fino avermelhado que tinga a parte exterior dos seixos, enquanto os trechos que ficam submersos possuem seixos com exterior lavado e por isso coloração mais esbranquiçada (**Prancha 1.4**).

Essas características indicam que após a deposição dos cascalhos houve uma deposição de sedimentos encobrindo as cascalheiras, e um aprofundamento do canal. Com a criação da represa, que, coincidentemente, apresenta o mesmo nível dessas cascalheiras, está havendo a exumação e desmonte destas cascalheiras.

1.1 – Cascalheira que está sendo exumada no nível da represa.

1.2 – Cascalheira com trecho encouraçado.

Detalhe da cascalheira encouraçada.

1.3 – Detalhe da cascalheira no trecho que há grande ocorrência de calcedônia.

1.4 - a) Material vermelho e argiloso acima do nível de cascalhos; b) Nível de cascalhos; c) Cascalhos lavados no nível da represa; d) Parte do perfil que cedeu recentemente.

1.5 – Cascalheira assentada em basalto.

1.8 – Detalhe do mapa morfológico.

1.6 – Cascalheira assentada sobre basalto e que está sendo exumada no nível da represa.

Fragmento de Basalto

1.7 – Cascalhos exumados com seixo de grande dimensão.

Os maiores afloramentos de basalto estão nas margens do rio Paranapanema. Estes basaltos possuem estrutura maciça, e em alguns casos fácies amigdaloidal e arenito *intertrapp* (**Prancha 2**). A fácies de arenito está deformada pelos derrames de basalto (**Prancha 2.2**), e em um dos casos, em uma camada mais espessa, observamos estratificações (**Prancha 2.5**).

A espessura dessas lentes de arenito não ultrapassa um metro, e não acreditamos que sejam arenitos como esses os responsáveis pelos solos mais arenosos do compartimento, já que nesta área, apesar da presença dos arenitos, não ocorrem solos vermelho-amarelados, mas sim solos vermelhos.

2.1 - Afloramento de basalto na margem da represa Capivara.

2.2 - Arenito intertrap metamorizado pelo derrame basáltico.

2.3 - Arenito *intertrapp* metamorizado pelo derrame basáltico, com veio de basalto amigdaloidal no centro.

2.6 - Detalhe do mapa morfológico.

2.4 - Afloramento de basalto maciço todo fraturado, com vegetação arbórea com sistema radicular se desenvolvendo nas fraturas.

2.5 - Arenito intertrap metamorizado pelo derrame basáltico, no centro apresenta estratificação devido à deposição eólica.

3.2.1 Rio Capivara e afluentes

O rio Capivara possui meandros encaixados, que se desenvolveram em substrato basáltico, seguindo suas estruturas. O trecho à montante do ribeirão do Dourado apresenta maior quantidade de feições erosivas, concentradas na margem direita. No trecho com maior concentração de feições erosivas nas vertentes, a planície é mais estreita, com alguns trechos mais largos e meandros menos angulosos.

A partir da confluência com o córrego do Dourado até a confluência com o córrego Barro Branco, o rio Capivara apresenta meandros angulosos e segmentos retilíneos, confinado por paredões rochosos. Estas feições estão demarcadas por cornijas, que “são feições de relevo caracterizadas por uma ruptura brusca nas vertentes, sua amplitude é bastante diversa, podendo variar desde um degrau com poucos metros de desnível até a borda de um paredão rochoso com dezenas de metros de altura” (PINHEIRO, 2009). As cornijas são encontradas em ambas as margens, nos trechos mais erodidos. Possui ainda uma planície estreita com terraços. O trecho final apresenta planície mais extensa e contínua, com terraços e meandros abandonados.

O rio Capivara apresenta maior quantidade de afluentes em sua margem direita, com vertentes mais convexas e íngremes que as do lado esquerdo, onde se insere o Compartimento Três Cantos.

O córrego do Dourado localiza-se na margem esquerda do rio Capivara e liga-se ao córrego da Barraca antes de desaguar no rio Capivara. Na cabeceira do córrego do Dourado, próximo ao início do canal, ocorre afloramento de basalto disposto entre 339 e 349m de altitude (**Prancha 3.1 e 3.2**). Esta área atualmente é ocupada por vegetação mais densa. Ainda na cabeceira, na área cultivada, é possível encontrar fragmentos de basalto e magnetita (evidenciada pela atração magnética).

3.1 - Solo vermelho, argiloso com afloramento de basalto na média vertente em área com vegetação mais densa.

3.2 - a) Afloramento na parte esquerda da foto; e b) Solo vermelho, argiloso, rico em óxidos magnéticos.

3.4 - Afloramento de couraça. a) Posição do afloramento na vertente. b) Detalhe dos blocos de couraça que afloram.

Fragmentos de couraça com cascalhos menores de mesmo material.

3.3 - Rampa de afloramento basáltico.

3.5 - Solo vermelho-amarelo de textura média.

3.6 - Bloco de basalto a) Dimensão de um dos blocos encontrados; b) Detalhe do aspecto da rocha.

O Córrego da Barraca possui um pequeno afluente, que, por sua vez, possui um barramento. A bacia do córrego da Barraca apresenta vertentes assimétricas, com interflúvio mais alto ao norte que ao sul. Ao norte ocorrem vertentes mais longas e retilíneas, com topos convexos e solos vermelhos, enquanto que ao sul e sudeste as vertentes são mais baixas, com topos mais planos, relacionados à área com solo vermelho-amarelo de textura média (**Prancha 3.5**). A declividade aumenta somente na média-baixa vertente.

Três blocos de basalto e um afloramento de couraça foram encontrados nas margens do córrego da Barraca. Os blocos de basalto possuem dimensões métricas, estrutura amigdaloidal, e estão localizados no início da baixa vertente, em área de menor declividade (**Prancha 3.6**). Já o afloramento de couraça encontra-se na média vertente (**Prancha 3.4**) associado a uma ruptura de declive. Nessa área se observa grande extensão de capim rabo-de-burro, denotando má drenagem devido a pouca profundidade do solo e a existência da couraça. O afloramento forma um nível onde aparecem blocos individualizados, sugerindo que outrora estavam todos unidos.

As couraças apresentam aspecto pisolítico e as partes expostas às condições intempéricas apresentam recobrimento de ferro, preto, lustroso e resistente, que, por vezes, apresenta pisolitos formados apenas nessa camada (**Prancha 3.4**). Tal camada aparece na parte superior das couraças e não na inferior, e tende a não aparecer nas couraças existentes em áreas sombreadas ou nas que estão enterradas. Essas características foram observadas em todos os afloramentos de couraça do Compartimento Três Cantos e estão relacionadas ao processo de transformação das couraças, conforme descrito por Tardy (1993).

Esse afloramento se estende lateralmente na vertente por cerca de 100m. Na sequência do afloramento de couraça, em direção à jusante, verifica-se ainda a presença

de blocos que se tornam cada vez menores, espaçados e mais alterados, com a proximidade do canal. Junto aos fragmentos grandes de couraça se observa inúmeros fragmentos menores de mesmo material (**Prancha 3.4**).

A margem esquerda do rio Capivara a partir do córrego da Barraca, em direção à sua confluência com o rio Paranapanema, apresenta uma intercalação de solos vermelho-amarelos e vermelhos. Em toda essa margem é raro encontrar fragmentos e afloramento de basalto. Fragmentos ou afloramentos de couraça e cascalheiras não foram observados nessa margem.

3.2.2 Ribeirão das Anhumas e afluentes

O ribeirão das Anhumas possui fundo chato com planície contínua, por onde seu curso d'água meandra. Os afluentes deste ribeirão também possuem, em geral, fundo chato com planícies. Seu vale e de seus afluentes seguem os alinhamentos regionais. Sua margem direita possui maior declividade que a esquerda e apresenta afloramentos de basalto e couraça. Nos trechos em que aparecem afloramentos, a planície sofre pequenos estreitamentos.

À montante da cabeceira do córrego Água Grande há uma sequência de duas depressões semi-abertas, que não possuem água no interior e que estão em posição altimétrica diferente, formando uma sequência de depressões suspensas levemente inclinadas em direção ao córrego. Uma dessas depressões chegou a acumular água há mais de 20 anos, mas atualmente não acumula (**Prancha 4.4**). Estas formas parecem configurar o que Castro e Coelho Netto (2002) denominaram como protovales, que são depressões que poderiam ter evoluído como vales de cabeceiras de drenagem, mas não chegaram a se ligar à rede de drenagem, se apresentando em posição suspensa.

O córrego Água Grande é afluente do ribeirão das Anhumas e recebe como tributários o córrego da Viúva e o córrego Água da Galvoa, todos em sua margem direita. Todos possuem cabeceiras amplas, atualmente barradas por aterros para a construção de açudes. Estes barramentos, em geral, são construídos em área de vales com fundo chato que possuem estrangulamento, passando à forma de vale em “V”.

Na cabeceira do córrego Água Grande ocorrem afloramentos de couraça e basalto (**Prancha 4, 5 e 6**). Os afloramentos de couraça da cabeceira estão todos na mesma altitude, evidenciadas nos perfis topográficos que serão descritos a seguir. No P2 e P3 ocorre mais de um nível de afloramento de couraça, que no caso do P3 só foi exposta devido à retirada de solo para a construção da barragem que represa a cabeceira.

O P1(Perfil topográfico 1) possui afloramento de couraça na baixa vertente, com blocos maiores na parte mais alta do afloramento. Os blocos de couraça diminuem em quantidade e tamanho em direção à jusante até o completo desaparecimento (**Prancha 4.1 e 4.3**). Nos grandes blocos fica evidente uma inclinação em direção à jusante, indicando que está ocorrendo uma saída do material que dava sustentação a estes blocos. O fato de diminuírem à jusante, denota que eles também estão sendo alterados.

Em todo o afloramento de couraça as árvores aproveitam/criam espaços entre os blocos para se desenvolverem, e com isso auxiliam na alteração, não só de maneira física, como também ao fornecer matéria orgânica que auxilia na dissolução dos minerais que contém ferro (ALEXANDER e CADY, 1956).

Os solos da cabeceira do córrego Água Grande são vermelhos e argilosos, com pisolitos e areia lavada na superfície (**Prancha 4.5**). As tradagens efetuadas a montante dos afloramentos de couraça indicam que a couraça prossegue no interior do solo, no entanto, não foram realizadas mais tradagens para averiguar o limite de sua abrangência (**Prancha 5.8 e Prancha 6**).

Afloramento com grandes blocos de couraça inclinados.

4.3 - Perfil topográfico 1 de acordo com as curvas de nível da carta topográfica 1:50.000

4.2 - Panorâma da área com afloramentos de couraça

4.4 - Detalhe mapa morfológico, com localização dos perfis

Detalhe da superfície do solo com areia lavada e pisolitos

4.6 - Croqui de campo, sem escala, com observação de afloramento de couraça no afunilamento do canal.

5.11 - Detalhamento do Perfil topográfico 2 levantado com clinômetro

5.1 - Bloco de arenito silicificado

5.2 - Barranco encouraçado com fissuras

5.3 - Fragmento de arenito com couraça

5.4 - Fragmento de couraça com alteração

5.5 - Fragmento de couraça com alteração

5.6 - Afloramento de couraça

5.7 - Afloramento de basalto

5.8 - Solo formado da alteração de couraça

5.9 - Matacão de couraça

6.3 - Fragmento de arenito alterado

6.4 - Fragmento de couraça alterado perto da tradagem

6.5 - Amígdala de basalto, após a tradagem

6.6 - Solo de alteração de basalto amigdaloidal (40-50cm)

6.7 - Detalhe do Solo de alteração de basalto (110-120cm)

6.8 - Solo da alteração do arenito com basalto

6.9 - Afloramento de couraça com blocos de tamanhos variados.

No trecho em que termina a cabeceira ampla ocorre um afunilamento, e o canal que possuía fundo chato prossegue a jusante com o vale em V. Neste trecho do vale em V há um afloramento de couraça nas duas margens, indicando que a couraça foi cortada pela incisão fluvial (**Prancha 4.6**).

Os afloramentos observados no P2 (Perfil Topográfico 2) aparecem na vertente com altura de 1 até 2m, e também são encontrados blocos e fragmentos que variam de poucos centímetros até cerca de 1,5m de dimensão (**Prancha 5**). Predominam couraças pisolíticas e maciças. As maciças normalmente estão assentadas abaixo das pisolíticas e acima do basalto. Em nível abaixo dos afloramentos são encontrados alguns blocos de arenito silicificado, que na maioria dos casos, marcam o término do afloramento de couraça.

No P2 ainda ocorrem couraças abaixo do nível em que foram encontrados os arenitos, apresentando inclusive fragmentos de arenito envoltos em pisolitos (**Prancha 5.3**). Estes fragmentos de arenito não possuem cimentação ferruginosa em seu interior, aparecendo na couraça como um corpo diferenciado e delimitável, com dimensão que varia de poucos centímetros até cerca de 30cm.

O P2 foi traçado a partir da lagoa em direção à montante, aproveitando uma ravina existente. Logo no trecho inicial há uma curva de nível criada para conter a erosão. Toda a vertente do P2 é escalonada, principalmente no seu trecho final, conforme detalhado com clinômetro (**Prancha 5**). A maior parte dos patamares e degraus é controlada por afloramentos de couraça ou basalto, com exceção dos patamares relacionados à curva de nível, que foram construídos para conter a erosão. Os vários degraus de afloramento de couraça parecem indicar que cada nível se formou em uma fase, podendo ter recebido contribuição de ferro proveniente da degradação da couraça existente em nível superior.

O afloramento de couraça da parte mais alta do P3 (Perfil topográfico 3) se assemelha ao descrito no P2 (**Prancha 6**). O segundo afloramento do P3 não apresenta grandes blocos de couraça, mas apenas fragmentos bastante alterados de, no máximo, 20cm de diâmetro, além de inúmeros fragmentos de arenito. Imediatamente abaixo da camada de couraça, se encontra um afloramento de arenito que pode ser observados em vários pontos do barranco. Em algumas partes este arenito está bem alterado, em outras é possível ver a estratificação oriunda de deposição eólica (**Prancha 6.3**). Também é possível reconhecer amígdalas de basalto (**Prancha 6.5**). Os blocos de arenito encontrados não ultrapassam 50m de espessura.

No solo existente acima do nível encouraçado são encontrados pisolitos e fragmentos de couraça, que em profundidade dão lugar a uma camada avermelhada de alteração de basalto amigdaloidal (**Prancha 6.6 e 6.7**), seguida por alteração de arenito que a partir de 2,2m não permite mais a continuação da tradagem (**Prancha 6.8**).

O fato dos afloramentos maiores estarem na mesma altitude indicam que a camada de acumulação ferruginosa teria se formado na mesma época, fruto de um mesmo nível do lençol freático (**Prancha 4.4**). Durante a evolução da couraça, o nível de base teria baixado ocasionando uma incisão e a formação de outros níveis de acumulação ferruginosa.

Esta mudança de nível de base estaria relacionada com a evolução da depressão e incisão do canal que provocou o entalhamento da camada ferruginosas existente no afunilamento da área de cabeceira (**Prancha 4.6**).

A presença de arenito silicificado pode ter contribuído para a formação da couraça, formando uma camada impermeável que colaborou com a acumulação de ferro. No entanto, é necessário investigar a abrangência dessa fácies de arenito para entender melhor seu possível papel na gênese da couraça.

O córrego da Lagoa apresenta características semelhantes ao da Água Grande, se diferenciando por estar mais sinuoso próximo a cabeceira. Os afloramentos estão indicados pela presença de cornijas e maior quantidade de feições erosivas.

O córrego da Viúva apresenta vertentes assimétricas, com vertentes mais curtas na margem direita que na margem esquerda. Além disso, as vertentes da margem direita possuem topo convexo e um pouco mais estreito que os topos encontrados na margem esquerda. O córrego da Viúva apresenta uma sequência de vale com fundo chato e em V. As áreas com fundo chato possuem cabeceiras amplas, e ao serem barradas evidenciam formas que remetem a depressões, sugerindo serem antigas depressões que se ligaram à rede de drenagem.

Entre os pontos 1 e 2 da **Prancha 7**, há um canal que ligava uma das áreas barradas do córrego da Viúva ao restante do canal, mas que devido ao barramento ficou inativo durante muitas décadas, tendo sido naturalmente reativado no ano de 2013 (**Figura 12**). A grande quantidade de chuvas, sem período seco nos dois últimos anos alterou a condição hídrica de várias depressões e cursos d'água do compartimento, como é o caso do córrego da Viúva que recuperou seu tributário da margem direita.

Figura 12: Barramento do córrego da Viúva ao fundo, em primeiro plano a água do canal reativado.

7.10 – Detalhe do mapa morfológico.

7.1 – Início do canal intermitente que possui camada encouraçada em seu leito.

7.2 – Final do Bloco de couraça, localizado no canal intermitente do Córrego da Viúva. Visada para montante do córrego.

7.3 - Patamar horizontal formado por couraça

7.4 - Detalhe de um fragmento de couraça.

7.5 - Prolongamento da linha de couraça em direção ao represamento do córrego da Viúva, com solo raso.

7.6 – Fragmentos de couraça em cota abaixo do afloramento.

7.7 – Couraça com fácies vacuolar/laminar laminar.

7.8 – Fragmento de couraça, fácies pisolítica

7.9 – Fragmento de couraça, fácies maciça, com parte superior já feições mais escuras.

Este canal, que estava desativado, possui em seu leito o mais extenso afloramento de couraça do compartimento (**Prancha 7.1, 7.2, 7.3 e 7.4**). O outro braço do córrego da Viúva também apresenta couraça que forma uma cornija na baixa vertente, nas proximidades da cabeceira (**Prancha 7.5 e 7.6**). A cornija desta área não é tão pronunciada quanto as encontradas na cabeceira do córrego Água Grande.

Os afloramentos do córrego da Viúva são de couraça bastante resistente e enegrecida, em relação a morfologia, se dividem em vacuolar e pisolítica (**Prancha 7.3, 7.4, 7.7 e 7.8**), apresentando também fácies maciças. Os afloramentos são mais contínuos sem muito desprendimento de blocos, possuindo apenas alguns blocos pequenos que são encontrados junto ao afloramento. Aparentemente estes afloramentos são mais recentes, pois ainda não há grande desprendimento de blocos, nem degraus muito altos formados por eles, além do fato deles estarem na base da vertente.

Em direção ao baixo curso do córrego da Viúva há outro afloramento de couraça na média/baixa vertente (**Prancha 8.1 e 8.2**) e no leito do rio é possível encontrar basalto.

Os solos da área são vermelhos e argilosos, com presença de pisolitos mais abundantes próximos aos afloramentos. Observamos ainda outros materiais, tais como pequenos fragmentos de quartzito, siltito e amígdalas de basalto, material encontrado também nas couraças (**Prancha 7.7 e 7.9**). Próximo ao canal e nas partes mais côncavas do relevo é comum a ocorrência de lâminas de areia lavada. O solo se torna mais arenoso e amarelado na porção sul e oeste da bacia do córrego da Viúva.

O córrego Água da Galvoa apresenta vertente ligeiramente mais alta em sua margem direita e com ruptura de declive mais próxima ao curso que na vertente da margem esquerda. Na base da vertente encontramos basalto alterado (**Prancha 8.4**).

8.1 – Afloramento de couraça em meio à vegetação mais densa.

Detalhe da couraça encontrada, onde é possível observar grãos de quartzo.

8.2 – Trincheira com camada encouraçada no fundo.

Detalhe da couraça alterada presente no fundo da trincheira. Apresenta poro preenchido por solo.

8.3 – Afloramento de couraça na margem da lagoa Mandacarú, formando um degrau.

Detalhe do afloramento de couraça com pequeno seixo incrustado

8.9 - Detalhe do mapa morfológico.

8.4 – Basalto alterado no leito da Água da Galvoa.

8.5 – Afloramento de basalto no ladrão do barramento.

três cantos

Córrego Água da Galvoa

PRANCHA 8

Na margem direita do córrego Água da Galvoa ocorrem solos vermelhos e argilosos e na margem esquerda solos mais amarelados e arenosos, que se concentram na cabeceira de drenagem e no interflúvio a leste.

A lagoa Mandacaru apresenta um colo bem desenvolvido em direção ao córrego Água da Gálvoa, com presença de canais intermitentes que auxiliam nesse desenvolvimento e expressividade do colo. Além disso, nas margens da lagoa, em direção ao colo, é possível observar um afloramento de couraça que forma uma ruptura convexa que prossegue na margem a lagoa (**Prancha 8.2 e 8.3**). O afloramento de couraça só é observado em um trecho dessa ruptura, mas a couraça prossegue em profundidade e foi observada na topossequência levantada.

A couraça apresenta aspecto vacuolar, com raros fragmentos de quartzito incrustados (**Prancha 8.3**). Os solos do entorno da lagoa são, a sudeste, mais vermelhos, com textura variando de média a argilosa, e no restante da área os solos são mais amarelados e arenosos.

A depressão da lagoa Mandacaru possui duas lagoas que se ligam em épocas de cheia (**Figura 13**). Entre elas o solo é acinzentado e arenoso até 50cm, depois passa para argiloso, de acordo com a textura aferida em campo.

As vertentes da depressão da lagoa Mandacaru são mais longas e aplainadas ao norte e mais curtas, inclinadas e com topos ligeiramente convexos ao sul. Os solos ao norte e a sudoeste são mais arenosos e vermelho-amarelados, enquanto a sudeste são mais argilosos e vermelhos. A depressão limita-se com outras áreas deprimidas que não possuem água no interior.

No interflúvio da depressão ocorrem colos bem pronunciados: dois com direção N-S, seguindo o alinhamento do córrego da Anta e da Viúva, e outro seguindo o alinhamento SW-NE, presente no córrego Água da Galvoa.

Figura 13: Lagoa menor na depressão da lagoa Mandacaru.

Toda a margem direita do ribeirão das Anhumas, entre a Água da Galvoa e o córrego da Anta, apresenta uma série de fragmentos e afloramentos de basalto e couraça. Os afloramentos se concentram nas proximidades da lagoa dos Guedes, na vertente voltada para o ribeirão.

A lagoa dos Guedes é intermitente e sua cheia não é anual, e só foi observada a presença de água após um ano chuvoso sem estação seca. Os solos dessa depressão são vermelhos com textura argilosa no horizonte B, e textura média no horizonte A. Em direção à baixa vertente os solos são mais amarelados, e no sopé, acinzentados (**Figura 14**). Esta depressão possui couraça que limita as tradagens na baixa vertente. A margem direita do ribeirão das Anhumas, próxima a lagoa dos Guedes, apresenta duas sequências de afloramentos de couraça e um afloramento de basalto na base (**Prancha 9**). O afloramento de couraça mais alto apresenta couraça vacuolar (**Prancha 9.1**), um pouco mais abaixo na vertente há outro afloramento com couraças ricas em grãos de quartzo, e um afloramento de basalto maciço em setor mais baixo na vertente (**Prancha 9.3**).

9.1 – Afloramento de couraça em ruptura de vertente, com amontoados de blocos de couraça e basalto do entorno.

Afloramento de couraça em ruptura de vertente, com amontoados de blocos de couraça do entorno.

Detalhe da couraça com grãos de quartzo, presente no afloramento.

Blocos de couraça amontoados no afloramento, próximo à represa Capivara.

9.4 - Detalhe do mapeamento morfológico.

Detalhe da couraça, presente no afloramento.

9.3 – Afloramento de basalto, na baixa vertente, no limite da estrada com a área de cultivo, próximo à represa Capivara.

9.2 – Panorâmica da área de solo raso e afloramento de basalto, indicando no segundo plano a localização dos afloramentos de couraça.

três cantos

Afloramentos de couraça e basalto, próximos a lagoa dos Guedes I

PRANCHA 9

Figura 14: Pedocomparador com a sequência de solos levantada na depressão dos Guedes. Com indicação de localização no mapa.

Os afloramentos de couraça marcam rupturas de declividade na vertente. Essa área apresenta um número de rupturas de vertente descontínuas e maior dissecação, além disso, as vertentes são mais curtas que as encontradas na margem esquerda do ribeirão das Anhumas.

Próximo a estes afloramentos ocorre outro afloramento de couraça na sequência do colo da lagoa dos Guedes. A área desse afloramento forma a cabeceira de um canal intermitente, que possui uma cornija composta de couraça, com mais de dois metros do lado esquerdo (**Figura 15** e **Prancha 10**), a mais espessa do compartimento.

O afloramento está na ruptura do topo para a média vertente, apresentando-se mais endurecido no nível superior. Abaixo da ruptura encontra-se apenas blocos e fragmentos de couraça. O nível de couraça é mais espesso e está em posição um pouco mais elevada na porção oeste (**Prancha 10.1**). A couraça é vacuolar e apresenta raros seixos quartzíticos.

10.1 – Pedreira de basalto existente em nível abaixo do afloramento de couraça.

Detalhe da parede da pedreira, com diferenciações no pacote basáltico.

10.2 – Degrau formado pelo término do bloco de couraça, porção oeste.

10.3 – Detalhe do bloco de couraça com seixo encravado.

10.4 – Porção leste do afloramento de couraça.

Detalhe do afloramento de couraça.

10.5 – Porção leste do afloramento de couraça.

10.6 – Vista do afloramento a partir do sul, em área hoje inundada pela represa Capivara.

10.7 – Panorâmica da área de afloramento de basalto e couraça, tomada a partir do colo existente entre a depressão dos Guedes e a represa Capivara.

10.8 - Detalhe do mapeamento morfológico.

Figura 15: Esboço do afloramento de couraça que há na sequência do colo entre ribeirão das Anhumas e lagoa dos Guedes.

Na base dessa cabeceira, onde não há couraças, ocorre um solo hidromórfico, e na lateral direita, aflora basalto em uma pequena cava (**Prancha 10.2**). O basalto apresenta estrutura maciça, com diferenciações no derrame.

O córrego da Anta é o curso d'água que drena a lagoa da Tilápia. As vertentes do córrego da Anta são mais longas e aplainadas. Na ligação existente entre a lagoa Tilápia e o córrego da Anta é possível observar afloramento de couraça na área escavada para construção do vertedouro (**Prancha 11.2**).

Em direção ao exutório do córrego da Anta as vertentes são mais curtas e declivosas, com solos rasos na baixa vertente, vermelhos e muito argilosos. Nesses pontos é comum encontrar afloramentos e/ou fragmentos de basalto na superfície. Nas vertentes a nordeste da lagoa da Tilápia os solos são mais amarelados e arenosos.

O córrego da Anta apresenta afloramento de basalto nas duas margens, no mesmo nível altimétrico (**Prancha 11.3 e 11.4**). O córrego da Anta, nesse trecho, apresenta-se meandrante com pequena planície.

Na margem esquerda do córrego da Anta, e margem do ribeirão das Anhumas em direção ao córrego Água da Galvoa é comum encontrar blocos de basalto (**Prancha 11.3**) e de couraça com maior quantidade de areia (**Prancha 11.4**), além de peças líticas.

11.1 - Blocos de basalto maciço encontrados na margem da represa Capivara.

11.2 – Afloramento de couraça na margem da lagoa das Tilápias.

Detalhe do afloramento de couraça.

11.3 – Afloramento de basalto bastante alterado nas duas margens do córrego da Anta

Detalhe da alteração do basalto.

11.5 - Detalhe do mapa morfológico.

11.4 - Fragmento de couraça arenosa encontrados na margem da represa Capivara.

Detalhe do Fragmento de couraça arenosa.

Na margem direita do córrego da Anta foi observado um afloramento de blocos de arenito ferruginizado, que possui uma película externa de ferro e no interior ainda conserva a estratificação (**Prancha 12.1, 12.3, 12.4 e 12.5**). Na área é possível encontrar também alguns blocos de arenito que não estão ferruginizados, estes blocos estão no meio de solo mais avermelhado e argiloso, sendo que em um dos blocos a estratificação está na vertical (**Prancha 12.4**), indicando que foi virado quando se depositou nesta área. Estes blocos foram expostos devido à ação erosiva da represa (**Prancha 12.5**), e não possuem continuidade lateral nem vertical.

Em todo esse trecho em que aparecem os arenitos o solo é vermelho e blocos de basalto de variados tamanhos são facilmente encontrados. Estes blocos podem estar no interior do solo ou na margem da represa que teve parte da superfície erodida. Estes basaltos possuem estrutura maciça.

A deposição neste trecho parece um pouco caótica, devido à coexistência de arenito e basalto. O fato do solo ser vermelho e mais argiloso que o material encontrado nos blocos de arenito parece indicar que estes blocos teriam sido retrabalhados juntamente com o basalto encontrado no local e, por isso, o solo seria mais vermelho e argiloso, com películas de areia na superfície.

A margem oposta a que foram encontrados estes blocos possui afloramento de basalto em mesmo nível altimétrico, podendo indicar que a deposição de todo esse material teria se dado em cima desse basalto. Seria necessária uma melhor investigação para entender seu significado, mas diante das observações podemos concluir que os blocos de basalto seriam pontuais nesta área.

12.6 - Detalhe do mapa morfológico.

12.1 - Afloramento de Arenito ferruginizado

Arenito ferruginizado, com estratificação e película de ferro.

Arenito ferruginizado, com película de ferro.

12.4 - Fragmentos de basalto.

Detalhe do fragmento de basalto.

12.3 - Afloramento arenito ferruginizado com bloco de basalto.

12.4 - Blocos de arenito em meio ao solo mais vermelho.

Detalhe do bloco do arenito.

12.5 - Blocos de arenito.

Na margem da represa, em direção ao córrego da Posse, o solo vermelho torna-se gradativamente mais arenoso e amarelado. A parte mais arenosa dessa margem do ribeirão das Anhumas é justamente na desembocadura do córrego da Posse. Em direção à sua confluência com o rio Paranapanema, os solos tornam-se novamente vermelhos e argilosos, com fragmentos de basaltos dispersos. Os solos mais argilosos possuem coloração vermelha mais forte, enquanto os mais arenosos possuem coloração vermelho-amarelada.

No Platô que marca o interflúvio entre o rio Capivara e o ribeirão das Anhumas há grande quantidade de depressões. Entre estas depressões há as que possuem água, as que não possuem, e as que sazonalmente apresentam água, sendo possível reconhecer na fotografia aérea os sinais de maior umidade.

As depressões da área sempre apresentam solos mais avermelhados à montante, que se tornam mais amarelados e depois acinzentados à jusante (**Prancha 13**). As depressões do centro do compartimento têm solos de textura média e concreções na baixa vertente. As depressões das bordas que são a lagoa dos Guedes e a lagoa do Alongado, possuem solos mais argilosos e couraça no interior do solo da baixa vertente. A lagoa Mandacaru, por sua vez, apresenta tanto solos mais arenosos, quanto solos mais argilosos.

As depressões e canais de drenagem do compartimento seguem as direções estruturais observadas regionalmente. Por exemplo, o alinhamento SE/NW do ribeirão das Anhumas é encontrado no córrego da Viúva e córrego da Barraca. O alinhamento N/S encontrado no rio Tibagi e Capivari, também é encontrado no córrego da Anta e córrego da Viúva. Além disso, as depressões mais profundas apresentam colos em seus interflúvios, que também seguem as direções estruturais.

13.1 - Depressão da fazenda Estrela, mostrando a variação cor do solo de alta para baixa vertente, de vermelho, passando por vermelho-amarelo até acinzentado, na área hidromórfica.

13.2 - Depressão da lagoa das Carpas, com solo vermelho-amarelo de textura média

13.3 - Depressão do Alongado com solo vermelho e argiloso

Depressão da fazenda Estrela.

13.5 - Trecho do Mapa morfológico com depressões.

3.2.3 Síntese do Compartimento Três Cantos

Os afloramentos de basalto estão abaixo de 320m de altitude, exceto na cabeceira do córrego do Dourado, em que aparecem a 340m de altitude, e parecem indicar que o material que deu origem aos solos de textura média teria se depositado em uma área mais ou menos plana, composta, em geral, por basalto maciço. Os basaltos, na maior parte das vezes são maciços, mas ocorrem também basaltos amigdaloidais, estes por sua vez, associados a finas camadas de arenito silicificado.

A maior parte dos afloramentos de basalto foi encontrada nas vertentes que margeiam o ribeirão das Anhumas. A falta de observações nas margens do rio Capivara não está ligada à ausência de afloramentos nessa área, mas sim ao nível em que estariam estes afloramentos, isso porque as cornijas existentes nas margens do rio Capivara estão localizadas no nível de 280m, estando, portanto, atualmente submersas. Estas cornijas estão na base da vertente, ligadas às margens com erosão ativa do rio Capivara, enquanto no ribeirão das Anhumas estão na média/baixa vertente, existindo no vale uma planície, que indica regime de deposição.

Quase todos os afloramentos de couraça aparecem entre 320 e 340m de altitude, associados ou não a afloramentos de basalto. A maior parte deles está na bacia do ribeirão das Anhumas, associadas a áreas de cabeceiras amplas ou estreitamento do canal. Os afloramentos possuem estrutura maciça, vacuolar e pisolítica, com estrutura pisolítica sempre no topo e maciça na base, indicando diferentes fases de evolução (NAHON e TARDY, 1985). Além disso, as couraças podem apresentar variada quantidade de quartzo em seu interior, quantidade essa que pode diminuir devido ao estágio de evolução, que leva a corrosão do quartzo.

Os afloramentos de couraça aparecem na média, na baixa ou no sopé da vertente, e possuem continuidade no interior da cobertura pedológica, e na vertente à jusante com blocos cada vez menores até total desaparecimento. Além disso, aparecem preferencialmente em lagoas e cabeceiras amplas. Alguns afloramentos estão divididos em grandes blocos com inclinação para jusante, denotando maior saída de material abaixo da couraça.

O único afloramento que se diferencia é o existente na margem direita do córrego da Anta, de arenito ferruginizado, que foi assim denominado por ainda preservar a estrutura de deposição da rocha. Este afloramento está a 300m de altitude e é bem diferente dos demais encontrados no compartimento, mas se assemelha a alguns blocos encontrados na margem da represa em mesma altitude. Na área de ocorrência de blocos de arenito também são encontrados fragmentos de basalto.

Os solos presentes nas áreas com afloramentos de couraça e de basalto são vermelhos. Os solos das áreas de basalto são um pouco mais escuros e argilosos, enquanto os das áreas com afloramentos de couraça possuem, em geral, textura média, no limite para argilosa, além de pisolitos e finas camadas de areia lavada na superfície. Os solos vermelho-amarelos são encontrados nos mesmos níveis altimétricos dos solos vermelhos de textura média, mas se localizam mais para o centro do compartimento e no interior de áreas deprimidas.

A mudança de um tipo de solo para outro é muito sutil e não é acompanhada de mudança brusca no relevo. Nas depressões os solos da alta vertente são mais avermelhados, tornando-se progressivamente mais amarelados e depois acinzentados na baixa vertente.

As depressões aparecem entre 320 e 340m, assim como os solos de textura média, tanto vermelho-amarelos, quanto vermelhos. Nos solos vermelho-amarelos, e textura um pouco mais arenosa são encontradas concreções e fragmentos de couraça, enquanto nos solos vermelhos e um pouco mais argilosos ocorre uma camada encouraçada. Apenas uma depressão possui afloramento de couraça na margem, a depressão da lagoa Mandacaru.

Em geral, o horizonte A de todos os solos da área é mais arenoso na baixa vertente, além de mais espesso. Já o horizonte B dos solos é latossólico na alta e média vertente, e argissólico na baixa.

Os interflúvios existentes entre as depressões são irregulares e apresentam colos bem pronunciados, voltados para cursos d'água ou outras depressões limítrofes, acompanhando as direções estruturais.

A densidade de drenagem do compartimento é baixa. Podemos notar, entretanto, que de todo o compartimento, o ribeirão das Anhumas apresenta maior quantidade de tributários, que são também mais longos, que os do rio Capivara. A morfologia desses canais também é diferente, enquanto o rio Capivara é tortuoso, com meandros encaixados, o ribeirão das Anhumas meandra em sua planície.

Os canais que são afluentes do ribeirão das Anhumas possuem cabeceiras mais amplas e grande quantidade de afloramentos de couraça, esses afloramentos se concentram justamente nas cabeceiras amplas, ou no limite para o vale em V, em área de afunilamento. Em algumas áreas de afunilamento ocorrem afloramentos de basalto ou couraça nas duas margens do canal, no mesmo nível altimétrico.

Nas vertentes do rio Paranapanema, entre 300 e 320m, foram encontradas cascalheiras localizadas pelo menos 40m acima do leito desse rio. Estas cascalheiras são

compostas por seixos predominantemente de quartzito e arenito de variados tamanhos. A base das cascalheiras é o basalto com estrutura maciça. Na margem oposta das vertentes com cascalheiras ocorrem afloramentos de basaltos maciços, em mesma altitude. Nesta área também ocorre um estreitamento da planície do rio Paranapanema. Estas características indicam que houve um barramento por conta desse nível basáltico que possibilitou a acumulação de cascalhos e que posteriormente foi entalhado, conservando as cascalheiras na vertente.

A posição em que foram encontrados os basaltos e as couraças sugere que estas últimas teriam se formado acima de uma plataforma basáltica (**Figura 16**). A diferenciação dos solos parece responder por uma transformação pedológica mais intensa nos solos vermelho-amarelos, que são encontrados mais no centro do compartimento. Essa transformação pedológica mais intensa nestes solos levaria a uma sutil diferença entre as vertentes, sendo as de solos vermelho-amarelos mais retilíneas e baixas, e as de solos vermelhos mais convexas e altas.

Perfil Hipotético do Compartimento Três Cantos

Figura 16: Perfil hipotético construído a partir da interpretação dos dados morfológicos da área.

A diferença de nível entre o rio Capivara e o ribeirão das Anhumas pode ter contribuído para que as transformações pedológicas tenham alcançado maior intensidade nas áreas mais próximas ao rio Capivara. Além disso, o centro do compartimento também teria contribuição do relevo que teria favorecido tanto a formação de maior quantidade de depressões, como também, de maiores transformações nos solos.

3.3 Análise da Lagoa Mandacaru

As observações do compartimento apontaram como principais elementos solos vermelhos e vermelho-amarelos que se tornam mais claros e perdem argila em direção à baixa vertente. Além disso, nas depressões os solos apresentam concentrações ferruginosas que se diferem de acordo com o tipo de solo. Os solos vermelhos apresentam uma camada encouraçada, enquanto nos solos vermelho-amarelados ocorre um nível mais avermelhado com concreções e fragmentos de couraça.

Os solos da depressão da lagoa Mandacaru foram escolhidos para serem detalhados pois em uma das vertentes ocorrem solos mais amarelados e na vertente oposta ocorrem solos vermelhos. Além disso, ocorre afloramento de couraça em um trecho da margem da lagoa.

Apresentaremos a seguir o detalhamento dos solos da depressão da lagoa Mandacaru em duas topossequências a Mandacaru e a Grevílea. Além disso, faremos algumas observações acerca do afloramento de couraça existente na margem da lagoa Mandacaru.

A **Prancha 14** mostra a diversidade de solos existentes na depressão da lagoa Mandacaru. O mapa da cor dos solos da depressão indica a presença de solos mais vermelhos a leste, vermelho-amarelados a oeste, e, na baixa vertente, contornando a lagoa, ocorrem solos acinzentados. No mapa, ainda é possível observar os pontos e a direção de visada das fotos que estão na prancha, como também a localização das topossequências levantadas e do afloramento de couraça. As fotos ilustram a variação dos solos da depressão.

14.1 - Vertente retilínea com solo vermelho-amarelo no topo, que se torna gradativamente mais claro à jusante.

14.2 - Vertente convexa com solo vermelho no topo, que se torna gradativamente mais claro à jusante.

14.3 - Vertente retilínea com solo vermelho-amarelo no topo, que se torna gradativamente mais claro à jusante.

14.4 - Vertente com baixa declividade e solo vermelho.

14.5 - Vertente convexa em colo bem desenvolvido com solo vermelho.

14.6- Topo do interflúvio com lagoa das Tilápias no fundo, ao lado esquerdo e solo bruno-amarelado.

14.7 - Margem da lagoa, no prolongamento à esquerda, onde aflora a couraça.

14.8 - Trecho da vertente com solo vermelho, área em que foi aberta uma das trincheiras.

14.9- Vertente retilínea com solo amarelado na base e vermelho-amarelado no topo.

Cor dos solos da depressão lagoa Mandacarú

14.10 - Esboço da cor dos solos da depressão lagoa Mandacarú, com localização das fotografias

Podemos notar que a mudança na cor dos solos de leste para oeste coincide com o alinhamento N-S encontrado no córrego da Viúva e no córrego da Anta, e que o interflúvio da lagoa Mandacaru é marcado por dois colos e um alargamento na lagoa (Figura 17).

Figura 17: Fragmento do mapa morfológico mostrando a área da lagoa Mandacaru e o alinhamento estrutural da drenagem que acompanha a mudança de solo e os colos na depressão da lagoa Mandacaru.

Dentre as depressões fechadas, apenas a depressão da lagoa Mandacaru apresenta afloramento de couraça na borda. Este afloramento aparece em uma ruptura

de declividade na baixa vertente, na borda sudeste da lagoa, a ruptura prossegue na vertente além dos limites do afloramento. Apesar da couraça não estar exposta em toda essa ruptura, ela pode ser encontrada em profundidade no perfil do solo, como será indicado na topossequência Mandacaru.

As topossequências Grevílea (a nordeste) e Mandacaru (a sudoeste) dividem a depressão da lagoa Mandacaru em nordeste/sudoeste (**Prancha 14.10**). Estas topossequências possuem vertente com formas ligeiramente diferenciadas: a topossequência Grevílea é mais retilínea, possui 453m de comprimento e 17m de altura; a topossequência Mandacaru é mais convexa, com 408m de comprimento e 22m de altura.

Apesar de ambos se enquadrarem em textura média, os solos das topossequências também são diferentes. Os solos da Grevílea são mais arenosos e vermelho-amarelados, e os da Mandacaru são mais argilosos, vermelhos e possuem uma camada encouraçada.

O nível freático da topossequência Grevílea é mais alto que o da Mandacaru na baixa vertente. Enquanto o primeiro acompanha a forma da vertente, o segundo dá indicações de que mantém o nível da lagoa. Provavelmente a posição do córrego da Viúva, que é mais alto que o córrego Água da Galvoa e ribeirão das Anhumas (**Figura 17**), contribua para essa configuração do nível freático.

Na **Figura 18** está representado o nível que a lagoa atingiu no final de 2013, a partir de fotos obtidas em dois momentos: quando o nível da lagoa estava mais baixo, e no final de 2013, quando estava mais alto. A diferença de nível encontrada em 2013, após dois anos chuvosos sem estação seca, chega a ser de quase dois metros acima do nível observado no ano de 2011, durante os levantamentos das tradagens.

Trincheira da baixa vertente da topossequência Grevílea, tomada no dia 25/04/2012.

Trincheira da baixa vertente da topossequência Grevílea, tomada no dia 05/10/2013.

Trincheira da topossequência Mandacarú, tomada no dia 21/01/2013.

Trincheira da topossequência Mandacarú, tomada no dia 16/11/2013.

Figura 18: Forma das vertentes nas topossequências de solos Mandacaru e Grevílea, com pontos de tradagens e nível de água.

As duas topossequência estão em área de cultivo de soja/milho realizado em sistema de plantio direto. Este cultivo ocorre na área há mais ou menos 20 anos, no entanto, inicialmente o sistema utilizado era o convencional, com aração e gradagem antes do plantio. O sistema de plantio direto passou a ser adotado nos últimos quinze anos. Antes do cultivo de soja/milho a área era utilizada com pastagem, para a criação de gado de corte.

A adubação é efetuada a cada plantio, com aplicação simultânea com as sementes. Normalmente utilizam como adubação Nitrogênio, Potássio e Fósforo, nas seguintes concentrações 0-20-20 ou 2-20-20 para a cultura de soja, e 15-15-15 ou similar, para o cultivo de milho. As aplicações de calcário são realizadas de acordo com a necessidade, que é observada a cada plantio através de análises químicas. Para as análises químicas são coletadas amostras em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm), a cada 15 hectares são coletadas em torno de 7 amostras em ziguezague, que são homogeneizadas por profundidade e enviadas para análise.

3.3.1 Topossequência Mandacaru

Na **Figura 20** está retratada a topossequência de solos Mandacaru que possui solos bastante homogêneos até a baixa vertente, onde passa a apresentar uma transição de solo de vermelho para acinzentado, passando por cores amareladas. Desta forma, verificamos a ocorrência dos horizontes A e Bw na maior parte da vertente, e na baixa vertente, além deles, encontramos, ainda, os horizontes E, Bt, Couraça, Camada hidromórfica e C.

Foi aberta uma trincheira no trecho em que ocorre a transição de cores avermelhadas para acinzentadas (**Figura 19** e **Figura 21**). A abertura da trincheira

permitiu observar as organizações presentes no final da topossequência e traçar os limites das camadas e horizontes, notando que mudanças são sempre graduais na transformação de um horizonte em outro.

Figura 19: Trincheira vista da margem oposta da lagoa. Destaque para a variação da cor do material retirado do interior da trincheira.

Para identificar as observações iremos utilizar **T** para as tradagens e **P** para os perfis verticais descritos na trincheira, juntamente com a numeração correspondente (**Figura 20** e **Figura 21**). A **Tabela 2** mostra as descrições verticais de acordo com Santos et al. (2005) e EMBRAPA (2013).

Figura 19: Topossequência Mandacarú

Elaboração: Alves, Grace B. 2014

Figura 20: Trincheira com couraça

Tabela 2: Descrição morfológica resumida dos perfis descritos na trincheira da topossequência Mandacaru.

Perfil	Notação de campo	Profundidade	Horizonte	Cor	Textura de campo	Estrutura	Seco	Consistência			Transição
								Úmido	Plasticidade	Pegajosidade	
Perfil 1	P11	0/15cm	A1	5YR3/3	Argilo-arenosa	Angular e granular	Ligeiramente dura à dura e solta	Friável e solta	Lig. plástico	Lig. Pegajoso	Plana, difusa
	P12	15/40cm	A2	5YR3/4	Argilosa	Maciço	Solto	Solto	Lig. Plástico	Pegajoso	Plana, difusa
	P13	40/65cm	A/B	5YR4/6	Argilosa	Sub-angular à microagregada	Macia	Muito friável	Lig. Plástico	Pegajoso	Plana, difusa
	P14	65/125cm	Bw1	5YR5/4	Argilosa	Microagregados	Solto	Solto	Lig. Plástico	Pegajoso	Plana, gradual
	P15	125/200cm	Bw2	5YR4/6	Argilo-arenosa	Microagregados	Solto	Solto	Lig. Plástico	Pegajoso	Plana, abrupta
	P16	200/210cm	Bw/F	5YR4/6	Argilo-siltosa	Angular e microagregados	Dura e solto	Firme e solto	Lig. Plástico	Lig. Pegajoso	Plana, abrupta
	P17	210/250cm	F	2,5YR4/6, vol. 2,5Y7/8	Argilo-siltosa	Angular	Muito dura	Muito firme	Não plástico	Lig. pegajoso	
Perfil 2	P21	0/40cm	A	10YR4/3	Arenosa	Granular e grãos simples	Solto	Solto	Não plástico	Não pegajoso	Plana, gradual
	P22	40/80cm	Bt1/Bw	7,5YR4/4	Areno-argilosa	Sub-angular à microagregada	Macio	Solto	Não plástico	Lig. Pegajoso	Plana, gradual
	P23	80/135cm	Bt2	5YR4/4, vol. 10YR6/6	Argilo-arenoso	Maciça	-	Muito friável	Não plástico	Lig. Pegajoso	Ondulada, difusa
	P24	135/165cm	Bt3/F	10YR4/6	Argilo-arenosa	Maciça, com blocos de couraça	-	Muito friável e firme	Não plástico	Lig. Pegajoso	
Perfil 3	P31	0/70cm	A	10YR4/4 e 4/6	Areno-argilosa	Grumosa e grãos simples	Solto	Solto	Não plástico	Não pegajoso	Plana, gradual
	P32	70/110cm	Bt1	7,5YR4/4	Argilo-arenosa	Subangular	Macia	Solto	Lig. Plástico	Pegajoso	Plana, gradual
	P33	110/165cm	Bt2	7,5YR 4/6, vol. 2,5Y5/4	Argilo-arenosa	Maciça	Solto	Solto	Não plástico	Pegajoso	Plana, difusa
	P34	165/185cm	Bt3	10YR6/4	Argilo-arenosa	Maciça	-	Solto	Não plástico	Lig. pegajoso	
Perfil 4	P41	0/15cm	A1	2,5Y6/1	Arenosa	Grãos simples e alguns grumos	Solta	Solta	Não plástico	Não pegajoso	Plana, difusa
	P42	15/35cm	A2	2,5Y5/2	Arenosa	Grumosa, pequena, fraca, e grãos simples	Solta	Solta	Não plástico	Não pegajoso	Plana, gradual
	P43	35/60cm	E	2,5Y4/2	Arenosa	Maciça	Solta	Solta	Não plástico	Não pegajoso	Plana, difusa
	P44	60/68cm	E/B	10YR5/3	Areno-argilosa	Maciça	Solta	Solta	Não plástico	Não pegajoso	Plana, abrupta
	P45	68/80cm	Bt1	10YR5/4	Argilo-arenosa	Maciça	Lig.dura	Firme	Não plástico	Lig. pegajoso	Plana, difusa
	P46	80/170cm	Bt2	10YR5/4 vol. 5YR4/4	Argilo-arenosa	Maciça	Dura	Firme	Não plástico	Lig. pegajoso	Plana, difusa
	P47	170/190cm	Bt3	10YR5/4 vol. 5YR4/4	Argilo-arenosa	Maciça	-	Friável	Não plástico	Lig. pegajoso	
Perfil 5	P50	0/15cm	A	2,5Y5/2	Arenosa	Grãos simples e grumosa, pequena e fraca	Solta	Solta	Não plástico	Não pegajoso	Plana, abrupta
	P51	15/72cm	E	2,5Y5/2	Arenosa	Maciça	Solta	Solta	Não plástico	Não pegajoso	
	P52	72/130cm	Bt1	2,5Y6/2	Argilo-arenosa	Maciça	-	Friável	Não plástico	Lig. pegajoso	

Quando o solo da trincheira está ressecado observamos fissuras verticais que iniciam no horizonte A e prosseguem até a couraça, chegando, em alguns pontos, até a base da trincheira (**Figura 22**). Estas fissuras influenciam na degradação das couraças e são observadas após o P1 até próximo ao P4, e possibilitam destacar grandes blocos de solo. Quando o solo está úmido e as fissuras não são tão evidentes, no entanto, é possível observar que entre o P2 e o P3 os volumes mais amarelos e úmidos se concentram justamente nos trechos das fissuras, assim como as raízes das gramíneas existentes no local.

Figura 22: Fissura existente entre o P2 e P3.

O **horizonte A** é contínuo e acompanha a geometria da vertente, em geral, com

pequena variação de espessura (40 a 55cm). Na T10 pode ser observada uma das menores espessuras (30cm), associada a um patamar que faz parte do topo da colina, não representado na topossequência. Na baixa vertente, sua espessura varia de 20cm (T12) a 80cm (T14), apresentando maior espessura após o desaparecimento da couraça.

Em toda a sequência o horizonte A apresenta coloração mais escura e textura menos argilosa que no horizonte B. Da T10 à jusante, até o início da trincheira, o horizonte A é vermelho-escuro (2,5YR3/4) a bruno-avermelhado-escuro (5YR3/3 a 3/4), com uma transição na sequência para cores bruno-amareladas (10YR 4/3, 4/4 e 4/6) (**Figura 24**), terminando em cores bruno-acinzentadas (2,5Y5/2) na T5 (**Figura 23**).

A transição para cores bruno-amareladas e acinzentadas é acompanhada de perda gradual de argila, tornando o horizonte mais arenoso. Estas características são evidentes a partir do P4.

Na **Figura 25** a diferença existente entre as lâminas delgadas do P1 e P4 são bem evidentes, tanto pela descoloração como pela diminuição da quantidade de material fino presente nas amostras. A mudança de coloração e textura no horizonte A indica que da alta para a baixa vertente ocorre uma diminuição de ferro e argila que se intensifica na baixa vertente, principalmente onde a hidromorfia é mais atuante, alterando e degradando os minerais de ferro, e gerando colorações acinzentadas. Embora os processos de hidromorfia sejam mais evidentes, devido à coloração do solo, nota-se que a partir do P3 é possível identificar a ocorrência de eluviação/iluviação, explicitados pela maior concentração de areia no horizonte A, e no horizonte que aparece a partir do P3, além da presença de feições de cerosidade existentes no horizonte Bt.

Figura 24: Trecho inicial da trincheira mostrando os horizontes A, Bw, Couraça e Bt. Destaque para a mudança de cores mais avermelhadas a direita para cores mais bruno-amareladas a esquerda.

Figura 23: Trecho final da trincheira mostrando os horizontes A, E e Bt, em que a transição de E para Bt é facilmente observável, ao contrário da transição de A para E.

Figura 25: a) Lâmina delgada do Horizonte A do P4; b) Lâmina delgada do Horizonte A do P1.

A estrutura do horizonte A na área cultivada (da T10 ao P2) é composta por torrões angulares ligeiramente duros a duros e material granular solto, devido ao revolvimento antrópico durante o cultivo. Este fato também contribuiu para que o horizonte A/B seja mais adensado que o horizonte A, quebrando em blocos subangulares e se desfazendo em microagregados. Estas estruturas mais adensadas desaparecem a partir da T9, onde termina a área de cultivo. Deste ponto em diante a estrutura é granular a grãos simples de areia, que à jusante dão lugar a uma estrutura grumosa a grãos simples (P3), a partir do P4 é dominada por grãos simples.

Em todo o horizonte A os grãos de areia são de tamanhos variados e desarestados, com raras concreções. As raízes são mais abundantes a partir do P4, devido à grande quantidade de gramíneas, com grumos em grande parte ligados às raízes dessas gramíneas. Neste trecho o horizonte A se divide em dois, com uma camada mais arenosa no topo que invade a camada imediatamente abaixo (**Figura 26**), onde a expansão do material mais claro e arenoso do horizonte A1 ocorre por poros

maiores no horizonte A2, indicando que a degradação vertical é mais intensa nos poros maiores, degradando a pouca argila existente no horizonte A2.

Figura 26: Transição interdigitada entre A1 e A2.

A transição do horizonte A para o B no trecho com couraça é plana e difusa, com pouca variação textural e de cor, esta última apenas com uma pequena variação de valor e croma. Há uma diferenciação na estrutura com o desaparecimento dos blocos de estrutura angular e granular, que dão lugar a uma estrutura microagregada. Entre os P2 e o P3 a transição é levemente ondulada e gradual, com maior gradiente textural e diferença significativa de cor, com mudança de matiz inclusive, e com mudança de estrutura para subangular. Entre o horizonte A e E, a transição é ondulada e difusa, perdendo espessura à jusante. A diferenciação, neste caso, foi feita de acordo com a estrutura, que no horizonte A é grumosa e no horizonte E se torna uma estrutura de empilhamento de grãos. A mudança de cor é pequena (valor/croma) ou inexistente (P5), e a mudança textural não é expressiva para a observação ao tato.

Na parte final da vertente, após o P3 ocorre um **horizonte E** que é contínuo com formato de cunha, com menor espessura à montante (33cm no P4) e maior à jusante (60cm no T5) (**Figura 21 e Figura 27**). O horizonte E é mais arenoso e mais claro que o A, possui cor bruno-acinzentada (T7-2,5YR5/2), textura arenosa, com areias um pouco mais finas.

Na T5 e T8 foi possível identificar um nível de água no horizonte E que foi capaz de manter o buraco da tradagem cheio de água e saturar as amostras que foram retiradas em profundidade. Estes pontos de tradagens foram abertos bem próximos à lagoa. A ocorrência deste nível não permitiu identificar se havia outro nível de água mais profundo que fosse paralelo ao encontrado à montante. No entanto, identificamos colorações cinza mais claras, concordando com o nível encontrado à montante, como será exposto mais adiante.

O horizonte E foi definido devido ao aumento do gradiente textural entre A e B, quando o horizonte A se torna arenoso e perde a estrutura grumosa em profundidade, passando a apresentar somente estrutura de grãos simples. Apesar de parecer bastante homogêneo, notamos que ocorre uma concentração maior de areia nos poros maiores, enquanto nos poros milimétricos observamos concentrações de ferro que os tingem de vermelho. Essas concentrações de ferro diminuem em direção ao B, no trecho em que o horizonte E permanece mais tempo úmido.

A mudança do horizonte A para o E é motivada por maior perda de argila e ferro, implicando em colorações cinza-claras e acumulação relativa de areia (**Figura 27**). A acumulação relativa de areia se deve à degradação das argilas do A e do B. O horizonte A apresenta perda de ferro e argila, conforme já descrito anteriormente. Este processo de perda de argila e ferro é intensificado com a hidromorfia que desestabiliza

os agregados de ferro e argila, colocando a argila em suspensão e permitindo sua migração (Castro, 1989).

Este processo de desestabilização é mais intenso no topo do Bt, principalmente após o P4, devido à concentração de água na base do horizonte E (**Figura 28**), provavelmente por haver um entupimento dos poros do Bt que dificulta a infiltração da água. A permanência de água entre estes horizontes favorece a diminuição das argilas e ferro do topo do Bt. Este processo deve ser ainda mais intenso no final da vertente (T5 e T8) onde o nível de água é permanente.

Figura 27: Trecho final da trincheira mostrando como o horizonte E se torna mais evidente em direção ao P5, e quase imperceptível no lado direito da fotografia.

A transição do horizonte E para o B é gradual, sendo mais notável à jusante que à montante, sendo progressiva no P4 e clara no P5. Nas lâminas delgadas da transição E/Bt, existentes no P4 e P5 (**Figura 30 e Figura 30**), fica evidente que a transição é mais gradual no P4 e mais clara no P5, devido justamente à relação material fino (ferro e argila) e material grosso (grãos de quartzo).

Figura 28: Acumulação de água na transição do horizonte E para o Bt, próximo ao P4.

Figura 30: Transição E/Bt existente no P5.

Figura 30: Transição E/Bt existente no P4.

Há um aumento gradual de argila e a estrutura, que é composta por grão simples, passa a apresentar pequenos blocos subangulares que aumentam em tamanho e quantidade. O processo de eluviação leva ao aumento do gradiente textural, que por sua vez, contribui para a concentração de umidade no topo do Bt, e consequente diminuição de argila. A mudança de coloração e aumento do material fino em direção à base da

lâmina também é bastante evidente, denunciando uma frente de expansão do topo em direção a base.

Toda a transição é interdigitada e ondulada, denotando uma frente de expansão irregular. O horizonte E penetra no horizonte B, aparecendo no início da zona de transição alguns torrões mais argilosos que aumentam em tamanho e quantidade até se fundirem numa estrutura maciça, que no topo possui a mesma cor do horizonte E, mas com textura argilo-arenosa.

O **horizonte B** se divide em estrutura latossólica (Bw) e estrutura em blocos (Bt). O horizonte Bw é observado da alta vertente até o início da trincheira. A partir do P1 a transformação de cores mais vermelhas para cores mais bruno-amareladas é acompanhada de uma mudança de estrutura. Primeiramente predominam os blocos subangulares que se desfazem em microagregados, com o aumento da umidade e transformação das cores brunadas para cores mais acinzentadas, ocorre uma mudança de estrutura, e os blocos que se desfaziam em microagregados passam a manter uma estrutura forte de blocos subangulares, caracterizando então, um horizonte Bt, que é observado após o P2. Além da presença da fraca estrutura em blocos, no P2 também é encontrado um maior gradiente textural, e abaixo de 80cm já não ocorrem microagregados.

A transição lateral do Bw para o Bt é progressiva, os microagregados vão dando lugar a uma estrutura em blocos. O aparecimento do Bt ocorre com o desaparecimento da couraça e do Bw que terminam no P2. Neste perfil é possível encontrar uma combinação Bw/Bt logo após o A, pois a estrutura em bloco não é forte e se desfaz em microagregados e em profundidade o Bt é facilmente reconhecido, embora fragmentos

de couraça sejam comuns, e na base do perfil ainda seja possível encontrar uma couraça mais friável.

A disposição do **horizonte Bw** acompanha a forma da vertente até as proximidades da trincheira, onde a couraça é observada próxima à superfície, e a transição entre estes dois horizontes é irregular e controlada por fissuras que iniciam no horizonte A e prosseguem na couraça (**Figura 31**), sendo ocupadas por solo microagregado.

Figura 31: Fissura saindo do horizonte A, passando pelo Bw e Couraça.

O horizonte Bw é espesso na alta vertente, tendo sido observado até 5m na T10. Neste ponto a alta resistência do material impediu o aprofundamento da tradagem. Na T6 a profundidade chegou a 3,3m e diminuiu drasticamente à jusante, chegando a 70cm

na T16, onde a couraça está mais próxima da superfície. Este trecho de menor espessura coincide com adelgaçamento do horizonte A e com o setor da vertente que apresenta um pequeno patamar entre rupturas côncava à montante e convexa à jusante.

O horizonte Bw é homogêneo, poroso e bem drenado em quase toda a vertente, apresentando mudanças na baixa vertente onde lateralmente se transforma em Bt. A transformação se dá pela mudança de coloração e estrutura que foram observadas na trincheira a partir do P1.

O horizonte Bw possui cor vermelho-escura (2,5YR3/6) que gradualmente se transforma em vermelho-amarelada (P1 - 5YR4/6) no início da trincheira. À jusante as transformações continuam progressivas, mas ocorrem em espaços menores, alcançando no P2 cor bruna (7,5YR4/4). A textura em todo o horizonte Bw é argilo-arenosa.

Em profundidade o Bw se forma em detrimento da couraça. As evidências dessa degradação são encontradas no horizonte Bw a partir da T6, que aos 80cm passa a apresentar fragmentos de couraça. Estes fragmentos são pequenos, duros, ligeiramente arredondados ou arestados, também são encontrados fragmentos de cortificação que teriam a sua origem em horizonte encouraçado (TARDY e NAHON, 1985).

No P1 a cor bruno-avermelhada (5YR5/4), após 125cm torna-se bruno-amarelado (5YR4/6), e de argiloso passa para argilo-arenoso, com grãos de areia grossa mais salientes que seriam micronódulos formados a partir da couraça degradada (TARDY e ROQUIN, 1998). Em profundidade passa a apresentar alguns blocos pequenos um pouco mais adensados (**Figura 32b**), que são ligeiramente duros, desfazendo-se em micronódulos e possuem poros com auréola ligeiramente amarelada. Estes poros indicam que em algum momento a água foi retida e capaz de modificar os

minerais de ferro e com isso sua cor. Os micronódulos são como os microagregados existentes no horizonte Bw acima, não sendo possível reconhecer diferenças a olho nu.

Figura 32: Transição horizonte Bw/Couraça na base do P1.

a) detalhe da transição; b) fragmento de couraça, levemente arredondado, existente no horizonte Bw, ligeiramente duro com volumes mais amarelados no interior e matriz da cor do solo; c) fragmentos de couraça angulosos, existentes na zona de transição, possuem a mesma cor do solo no exterior e algumas manchas negras de manganês, no interior possuem volumes amarelados; d) fragmento de couraça do início da camada contínua possui pequenos volumes amarelados relacionados à porosidade; e) fragmento de couraça retirado de posição abaixo do anterior, possui maior quantidade de volumes amarelos em meio a matriz vermelha, também associados à porosidade.

Nas fissuras existentes entre os blocos de couraça ocorrem bolsões de solo microagregado que é mais solto que os microagregados existentes acima da Couraça. Este material microagregado também invade os blocos de couraça pelos macroporos verticais (**Figura 33**). Neste material os blocos de couraça são pequenos e raros.

Figura 33: Fragmento de bloco de couraça com material microagregado na borda direita e em macroporo vertical.

A transição do horizonte Bw para a couraça é formada por blocos angulares justapostos com material friável, vermelho-amarelado e silto-argiloso. Os blocos possuem manganês nas faces e interior mais avermelhado (**Figura 32ac**). Esta transição está representada na trincheira (**Figura 21**) e possui dimensão irregular, sendo mais espessa entre as fissuras e mais delgada nas áreas de topos estreitos da couraça.

A transição do horizonte Bw para o horizonte encouraçado é clara, marcada por um aumento dos fragmentos ferruginosos e pela presença de blocos de couraça angulosos que possuem a mesma coloração que o solo na matriz e volumes amarelados e negros (manganês). Em profundidade os blocos se tornam maiores e com cores vermelhas e amarelas mais avivadas, até chegar à couraça maciça. As manchas

amareladas são maiores na couraça maciça, iniciando nos poros maiores e penetrando na matriz da couraça, onde desbotam o vermelho existente.

Lateralmente essa transição Bw/Couraça ocorre da mesma forma, com horizonte Bw que, em profundidade, apresenta microagregados maiores conjuntamente com blocos de couraça, que aumentam em quantidade e resistência em direção à couraça.

A transição Bw/Couraça torna-se mais clara em direção jusante (**Figura 31**). O Bw torna-se vermelho-amarelado (5YR4/6) e a Couraça passa a apresentar tonalidade amarela mais viva, destacando os fragmentos de couraça presentes na transição por serem mais amarelados que os microagregados.

A **Couraça** foi encontrada na baixa vertente a partir da T6, com limites irregulares na parte superior que não acompanham a geometria da vertente. A couraça é observada do P1 ao P2, iniciando na base destes dois perfis e se aproximando da superfície entre eles. O limite superior da couraça é orientado pelas fissuras existentes em toda a camada encouraçada (**Prancha 15**). As fissuras são verticais ou sub-verticais e separam grandes blocos de couraça, com microagregados entre os blocos, funcionando como frentes de transformação da couraça. Estas fissuras se prolongam para os horizontes B e A quando o solo está seco, e podem ser observadas à jusante até o P4.

A couraça é mais macia nas partes mais profundas da trincheira, desta forma, na base da trincheira, do P1 até o P2, ela é dura e quebra facilmente com o martelo, já cerca de 50cm acima da base da trincheira a couraça é muito dura, alcançando maior resistência nos ressaltos que se aproximam mais da superfície, nestes pontos há certa dificuldade para quebrá-la com o martelo.

15.1 - Visão a partir do P3 para montante da trincheira.

15.2 - Fragmento de couraça vermelho com volumes amarelados.

15.3 - Fragmento de couraça amarelado e muito duro, com macroporo vertical.

15.6 - Fragmento de couraça variegado e duro.

15.4 - Torrão de solo retirado do horizonte Bt2, entre o P3 e P2.

15.5 - Fragmento de couraça amarelado e duro.

trêscantos

Degradação da couraça na trincheira

PRANCHA 15

Na **Prancha 15.2** a couraça apresenta uma estrutura mais homogênea, matriz vermelha e volumes amarelados que se expandem a partir dos poros e invadem essa matriz. Nestes setores amarelados o material que constitui a couraça é mais solto. Embora a base da couraça no P1 seja mais macia, os blocos existentes acima, na transição para o Bw são mais duros (**Figura 32**).

As amostras de couraça do topo do horizonte encouraçado apresentam macroporos verticais preenchidos com microagregados (**Prancha 15.3**). As amostras dos topos mais próximos ao P1 são mais vermelhas, enquanto as amostras mais próximas ao P2 são mais amarelas (**Prancha 15.3**).

Dois metros à jusante do P1 as couraças são mais rugosas, variegadas, com feições de cortificação e volumes avermelhados mais claros que nas amostras à montante (**Prancha 15.6**). A matriz que era predominantemente vermelha no P1 se torna progressivamente mais amarelada à jusante, junto com o desaparecimento progressivo das cores avermelhadas e o aparecimento de volumes acinzentados nos poros, que avançam em detrimento da matriz amarela. Neste meio, ocorrem ainda fissuras bem pequenas cujas paredes são acinzentadas ou apresentam recobrimento de manganês.

Nas proximidades do P2 a couraça está degradada e se funde com o horizonte Bt, sendo possível reconhecer ainda alguns blocos bem degradados e amolecidos, junto com alguns mais endurecidos (**Prancha 15.5**).

No horizonte Bt2 do P2 e P3 é possível reconhecer nos torrões de solo a mesma rugosidade presente nos blocos de couraça à montante (**Prancha 15.4**). Alguns fragmentos de cortificação ainda podem ser encontrados neste horizonte, até o limite do

P4. Estas características nos levam a defender que o horizonte Bt2 seria formado diretamente da degradação da couraça, conservando seu aspecto e alguns fragmentos.

Em geral, notamos que no trecho em que a couraça é mais resistente as cores são mais vivas avermelhadas e amareladas, a cor cinza não aparece. A cor amarela está associada à hidromorfia que se expande a partir da porosidade, e sua expansão ocorre em detrimento da cor vermelha, com uma transição progressiva.

As cores cinza presentes na couraça estão associadas aos blocos da base da trincheira (mais macios) e são encontradas em poros de amostras com matrizes amarelas. A coloração cinza avança em detrimento da amarela. As amostras de couraça com volumes cinzas são menos duras que as que não apresentam esse volume.

Segundo Tardy e Nahon (1985), as cortificações são feições originadas de concentrações de goethita aluminosa formada pela hidratação de hematitas aluminosas. Estas feições são mais resistentes, pois são densamente encontradas nos horizontes próximos a couraças.

A **Figura 34** mostra um trecho da trincheira e as feições de cortificação de ferro que foram encontradas na trincheira:

a) **Amostra de couraça do setor de maior endurecimento.** O fragmento de couraça é predominantemente vermelho, apresentando matriz com algumas manchas amareladas que estão associadas à porosidade. Os macroporos são preenchidos por microagregados e possuem uma borda mais escura que se formou no processo de cortificação. Este processo ocorre na couraça durante a sua transformação por hidratação, e faz com que a hematita aluminosa, que havia sido formada no processo de endurecimento e degradação da caulinita, se transforme em goethita aluminosa, conforme

Tardy e Nahon (1985), criando essa borda mais endurecida e escura que pode ser observada na **Figura 34a**. As manchas mais amareladas na matriz da couraça indicam que os processos de hidratação não se restringem às bordas dos macroporos, mas penetram na couraça por poros menores, conferindo-lhe as cores amareladas. O processo que gera cores mais amareladas depende de uma maior permanência de água na couraça. Este processo se intensifica a jusante, onde as cores vermelhas desaparecem e a couraça torna-se menos resistente.

b) Amostra de couraça mais friável com córtex. Os dois fragmentos de couraça da **Figura 34b** fazem parte da mesma amostra que foi retirada de um setor em que a couraça possui matriz amarelada, como pode ser visto na borda dos fragmentos. Nesse trecho a couraça é mais friável. No interior da amostra se observa uma cortificação que possui cor enegrecida formada em poro tubular, preenchido com material microagregado. Em relação à amostra anterior, essa possui matriz mais amarelada indicando maior atuação dos processos de hidratação à jusante, que acabam por tornar a couraça mais friável. Os córtex possuem material mais fino e são mais resistentes que a couraça que os envolvem.

c) Amostra de fragmento de córtex. O fragmento de córtex foi retirado do horizonte Bt, logo após o P2. A intensificação do processo de hidromorfia na baixa vertente acaba por degradar a couraça e mais lentamente os córtex, que primeiramente se tornam mais fragmentados e finos e terminam por desaparecer após o P3.

Estes fragmentos de córtex no horizonte Bw precedem a couraça, aumentando em quantidade em direção a esta. No horizonte Bt são comuns até o P3 e raros à jusante. De maneira geral, estes fragmentos são mais abundantes e maiores nos horizontes/camadas existentes acima da zona do nível freático.

A couraça prossegue abaixo dos limites da trincheira, conforme observações realizadas com o trado mecânico (T16). Como este procedimento limita as observações morfológicas, identificamos como couraça todo o material vermelho e amarelo, com presença de concreções mais ou menos duras. A matriz vermelha predomina até 2,7m, após esta profundidade a matriz é mais amarelada (10YR6/8). Há uma passagem abrupta para um volume cinza a 33,8m de profundidade, que antecede a presença de um nível de água, conforme será descrito mais adiante.

O horizonte Bw e a couraça dão lugar ao **horizonte Bt** na baixa vertente (**Figura 35**). O horizonte Bt acompanha a geometria da vertente e se divide em três, um com coloração mais homogênea e clara, outro com coloração variegada, e um último mais úmido e amarelado. A textura do Bt varia de argiloso a argilo-arenoso de montante para jusante.

O **horizonte Bt1** possui coloração bruna (P2 - 7,5YR4/4) que progressivamente à jusante se torna cinzento-brunado-claro (T5 - 2,5Y6/2). O horizonte Bt1 é contínuo, possui um mosqueado sutil, com poucos volumes mais claros. A transição do Bt1 para o Bt2 é progressiva e ocorre pela mudança de cor de fundo do solo, que é mais avermelhada, além de possuir volumes vermelhos (**Figura 35**).

O **horizonte Bt2** acompanha o limite superior da couraça e possui o mesmo aspecto rugoso daquela (**Prancha 15.5**), até o P4. Além disso, possui fragmentos de cortificação e volumes vermelhos que parecem ser restos da couraça já bastante degradados (**Figura 38**). A cor da matriz é bruna (P2 - 5YR4/4), com volumes

amarelos-brunados (10YR6/6) e se torna progressivamente cinzenta-brunado-claro (T5 - 2,5Y6/2) com volumes amarelo-oliváceos (2,5YR6/6). O material mais avermelhado é mais resistente, seco, tende a quebrar em blocos e é mais argiloso. O material amarelo é mais úmido que o vermelho, além disso, possui estrutura fraca e apresenta maior quantidade de raízes.

Figura 35: Trecho entre P3 e P2, mostrando a diferença de coloração entre os horizontes Bt1, Bt2 e Bt3.

No início do Bt2 do P2 ocorrem fragmentos de couraça que são mais comuns após 100cm de profundidade. Estes fragmentos desaparecem à jusante. No P4 esse horizonte é mais endurecido que os horizontes existentes acima e abaixo, além disso, apresenta cerosidade em poros biológicos e em fissuras (**Figura 37** e **Figura 37**).

A transição para o horizonte Bt3 é difusa e ocorre por diminuição do mosqueamento, e a matriz se torna mais amarelada.

Figura 38: Volumes vermelhos presentes no horizonte Bt2, entre P3 e P4. (aumento da saturação para destacar o vermelho).

Figura 37: Torrão com cerosidade em parede de fissura, no Bt2 do P4.

Figura 37: Cerosidade em torrão retirado do horizonte Bt2, no P4.

O **horizonte Bt3** é contínuo em direção à baixa vertente, acompanhando a geometria desta. Este horizonte possui estrutura maciça e inicia com coloração bruno-amarelada-escura (10YR4/6) que progressivamente se torna bruno-amarelada-clara

(2,5YR6/4). Após a abertura da trincheira sempre se manteve um nível de água na base deste horizonte, à jusante do P4.

O conjunto de horizontes Bt é mais espesso à montante, diminuído progressivamente até a T5, atingindo 1,1m de espessura. A passagem deste horizonte para o C é gradual, tendo como principal diferença a textura, que se torna siltosa.

O **horizonte C** aparece a partir da T16, é ligeiramente plano e não acompanha a geometria da vertente na porção em que foi observado. Apresenta a cor bruno-amarelada (10YR5/6), e sua principal diferença em relação aos demais é a textura, que varia de silto-argilosa e silto-arenosa a siltosa, além de apresentar fragmentos de basalto e arenito silicificado. Estes fragmentos aparecem sem que seja possível reconhecer níveis de um ou de outro, aparecendo, por vezes, os dois na mesma amostra retirada pelo trado.

A T16 apresenta variações em profundidade no horizonte C: a 5,6m aparecem volumes avermelhados, marrons e pretos (manganês); a 6,4 o material é cinza, bruno e amarelado, com fragmentos de basalto e arenito silicificado, esse material persiste até 9,3m, quando foi possível encontrar fragmentos centimétricos de basalto, e não foi mais possível tradar, devido à alta resistência para o trado mecânico.

Ocorre ainda uma **camada hidromórfica** que acompanha o nível de água observado acima do horizonte C. Esta camada é mais espessa na T16 e menos espessa na T5. A forma é ligeiramente horizontal, com leve inclinação.

A camada hidromórfica apresenta cores acinzentadas e um nível de água que foi observado na T16, T14 e T7. Este nível não foi observado na T8 e T5, pois já havia um nível de água mais alto e as amostras abaixo do nível mais alto estavam saturadas.

3.3.2 Topossequência Grevílea

A **Figura 39** mostra a distribuição vertical e lateral dos horizontes na Topossequência Grevílea, suas variações, transições e demais características importantes.

Essa topossequência tem 453m de comprimento e 17m de altura, sendo, portanto, mais baixa e longa que a topossequência Mandacaru (22m de altura por 408m de comprimento).

O solo da vertente é bastante homogêneo com mudança gradual a partir da média vertente, quando se torna mais declivosa. Os solos desta topossequência possuem textura média bem definida e são mais arenosos que os da topossequência Mandacaru. Além disso, são solos vermelho-amarelos, diferentes dos vermelhos encontrados na alta e média vertente daquela topossequência. Na baixa vertente os solos das duas topossequências são semelhantes.

A transição de solos existente nessa vertente é mais gradual e longa que a observada na margem oposta, nota-se que o solo da vertente torna-se gradativamente mais amarelado da T11 para jusante, e depois mais claros, até se tornarem acinzentados a partir da T4. As maiores mudanças ocorrem em profundidade, geralmente abaixo de 2m de profundidade. Devido a estes fatores optamos por abrir duas trincheiras (**Figura 40**), uma para caracterizar os solos da média e alta vertente, e outra na baixa para observar a transição dos solos mais amarelados para acinzentados.

A posição das trincheiras foi estabelecida de modo que ficassem dentro dos limites da propriedade do Sr. João Rocha, sendo que na baixa vertente tivemos que escolher uma posição fora da área de cultivo. O mais interessante teria sido a realização de uma trincheira na altura da T13 para observar a variação do Bw para o Bt, como feito na topossequência Mandacaru.

Figura: 39: Topossequência Grevílea

Figura 40: Vertente da topossequência Grevílea, com indicação das trincheiras abertas.

A trincheira da média/alta vertente possui 5m de comprimento, 2m de largura e 2m de profundidade. Esta trincheira possui solo bastante homogêneo e fortemente drenado, apresentando os horizontes A e Bw, com transições difusas e alta porosidade.

A trincheira da baixa vertente foi aberta com 12m de comprimento e menos de 2m de profundidade, pois atingiu o lençol. Esta trincheira desmoronou logo que foi aberta e por isso foi descrita somente sua parte inicial (**Figura 43abc**).

A **Tabela 3** mostra as descrições verticais, que iremos detalhar a seguir. Infelizmente as trincheiras não trouxeram muitas informações, pois são bem homogêneas. Os trechos que apresentam maior variação de cores e fragmentos ferruginosos ocorrem em maior profundidade, abaixo do nível freático.

Tabela 3: Descrição morfológica resumida das trincheiras da topossequência Grevílea.

Tipo de solo	Notação de campo	Profundidade	Horizonte	Cor	Textura de campo	Estrutura	Consistência				Transição
							Seco	Úmido	Plasticidade	Pegajosidade	
Trincheira média vertente	Tm1	0/6cm	A	5YR5/4	Arenoso	Sub-angular e grãos simples	Duro/solto	Friável/solto	Não plástico	Não pegajoso	Plana, difusa
	Tm2	6/23cm	B/A	5YR4/4	Areno-argiloso	Maciça à microagregada	Macia	Solto	Não plástico	Não pegajoso	Plana, difusa
	Tm3	23/46cm	Bw1	5YR4/4	Areno-argiloso	Maciça à microagregada	Macia	Solto	Não plástico	Não pegajoso	Plana, difusa
	Tm41	46/65cm	Bw2	5YR4/6	Areno-argiloso	Maciça à microagregada	Solto	Solto	Não plástico	Não pegajoso	Plana, difusa
	Tm42	65/200cm	Bw3	5YR4/6	Areno-argiloso	Maciça à microagregada	Solto	Solto	Não plástico	Não pegajoso	Plana, difusa
Trincheira baixa vertente	Tb1	0/10cm	A	10YR5/4	Arenoso	Grãos soltos	Solto	Solto	Não plástico	Não pegajoso	Plana/difusa
	Tb2	10/40cm	A/B	10YR5/3	Areno-argiloso	Sub-angular	Macia	Solto	Não plástico	Não pegajoso	Plana/gradual
	Tb3	40/100cm	Bt1	2,5Y5/6 e manchas 5YR5/8	Argilo-arenosa	Maciça	-	Solto	Não plástico	Não pegajoso	Plana/difusa
	Tb4	100/180cm	Bt2	10YR5/8 e manchas 7,5YR5/8	Argilo-arenosa	Maciça	-	Solto	Não plástico	Não pegajoso	Plana/difusa

Figura 43a: Trincheira da baixa vertente aberta na transição de cores bruno-amareladas para acinzentadas. Vista da cabeceira da trincheira, em abril de 2012.

Figura 43b: Trincheira da baixa vertente após desmoronamento e inviabilização de sua utilização para descrição e coleta. Vista da cabeceira da trincheira, em setembro de 2012.

Figura 43c: Trincheira da baixa vertente em outubro de 2013.

O **horizonte A** é contínuo em toda vertente, acompanhando sua geometria, com maior espessamento na baixa vertente. Em toda a vertente o horizonte A é mais arenoso e escuro que o horizonte B.

O horizonte A possui cor bruno-avermelhada (T1 - 5YR4/4) na alta vertente e se torna bruno-amarelado (T13 - 10YR5/4) na baixa vertente, e termina a topossequência com a cor bruno-acinzentada (T3 - 2,5Y4/2). A transformação da cor avermelhada em amarelada, e depois acinzentada, é acompanhada de uma diminuição do teor de argila. A textura, que no topo é areno-argilosa, gradualmente se torna mais arenosa em direção à baixa vertente. A estrutura na média e alta vertente é de blocos subangulares com grãos simples, decorrentes do manejo aplicado na área.

A transição para o horizonte B é marcada pela diferença textural e pela cor um pouco mais clara. No topo essa diferença é mais sutil, sem mudança de cor, apenas de textura.

No final da vertente ocorre **horizonte E**, entre a T4 e T3, associado ao lençol freático, com maior quantidade de areia e cor um pouco mais clara que a do horizonte A e do B, apresentando também textura mais arenosa.

Este horizonte surge do horizonte A e progride em direção ao Bt, por hidromorfia, que será descrita mais adiante. A transição é clara em relação ao Bt, devido à diferença textural, com mudança gradual em relação à cor.

O **horizonte B** se divide em dois, como na topossequência Mandacaru. O horizonte B de estrutura latossólica (Bw) vai da T1 até a T13, este horizonte em profundidade dá lugar a um horizonte com estrutura maciça (Bt), onde não é possível observar microagregados. Acreditamos que a hidromorfia contribui para a destruição dos microagregados, deixando o solo mais adensado na área de oscilação do lençol

freático. Lateralmente o horizonte Bw também se transforma em Bt a partir da T13, com o desaparecimento progressivo da estrutura microagregada.

As trincheiras abertas na topossequência Grevílea serviram para observar a estrutura dos horizontes Bw e Bt, e as diferenças existentes entre eles na média e na baixa vertente. Enquanto na média vertente predominam a cor bruno-avermelhada a vermelho-amarela, na baixa vertente a cor de fundo do solo varia de bruno-amarelada à acinzentada, com mosqueamento, denotando influência da hidromorfia. A cor avermelhada na baixa vertente só é observada nos pontos em que há acumulação/oxidação do ferro. A comparação de amostras dos horizontes Bw e Bt (**Figura 44**) deixa clara a diferença de cor, e no que se refere à estrutura, em ambos os casos se observa uma estrutura maciça, que na média vertente apresenta maior rugosidade devido aos microagregados, enquanto na baixa vertente a superfície é mais lisa, dando origem à estrutura em blocos, quando o solo está seco.

Figura 44: a) amostra da trincheira do horizonte Bw da média vertente; b) amostra do horizonte Bt da baixa vertente.

Além disso, na **Figura 44** podemos verificar que a mudança de cor também está relacionada com degradação dos microagregados. Desta forma, o solo que apresentava torrões mais rugosos devido aos microagregados, passa a apresentar torrões mais alisados, fruto da reorganização das areias e argilas.

O **horizonte Bw** é mais espesso no topo da vertente e começa a perder espessura

em direção à baixa vertente, lateralmente a partir da T11 se transforma em horizonte Bt, e os microagregados diminuem com a transformação das cores amareladas e consequente aumento da umidade. Esta transição não foi muito bem observada, pois demandaria a abertura de uma trincheira.

Na alta vertente o horizonte possui cores vermelho-amareladas (5YR5/6), bem homogêneas em toda a tradagem, e textura areno-argilosa que progressivamente passa a apresentar um pouco mais de argila, tornando-se argilo-arenosa em profundidade.

A cor permanece homogênea em direção à média vertente e a textura passa a ser argilo-arenosa. A trincheira da média vertente apresenta horizonte Bw bem homogêneo, mas esse foi separado em dois, pois a parte superior é um pouco mais adensada que o Bw2 (**Figura 45**). A trincheira possui ainda um horizonte A/B, ainda mais adensado, nesse horizonte é comum encontrar ninhos de insetos e macroporos com areia lavada.

Na média vertente ocorre o aparecimento de pequenos volumes acinzentados em profundidade sem mudança na cor do solo, estes volumes precedem o aumento de umidade e o aparecimento do nível de água. Juntamente com o aumento de umidade notamos que os microagregados que eram reconhecidos na tradagem desaparecem progressivamente e dão lugar a uma massa de solo um pouco mais argilosa, que denominamos Bt. À jusante, o horizonte Bw diminui de espessura, pois o Bt mais profundo segue lateralmente, abaixo do Bw, sem perder espessura, seguindo praticamente na horizontal e sendo cortado pela evolução da vertente.

Lateralmente à jusante da T2 o horizonte Bw se torna mais brunado (7,5YR4/6), mantendo a textura argilo-arenosa. Em direção à T13 o Bw se transforma lateralmente em Bt, apresentando nesta tradagem uma estrutura em blocos subangulares fraca, que se desfaz em microagregados.

Devido à posição e profundidade das trincheiras não foi possível descrever e

entender muito bem como se dá a transição do horizonte Bw para Bt na topossequência.

Figura 45: Trincheira da média vertente, com delimitação dos horizontes.

O **horizonte Bt** surge em profundidade na T2 e continua horizontalmente até a T4, onde apresenta uma inclinação que passa a seguir a geometria da vertente. Este horizonte inicia com a cor vermelho-amarela (5YR5/6) que se transforma em bruno-amarelada (T13 - 10YR5/6) em direção à baixa vertente, e termina com cor acinzentada (2,5Y6/2). A textura é argilo-arenosa com sutil diminuição da argila em direção à baixa vertente.

A partir da T13, em direção à jusante, o Bt apresenta na parte mais alta cores

mais homogêneas, e na parte mais baixa possui volumes mais claros, fruto da hidromorfia e redução/saída do ferro motivada pela presença do nível de água neste horizonte, assim como já havia sido destacado na T2. Nestes volumes mais claros os grãos de areia são mais limpos.

Na trincheira da baixa vertente podemos observar que o horizonte Bt1 é cinzento-oliváceo-claro (2,5Y5/6) com manchas vermelho-amareladas (5YR5/8) que aumentam em profundidade, a textura é argilo-arenosa, e a estrutura maciça. Este horizonte possui fragmentos de material mais seco e duro, com estrutura subangular, forte, e a 73cm há uma concentração horizontal de carvão. Os córtex de ferro de envolvimento de canais são comuns.

O horizonte Bt2 é bruno-amarelado (10YR5/8), com manchas bruno-forte (7,5YR5/8) e manchas sutis de cinzento-oliváceo-claro (2,5Y5/6) e cinzento-claro (10YR7/1). Em profundidade o solo é um pouco mais amarelado, e as manchas mais acinzentadas apresentam areia mais limpa.

Na base da trincheira ocorrem volumes mais acinzentados que no horizonte Bt, esses volumes hidromórficos são observados desde a T11. O lençol aflorou na base da trincheira.

O Bt com volumes hidromórficos, juntamente com nível de água, estão sobrepondo um horizonte vermelho de acumulação ferruginosa. Em profundidade o horizonte Bt passa a apresentar matriz vermelho-amarelada, primeiro com manchas amarelas e acinzentadas e depois passa a predominar a cor vermelha. A partir do momento que a matriz torna-se vermelho-amarelada passamos a denominá-la camada de acumulação ferruginosa.

A **camada de acumulação ferruginosa** apresenta coloração vermelha, com volumes vermelhos, amarelos e cinzas, além de concreções mais ou menos duras

(**Prancha 16**). Esta camada possui forma horizontal e se torna mais delgada a partir da T15.

Esta camada apresenta textura argilo-arenosa e coloração variegada, lateralmente da T11 para a baixa vertente a matriz avermelhada (T11 - 2,5YR5/8) se torna cada vez mais amarelada (T4 - 10YR5/8). A partir da T13 o horizonte de acumulação ferruginosa apresenta em profundidade cores mais amareladas, precedendo uma camada acinzentada que existe abaixo.

Em grande parte dos horizontes de acumulação ferruginosa ocorrem **nódulos**, feições de **córtex** de ferro e **concreções duras** que se diferenciam da massa do solo. Os nódulos são mais secos, em geral vermelhos, mas em alguns casos amarelados, e se desmancham na mão. Os córtex de ferro são resistentes, a exemplos dos observados na topossequência Mandacaru, embora mais raros e menores (**Prancha 16**).

A **Prancha 16** apresenta concreções duras (**Prancha 16.3 e 16.6**), que não podem ser fragmentas com a mão sem o auxílio de uma ferramenta. Estas concreções parecem ser restos de uma antiga couraça, pois se assemelham bastante aos fragmentos de couraça existentes na topossequência Mandacaru. Além disso, não se tratam de fragmentos esparsos encontrados ao acaso, uma vez que estes fragmentos são encontrados em toda a camada de acumulação ferruginosa em grande quantidade, mas sempre com pequenas dimensões. Na T4, por exemplo, entre 190 e 220cm há um nível concrecionário composto por fragmentos duros com córtex nos poros (**Prancha 16.2 e 16.6**).

Prancha 16: Detalhes do horizonte de acumulação ferruginosa.

16.1 - Material vermelho com volumes amarelados, retirado na T11, entre 570 e 575cm de profundidade.

16.2 - Córtex de ferro, retirado na T11, entre 570 e 575cm.

16.3 - Concreção dura com cor amarela e avermelhada, retirado na T17, entre 140 e 200cm de profundidade.

16.4 - Material friável acinzentado, com concreções ferruginosas de coloração avermelhada, retirado na T15, entre 270 e 280cm de profundidade.

16.5 - Material friável acinzentado com nódulos vermelhos, retirado na T4, entre 130 e 140cm de profundidade.

16.6 - Concreção dura de cor amarelada, com poro revestido por um cortéx de ferro, retirado na T4, entre 190 e 200cm de profundidade.

O ambiente de formação de volumes vermelhos, nódulos e concreções é oxidante, indicando que a presença do lençol acima seria posterior à formação dessa camada e estaria contribuindo para a sua degradação.

Em profundidade a textura argilo-arenosa da camada ferruginosa fica siltosa, as concreções e nódulos desaparecem, e a cor se torna mais ocre, possibilitando o reconhecimento do horizonte C.

O **horizonte C** é siltoso, e apresenta fragmentos de arenito silicificado e de basalto. No topo deste horizonte ocorre uma **camada hidromórfica, com coloração acinzentada**. Esta camada é horizontal e ocorre da T17 à T3. O horizonte C se torna mais amarelado (10YR6/6) após a camada hidromórfica, se tornando mais seco em profundidade, além disso, apresenta areias mais finas.

O **nível freático** acompanha a forma da vertente da lagoa até a T4, apresentando uma ligeira inflexão, acompanhando a geometria dos horizontes observados na T15. Não foi representada a posição do lençol entre a T13 e T15, porque a T17 foi realizada com mais de um ano de diferença em relação às demais tradagens e apresentou um nível de água bem mais alto. A T17 foi aberta justamente na época que o nível da lagoa estava bastante alto, quase encobrindo totalmente a trincheira da baixa vertente. Para efeito de registro, indicamos o nível observado durante a tradagem da T17, mas sem ligá-la às demais.

À montante da T13 o nível de água se torna mais horizontal, tendo sido observado somente até a T2. Este nível acompanha mais ou menos o limite do horizonte de acumulação ferruginosa avermelhado.

3.3.3 Couraça na margem da lagoa

Descreveremos aqui as observações pertinentes à vertente que apresenta afloramento de couraça e também algumas características desse afloramento.

A vertente sudeste da lagoa se torna mais baixa e perde declividade de oeste para leste da topossequência Mandacaru em direção ao córrego da Viúva, como pode ser observado no Perfil do afloramento de couraça, traçado a leste da topossequência Mandacaru (**Prancha 14**). Este perfil possui 6m de altura e 407m de comprimento, e apresenta afloramento de couraça na baixa vertente (**Prancha 17**). A diminuição drástica de altura da vertente indica que está havendo uma perda de material em toda a vertente, ocasionando uma mudança na forma.

O fato da couraça aflorar somente em um trecho da margem da lagoa parece indicar que a erosão mecânica teria atuado mais intensamente na área do afloramento de couraça, retirando os horizontes existentes acima. Nesta área ocorre uma diminuição da altura da vertente e presença de um horizonte avermelhado à jusante da couraça, acima do solo hidromórfico (**Figura 46**). Na topossequência Mandacaru não foi observado material avermelhado acima dos horizontes acinzentados.

Figura 46: Solo hidromórfico recoberto com material avermelhado. Tradagem realizada na margem da lagoa, à jusante do afloramento de couraça.

No afloramento de couraça da margem da lagoa há um setor mais endurecido na borda que forma um degrau e que se divide em grandes blocos. Esta área normalmente fica mais sombreada pelas gramíneas que crescem na margem da represa. Na ocasião da foto as gramíneas haviam sido dessecadas com produtos químicos para sua eliminação.

Na área do degrau a couraça que aflora é amarela na base e vermelha no topo (**Prancha 17.2 e 17.3**), indicando processo de degradação mais intensos na base da couraça devido à maior umidade, e mais preservada do topo, onde o ambiente é mais oxidante. Na superfície dos blocos de couraça dessa área ocorre a colonização por líquens e musgos que fornecem soluções que auxiliam na degradação da couraça. Notamos que nas áreas em que ocorre a colonização biológica, não é encontrada a camada de córtex de ferro que normalmente ocorre em couraças aflorantes. Esta camada seria de goethita aluminosa, assim como descrito por Tardy e Nahon (1985). Desta forma, podemos conjecturar ou que a colonização biológica impede a cristalização da goethita aluminosa na borda, ou que esta camada teria sido degradada com a colonização biológica.

17.2 - Cornija de afloramento de couraça.

17.3 - Detalhe da cornija, com topo vermelho e base amarelada, e borda externa mais escura.

17.4 - Afloramento de couraça com blocos pequenos na superfície, que foram quebrados pelo gradeamento do solo.

17.5 - Detalhe de um fragmento de couraça com interior amarelado, em solo mais arenoso.

17.6 - Bloco de couraça com córtex de ferro e interior amarelo.

O patamar existente acima da camada encouraçada foi revolvido com grade (gradeado) e expôs pequenos blocos de couraça que são um pouco mais friáveis que os demais blocos encontrados na área. Além disso, apresentam quase a mesma cor do solo em que se encontram, apenas um pouco mais amarelados. Estes blocos estavam sendo degradados com a evolução do solo, mas ao serem expostos passaram a ter maiores chances de se preservarem na paisagem, pois a hidratação passaria a ocorrer mais timidamente, facilitando apenas a formação do córtex e retardando a transformação da couraça em solo. Este efeito pode ser observado em alguns blocos à montante da área gradeada, que são mais resistentes e apresentam o córtex na camada externa.

3.3.4 Análises de laboratório

Apresentaremos aqui os resultados das análises granulométricas e químicas. A discussão será realizada por perfil, topossequência e entre as topossequências, de modo a explicar melhor os resultados.

3.3.4.1 Análises Granulométricas

Os solos das vertentes analisadas apresentam predominantemente uma textura média, exceto os horizontes A dos perfis da vertente Grevílea e do perfil 4 da vertente Mandacaru, em que a textura é arenosa. Essa classificação segue a proposta do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos de 2013 (EMBRAPA, 2013).

Os resultados são muito reducionistas frente à diversidade encontrada nestas vertentes, diante disso, optamos por utilizar uma classificação mais detalhada que está em fase de validação e que propõe um subgrupamento textural para diferenciar classes de solos no 5º nível. De acordo com o subgrupamento textural (EMBRAPA, 2013) é possível observar diferenças nas amostras dos perfis analisados, sendo possível

encontrar as texturas: **arenosa-média** nos horizontes A dos perfis da média e alta vertente Grevílea e do P4, na vertente Mandacaru, além do horizonte E do P4 da Mandacaru; **média-arenosa** nos horizontes B da média e alta vertente e nos horizontes A da baixa vertente na topossequência Grevílea, nos horizontes A dos perfis P1, P2, P3 e P5 da vertente Mandacaru e também na T16-1; **média-argilosa** nos horizontes B da baixa vertente Grevílea, no horizonte A da alta vertente Mandacaru e também nessa topossequência nos horizontes B dos perfis P1, P2, P3, P4 e P5, exceto no volume 5 do P1; **argilosa** na parte mais alta do horizonte B do P3 e na T16-2; **média-siltosa** nos horizontes B da alta vertente Mandacaru e nos horizontes relacionados à couraça e sua alteração (P15, P16 e P17), todos esses horizontes possuem cor vermelha.

Há uma pequena diferença de textura entre as duas vertentes, enquanto na vertente Grevílea todos os horizontes possuem mais de 54% de areia, podendo chegar a 82%, na vertente Mandacaru é possível encontrar uma variação maior, de 22,5 a 84,8%, e o maior e o menor valor percentual de areia, encontrado no horizonte C da T16, e A1 do P4, respectivamente. Os outros valores mais baixos de areia estão associados aos B da topossequência Mandacaru, à montante do P3. Em ambas vertentes aumenta a quantidade de areia nos horizontes superficiais em direção à baixa vertente e, consequentemente, o gradiente textural.

A topossequência Grevílea possui maior quantidade de argila no Tm e T17, enquanto a topossequência Mandacaru possui maior quantidade de argila nos P2, P3 e P4. Todos esses perfis apresentam mudança textural abrupta.

Tabela 4: Granulometria das amostras da topossequência Mandacaru.

Amostra	Horizonte	Granulometria (%)			Subgrupamento textural*	Argila dispersa
		Argila	Silte	Areia		
Tradagem 10						
T10-1 (10/20cm)	A	27,7	19,7	52,6	Média-argilosa	8,8
T10-2 (150/160cm)	Bw	18,9	42,4	38,7	Média-siltosa	2,6
T10-3 (490/500cm)	Bw	13,7	46,5	39,8	Média-siltosa	1,3
Perfil 1						
P11 (0/15cm)	A1	17,9	12,0	70,1	Média-arenosa	5,3
P12 (15/40cm)	A2	27,7	24,1	48,2	Média-argilosa	9,4
P13 (40/65cm)	A/B	30,3	23,6	46,1	Média-argilosa	9,4
P14 (65/125cm)	Bw1	24,5	27,7	47,8	Média-argilosa	6,1
P15 (125/200cm)	Bw2	16,2	34,9	48,9	Média-siltosa	2,3
P16 (200/210cm)	Bw/Couraça	16,0	31,6	52,4	Média-siltosa	1,1
P17 (210/250cm)	Couraça	15,0	36,5	48,5	Média-siltosa	1,0
Tradagem 16						
T16-1 (330cm)	Couraça	16,0	24,5	59,5	Média-arenosa	10,6
T16-2 (800cm)	C	52,8	24,7	22,5	Argilosa	35,3
Perfil 2						
P21 (0/40cm)	A	15,0	11,5	73,5	Média-arenosa	9,0
P22 (40/80cm)	Bt/Bw	29,9	20,9	49,2	Média-argilosa	15,6
P23 (80/135cm)	Bt1	29,9	20,4	49,7	Média-argilosa	8,4
P24 (135/165cm)	Bt2	22,0	24,8	53,2	Média-argilosa	8,2
Perfil 3						
P31 (0/70cm)	A	14,9	12,6	72,5	Média-arenosa	14,9
P32 (70/110cm)	Bt1	37,4	18,4	44,2	Argilosa	12,3
P33 (110/165cm)	Bt2	28,3	19,1	52,6	Média-argilosa	11,2
P34 (165/185cm)	Bt3	21,4	22,6	56,0	Média-argilosa	16,2
Perfil 4						
P41 (0/15cm)	A1	6,9	8,3	84,8	Arenosa-média	10,9
P42 (15/35cm)	A2	9,6	10,5	79,9	Arenosa-média	8,4
P43 (35/60cm)	E	6,2	12,1	81,7	Arenosa-média	20,2
P44 (60/68cm)	E/B	21,2	13,5	65,3	Média-argilosa	9,4
P45 (68/80cm)	Bt1	27,6	12,8	59,6	Média-argilosa	9,5
P46 (80/170cm)	Bt2	33,1	12,7	54,2	Média-argilosa	11,6
P47 (170/190cm)	Bt3	34,2	12,4	53,4	Média-argilosa	10,8
Perfil 5						
P51 (0/72cm)	E/B	15,6	9,9	74,5	Média-arenosa	10,4
P52 (72/130cm)	Bt	30,1	13,2	56,7	Média-argilosa	4,3

* Santos et al., 2013.

Tabela 5: Granulometria das amostras da topossequência Grevílea.

Amostra	Horizonte	Granulometria (%)			Subgrupamento textural*	Argila dispersa
		Argila	Silte	Areia		
Tradagem 1						
T1-1 (10/20cm)	A	11,2	6,5	82,3	Arenosa-média	11,4
T1-2 (150/160cm)	Bw	19,4	10,2	70,4	Média-arenosa	0,7
T1-3 (520/530cm)	Bw	11,4	20,9	67,7	Média-arenosa	3,6
Trincheira média vertente						
Tm1 (0/6cm)	A1	6,2	16,9	76,9	Arenosa-média	11,7
Tm2 (6/23cm)	A2	8,9	15,7	75,4	Média-arenosa	7,2
Tm3 (23/46cm)	A/B	18,2	16,0	65,8	Média-arenosa	10,7
Tm41 (46/65cm)	Bw1	24,3	10,9	64,8	Média-argilosa	12,6
Tm42 (65/200cm)	Bw2	23,2	13,5	63,3	Média-argilosa	2,6
Tradagem 17						
T17-1 (0/20cm)	A	13,3	7,4	79,3	Média-arenosa	10,4
T17-2 (140/200cm)	Bt	25,5	13,5	61,0	Média-argilosa	0,3
T17-3 (667-689cm)	C	26,9	18,7	54,4	Média-argilosa	12,1
Trincheira baixa vertente						
Tb1 (0/10cm)	A	14,1	8,8	77,1	Média-arenosa	5,2
Tb2 (10/40cm)	A/B	11,4	13,8	74,8	Média-arenosa	12,5
Tb3 (40/100cm)	Bt1	20,1	12,1	67,8	Média-argilosa	9,2
Tb4 (100/180cm)	Bt2	20,0	13,3	66,7	Média-argilosa	0,6

* Santos et al., 2013.

Na topossequência Grevílea os maiores valores de silte estão associados aos horizontes mais profundos, enquanto na topossequência Mandacaru os maiores valores estão associados aos horizontes mais profundos (T10 e T16) e aos horizontes encouraçados ou no horizonte Bt existentes imediatamente após o termino da couraça (P1, P2 e P3). Ao considerar as características químicas, mineralógicas e morfológicas dos solos (que serão apresentadas na sequência), podemos dizer que os altos teores de silte nas amostras de horizonte B estão relacionados, em grande parte, a microagregados de argila e fragmentação da couraça. A observação da fração silte na lupa possibilitou verificar que grande parte dessa fração é composta por material vermelho e grãos de quartzo; os grãos de quartzo predominam nas amostras da baixa vertente.

De maneira geral, a quantidade de silte é menor nos horizontes A e nos horizontes que apresentam maior hidromorfia e predominância das cores acinzentadas existentes na baixa vertente. São nestes horizontes que ocorre a maior degradação do ferro.

Já os maiores valores de argila estão na topossequência Mandacaru, no horizonte A/B do P3 e no horizonte C da T16, sendo na T16 um material muito mais argiloso que todas as outras amostras avaliadas, configurando-o como material muito diferente de todo o resto observado. Este material da T16 precede o basalto encontrado e deve ser fruto de alteração do próprio basalto, ou do basalto misturado com arenito.

De forma geral o horizonte Bt é o que apresenta as maiores quantidades de argila das amostras analisadas, o que é de se esperar, pois é um horizonte de enriquecimento de argila.

A dispersão de argila é maior nos horizontes superficiais das duas vertentes e nos horizontes mais profundos da T16 e T17. Nos perfis Tb, P1, P2 e P4, o maior valor

está na transição A/B e E/B. As amostras de Latossolo da Grevílea (T1 e Tm) possuem mais argila dispersa que as amostras de Latossolo da Mandacaru (T10 e P1). Já para as amostras de Argissolo ocorre o inverso, as amostras da Mandacaru é que apresentam os maiores valores.

A maior quantidade de argila dispersa nos horizontes superficiais indica que estas estariam mais facilmente disponíveis para migração. O próprio fato desses horizontes possuírem menores quantidades de argila, já indica que a saída de argila aí é maior. A transição A/B e E/B também apresenta maiores quantidades de argila dispersa, contribuindo para a formação do E a partir do A e do Bt.

O horizonte Bw1 da trincheira da média vertente da Grevílea apresenta o valor mais alto de argila dispersa. Esse horizonte é o mais adensado entre os demais Bw encontrados nesta trincheira. O horizonte A/B do P1 também é mais adensado que os demais e apresenta maiores quantidade de argila dispersa.

A Couraça da T16 apresenta um valor alto de argila dispersa, quando comparado aos demais horizontes de acumulação ferruginosa da Mandacaru. Os Argissolos da Grevílea apresentam menor quantidade de argila dispersa, enquanto os da Mandacaru possuem maiores quantidades, principalmente na transição A(E)/B.

A areia foi dividida em seis frações (Tabela 6 e Tabela 7) e reagrupada em três frações (Figura 47) para a apresentação no gráfico. A principal fração que aparece em ambas as topossequências é 0,125 e 0,25mm, seguida por 0,625-0,125mm, 0,25-0,5, 1-2 e por último a fração 0,53-0,625. Agrupando os seis resultados em três grupos temos: a predominância de areia média (0,125-0,5mm), seguida por areia fina (0,053-0,125mm), e por último areia grossa (0,5-2mm).

Tabela 6: Resultado do fracionamento da areia em seis classes texturais, das amostras da topossequência Mandacaru.

AMOSTRA		Classes de areia (g)					
		0,053- 0,062mm	0,062- 0,125mm	0,125- 0,25mm	0,25- 0,5mm	0,5- 1mm	1- 2mm
Tradagem 10							
T10-1 (10/20cm)	A	0,4	14,1	22,1	14,1	1,6	0,1
T10-2 (150/160cm)	Bw	0,5	12,6	16,1	8,6	0,9	0,1
T10-3 (490/500cm)	Bw	0,2	16,0	15,2	7,5	0,7	0,1
Perfil 1							
P11 (0/15cm)	A1	0,2	18,0	29,4	19,9	2,6	0,2
P12 (15/40cm)	A2	0,4	13,4	20,3	12,6	1,6	0,1
P13 (40/65cm)	A/B	0,5	14,1	18,6	11,2	1,5	0,2
P14 (65/125cm)	Bw1	0,2	14,6	19,3	12,1	1,5	0,1
P15 (125/200cm)	Bw2	0,3	15,8	19,2	11,8	1,8	0,3
P16 (200/210cm)	Bw/Cou raça	0,0	13,8	19,4	13,2	3,1	1,5
P17 (210/250cm)	Couraça	0,1	12,8	16,3	12,1	5,0	2,5
Tradagem 16							
T16-1 (330cm)	Couraça	0,0	12,8	19,3	14,9	6,2	6,3
T16-2 (800cm)	C	0,4	7,1	8,5	5,6	1,4	0,9
Perfil 2							
P21 (0/40cm)	A	0,5	19,7	30,6	20,0	2,4	0,2
P22 (40/80cm)	Bt/Bw	0,1	13,9	20,5	12,9	1,6	0,3
P23 (80/135cm)	Bt1	0,2	14,3	20,9	13,0	1,6	0,2
P24 (135/165cm)	Bt2	0,1	14,6	21,8	14,2	2,1	0,4
Perfil 3							
P31 (0/70cm)	A	0,1	20,5	30,2	19,4	2,3	0,2
P32 (70/110cm)	Bt1	0,3	12,4	18,4	12,0	1,5	0,3
P33 (110/165cm)	Bt2	0,1	14,4	21,5	14,4	2,0	0,3
P34 (165/185cm)	Bt3	0,1	15,4	23,0	15,1	2,0	0,2
Perfil 4							
P41 (0/15cm)	A1	0,6	16,3	33,2	30,7	4,6	0,1
P42 (15/35cm)	A2	0,3	20,2	33,0	23,1	2,9	0,1
P43 (35/60cm)	E	0,4	21,6	33,7	23,0	3,1	0,2
P44 (60/68cm)	E/B	0,2	16,7	26,3	19,6	2,4	0,4
P45 (68/80cm)	Bt1	0,2	15,1	24,5	17,4	2,3	0,3
P46 (80/170cm)	Bt2	0,2	15,0	21,9	14,0	1,7	1,3
P47 (170/190cm)	Bt3	0,1	13,9	21,6	15,0	2,0	0,6
Perfil 5							
P51 (0/72cm)	E/B	1,0	18,1	29,7	23,0	3,2	0,2
P52 (72/130cm)	Bt	0,1	13,8	22,7	17,7	2,3	0,3

Tabela 7: Resultado do fracionamento da areia em seis classes texturais, das amostras da topossequência Grevílea.

AMOSTRA		Classes de areia (g)					
		0,053- 0,062mm	0,062- 0,125mm	0,125- 0,25mm	0,25- 0,5mm	0,5- 1mm	1- 2mm
Tradagem 1							
T1-1 (10/20cm)	A	0,4	15,7	35,1	27,3	3,7	0,1
T1-2 (150/160cm)	Bw	0,1	16,9	29,8	21,1	2,8	0,1
T1-3 (520/530cm)	Bw	0,1	17,2	28,1	19,4	2,8	0,1
Trincheira média vertente							
Tm1 (0/6cm)	A1	0,1	21,8	33,2	19,8	2,0	0,1
Tm2 (6/23cm)	A2	0,5	21,3	32,4	19,4	2,1	0,1
Tm3 (23/46cm)	A/B	0,2	19,2	27,8	16,7	1,7	0,1
Tm41 (46/65cm)	Bw1	1,1	20,4	26,6	15,0	1,4	0,4
Tm42 (65/200cm)	Bw2	0,2	20,1	25,0	15,0	1,9	0,1
Tradagem 17							
T17-1 (0/20cm)	A	1,0	22,1	32,3	19,5	2,5	0,1
T17-2 (140/200cm)	Bt	0,4	19,6	24,3	14,8	2,4	0,2
T17-3 (667-689cm)	C	0,5	39,3	9,2	3,6	0,5	0,0
Trincheira baixa vertente							
Tb1 (0/10cm)	A	0,4	18,7	38,7	15,9	3,4	0,3
Tb2 (10/40cm)	A/B	0,2	20,6	31,5	20,2	2,8	0,1
Tb3 (40/100cm)	Bt1	0,4	20,3	26,9	17,8	2,4	0,3
Tb4 (100/180cm)	Bt2	0,1	17,3	26,9	18,7	2,5	0,3

Figura 47: Gráfico de distribuição das frações areia fina, média e grossa nas topossequências Mandacaru e Grevílea.

A fração areia fina é maior na amostra T17-3 apresentando 39,8%, considerando todas as amostras analisadas. Neste ponto também foi encontrada a maior quantidade de argila da sequência Grevílea, embora neste quesito não apresente tanta diferença em relação às demais, de qualquer forma essa amostra é bastante diferente de todas as outras encontradas nas duas topossequências. Este dado sugere que aqui teríamos um material diferente na base vertente Grevílea, em relação ao encontrado na base da Mandacaru, podendo ter origem no arenito Botucatu.

Pode ser que na topossequência Mandacaru também ocorra uma camada de material semelhante, pois foram encontrados fragmentos de arenito Botucatu. No entanto, não foram realizadas análises em várias profundidades da T16, para que pudéssemos analisar melhor a variação de textura. Seria interessante ter realizados mais análises granulométricas para identificar possíveis mudanças de textura que não foram percebidas em campo.

De maneira geral, as amostras do horizonte A e E possuem um pouco mais de areia fina na média/baixa vertente que nas amostras da alta vertente. Toda a sequência Grevílea possui mais areia fina que a Mandacaru.

A fração areia grossa é maior nos horizontes com acumulações ferruginosas (T16-1, P16 e P17) recebendo neste caso uma contribuição por conta da transformação da couraça em solo. O horizonte A também tende a apresentar um pouco mais de areia grossa que os demais do mesmo perfil.

Já a fração de areia média está diretamente relacionada à quantidade de areia total das amostras, mostrando que as duas topossequências são semelhantes neste quesito, com diferenciação apenas nas amostras mais profundas (T16-2 e T17-3) e nas encouraçadas (P16, P17 e T16-1).

Diante dos dados aqui expostos, podemos verificar que apesar das vertentes apresentarem predominantemente uma textura média, ocorrem diferenças entre as amostras de alta para baixa vertente, com o aumento de gradiente textural, e de maneira geral as topossequências são um pouco diferentes, inclusive no que diz respeito ao fracionamento da areia. A textura do Bw da Mandacaru é um pouco mais argilosa e o horizonte C existente na base das duas topossequências também é diferente.

A base das topossequências Mandacaru e Grevílea apresentam granulometria bem diferente do restante das amostras das topossequências e parecem indicar que o horizonte C seria de um material de origem diferente do existente acima. No entanto, seria interessante ter detalhado a textura do horizonte em várias amostras e também a transição para couraça, para observar possíveis camadas de deposição e possível filiação do material ferruginizado.

As duas amostras do horizonte C, a T16-2 e a T17-3, possuem diferenças entre si, mas deve ser destacado que as amostras foram coletadas em profundidades diferentes, a primeira foi coletada a 8m e a segunda a 6,7m, além disso, a T17 fica um pouco mais à montante. Ainda assim, os resultados da T17 indicam se tratar de material diferente da T16, e teria uma contribuição maior do arenito, embora ainda apresente grandes quantidades de argila, que deve ser proveniente do basalto que também foi encontrado em fragmentos nesta tradagem.

Os valores de dispersão de argila mostram que a argila está mais passível de ser mobilizada na baixa vertente, nos horizontes mais superficiais, fato que contribui para a formação do Bt.

As análises granulométricas comprovam observações de textura verificadas em campo, confirmam também que o material que está na base das topossequências possui

diferenças em relação ao material em que os solos das topossequências se desenvolveram. Além disso, mostram que há uma variação no comportamento da argila, que é menos dispersa no Bw e mais no Bt da Mandacaru, e ao contrário na Grevílea, indicando condições diferentes nessas topossequências.

3.3.4.2 Análises Químicas

Os resultados das análises químicas mostram semelhança entre o terço final da vertente Mandacaru e toda a topossequência Grevílea, e características bastante diferentes nos primeiros dois terços da vertente da Mandacaru. Os dados serão discutidos individualmente a seguir (**Tabela 8**, **Tabela 9** e **Tabela 10**).

Os resultados do pH mostraram uma diferença significativa entre as duas vertentes. Na topossequência Grevílea, onde predominam os solos vermelho-amarelados, o pH em H₂O das amostras analisadas oscila entre 4,0 e 5,4, apresentando uma média 4,7 e moda de 5,1. Estes dados indicam que estes solos apresentam uma acidez, em geral, forte e em alguns casos moderada (IBGE, 2007).

Os maiores valores de pH estão associados ao horizonte A e ao horizonte C. Nota-se que os valores dos horizontes B possuem pouca variação, ficando entre 4,6 e 4,9. Já no horizonte A variam de 4,4 a 5,4, sendo que este valor de 4,4 coexiste no mesmo perfil com valores maiores imediatamente acima ou abaixo. Os horizontes mais profundos apresentaram na alta vertente pH em H₂O de 4,0 e na baixa vertente 5,1, sendo o valor de 4,0 o menor pH de toda a vertente. Apenas nos horizontes Tb3 e Tb4 da trincheira da baixa vertente e no T1-3 da tradagem da alta vertente, o pH em KCl superou o pH em H₂O, ou seja, apresentou um Δ pH positivo demonstrando a predominância de óxidos no horizonte Tb4, Tb3 e T1-3, indicando maior intemperismo.

Tabela 8: Características químicas dos solos da Toposequência Mandacaru.

Volume Prof.	Hor.	pH			P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB ¹	(T) ²	(t) ³	V ⁴	m ⁵
		H2O	KCL	ΔpH											
<div><div>_____mg/dm³_____cmol_c/dm³_____%</div></div>															
Tradagem 10 (alta vertente)															
T10-1 10/20cm	A	5,6	4,8	-0,8	11,6	109	3,6	0,7	0	4	4,58	8,58	4,6	53,4	0
T10-2 150/160cm	Bw	6,7	6,2	-0,5	2,5	8	2,93	0,67	0	2,2	3,62	5,82	3,6	62,2	0
T10-3 490/500cm	Bw	4,7	4,9	0,2	1,1	12	0,67	1,38	0	2,4	2,08	4,48	2,1	46,4	0
Perfil 1 da Trincheira															
P11 0/15cm	A1	5,6	5,1	-0,4	17,6	141	2,53	0,64	0	2,7	3,53	6,23	3,5	56,7	0
P12 15/40cm	A2	6,2	4,9	-1,3	3,6	87	2,3	0,59	0	1,9	3,11	5,01	3,1	62,1	0
P13 40/65cm	A/B	6,0	6,4	0,4	1,3	28	1,97	0,78	0	1,4	2,82	4,22	2,8	66,8	0
P14 65/125cm	Bw1	6,1	5,7	-0,4	1,8	8	2,21	0,43	0	1	2,66	3,66	2,7	72,7	0
P15 125/200cm	Bw2	5,7	5,3	-0,4	3,4	6	1,84	0,82	0	0,6	2,68	3,28	2,7	81,7	0
P16 200/210cm	Bw/ Couraça	6,1	5,1	-1,0	1,3	9	1,78	1,18	0	0,8	2,98	3,78	3,0	78,8	0
P17 210/250cm	Couraça	7,4	5,9	-1,5	0,9	10	1,59	0,64	0	0,2	2,26	2,46	2,3	91,9	0
Perfil 2 da Trincheira															
P21 0/40cm	A	5,8	6,2	0,5	12	49	2,49	0,48	0	2,6	3,1	5,7	3,1	54,4	0
P22 40/80cm	Bt/Bw	6,0	6,8	0,8	1,3	22	1,94	0,64	0	2,4	2,64	5,04	2,6	52,4	0
P23 80/135cm	Bt1	6,4	4,8	-1,7	1,7	5	2,09	0,5	0	1,4	2,6	4	2,6	65	0
P24 135/165cm	Bt2	5,6	6,1	0,5	1,3	2	2,02	0,29	0	1	2,32	3,32	2,3	69,9	0
Perfil 3 da Trincheira															
P31 0/70cm	A	5,5	4,2	-1,3	1,3	42	1,03	0,19	0,3	3,2	1,33	4,53	1,6	29,4	17,9
P32 70/110cm	Bt1	5,6	4,1	-1,5	0,8	18	1,96	0,77	0,1	2,4	2,78	5,18	2,9	53,7	3,5
P33 110/165cm	Bt2	5,1	4,8	-0,3	1,7	19	1,87	0,22	0	1,1	2,14	3,24	2,1	66	0
P34 165/185cm	Bt3	5,1	7,0	1,9	1,5	9	1,74	0,26	0	1	2,02	3,02	2,0	66,9	0

1- Soma de bases; 2- CTC (pH 7); 3- CTC Efetiva; 4- Saturação em bases; 5- Saturação em alumínio.

Tabela 9: (cont.) Características químicas dos solos da Toposequência Mandacaru.

Volume Prof.	Hor.	pH			P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB ¹	(T) ²	(t) ³	V ⁴	m ⁵
		H2O	KCL	ΔpH											
<div><div>_____mg/dm³_____cmol_c/dm³_____%</div></div>															
Perfil 4 da Trincheira															
P41 0/15cm	A1	5,2	4,3	-0,9	7,5	60	0,24	0,11	0,49	3,2	0,5	3,7	1,0	13,5	49,5
P42 15/35cm	A2	4,7	5,4	0,7	5,7	24	0,21	0,16	0,78	3,4	0,43	3,83	1,2	11,23	64,5
P43 35/60cm	E	5,1	5,7	0,6	3,2	8	0,1	0,14	0,49	1,9	0,26	2,16	0,8	12	65,3
P44 60/68cm	E/B	5,4	4,1	-1,3	1,1	44	0,36	0,29	0,98	3,5	0,76	4,26	1,7	17,8	56,3
P45 68/80cm	Bt1	4,8	4,0	-0,8	1,8	68	0,45	0,34	1,07	3,5	0,96	4,46	2,0	21,5	52,7
P46 80/170cm	Bt2	5,1	4,3	-0,8	1,1	114	1,23	0,38	0,88	2,4	1,9	4,3	2,8	44,2	31,7
P47 170/190cm	Bt3	5,8	4,9	-0,9	1	22	2,19	0,45	0	2,4	2,7	5,1	2,7	52,9	0
Perfil 5 da Trincheira															
P51 0/72cm	E/B	5,5	4,6	-0,9	5,3	3	0,94	0,12	0,1	1,9	1,07	2,97	1,2	36	8,5
P52 72/130cm	Bt	5,2	3,5	-1,8	2,5	9	1,6	0,28	1,06	4,6	1,9	6,5	3,0	29,2	35,8
Demais observações na trincheira															
B1	Bolsão	6,0	4,1	-1,9	1,3	2	2,48	0,35	0	0,6	2,84	3,44	2,8	82,6	0
C1	Couraça 1	*	*	*	2,7	7	2,82	0,3	0	1,6	3,14	4,74	3,1	66,2	0
C2	Couraça 2	6,6	6,4	-0,2	1,4	6	1,84	0,13	0	1,1	1,99	3,09	2,0	64,4	0
T16-1	Couraça	6,3	6,4	0,1	1,1	9	1,35	0,69	0	1,1	2,06	3,16	2,1	65,2	0
T16-2	C	5,2	3,5	-1,8	2,3	33	18,07	12,15	7,04	12,1	30,3	42,4	37,3	71,5	18,9

1- Soma de bases; 2- CTC (pH 7); 3- CTC Efetiva; 4- Saturação em bases; 5- Saturação em alumínio.
* Não analisado.

Tabela 10: Características químicas dos solos da Topossequência Grevílea.

Volume Profundidade	Hor.	pH			P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB ¹	(T) ²	(t) ³	V ⁴	m ⁵
		H2O	KCL	ΔpH											
<div><div></div><div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div></div> <div></div>															

1- Soma de bases; 2- CTC (pH 7); 3- CTC Efetiva; 4- Saturação em bases; 5- Saturação em alumínio.

* Não analisado.

Na topossequência Mandacaru, onde predominam solos vermelhos, o pH em H₂O apresenta uma variação bem maior que na outra vertente, variando de 4,7 a 7,4,

além de apresentar valores médios também maiores, sendo a média de 5,7 e a moda de 6,0. Os dados indicam que é possível encontrar amostras de solos desde fracamente alcalinos até fortemente ácidos, sendo que grande parte das amostras se divide entre fraca e moderadamente ácida, e possuem uma tendência clara a apresentar determinado pH de acordo com sua localização na vertente, estando os mais ácidos à jusante do P3.

Nas amostras dos horizontes A o pH em H₂O varia de 4,7 a 5,8, sendo que abaixo de 5,5 só aparecem a partir do perfil 3 em direção à jusante. Nos horizontes B ocorrem grandes variações e a diminuição nos valores de pH, o que também fica bastante evidente a partir do perfil 3. Já entre os horizontes mais profundos ou encouraçados, o maior pH foi o encontrado no horizonte P17 e o menor na tradagem da alta vertente, neste horizonte o pH em KCl supera o pH em H₂O, com Δ pH positivo. Outros horizontes que apresentaram também Δ pH positivo, em geral estão relacionados ao A/B e B da trincheira, mas principalmente o horizonte B mais profundo.

O pH menor na baixa vertente, indicando acidez maior neste trecho, está relacionado às condições hídricas desta porção da baixa vertente e dos ácidos formados pela decomposição da matéria orgânica. Estes valores de pH indicam que nesse trecho ocorre intensa lixiviação, conforme pode ser observados nos valores decrescentes da maior parte dos elementos analisados, exceto Al e H+Al, o aumento destes também está relacionado ao aumento da acidez.

Os resultados de P mostram que os valores maiores encontrados se concentram nos horizontes superficiais das topossequências, sendo os valores da topossequência Grevílea muito maiores que os da Mandacaru. Os perfis localizados na alta e média vertente apresentam valores maiores que os encontrados na baixa vertente, no que diz respeito aos horizontes superficiais. Os horizontes mais profundos T16-2 (8m) e T17-3

(6,8m) apresentaram valores maiores que os encontrados na amostra imediatamente acima, mas menores que a superfície.

O K também é maior nos horizontes superficiais. Os horizontes mais profundos também apresentam valores altos, embora menores que os superficiais. Ao contrário dos valores de P, os valores de K são um pouco maiores na topossequência Mandacaru.

Os valores de Ca são maiores nos horizontes superficiais, exceto onde predomina a fração areia (P3, P4, P5 e Tb). Os valores são maiores nas posições mais altas das vertentes e na topossequência Mandacaru, em relação à Grevílea. O valor mais alto encontrado foi na T16-2, que está a 8m de profundidade, este valor é oito vezes maior que a média dos resultados encontrados nesta vertente.

Os valores de Mg são maiores nos horizontes mais profundos dos perfis T-10, P1, P4, P5 e T1; os menores valores estão associados aos horizontes mais arenosos do P3, P4 e P5; o maior valor de todos foi encontrado na T16-2, que é quatorze vezes maior que a média encontrada nesta vertente.

Os valores mais altos de Ca, K, Na, Mg na superfície estão relacionados a adubação à qual a área é constantemente submetida. Nos horizontes mais profundos os valores altos estão relacionados à disponibilidade da rocha.

O Al só aparece na vertente Mandacaru a partir do P3 em direção à jusante, geralmente em amostras com pH abaixo de 5,5. Os valores de Al na Mandacaru são maiores à jusante do P3 e em profundidade. O mesmo vale para as amostras da vertente Grevílea. O maior valor encontrado foi na T-16-2, que é dezessete vezes maior que a média dos valores encontrados.

O H+Al se comporta de maneira semelhante ao Al, com a diferença de que ele aparece em todas as amostras, exceto na amostra P17. Os valores são mais altos na alta

vertente (T10 e T1), nos horizontes A de todos os perfis, exceto do P5 e do T17, nos horizontes hidromórficos, com pouco ou sem mosqueamento (P44, P45, P52, T17-2 e Tb2) e nos horizontes mais profundos da T16-2 e T17-3. A amostra T17-3 apresentou o maior resultado de todos (12,1) diferindo da média das amostras de toda a vertente que é 2,3.

A CTC efetiva é mais alta em quase toda a vertente da topossequência Mandacaru, quando comparada com a topossequência Grevílea. Os valores da topossequência Mandacaru passam a diminuir na baixa vertente a partir do P3 em direção à jusante, tornando-se mais próximos dos valores encontrados na topossequência Grevílea. De maneira geral, os valores são mais altos no horizonte A da alta e média vertente e mais baixos no horizonte A da baixa vertente, a partir do ponto em que os solos são mais acinzentados, P3 e P4 na Mandacaru e Tb na Grevílea. Já em relação à CTC em pH7 os valores são mais altos na alta vertente e nos horizontes A em ambas as sequências, exceto no P5, além de ser muito maior no horizonte C da Mandacaru (T16-2).

O V% indica que praticamente todas as amostras da topossequência Mandacaru à montante do P3 são eutróficas, enquanto que à jusante são distróficas. A saturação em alumínio aparece na topossequência Mandacaru apenas na T16-2, no P3, P4 e P5. Já na topossequência Grevílea a saturação alumínio aparece em todas as amostras, sendo maior nos horizontes Bt hidromórficos, assim como na topossequência Mandacaru.

As análises químicas de rotina mostram uma diferença bem clara entre as amostras retiradas à montante do P3 da topossequência Mandacaru, e as existentes à jusante. Desta forma, o perfil 3 se destaca como um perfil de transição, em que as amostras à montante possuem maior quantidade de bases, e à jusante, condições mais

ácidas. Os resultados observados neste trecho à jusante do P3 são semelhantes às características encontradas na topossequência Grevílea.

3.3.4.3 Óxidos de Fe, Al, Si, Ti e demais características mineralógicas

A análise dos óxidos com ataque sulfúrico possibilitou um panorama geral do comportamento destes nas duas vertentes, que foi complementado com as análises de algumas amostras através da extração por ditionito e oxalato, auxiliando na caracterização dos óxidos observados na mineralogia (**Tabela 11** e **Tabela 12**).

O Fe_2O_3 total (Fet) é maior na sequência Mandacaru que na Grevílea, fator que influencia na coloração mais avermelhada da topossequência Mandacaru. Os valores encontrados no P4 e no P5 são semelhantes aos encontrados em toda a sequência Grevílea, exceto a amostra de material vermelho do final da T11 (5,6m), que apresenta valor semelhante aos encontrados nos horizontes encouraçados da Mandacaru. Em ambas as sequências os valores de Fet diminuem em direção à baixa vertente, devido à hidromorfia, exceto nos horizontes de acumulação ferruginosa que estão recuados em relação à zona de maior hidromorfia.

A amostra P47 é uma exceção, pois apresenta um valor de Fet próximo ao encontrado nos horizontes encouraçados, mas ao relacionar o valor de Fet com os valores de Fed e Feo, verificamos que na verdade a maior parte é ferro de silicatos, conforme a equação proposta por Mathieu e Pielain (2003).

Apesar de terem sido efetuadas análises de Fed e Feo somente para as amostras que possuem dados de mineralogia, ainda assim podemos traçar algumas considerações a respeito dos dados obtidos.

Tabela 11: Análises de Fe, Al, Si e Ti, por Ataque Sulfúrico e outros extratores, e a relação entre os elementos, na topossequência Mandacaru.

Amostra	Hor.	Al ₃ O ₂	TiO ₂	SiO ₂	Fed ¹	Feo ² (g/kg ⁻¹)	Fet ³	Ferro de silicatos ⁴	Ferro bem cristalizado ⁵	Fet/ TiO ₂	Kr	Ki	Relação da mineralogia ⁶
Tradagem 10													
T10-1 (10/20cm)	A	125,1	17,2	129,5	*	*	123,9	*	*	7,2	1,1	1,8	*
T10-2 (150/160cm)	B	181,5	17,9	165,1	*	*	141,8	*	*	7,9	1,0	1,5	*
T10-3 (490/500cm)	B/C	217,7	19,8	191,0	*	*	163,3	*	*	8,2	1,0	1,5	*
Perfil 1													
P11 (0/15cm)	A1	37,7	13,1	41,7	20,9	0,9	80,1	59,2	20,0	6,1	0,8	1,9	Qz>K>An
P12 (15/40cm)	A2	72,6	10,9	77,7	*	*	48,8	*	*	4,5	1,3	1,8	*
P13 (40/65cm)	A/B	82,5	13,8	96,3	*	*	82,7	*	*	6,0	1,2	2,0	*
P14 (65/125cm)	Bw1	88,4	13,8	94,2	*	*	79,3	*	*	5,7	1,2	1,8	*
P15 (125/200cm)	Bw2	82,5	15,7	102,9	34,4	0,4	85,9	51,5	34,0	5,5	1,3	2,1	Qz>K>Go>He>An
P16 (200/210cm)	Bw/F	88,8	12,9	97,9	*	*	92,9	*	*	7,2	1,1	1,9	*
P17 (210/250cm)	F	76,6	12,6	76,0	59,3	0,7	160,2	100,9	58,6	12,7	0,7	1,7	K>Qz>Go≈He>An
Couraça													
C1	F	132,5	12,3	133,9	*	*	134,6	*	*	10,9	1,0	1,7	Qz>K>Go>He>An
C2	F	109,7	10,1	86,9	68,8	0,5	284,9	216,1	68,3	28,2	0,5	1,3	Go>Qz>He>K
B1	F	82,6	14,1	99,4	49,1	0,4	116,2	67,1	48,7	8,2	1,1	2,0	K>Qz>Go>He>An
Tradagem 16													
T16-1 (330cm)	F	109,7	9,9	107,8	9,9	0,4	179,9	170,0	9,5	18,2	0,8	1,7	Qz>K>Go>He>An
T16-2 (800cm)	C	119,1	12,8	126,3	36,9	0,8	170,3	133,4	36,1	13,3	0,9	1,8	Qz>Ze
T16-3 (900cm)	Frag. Basalto	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Feldspatos
Perfil 2													
P21 (0/40cm)	A	30,5	9,7	22,9	21,1	0,9	35,8	14,7	20,2	3,7	0,7	1,3	Qz>K>Go>An
P22 (40/80cm)	A/B	75,3	13,6	75,7	*	*	65,9	*	*	4,8	1,1	1,7	*
P23 (80/135cm)	Bt1	79	12,8	78,8	*	*	66,9	*	*	5,2	1,1	1,7	*
P24 (135/165cm)	Bt2	81	12,5	114,2	22,5	0,3	56,3	33,8	22,2	4,5	1,7	2,4	Qz>K>Go>An
Perfil 3													
P31 (0/70cm)	A	29,3	9,9	25,4	*	*	27,5	*	*	2,8	0,9	1,5	*
P32 (70/110cm)	A/B	80,9	13,9	87,3	*	*	64,6	*	*	4,6	1,2	1,8	*
P33 (110/165cm)	Bt1	81,6	13,1	93,5	*	*	57,2	*	*	4,4	1,3	1,9	*
P34 (165/185cm)	Bt2	80,6	12,6	78,8	*	*	44,1	*	*	3,5	1,2	1,7	*
Perfil 4													
P41 (0/15cm)	A1	10,5	6,6	12,9	3,3	0,4	10,1	6,8	2,9	1,5	1,3	2,1	Qz>K
P42 (15/35cm)	A2	15	9,3	19,0	*	*	12,8	*	*	1,4	1,4	2,2	*
P43 (35/60cm)	E	23	8,3	19,4	*	*	10,6	*	*	1,3	1,1	1,4	*
P44 (60/68cm)	E/B	97,6	12,8	63,0	*	*	23,3	*	*	1,8	1,0	1,1	*
P45 (68/80cm)	Bt2	59,2	13,9	94,0	*	*	36,9	*	*	2,7	1,9	2,7	*
P46 (80/170cm)	Bt3	77,9	13,4	111,5	14,7	0,7	41	26,3	14,0	3,1	1,8	2,4	Qz>K>An>Go
P47 (170/190cm)	Bt4	112,6	15,6	114,6	8,2	0,3	112	103,8	7,9	7,2	1,1	1,7	K>Qz>An
Perfil 5													
P51 (0/72cm)	A/B	25,3	6,9	32,3	0,7	0,2	5,4	4,7	0,5	0,8	1,9	2,2	Qz>K>An
P52 (72/130cm)	Bt	123,9	11,6	148,5	6,1	1,0	19,8	13,7	5,1	1,7	1,8	2,0	Qz>K

* Não analisado; ¹ Fe extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; ² Fe extraído com oxalato de amônio; ³ Fe extraído com ataque sulfúrico; ⁴ Fet-Fed; ⁵ Fed-Feo; ⁶ K: Caulinita, Qz: Quartzo, Go: Goethita, He: Hematita, An: Anátasio, Ze: Zeólita.

Tabela 12: Análises de Fe, Al, Si e Ti, por Ataque Sulfúrico e outros extratores, e a relação entre os elementos, na topossequência Grevílea.

Amostra	Hor.	Al ₃ O ₂	TiO ₂	SiO ₂	Fed ¹	Feo ² (g/kg ⁻¹)	Fet ³	Ferro de silicatos ⁴	Ferro bem cristalizado ⁵	Fet/ TiO ₂	Kr	Ki	Relação da mineralogia ⁶
Tradagem 1													
T1-1 (10/20cm)	A	49,4	4,5	49,9	*	*	24,7	*	*	5,5	1,3	1,7	*
T1-2 (150/160cm)	B	92	7,1	80,2	*	*	36,7	*	*	5,2	1,2	1,5	*
T1-3 (520/530cm)	B/C	94,1	6,9	77,9	*	*	37,4	*	*	5,4	1,1	1,4	*
Trincheira média vertente													
Tm1 (0/6cm)	A1	30,9	6,2	32,6	9,9	0,4	25,4	*	9,5	4,1	1,2	1,8	*
Tm2 (6/23cm)	A2	34,6	6,6	29,1	*	*	26,3	*	*	4,0	1,0	1,4	*
Tm3 (23/46cm)	A/B	48,2	7,8	59,6	*	*	33,7	*	*	4,3	1,5	1,2	*
Tm41 (46/65cm)	Bw1	59,8	9,8	54,3	*	*	39,7	23,1	*	4,1	1,1	1,5	*
Tm42 (65/200cm)	Bw2	59,8	9,8	54,3	16,6	0,2	39,7	23,1	16,4	4,1	1,1	1,5	Qz>K>An>He
Tradagem 11													
T11-1 (560-570cm)	F	115,5	*	115,5	75,5	0,5	113,1	37,6	75,0	*	1,0	1,7	*
Tradagem 17													
T17-1 (0/20cm)	A	62,2	5,8	57,8	*	*	26,3	*	*	4,5	1,2	1,6	*
T17-2 (140/200cm)	B	99,2	8,4	112,2	*	*	28,7	*	*	3,4	1,6	1,9	*
T17-3 (667-689cm)	C	127,2	8,1	132,2	*	*	25,6	*	*	3,2	1,6	1,8	*
Trincheira baixa vertente													
Tb1 (0/10cm)	A	25,5	6	19,2	7,3	0,7	17,6	*	6,6	2,9	0,9	1,3	Qz>K>Go>An
Tb2 (10/40cm)	A/B	32,8	6,9	31,0	*	*	21,1	*	*	3,1	1,1	1,6	*
Tb3 (40/100cm)	Bt1	48,6	8,4	48,4	*	*	30,3	16,7	*	3,6	1,2	1,7	*
Tb4 (100/180cm)	Bt2	46,8	8,7	61,4	11,9	0,3	28,6	16,7	11,6	3,3	1,6	2,2	Qz>K>Go>An

* Não analisado; ¹ Fe extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; ² Fe extraído com oxalato de amônio; ³ Fe extraído com ataque sulfúrico; ⁴ Fet-Fed; ⁵ Fed-Feo; ⁶ K: Caulinita, Qz: Quartzo, Go: Goethita, He: Hematita, An: Anátasio, Ze: Zeólita.

Os maiores valores de ferro de silicatos estão nos horizontes de acumulação ferruginosa (C22, P17 e B1), no horizonte C (T16-2) e no Bt mosqueado (P47), enquanto os menores valores estão associados aos horizontes mais superficiais e hidromórficos (P51, P41, Tb1, P52 e P21) que são os horizontes que também apresentaram menores quantidades de argila (exceto o P52) e predominância de quartzo na mineralogia.

As amostras com maior quantidade de Fe bem cristalizado (MATHIEU e PIELTAIN, 2003), estão nos horizontes de acumulação ferruginosa (T11-1, C22 e P17). Os maiores valores de Feo concordam com horizontes mais vermelhos (P11 e P17), indicando um recobrimento dos minerais que conferem colorações vermelhas ao solo, conforme Segalen (1969), enquanto na topossequência Grevílea os valores de Feo são todos mais baixos, semelhante aos valores encontrados no P4.

Além disso, também foram encontrados valores mais altos de Feo em horizontes A de coloração acinzentada (P21 e Tb1) que em direção à baixa vertente perdem argila e também o ferro amorfo, que passa a apresentar maiores valores no horizonte Bt cinza (P46 e P52). Esta característica é comum em solos mais ácidos e úmidos, e estaria ligada à degradação de outras formas de ferro devido, principalmente, à exposição de ácidos orgânicos que também inibe a cristalização do ferro (VODYANITSKII, 2010). A abundância de sílica também favorece a formação de ferro amorfo nos horizontes iluviais. Segundo o autor, a existência do ferro amorfo no sistema seria uma reserva de ferro que pode levar à formação de goethitas ou hematitas, de acordo com a condição hídrica do perfil (LEGROS, 2012).

O horizonte C (T16-2) também apresenta valores altos de Feo. Em todos os horizontes com maior quantidade de ferro amorfo o predomínio mineralógico é do

quartzo.

A amostra com maior quantidade de Fet, Ferro de silicatos e bem cristalizado é a C22, que também apresenta uma das maiores quantidades de Fed, esta amostra pertence ao trecho em que a couraça é mais resistente. A P17 é mais macia que a C22, e possui valores de Fet e Fe de silicatos que correspondem a quase a metade dos valores encontrados naquela amostra (C22), já a diferença para o Fed é pequena de apenas 1%.

Nos resultados da T16-2 ocorre grande quantidade de Fet, mas praticamente a metade dos valores de Fed e Fe de silicatos em relação aos do C22, se destacando pelas quantidades de Feo. Essa amostra compõe o horizonte C, não sendo uma amostra de acumulação de Fe, mas possuindo uma grande reserva.

As amostras C22, P17 e C1 também apresentam os maiores valores de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ encontrados nas duas vertentes, indicando que estas amostras possuem menor exposição a ambiente saturado.

O Al_3O_2 é maior nas amostras mais profundas de ambas as vertentes (T10-3, T16-2, T17-3) e também nos horizontes de acumulação de ferro (C1, C22, T16-1 e T11) e horizonte A e B da alta vertente da Mandacaru. Os valores de Al_3O_2 diminuem em direção à baixa vertente, principalmente nos horizontes mais próximos à superfície presentes na baixa vertente (Tb1, P41, P42 e P44).

O comportamento do Al_3O_2 indica que este elemento é mais alterado nos horizontes superficiais e na vertente Grevílea, com maior degradação em direção à baixa vertente. O SiO_2 e o TiO_2 apresentam comportamento semelhante ao Al_3O_2 na vertente, sofrendo com os mesmos processos de degradação.

A relação $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ serve de indicativo de fraca drenagem, quanto menor a relação, pior é a drenagem dos solos, pois nestas condições o TiO_2 é mais resistente que

o Fe_2O_3 (ALLEONI e CAMARGO, 1994).

Os valores desta relação são maiores na alta vertente e nos horizontes de acumulação ferruginosa, diminuindo em direção à baixa vertente, apresentando valores mais baixos nos horizontes E e A da parte mais baixa da topossequência Mandacaru. Na topossequência Grevílea o comportamento é semelhante, mas os valores da alta vertente são mais próximos dos valores encontrados na Mandacaru do P2 para jusante, sem, no entanto, apresentar valores tão baixos quanto os encontrados nas amostras P4 e P5 da Mandacaru.

Estes resultados indicam que os solos da topossequência Grevílea teriam sido mais expostos a processo de degradação do ferro, decorrente de ambiente mais úmido e também maior exposição aos ácidos orgânicos, criando uma relação $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ mais baixa. Os resultados das análises químicas já haviam demonstrado que os solos da Grevílea são bem mais pobres que os solos da topossequência Mandacaru, o que também pode ser fruto dessa maior exposição à umidade.

Os valores de Ki acima de 2 são encontrados em amostras que possuem maiores quantidades de SiO_2 , quando comparada às demais amostras do mesmo perfil (P15, P24, P45, P46 e P52), ou apresentam menores quantidades de Al_3O_2 (B1, P41, P42 e P51). Com exceção do P15, as demais amostras que possuem maiores valores de SiO_2 fazem parte de horizontes Bt, já as que perderam Al_3O_2 são horizontes A ou E mais acinzentados, indicando que a degradação por hidromorfia contribuiria para a diminuição de SiO_2 e Al_3O_2 , ou no caso do B1 é um horizonte de transformação da couraça.

Os valores menores de Ki estão associados a menores quantidades de SiO_2 nos horizontes A e E, onde os valores de Al_3O_2 não são muito baixos (P21, P31, P43, Tm2,

Tm3, Tm4, Tb1 e Tb3), e também nos horizontes em que ocorrem maiores valores de Al_3O_2 (T10-2, T10-3, P44, T1-2, T1-3 e Tm3).

Os valores de Kr indicam que quase todas as amostras são cauliníticas, com exceção apenas das amostras P17, C22 e P21 que são oxídicas.

Os difratogramas do horizonte A das duas topossequências (**Figura 50**) mostra que da P11 para P51 ocorre uma simplificação da mineralogia indicando uma predominância absoluta do quartzo. Essa perda de minerais e consequentemente de elementos já havia sido destacada nas outras análises.

As amostras dos horizontes Bw (**Figura 49**) das duas vertentes indicam que na Mandacaru há a ocorrência de uma diversidade maior de minerais, embora em ambas predomine quartzo e caulinita. Já as amostras de Bt (**Figura 48**) mostram que a amostra P47 possui maiores picos de caulinita, além de maior quantidade de minerais na P46.

Os difratogramas de amostras da base da trincheira (**Figura 51**) mostram uma diminuição grande do quartzo na amostra C2, sugerindo que neste ponto haveria uma maior dissolução. Ao comparar as amostras de couraça com as outras amostras do mesmo nível mais à jusante, notamos que ocorre uma degradação dos minerais de ferro, evidenciando uma acumulação relativa do quartzo e da caulinita na base da trincheira, que apresentam picos mais definidos, indicando que a hidromorfia atua nos minerais de quartzo.

Os difratogramas da sequência das amostras da T16 em direção à superfície (**Figura 52**) mostram que o material da base é diferente do existente acima, que apresenta quartzo e esmectitas, e que em direção à superfície passa a predominar o quartzo e a caulinita.

Figura 50: Sequência de difratogramas do horizonte A das duas topossequências.

Figura 49: Difratogramas das amostras Bw das duas topossequências.

Figura 48: Difratogramas dos horizontes Bt das duas topossequências.

Figura 51: Difratoograma de raio-x das amostras da base da trincheira.

Figura 52: Difratoogramas de raio-x das amostras da T16 em direção a superfície, com amostras da couraça e do bolsão de material solto.4

Essa sequência de difratogramas evidencia que as amostras possuem, em geral, o quartzo como mineral predominante com maior refletância, exceto nas amostras C2 que apresentam goethita e o bolsão de material microagregado que apresenta a predominância de caulinita, mas ainda assim, o quartzo aparece como o segundo mineral mais abundante.

Os solos destas topossequências teriam se desenvolvido a partir de um material de origem diferente do material existente na base. A topossequência Mandacaru apresenta maior diversidade de minerais que a topossequência Grevílea, na maior parte das amostras, exceto nas amostras da baixa vertente onde se assemelham.

3.3.5 Síntese da Depressão Mandacaru

Os resultados obtidos com o estudo da cobertura pedológica da Mandacaru indicam os solos das duas topossequências apresentam diferenças que não se restringem à cor.

Os solos da vertente Mandacaru são mais ricos em bases, sílica, ferro e argila que os solos da Grevílea. Essa diferença de solos confere características diferenciadas na forma das vertentes, enquanto a Mandacaru é mais alta e convexa, a Grevílea é mais longa e retilínea.

Pudemos observar que as topossequências são diferentes, a começar pelo horizonte C, que na Mandacaru possui mais argila, grande parte dispersa, apresenta maior concentração de elementos químicos e uma mineralogia composta basicamente por quartzo, caulinita e goethita, abaixo deste horizonte é encontrado basalto pouco alterado que possui feldspatos, olivinas, etc., além de esmectitas. Um metro acima já passa a apresentar a predominância de quartzo e caulinita.

No horizonte C da vertente da Grevílea não foi avaliada a mineralogia, mas os dados químicos mostram certa uniformidade no perfil da T17, exceto pelos valores de Al (Al^{3+} e Al_2O_3) que são bem maiores em profundidade, e pelos valores de areia fina, que se destacam entre todas as amostras observadas nas topossequências. Estes valores de areia fina indicam que o material do horizonte C seria diferente do horizonte C encontrado na topossequência oposta, além de ser diferente de todas as outras amostras analisadas.

Acima do horizonte C, nas duas topossequências, ocorre um horizonte de acumulação ferruginosa que na Mandacaru é uma couraça e que na Grevílea é composto apenas por fragmentos que se dividem em muito duros e macios, que são encontrados principalmente na baixa vertente.

O horizonte Bw nas duas topossequências é cortado pela evolução da vertente e dá lugar ao Bt nas áreas que possuem influência do nível freático. Na Mandacaru o Bw acompanha a vertente da alta à baixa vertente, diminuído de espessura ao ser truncado pela couraça, neste trecho observamos que o Bw se forma em detrimento da couraça, por fragmentação e dissolução do ferro cimentante, gerando primeiro blocos de couraça que desaparecem em direção a superfície deixando primeiro uma areia mais grossa (de material ferruginoso) que se torna siltosa e depois mais argilosa em direção a superfície. Essa degradação da couraça em direção a superfície implica em aumento da quantidade de sílica e alumina, diminuição do ferro, em todas as formas, de acordo com as observações efetuadas no P1.

A couraça apresenta diferentes características, na parte mais alta que fica mais próxima a superfície, a couraça é mais dura e possui um limite irregular gerado pela presença de fraturas que condicionam os fluxos de água, controlando as frentes de

degradação. A couraça presente no ressalto (C2) possui maior quantidade de ferro e menores quantidades de sílica e alumina que as demais amostras de couraça que são menos resistentes e estão mais próximas a base da trincheira. A diminuição de SiO_2 no C2 está associada a evolução da couraça que leva aumento do Fe_2O_3 a degradação da Sílica, assim como apontado por Tardy e Nahon (1985). Este resultado está associado com os resultados de mineralogia que indicaram uma diminuição dos valores de quartzo e caulinita, e aumento de óxidos de ferro diferenciando essa amostra das demais. Além disso, essa é a única amostra que possui mais de 20% de Feo, tido como valor mínimo para a caracterizar couraças (TARDY, 1993), indicando que o restante da couraça embora se mantenha endurecida já está bastante desferruginizada, apresentando sinais de hidromorfia que acabam levando ao amolecimento.

Após o trecho mais endurecido a couraça é mais amolecida tanto na base, quanto à jusante, dando origem ao horizonte Bt em direção a lagoa, esse processo é favorecido pela maior umidade existente na base da trincheira ocasionada pela proximidade com o nível de água que aflorou na base da trincheira, após o P4.

No horizonte Bt se forma tanto a partir do Bw, quanto a partir da couraça. Neste horizonte ainda podem ser encontrados vestígios de couraça, que inclui fragmentos de couraça e morfologia dos blocos de solo. À medida que se distância da couraça os vestígios diminuem, assim como as quantidades de ferro, de bases e o pH. Concomitante com o aparecimento do Bt ocorre à diminuição mais intensa da argila presente no horizonte A, levando a uma acumulação relativa de areia e formação de um horizonte E, associado às menores quantidades de argila, maiores valores de argila dispersa, indicando uma movimentação de argila maior neste trecho, sugerindo que ao mesmo tempo em que há um aumento de argila em direção a base da trincheira, há uma

maior degradação do topo do Bt, considerando os valores menores de bases e ferro, e aumento da saturação em Al exatamente na transição E/Bt (P44).

Na topossequência Grevílea o nível do freático sobrepõe o nível de acumulação ferruginosa, permitindo a formação de um horizonte maciço com volumes hidromórficos, ao qual denominamos Bt. Este horizonte de acumulação ferruginosa é vermelho na média vertente e se torna amarelado na baixa vertente, apresentando grande quantidade de nódulos endurecidos. O nível freático também atua degradando este horizonte de acumulação ferruginosa.

No trecho mais vermelho deste horizonte (T11) ocorrem os maiores valores de Ferro da topossequência, valores comparados aos encontrados nos volumes vermelhos existentes nos limites da couraça na topossequência Mandacaru. A maior parte do ferro encontra-se bem cristalizado e com baixa quantidade de ferro de silicatos, quando comparado aos horizontes vermelhos limítrofes da couraça.

A topossequência Grevílea possui maiores quantidades de areia na alta vertente (+30%) que a Mandacaru. Essa diferença diminui em direção a baixa vertente e cai pela metade no horizonte B. No horizonte A é a topossequência Mandacaru que apresenta maiores valores de areia, sugerindo que a maior quantidade de argila na Mandacaru contribuiria para a degradação do horizonte A, por limitar a infiltração da água.

De modo geral, notamos uma generalizada perda de elementos no sentido vertical e lateral nos horizontes A, E e B, que é maior quanto mais próximo a lagoa, sobretudo nos horizontes A e E. Os horizontes descritos nas topossequências como horizontes de acumulação de ferro, realmente possuem maiores quantidades de Fe, que por hidromorfia estão sendo desferrificados, originando horizontes mais acinzentados à

jusante. Os horizontes C são diferentes dos horizontes acima, devido a textura e características químicas.

As observações morfológicas e de laboratório realizadas nas topossequências possibilitaram uma caracterização geral, suscitando a necessidade de uma caracterização mais detalhada das transformações para podermos entender melhor as diferenciações que ocorrem nestas sequências.

O desfecho deste trabalho apontou falhas na amostragem, que acreditamos terem sido insuficientes na topossequência Grevílea, fato que dificultou seu entendimento. O principal delas é a falta de dados para a camada de acumulação ferruginosa da Grevílea que foi percebida na etapa final deste trabalho, conseguimos ainda acrescentar algumas análises, mas ainda assim insuficientes, não possibilitando uma avaliação lateral dessa camada. Além disso, o horizonte C das duas topossequências deveria ter sido mais detalhado, com maior quantidade de amostras.

3.4.6 Processos e síntese do funcionamento

Dentre os processos que estão atuando na transformação dos solos e das vertentes, temos: latossolização, hidromorfia e eluviação/iluviação.

A latossolização atua transformando a couraça em horizonte Bw, com diminuição da quantidade de ferro e aumento de sílica do horizonte Bw em relação à couraça. Este processo ocorre nos setores que possuem condições oxidantes e couraça. O limite de avanço deste processo é irregular e acompanham as fissuras existentes na couraça.

A hidromorfia transforma os microagregados do Bw e a Couraça, atuando nos minerais de ferro que estão presentes tanto na cimentação e constituição da couraça,

quanto na constituição dos microagregados. Enquanto a hidromorfia amolece a couraça, a latossolização parece atuar mais na fragmentação. Embora em ambos os casos ocorra uma diminuição nas quantidades do ferro na couraça, o processo de hidromorfia é muito mais eficiente nesta retirada.

O processo de hidromorfia ocasiona uma reorganização dos constituintes do solo ao degradar o ferro que estava na estrutura dos microagregados e na couraça, desenvolvendo uma estrutura maciça quando úmida, e em blocos subangulares quando seca. Na couraça este processo progride de maneira remontante, sendo mais intenso na zona de oscilação do lençol. A alteração se inicia pela porosidade existente e prossegue penetrando na matriz do solo. No Bw este processo atua nos limites do Bt. Em ambos os casos, atua piorando as condições de drenagem nas áreas afetadas, está pior condição na drenagem, por sua vez, intensifica o processo. Com a hidromorfia ocorre o aumento da saturação em alumínio e diminuição do pH, das bases e do ferro. Essa diminuição do ferro leva a uma mudança para cores mais amareladas e o avanço do processo leva a cores mais acinzentadas e esbranquiçadas.

A reorganização dos constituintes em uma estrutura em blocos permite a instalação do processo de eluviação/iluviação. O processo de eluviação/iluviação, por sua vez, aumenta o gradiente textural entre os horizontes A e B, tornando o A mais arenoso e o B mais argiloso, possibilitando a formação de um horizonte E.

Além destes processos, notamos ainda uma diminuição de elementos lateralmente (de alta para baixa vertente) e verticalmente (de cima para baixo), esta condição é comum em ambiente tropical, com alta pluviosidade e a matéria orgânica, que auxiliam na lixiviação em toda a vertente, principalmente nos horizontes mais superficiais.

A diferença existente entre os solos das duas vertentes parece ter origem no estágio de evolução em que cada uma se encontra, sendo que a topossequência Grevílea estaria em um estágio mais avançado. As possíveis causas para esta condição estariam na posição em que cada uma das topossequências estão localizadas no compartimento, sendo que a Grevílea está na porção mais central do compartimento, enquanto a Mandacaru está mais próxima da borda. Estas condições parecem influenciar na disposição dos solos em todo o compartimento. Além disso, notamos que ao norte da topossequência Grevílea está o córrego da Viúva, que possui nível de base mais alto que o encontrado na córrego Água da Galvoa e ribeirão das Anhumas (**Figura 53**). Dessa forma, a altura do nível de base dos córregos vizinhos também influenciaria o nível freático e a circulação hídrica nas topossequências, influenciando, portanto, os solos existentes.

A disposição dos solos parece ter ainda alguma relação com o alinhamento N/S que controla também parte dos cursos dos córregos da Anta e da Viúva. Este alinhamento exerceria influência também na formação dos solos existentes entre aqueles córregos e a lagoa Mandacaru, pois condicionaria os fluxos hídricos que auxiliam na transformação dos solos.

Todas estas características parecem ter contribuído para que a topossequência Grevílea possua solos mais amarelados e arenosos, que seriam fruto de um estágio de evolução mais avançado que o encontrado na topossequência Mandacaru. A presença de couraça também parece influenciar no processo de transformação dos solos avermelhados em solos amarelados, dessa forma, a couraça atuaria retardando o progresso de transformação dos solos avermelhados, servindo como uma espécie de barreira na topossequência Mandacaru.

Figura 53: Perfil Topográfico AC e sua localização no compartimento.

Na margem oposta ao afloramento de couraça existente na ponta da lagoa Mandacaru ainda é possível encontrar a couraça a 2,5m de profundidade, sem que haja lençol acima dela. Esta margem é a mesma da topossequência Grevílea que, no entanto, apresenta a camada de couraça degradada sobreposta pelo lençol freático. Desta forma, podemos também relacionar a presença dos solos mais amarelados ao fato da couraça estar mais degradada na vertente da topossequência Grevílea, com o lençol freático acima.

4 INTERPRETAÇÃO DA FORMAÇÃO DAS DEPRESSÕES E SOLOS

O desenvolvimento deste trabalho nos leva a acreditar que as depressões teriam se formado no Compartimento Três Cantos devido à existência de uma área relativamente plana, na qual os fluxos hídricos seriam levados a seguir as fraturas existentes na estrutura basáltica como caminhos preferenciais.

Acreditamos que esta estrutura basáltica seria uma plataforma, devido à coincidência de altimetria em que são encontrados os afloramentos. Acima desta plataforma teria sido depositado um material de textura média, rico em ferro, que teria sido encouraçado e posteriormente dado origem aos latossolos (**Figura 54**).

Figura 54: Esboço da forma como teria se dado a formação das depressões.

Uma alteração climática para condições mais úmidas teria levado à transformação das couraças e latossolos em argissolos, devido à maior permanência de água nos solos (**Figura 54**). Os fluxos de água tenderiam a se dirigir para as fraturas existentes na estrutura basáltica, e seriam mais lentos no centro do compartimento. Estas condições levariam à formação de solos mais amarelados no centro do compartimento, e formação de zonas deprimidas com o desenvolvimento de horizontes mal drenados, permitindo a posterior instalação de processos de iluviação/eluviação.

O prosseguimento destes processos levaria ao alargamento das depressões (**Figura 55**) e formação de colos que levariam, por sua vez, a abertura das depressões para a rede de drenagem. Nas áreas em que o processo de abertura ou aprofundamento das depressões ocorreu mais rapidamente que a degradação das couraças, é possível encontrar couraças aflorando nas margens.

Figura 55: Esboço da formação do Bt em detrimento do Bw.

Com o contínuo aprofundamento da rede de drenagem as couraças permaneceriam nas vertentes, servindo como indicadores de processos antigos que levaram a formação de couraça e posterior transformação com o surgimento da depressão. Ao serem expostas na vertente as couraças se tornam mais resistentes devido

as remobilizações do ferro, que são próprias da evolução da couraça, e só seriam degradadas com a instalação de vegetação que produz ácidos capazes de dissolver o ferro da couraça, ou com a instalação de condições hidromórficas.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo estudar a cobertura pedológica para compreender os processos pedogenéticos que estariam atuando na formação e evolução de depressões fechadas no Compartimento Três Cantos.

Partimos da indicação de Alves (2010) de que esse compartimento se diferenciava na paisagem local por possuir relevo suave-ondulado, com depressões nas partes cimeiras, com solos vermelhos e vermelho-amarelos, de textura média, que na depressão da lagoa Mandacaru apresentavam concreções ferruginosas na baixa vertente. Frente a estas características, passamos a buscar quais seriam os fatores que explicariam a existência das depressões neste compartimento, tendo como hipótese principal que as transformações ocorridas nos solos seriam as responsáveis pela formação e evolução das depressões.

Desta forma, chegamos ao final deste trabalho com algumas respostas e muitas outras questões a serem investigadas. Acreditamos que os processos pedológicos possuem papel fundamental na formação das depressões, mas estes seriam reflexos de mudanças climáticas associadas à presença de uma estrutura geológica mais ou menos plana, que se apresenta fraturada.

Acreditamos que a cobertura latossólica foi formada a partir da couraça, e que esta seria anterior à formação das depressões. Essa transformação progride verticalmente aproveitando as fissuras existentes na couraça, criando frentes irregulares. Atualmente, esta cobertura estaria sendo transformada devido ao aumento de umidade. Esta interpretação se deve à geometria encontrada nos horizontes Bw e de couraça, que

nas topossequências estão sendo entalhados pela atual evolução das vertentes, sendo transformados em argissolos nas áreas mais rebaixadas e mais expostas à umidade (**Figura 56**).

Figura 56: Esboço da depressão com vertentes com solos amarelados de um lado e avermelhados de outro.

O processo que teria dado origem à cobertura latossólica é a latossolização. Este processo ainda é atuante na área e é o responsável pela transformação da couraça em Bw, como pôde ser observado na topossequência Mandacaru. A existência deste processo requer que o ambiente seja oxidante, o que possibilita que a couraça seja fragmentada e dê origem a micronódulos de couraça cada vez menores em direção a superfície.

A maior exposição à umidade na baixa vertente atua transformando a couraça e o horizonte Bw, nesta área o processo atuante é a hidromorfia. Neste caso, o ambiente é redutor e ataca principalmente o ferro. Essa transformação é remontante e mais intensa nos trechos submetidos à oscilação do nível freático, conferindo uma transformação mais horizontal. O progresso das alterações hidromórficas na couraça se dá a partir da

macroporosidade e penetra na matriz, já no horizonte Bw se dá no contato com o Bt, que concentra maior umidade e acaba degradando os microagregados do Bw.

Como o ferro é um elemento importante, tanto na cimentação e constituição da couraça, quanto na estrutura do Bw (composta por ligações de óxidos de ferro e caulinitas), a degradação do ferro acaba levando a uma reorganização dos constituintes do solo que passam a apresentar uma estrutura em blocos, com diminuição da porosidade e consequentemente deformação da vertente. Na topossequência Mandacaru é possível notar um aumento de declividade após o desaparecimento da couraça, assim como na topossequência Grevílea, quando o horizonte de acumulação ferruginosa desaparece. Dessa forma, podemos dizer que o aparecimento do Bt está associado à formação da depressão e seu progresso em detrimento do Bw e da Couraça no sentido remontante, levando ao alargamento da depressão.

Além disso, ainda ocorre nas depressões o processo de iluviação/eluviação, que atua aumentando o gradiente textural entre o horizonte A e o horizonte Bt, permitindo a formação de um horizonte E. Este processo é mais evidente no trecho final da vertente, na parte mais exposta à hidromorfia, onde já são encontrados solos bem acinzentados. Este processo auxilia na perda de volume, pois é acompanhado de uma maior acidificação do sistema, que acaba por atacar também todos os constituintes dos solos, permitindo a concentração residual da areia, que é constituída basicamente por quartzo.

Acreditamos que na base das duas topossequências ocorre basalto e que o material encontrado na base da topossequência Grevílea seria apenas uma lente de material com areia mais fina que foi depositado neste local, podendo até ser fruto de deposição do arenito Botucatu.

As depressões são o estágio inicial da rede de drenagem. Na área, as depressões que foram capturadas apresentam afunilamentos onde é possível encontrar afloramento do mesmo material nas duas margens, e em mesma posição altimétrica. Além disso, os solos presentes na área da antiga depressão ainda não estão ajustados à atual vertente, como pode ser observado na cabeceira do ribeirão Água Grande. Nesta área, a couraça foi cortada pela evolução da vertente, mostrando que os solos ainda não estão completamente ajustados com a atual vertente.

As depressões do interior do compartimento possuem interflúvios irregulares, formando colos. Estes colos também refletem os lineamentos presentes na região e dão indícios da direção que a depressão está evoluindo para se ligar à rede de drenagem. Na lagoa Mandacaru há um afloramento de couraça que ocorre no prolongamento de um colo. A formação deste afloramento teria se dado porque neste trecho da depressão o aprofundamento da lagoa teria sido mais rápido que a transformação da couraça em solo, possibilitando seu afloramento.

As acumulações ferruginosas se mostraram de grande importância no compartimento, inclusive para a formação dos solos e depressões, apresentando tal magnitude que possibilitou a formação de couraças métricas que afloram em vários pontos do compartimento.

As couraças presentes na área foram formadas em outra época e acompanham a plataforma basáltica. O processo de formação das couraças teria sido generalizado na paisagem e capaz de encourçar tanto o basalto e o solo derivado deste, quanto o material depositado acima do basalto. As atuais condições climáticas estão transformando estas couraças, que já estavam evoluindo para latossolos.

As diferentes fácies de couraça encontradas na área são fruto da evolução da própria couraça, que não é um material estático, podendo, portanto, receber, remobilizar ou perder ferro, adquirindo assim diferentes fácies. Ao aflorarem, as couraças passam a ser mais lentamente degradadas, processo esse que pode ser intensificado pela fragmentação em blocos e presença de vegetação. A degradação mais efetiva se dá pela hidromorfia, conforme observado na topossequência Mandacaru. As evidências de degradação da couraça que encontramos indicam que esta possuía uma dimensão maior que a atual.

O material depositado acima do basalto ainda permanece com origem não definida, necessitando maiores investigações. Já os solos amarelados parecem ter o mesmo material de origem dos solos avermelhados, tendo apenas sido expostos a diferentes condições hídricas. Esta ainda é uma hipótese que necessita de maior atenção em futuras pesquisas.

Apesar da abrangência, esse material arenoso não foi observado no mapeamento geológico 1:50.000 (PAULIPETRO, 1980), tendo sido registrado somente pelos solos de textura média no mapeamento de Rossi et al. (2000), que no memorial descritivo não menciona o material de origem (JOAQUIM et al., 2003). O mapeamento de solos (ROSSI et al., op. cit.) indica os solos de textura média, mas não a presença de solos com acumulações ferruginosas.

As diferenças nos solos seriam apenas fruto de uma diferença na evolução pedológica, estando os solos mais amarelados no centro do compartimento e relacionados à área com nível freático mais alto, sendo que em sua evolução teriam sofrido processos pedológicos mais intensos. Este fato teria permitido que as vertentes

com solos amarelados sejam um pouco mais retilíneas e baixas, enquanto as que possuem solos mais vermelhos seriam mais convexas e altas.

Consideramos importante também ressaltar outros aspectos que acabaram sendo abordados no decorrer da pesquisa. A drenagem da área é totalmente controlada pela estrutura geológica, indicando fraturamentos e falhamentos. Essa estrutura também condicionaria na formação das depressões ao controlar os fluxos de água que, por sua vez, influenciam na dissolução geoquímica.

Os rios que limitam o compartimento possuem características diferenciadas, enquanto o rio Capivara é encaixado, o ribeirão das Anhumas possui uma planície que desenvolve seu curso meandrante.

Observamos ainda a ocorrência de cascalheiras nas vertentes do Paranapanema, sustentadas por basalto e localizadas 40m acima da planície do Paranapanema, considerando as fotos utilizadas para a fotointerpretação (1962). Estas características indicam uma sucessão de regimes de deposição e erosão que atuaram no Paranapanema, e que, provavelmente se refletiram no ribeirão das Anhumas, aumentando sua incisão e influenciando no processo de evolução dos seus afluentes em direção às depressões, entalhando basaltos e couraças e escavando algumas depressões em direção à rede de drenagem.

Temos ciência de que ocorreram erros e acertos durante o percurso da pesquisa, mas acreditamos que conseguimos avançar no conhecimento da formação e evolução das depressões da área e na formação de solos provenientes de couraça, cujos processos de latossolização, hidromorfia e iluviação/eluviação têm papel importante.

6 PROPOSTAS PARA NOVOS TRABALHOS

Acreditamos que a elaboração deste trabalho contribuiu para o avanço dos conhecimentos da área, sem, no entanto sanar todas as dúvidas existentes. Muito pelo contrário, serviu para criar mais uma série de novas questões a serem esclarecidas em trabalhos posteriores. Dentre as questões que necessitam serem investigadas destacamos:

- Entender em nível microscópico como ocorrem as alterações ocasionadas por processos de latossolização, hidromorfia e eluviação/iluviação.
- Melhorar a amostragem química das couraças e dos horizontes mais profundos da topossequência Grevílea.
- Verificar a tridimensionalidade dos solos da depressão Mandacaru com o GPR e realizar novas tradagens.
- Verificar com GPR a estrutura geológica e possíveis fraturamentos.
- Datar as areias das duas vertentes e cascalheira para identificar se são contemporâneas ou não.
- Datar as goethitas para saber a idade dos eventos que geraram estas concentrações ferruginosas.
- Investigar os fatores que condicionaram a existência de solos mais amarelados e arenosos.
- Entender os fatores que levaram a diferenciação existente entre o ribeirão das Anhumas e o rio Capivara.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. Os baixos chapadões do oeste paulista. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 17, p. 1-8, 1969.

ALEXANDER, LT; CADY, JG, WHITTIG, LD; DEVER, RF. Mineralogical and chemical changes in the hardening of laterite. Trans. **6th Int. Congr. Soil Sci**, v. 5, p. 67-72, 1956.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Pontos de efeito salino nulo de latossolos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 2, p. 175-180, 1994.

ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista**. São Paulo: IGEOG, 1974. 99p.

ALMEIDA, M.A.; STEIN, D.P.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A.; PONÇANO, W.L.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. Geologia do oeste paulista e áreas fronteiriças dos Estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: A Formação Bauru no estado de São Paulo e regiões adjacentes, Mesa Redonda, 1980, São Paulo. **Coletânea de Trabalhos e Debates...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo São Paulo, Publicação Especial, n. 7, p. 31-47, 1981.

_____. Geologia do oeste paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Balneário de Camboriú, 1980. **Anais...** Balneário de Camboriú, SBG. v.5, p.2.799-2.812, 1980.

ALVES, G. B. **O Perfil Cultural dos principais sistemas pedológicos do município de Maracá/SP**. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Geografia, UEM, Maringá, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: apresentação de trabalhos acadêmicos. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <http://www.comunicacao.pro.br/uff/modelos/14724_2002_trabsacad.pdf>. Acesso em: 30 set. 2007.

AUBERT (1948). Observations sur le rôle de l'érosion dans la formation de la cuirasse latéritique. **Bulletin Agricole du Congo Belge**, 1948, 40 (2), p. 1383-1386.

AUGUSTIN, C.R.; LOPES, M.R.S; SILVA, S.M. Lateritas: um conceito ainda em construção. **Rev. Bras. Geomorfologia**. v.14, n.3, (Jul-Set) p.241-257, 2013

BAGNO, M.; CARVALHO, O.L.S. **Pororoca, pipoca, paca e outras palavras do tupi**. Parabola: São Paulo, 2014.

BARROS, O. N. F. **Análise estrutural e cartográfica detalhada de solos em Marília, Estado de São Paulo**: ensaio metodológico. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Geografia, FFLCH, USP, São Paulo, 1985.

BEAUDOU, Alain Gérard. Sols rouges et beiges: étude d'une séquence sur quartzite en pays ferrallitique forestier (RCA). **Cahiers ORSTOM. Série Pédologie**, v. 9, n. 2, p. 147-187, 1971.

BEAUVAIS, Anicet; TARDY, Yves. Formation et dégradation des cuirasses ferrugineuses sous climat tropical humide, à la lisière de la forêt équatoriale. **Compt. Rend. Acad. Sci., Paris**, v. 309, p. 553-560, 1991.

BELTRAME, A. V. **Estudo das propriedades físicas do solo visando conhecer seu funcionamento hídrico**: Sorocaba do Sul, Biguaçu. 1 v. Tese (Doutorado Pós-Graduação em Geografia, FFLCH, USP, São Paulo, 1997.

BISPO, F.H. A.; SILVA, A.C.; TORRADO, P.V. Highlands of the upper Jequitinhonha valley, Brazil: I-characterization and classification. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1069-1080, 2011.

BLAVET, D.; MATHE, E.; LEPRUN, J.C. Relations between soil colour and waterlogging duration in a representative hillside of the West African granito-gneissic bedrock. **Catena**, v. 39, n. 3, p. 187-210, 2000.

BONGIOVANNI, Solange. **Caracterização geológica do município de Assis: a importância do estudo das coberturas cenozóicas**. 2008. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista.

BOULET, R. Uma evolução recente da pedologia e suas implicações no conhecimento da gênese do relevo. Belo Horizonte: **Anais do III Congresso da Abequa**, 1992. p. 43-58.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X. ; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en Pédologie. I – Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique : les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cah. ORSTOM**, Série Pédologie, vol. XIX, n° 4, p. 309-322, 1982.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; LUCCAS, Y. Os sistemas de transformação em pedologia. **Boletim de Geografia Teórica**, v. 20, n. 39, p. 45-63, 1990.

BRICALLI, L. L. **Evolução de uma depressão em embasamento cristalino e sua relação com os aspectos geológico-geomorfológicos regionais (Serra-ES).**

Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Geografia, FFLCH, USP, São Paulo, 2006.

BROWN, GW; BRINDLEY, G. W. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. **Mineralogical Society, London**, p. 361-410, 1980.

CABRAL, I. L. L.; ROSS, J. L. S.; ROBAINA, L. E.; MEDEIROS, E.; FERNANDES NETO, S. Processos erosivos associados a formas pseudo-cársticas na Depressão Periférica do Rio Grande do Sul. **GEOUSP – espaço e tempo**. São Paulo, N.17. p.107-120, 2005.

CAMARGO, O.; MONIZ, A.; JORGE, J.; VALADARES, J.. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas.**

Campinas, Instituto Agronômico, 2009. 77p. Boletim técnico, 106.

CASTRO FRANÇOSO, SS; AILLAUD, C; QUEIROZ NETO, JP. Depressões doliniformes do platô de Itapetininga, SP – tentativa de interpretação. **Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia**. V.3, SBG: Porto Alegre, 1974.

CASTRO, SS de. **Micromorfologia de solos: bases para descrição de lâminas delgadas.** Campinas/Goiânia: Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal de Goiás, 2008.

_____. **O platô de Itapetininga e as formações superficiais, material de origem do latossolo vermelho escuro orto.** Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Geografia, FFLCH, USP, São Paulo, 1980.

CASTRO, S. S.; COELHO NETTO, A. L. Evolução Pedogenética em Depressão de Topo na Bacia do Alto Rio Fortaleza, Região do Bananal (RJ). **ENCONTRO SOBRE ENGENHARIA GEOTÉCNICA E HIDROLOGIA NO SISEMA ENCOSTA-PLANÍCIE COSTEIRA, IV, Anais, Bananal/SP**, p. 181-192, 2002.

CHAUVEL, A. **Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées.** Paris, Travaux et Documents ORSTOM, 1977. 532p.

CHAUVEL, A.; PEDRO, G. **Gènese des sols beiges (ferrugineux tropicaux lessivés) par transformation des sols rouges (ferrallitiques) de Casamance (Sénégal).** Cahier Orstom, Sér. Pedologie. 16 (3): 231-29. 1978

CHAUVEL A., MONNIER G. 1967. Sur la signification générale de l'analyse granulométrique en pédologie : examen des problèmes posés par la caractérisation de la texture de certains sols tropicaux. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.Série D: Sciences Naturelles**, 1967, 264 (16), p. 1969-1972. ISSN 0249-6305

CHATELIN, Yvon. Estudo dos solos e da paisagem tropical: nascimento das comunidades científicas e das relações com o mundo rural. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 4, n. 1, p. 9-20, 1987.

CHATELIN, Yvon. CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA SÉQUENCE SOLS FERRALLITIQUES ROUGES ET FERRUGINEUX TROPICAUX BEIGES EXAMEN DE PROFILS CENTRAFRICAINS. **Cah. ORSTOM, Ser. pedofil**, v. 7, p. 447-493, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Blücher.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P.; LADEIRA, F. S. B. Macro e micromorfologia de ferricretes nodulares desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru, Formação Adamantina. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 371-385, 2001.

COELHO NETTO, A.L., **Evolução de cabeceira de drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ):** A formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2003, v.4, n.2, pp.118-167.

COLTRINARI, L. **Contribuição à Geomorfologia da Região de Guaratinguetá-Aparecida**. Tese (Doutorado) Pós-Graduação em Geografia, FFLCH, USP, São Paulo, 1975.

COULTARD, J.P.; PELLERIN, J.; AGUIAR, M.B.; COLTRINARI, L. Carta do modelado e das formações superficiais do médio vale do rio Parateí, SP – Memorial explicativo e carta – USP, Instituto de Geografia, **Série Sedimentologia e Pedologia**, n.9, 35p., São Paulo, 1978.

DANIELS, R. B., PERKINS, H. F., HAJEK, B. F., & Gamble, E. E. Morphology of discontinuous phase plinthite and criteria for its field identification in the southeastern United States. **Soil Science Society of America Journal**, v. 42, n. 6, p. 944-949, 1978.

DEMATTÊ, J. L. I.; MAZZA, J. A.; DEMATTÊ, J. A. M. Caracterização e gênese de uma topossequência Latossolo Amarelo-Podzol originado de material da formação Barreiras-Estado de Alagoas. **Scientia Agricola**, v. 53, n. 1, p. 20-30, 1996.

DEPRN (Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais). **Mapeamento de Vegetação Natural do Estado de São Paulo** – folhas Cruzália e Maracaí. Escala 1:50.000. 1989. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. Coordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais.

DIAS FERREIRA, R.P.; COUTARD, J.P.; PELLEGRIN, J.; QUEIROZ NETO, J.P.; **Carta geomofológica de São Pedro, SP (1:50.000)**. Memorial explicativo. *Sedimentologia e Pedologia*, IGOG – USP, V.12, 1978.

DPFS (Divisão de Pedologia e Fertilidade dos Solos). **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**; primeira etapa: Planalto Riograndense. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1967.

D'HOORE, J. **L'accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux**. Ets Vromant, 1954.

DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F.; KER, J.C.; SCHAEFER, C.E.G.R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:765-772, 2003.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA DE SOLOS). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

ESPINDOLA, Carlos Roberto. A pedologia e a evolução das paisagens. **Rev. Inst. Geol.**[online]. 2010, vol.31, n.1-2, pp. 67-92. ISSN 0100-929X. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-929X.20100005>.

ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; FULFARO, V.J. Análise de bacia aplicada à prospecção de água subterrânea no Planalto Ocidental Paulista, SP. **Geociências**, v. 26, n. 3, p. 229-247, 2007.

ETCHEBEHERE, M. L.; SAAD, A. R.; FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. J., 2004. Aplicação do índice “Relação Declividade - Extensão-RDE” na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. **Geologia USP: Série Científica**, v.4, n.2, pp. 43-56.

FAO. **World reference base for soil resources**: 2006: a framework for international classification, correlation and communication. FAO, 2006.

FAURE, Paul. Les associations de sols rouges et jaunes au nord-ouest Dahomey. Caractères des sols et des séquences. **Cah. Orstom, Sér. Pédol**, v. 13, n. 2, p. 119-157, 1975.

FELTRAN FILHO, A. **A estruturação das paisagens nas chapadas do oeste mineiro.** Tese (Doutorado). Pós-Graduação em Geografia, FFLCH, USP, São Paulo, 1997.

FERNANDES LA. 1992. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os Grupos Bauru e Caiuá.** São Paulo. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 129 p.

FERREIRA, Celmo Aparecido et al. Genesis and classification of Oxisols in a highland toposequence of the upper Jequitinhonha Valley (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 195-209, 2010.

FILIZOLA, H. F. **O papel da erosão geoquímica na evolução de modelado da Bacia de Taubaté-SP.** USP, 1993.

FILIZOLA, H.; BOULET, R. (1993) **Une évaluation de la vitesse de l'érosion géochimique à partir de l'étude de dépressions fermées sur roches sédimentaires quartzo-kaoliniques du Brésil.** C.R.Acad. Sc. Paris, v.316, Série II, p.693-700.

FONTANA, A. C. **Análise estrutural da cobertura pedológica e suas relações com a gênese das depressões no terraço médio da região de Taquarussu-MS.** Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Geografia, UEM, Maringá, 2008.

FÚLFARO, V.J. 1974. Tectônica do alinhamento estrutural do Paranapanema. **Bol IG-USP**, 5:129-138.

FÚLFARO, V. J., SUGUIO, K. O Cenozóico paulista: gênese e idade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28. **Anais...** Porto Alegre: SBG, v. 3. p. 91-101, 1974.

GOUDIE, A. **Duricrusts in tropical and subtropical landscapes.** 1973.

GÔNGORA, I. B., NÓBREGA, M. T. Degradação de algumas propriedades de um Nitossolo Vermelho em função do tipo de uso na região de Maringá-PR. **Boletim de Geografia.** Maringá: UEM, vol. 20(2), p. 59-68, 2002.

GUERRA, A. T. Dicionário geológico – geomorfológico. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

HARDT, R; PINTO, S. A. F. Carste em Litologias não carbonáticas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, 2009. v.10, n.2, p.99-105.

HASUI, Y.; SENA COSTA, J.B.; BORGES, M.S.; JIMENEZRUEDA, J.R.; MORALES, N. 1999. Compartimentação neotectônica do lineamento Paranapanema.

In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS -SNET, 7, Lençóis, BA, 1999. **Atas...** Lençóis, SBG-BA, Sessão 4, p. 37-39.

HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; STEIN, D.P.; MELO, M.S. Investigação estrutural na região de Primeiro de Maio, SP e PR. In: 2º Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia. **Anais**. São Paulo, 1978. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Folha Topográfica SF-22-Z-A-IV-1, Cruzália**. 1 mapa, color., 55 cm x 50 cm. Escala 1:50.000. 1975a.

_____. **Folha Topográfica SF-22-Z-A-IV-4, Florínea**. 1 mapa, color., 55 cm x 50 cm. Escala 1:50.000. 1975b.

_____. **Folha Topográfica SF-22-Y-B-VI-2, Iepê**. 1 mapa, color., 55 cm x 50 cm. Escala 1:50.000. 1975c.

_____. **Folha Topográfica SF-22-Z-A-IV-2, Maracaí**. 1 mapa, color., 55 cm x 50 cm. Escala 1:50.000. 1975d.

_____. **Folha Topográfica SF-22-Y-B-VI-3, Bela Vista do Paraíso**. 1 mapa, color., 55 cm x 50 cm. Escala 1:50.000. 1973a.

_____. **Folha Topográfica SF-22-Z-A-IV-3, Paranaji**. 1 mapa, color., 55 cm x 50 cm. Escala 1:50.000. 1973b.

_____. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. atual. e aum. Rio de Janeiro, 2007. n. 4, p. 323.

_____. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. atual. e aum. Rio de Janeiro, 2009. n. 5, p. 175.

_____. Diretoria de Geociências. **Mapa de Vegetação do Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Mapa Geológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, Div. Minas e Geol. Aplicada, Monogr. 1981. Escala 1:500.000. V. I.

_____. **Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, Div. Minas e Geol. Aplicada, Monogr. 1981. 1 mapa. Escala 1:1.000.000.

_____. **Investigação geológico-estrutural de parte das bacias dos rios Paraná e Paranapanema, Estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso.** (Relatório 12.385), São Paulo, 1979.

_____. **Mapeamento geológico na área de implantação da barragem de Capivara.** (Relatório 10.883), São Paulo. 1978.

_____. **Investigação geológico-estrutural reservatório Capivara, 1º de Maio, PR e SP.** CESP. (Relatório 10.664), 1977.

JIMENEZ-RUEDA, J. R. ;MORALES, N.; HASUI, Y.; BORGES, M.S.; COSTA, J.B.S.; BERMEGUY, R.L.; GUIMARÃES, P.L. A Pedoestratigrafia na compartimentação morfotectônica e no registro da evolução neotectônica do Lineamento Paranapanema. In: X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 2005, Curitiba. **Boletim de Resumos Expandidos**, 2005. p. 198-201.

JIMENEZ-RUEDA, J.R. & DEMATTÊ, J.L.I. Solos originários de lamitos da Formação Marília (Grupo Bauru) da região de Monte Alto, SP. **R. Bras. Ci. Solo**, 12:161-170, 1988.

JOAQUIM, A. C.; PRADO, H.; MENK, J. R. F.; ROSSI, M.; LEPSCH, I. F.; BOGNOLA, I. A. Levantamento pedológico semidetalhado do estado de São Paulo: quadrícula de Maracá. II Memorial Descritivo. **Boletim Científico**. Série APTA, n.09. Campinas: Instituto Agrônomo, 2003.

KNIGHTON, David. **Fluvial forms and processes: a new perspective.** Routledge, 2014.

LADEIRA, F.S.B. 1995. **Estudo micromorfológico de um Latossolo Roxo no município de Guaíra - SP.** Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 93p.

LAMPLUGH, G. W. Calcrete. **Geological Magazine (Decade IV)**, v. 9, n. 12, p. 575-575, 1902.

LEGROS, Jean-Paul. **Major Soil Groups of the World: Ecology, Genesis, Properties and Classification.** CRC Press, 2012.

LEMOES, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta do solo no campo.** SBCS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Campinas. 3 ed. 1996. 83 p.

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

MAIGNIEN, R. **Compte-rendu de recherches sur les latérites**. Recherches sur les Ressources Naturelles, 4. Unesco, Paris, 1966. 155 pp.

_____. **Induration des horizons des sols ferrallitiques**. Les sols ferrallitiques: Reunion annuelle. Cahier ORSTOM, Série Pedologie. 4(4), 1966. p. 29-31.

_____. Le cuirassement des sols en Guinée, Afrique Occidentale. **Mem. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.** no. 16, Strasbourg, 1958. 239 pp.

_____. Différents processus de cuirassement en AOF. C. R. **2eme Conference Inter africaine des Sols**, Leopoldville, Belgian Congo (1954), pp. 1469–1486

MAACK, R. Notas complementares a apresentação preliminar do mapa fitogeográfico do Estado do Paraná (Brasil). **Arquivos do Museu Paranaense**, v. 7, p. 351-361, 1950.

MALA, Onguene. **Différenciations pédologiques dans la région de Yaoundé (Cameroun)**: transformation d'un sol rouge ferrallitique en sol à horizon jaune et relation avec l'évolution du modelé. 1993.

MAURI, J. **Dispersantes químicos na análise granulométrica de latossolos**. 2008.

Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

MATHIEU, C.; PIELTAIN, F. **Chemical soil analysis: chosen methods**. Technique et Documentation Lavoisier, 2003.

MCKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite-and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 46, n. 1, p. 13-22, 1966.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: **National conference on clays and clays minerals**. 1958. p. 317-327.

MELFI, Adolpho José. Lateritas e processos de laterização. **Aula inaugural**, 1994.

MELO, M.S.; PONÇANO, W.L. **Gênese, distribuição e estratigrafia dos depósitos cenozóicos no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 74 p., 1983.

MILLOT, Georges. **Géologie des argiles**. Masson, 1964.

MUNSELL soil color charts. **Munsell Color**. 2010.

NAHON, Daniel B. Self-organization in chemical lateritic weathering. **Geoderma**, v. 51, n. 1, p. 5-13, 1991.

NAHON, Daniel B. et al. **Introduction to the petrology of soils and chemical weathering**. John Wiley and Sons, Inc., 1991.

NAHON, D, TARDY, Y. The ferruginous laterites. **Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains..**, p. 41-55, 1992.

NAHON, D.; LAPPARTIENT, J.-R. Time factor and geochemistry in iron crusts genesis. **Catena**, v. 4, n. 3, p. 249-254, 1977.

NAHON, Daniel. **Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal occidental et en Mauritanie, systèmes évolutifs: géochimie, structures, relais et coexistence**. 1976.

PAULIPETRO. **Mapas geológicos do bloco 44**: folhas Cruzália, Paranaji e Maracaí. São Paulo: PAULIPETRO, 1980. Escala 1:50.000.

PEREIRA, M. C.; STÁVALE, Y. O.; SALGADO, A. A. R. Estudo da gênese das cavidades e depressões em minério de ferro-Quadrilátero Ferrífero/Mg: Serras do Rola Moça e do Gandarela. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 3, 2013.

PINHEIRO, M.R. **Técnicas cartográficas e aerofotográficas no estudo da erosão: alta bacia do ribeirão Araquá – São Pedro e Charqueada/SP**. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Geografia Física, FFLCH-USP, São Paulo, 2009.

PLAISANCE, G.; CAILLEUX, A. Dictionnaire ds Sols. **La Maison Rustique, Paris**, 1958.

QUEIROZ NETO, J. P. **O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas**. Coimbra, 2010. Disponível em: <<http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/queiroz>>. Acesso em: 30 nov. 2010.

_____. Análise estrutural da cobertura pedologia: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do departamento de geografia**. V. 15, 2002, p.77-90.

_____. O estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, v. 22 (1/2), p. 65-78, 2001.

_____. Os solos. In: **Brasil, a Terra e o Homem**. São Paulo, Nacional, 1972.

QUEIROZ NETO, J. P.; JOURNAUX, A. **Carta Geomorfológica de São Pedro**. Instituto de Geografia, USP. São Paulo, 1977.

RECO, P. C.; PAULA, J. C. B.; BAPTISTA, V. C. F.; KANTHACK, R. A. D; CRUZ, F. A.; DUARTE, A. P.; MASSUD, J. R. G. Avaliação regional de cultivares de soja no estado de São Paulo em 2007/08: região do Médio Paranapanema. In: Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil. **Resumos da XXX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil**. Rio Verde: Embrapa Soja, 2008.

RECHERCHE COOPÉRATIVE SUR PROGRAMME N°77. **Cartographie géomorphologique**: travaux de la RCP 77, Mémoires et documents, Paris, CNRS, 1971.

RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para classificação dos latossolos. **Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação de aptidão agrícola**, v. 3, p. 225-232, 1988.

RICCOMINI, C. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 2, p. 153-162, 1997.

ROSOLEN, Vania; HERPIN, Uwe. Expansão dos solos hidromórficos e mudanças na paisagem: um estudo de caso na região Sudeste da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 03, p. 483-490, 2008.

ROSSI, M.; JOAQUIM, A. C.; BOGNOLA, I. A.; PRADO, H.; MENK, J. R. F.; LEPSCH, I. F. **Carta pedológica semidetalhada do Estado de São Paulo**: Folha de Maracaí. Campinas: IAC, 2000. 1 mapa, color. Escala 1:100.000 (Série APTA).

RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Paris: Éditions Foucher-AUPELF, Collection Universités francophones, 1993. 192 p.

SAAD, A. R. **Análise da produção técnico-científica**. 1997. 150 f. Texto (Concurso para obtenção do título de Livre-Docente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SAMPAIO, T. **Considerações geográficas e econômicas sobre o Valle do rio Paranapanema**. LK Bookwalter, Typographia King, 1890.

_____. **O tupi e a geografia nacional**. 4ª ed. Salvador: Câmara Municipal, 1955.

SAMPAIO, T.; DE PAULA OLIVEIRA, F.; DE AGUIAR, JFW. **Exploração dos rios Itapetininga e Paranapanema**. 1889.

SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2005.

SCHAEFER, C.E.G.R.; SÁ e MELO MARQUES, A.F. & CAMPOS, J.C.F. **Origens da pedologia do Brasil**: Resenha histórica. *Geonomos*, 5:1-15, 1997.

SCHWERTMANN, Udo. Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. In: **Soil color**, n. soilcolor, p. 51-69, 1993.

SÉGALEN, Pierre. Contribution à la connaissance de la couleur des sols à sesquioxydes de la zone intertropicale: sols jaunes et sols rouges. **Cah. Orstom, Sér. Pédol**, v. 7, n. 2, p. 225-236, 1969.

SMITH, G. D., LUQUE, O.. The lithoplinthic horizon, a diagnostic horizon for soil taxonomy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, n. 6, p. 1212-1214, 1977.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FULFARO, V.J.; AMARAL, G.; SUGUIO, K.; COIMBRA, A.M.; SOBREIRO NETO, A.F.; GIANCURSI, F.; CORREA, W.A.G.; CASTRO, C.G.J. Geologia da região sudoeste do Estado de São Paulo. In: **Simpósio Regional de Geologia**, 2, 1979, Rio Claro. Atas... Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo São Paulo, 1979, v. 2, p. 307-319.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey**. Soil Conservation Office. U.S. Dept. of Agric. Handbook, no. 436 (1975) Washington, D.C.

SOUSA NETO, E. L.; FIGUEIREDO, L. H. A.; BEUTLER, A. N. (2009). Dispersão da fração argila de um latossolo sob diferentes sistemas de uso e dispersantes. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. 2009, v.33, n.3, pp. 723-728. doi:10.1590/S0100-06832009000300024

STEIN, D.P.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, M.A.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; ALMEIDA, F.F.M. Geologia de parte dos vales dos rios Paraná e Paranapanema. In: **SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA**, 2, 1979, Rio Claro. **Atas...** Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1979, p. 291-306.

TARDY, Yves. **Péetrologie des latérites et des sols tropicaux**. 1993.

_____. **Géochimie des altérations: étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique**. 1969.

TARDY, Y.; NAHON, D. Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite, and Fe 3+-kaolinite in bauxites and ferricretes: an approach to the mechanism of concretion formation. **Am. J. Sci**, v. 285, n. 10, p. 865-903, 1985.

TARDY, Y.; KOBILSEK, B.; PAQUET, H. Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian periatlantic laterites. The influence of continental drift and tropical paleoclimates during the past 150 million years and implications for India and Australia. **Journal of African Earth Sciences (and the Middle East)**, v. 12, n. 1, p. 283-295, 1991.

TARDY, Y.; ROQUIN, C. **Derive des continents paleoclimats et altérations tropicales**. éd. BRGM, 1998.

TAVARES-FILHO, J.; MAGALHAES, F. S. Dispersão de amostras de Latossolo Vermelho eutroférico influenciadas por pré-tratamento para oxidação da matéria orgânica e pelo tipo de agitação mecânica. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. 2008, vol.32, n.4, pp. 1429-1435

THIEDE, D. S.; VASCONCELOS, P. M. Paraná flood basalts: Rapid extrusion hypothesis confirmed by new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results. **Geology**, v. 38, n. 8, p. 747-750, 2010.

THOMAS, M.F. **Tropical geomorphology**: a study of weathering and landform development in warm climates. 1974.

UAGODA, R.; COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.. Morfologia de depressões fechadas em domínio cárstico-quartzítico na bacia do ribeirão santana/mg: datações absolutas iniciais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, 2010.

VIEIRA, A. J. 1973. Geologia do centro e nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 27, Aracaju, 1973. **Anais...** Aracaju, SBG, v.3, p.259-277.

VODYANITSKII, Y. N. Iron hydroxides in soils: A review of publications. **Eurasian Soil Science**, v. 43, n. 11, p. 1244-1254, 2010.

XAVIER, R. A; COELHO NETTO, A. L. Ocorrência de depressões fechadas em divisores de drenagem na médio vale do rio Paraíba do Sul. **Geografias**. Belo Horizonte, 4 (1), 61-68. 2008.

ZAPAROLI, F. C. M. **As transformações pedológicas identificadas na Topossequência sítio São José na bacia do Córrego Aratu, Floraí – Pr.** (Dissertação de Mestrado), Pós-Graduação em Geografia PGE/UEM. Maringá: PR, 2009.