



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Instituto de Geociências

LAURA MILANI DIAS MATHIAS DE FARIA

GÊNESE DE SOLOS NA PERSPECTIVA ESPAÇO-TEMPORAL EM LOBO
ABANDONADO DO MEGALEQUE DO RIO AQUIDAUANA-MS

CAMPINAS

2020

LAURA MILANI DIAS MATHIAS DE FARIA

GÊNESE DE SOLOS NA PERSPECTIVA ESPAÇO-TEMPORAL EM LOBO
ABANDONADO DO MEGALEQUE DO RIO AQUIDAUANA-MS

TESE APRESENTADA AO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS PARA OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE DOUTORA EM GEOGRAFIA NA ÁREA DE
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL.

ORIENTADOR: PROF. DR. FRANCISCO SERGIO BERNARDES LADEIRA

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO/TESE DEFENDIDA PELA ALUNA
LAURA MILANI DIAS MATHIAS DE FARIA E
ORIENTADA PELO PROF. DR. FRANCISCO SERGIO
BERNARDES LADEIRA.

CAMPINAS

2020

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

D543g Dias, Laura Milani da Silva, 1989-
Gênese de solos na perspectiva espaço-temporal em lobo abandonado do megaleque do rio Aquidauana-MS. / Laura Milani Dias Mathias de Faria. –
Campinas, SP : [s.n.], 2020.

Orientador: Francisco Sergio Bernardes Ladeira.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Geomorfologia fluvial. 2. Dinâmica fluvial. 3. Solos - Formação. 4. Paleopedologia. I. Ladeira, Francisco Sergio Bernardes, 1965-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Soil genesis in spacial-temporal perspective in the abandoned lobe of the Aquidauana river megafan.

Palavras-chave em inglês:

Fluvial geomorphology

Fluvial dynamics

Soil formation

Paleopedology

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Doutora em Geografia

Banca examinadora:

Francisco Sergio Bernardes Ladeira [Orientador]

Ricardo Marques Coelho

Eder Renato Merino

Gustavo Souza Valladares

Antonio Carlos Vitte

Data de defesa: 17-12-2020

Programa de Pós-Graduação: Geografia

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: 0000000150718297

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/7411365793554118>



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

AUTORA: Laura Milani Dias Mathias de Faria

**GÊNESE DE SOLOS NA PERSPECTIVA ESPAÇO-TEMPORAL EM LOBO
ABANDONADO DO MEGALEQUE DO RIO AQUIDAUANA-MS**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Francisco Sergio Bernardes Ladeira

Aprovado em: 17 / 12 / 2020

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Francisco Sergio Bernardes Ladeira - Presidente

Prof. Dr. Antonio Carlos Vitte

Prof. Dr. Eder Renato Merino

Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares

Dr. Ricardo Marques Coelho

A Ata de Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora consta no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 17 de dezembro de 2020.

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Gael, ainda na barriga, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço por ser uma pessoa de muita fé e por poder usufruir de seus inúmeros benefícios em minha vida.

Agradeço a minha família, pai, mãe e irmão pelo incentivo e acolhida quando nem tudo deu certo.

Agradeço ao meu marido Marthus por todo o carinho, amor, encorajamento, preocupação e dedicação ao meu bem estar físico e mental.

Agradeço ao meu orientador Francisco Ladeira pela paciência diante dos obstáculos que me foram postos durante essa trajetória. Também agradeço pela atenção, bons papos, incentivos e os campos no Pantanal.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2014/06889-2.

Agradeço à Patrícia Mescolotti pela simpatia singular e análises LOE no Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência – LEGAL do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Agradeço ao pesquisador do Instituto Agrônômico (IAC) e meu orientador de mestrado Ricardo Marques Coelho, meu mestre da classificação de solos, pelo auxílio e revisão.

Ao querido Renan Nicastrí Ivo pelas risadas e força (literalmente) nas tradagens.

Ao sempre prestativo Cesar Henrique Farias por suas habilidades no Corel Draw.

Por fim, agradeço a oportunidade de ter conhecido esse pedaço de Brasil tão rico e único, o Pantanal. Terra que tanto sofreu este ano com os incêndios e merece mais atenção por parte do poder público.

RESUMO

Os megaleques fluviais são as principais formas deposicionais que compõem o trato sedimentar da Bacia do Pantanal. Sua paisagem extremamente dinâmica, condicionada principalmente por mudanças climáticas e avulsões, por vezes reduz a taxa de abastecimento sedimentar de algumas áreas (lobos) provocando seu abandono, condição que favorece a pedogênese. Especificamente no megaleque do rio Aquidauana, em um lobo deposicional abandonado de idade pleistocênica, foi identificada uma sucessão vertical de paleossolos denominada como Seção Anhumas. Sua descrição detalhada trouxe informações a respeito da dinâmica de sedimentação/pedogênese no local bem como indicativos de mudanças ambientais ao longo do intervalo de formação dos solos. Para compreender a distribuição espacial de tais características foi selecionado um transecto e realizada a caracterização morfológica da área, tradagens, descrições pedológicas completas de perfis, análises granulométricas, químicas, mineralógicas e geocronológicas. A partir dos resultados foram observados dois padrões distintos de perfis de solos. O primeiro apresentou mineralogia majoritariamente caulínica, presença de feições redoximórficas e com datações que indicaram depósitos com menos de 5000 anos. O segundo padrão tem presença majoritária de argilas expansivas, saturação por sódio elevada, presença de nódulos carbonáticos, indicativos de natureza poligenética e foram datados acima de 12.000 anos. Considerando que a associação entre as morfologias do relevo e a variabilidade espacial dos solos nunca é perfeita e agregando informações cronológicas e climáticas foi possível concluir que os perfis de solo do transecto são também resultado da ação pedogenética ocorrida em diferentes períodos de tempo e sob diferentes condições climáticas. A avaliação conjunta entre os fatores de formação relevo, tempo e clima demonstraram que houve uma superposição de condições distribuídas espacialmente em uma área reduzida, possibilitando que um mosaico de solos e paleossolos hoje coexistam sobre a mesma superfície geomórfica.

Palavras-chave: leques fluviais; dinâmica fluvial; pedogênese; memória do solo; paleossolos.

ABSTRACT

The fluvial megafans are the main depositional forms that make up the sedimentary tract of the Pantanal basin. Its extremely dynamic landscape, conditioned mainly by climate changes and avulsions, sometimes reduces the rate of sedimentary supply in some areas (lobes), causing its abandonment, a condition that favors pedogenesis. Specifically in the Aquidauana river megafan, a vertical section with paleosols incorporated to the sedimentary sequence was identified in a pleistocene abandoned depositional lobe, denominated as Anhumas Section. Its detailed description has unveiled information about the sedimentation-pedogenesis dynamic as well as indicators of environmental changes along the interval of soil formation. To understand the spatial distribution of such characteristics, a transect was selected and morphological categorization of the area, the complete pedological description of soil profiles, samplings, and granulometric, chemical, mineralogic and geochronologic analysis were made. From the results, two distinct patterns of soil profile were observed. The first has primarily caulinitic mineralogy, redoximorphic features and datings that indicate deposits less than 5000 years old. The second is made up primarily of expansive clay, with high sodium saturation, presence of carbonatic nodules, indicators of polygenetic nature and dating over 12000 years old. Considering that the correlation between morphologies of local relief and the spatial variability of the soils is never perfect, and aggregating the chronological and climate information, it was concluded that the soil profiles of the transect are also the result of pedogenetic action in different time periods and under different climate conditions. The combined evaluation between the relief formation factors, time and climate demonstrated that there was a superposition of conditions spatially distributed over a reduced area, allowing a mosaic of soils and paleosols to coexist over the same geomorphic surface.

Keywords: fluvial fans; fluvial dynamics; pedogenesis; soil memory; paleosols.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Trato deposicional da bacia do Pantanal..... | 20 |
| Figura 2: Perfis topográficos em leques fluviais..... | 21 |
| Figura 3: Entrincheiramento, abandono de lobos primários e formação de lobos secundários..... | 22 |
| Figura 4: Perfis de solos refletindo a variação das taxas de pedogênese e sedimentação. Em (a), a condição de sedimentação é descontínua, em (b) é contínua e em (c) houve erosão..... | 24 |
| Figura 5: Possíveis relações entre horizontes em paleossolos reliquiais..... | 27 |
| Figura 6: Localização do rio Aquidauana e do município homônimo..... | 29 |
| Figura 7: Modelo digital de elevação (MDE) derivado de imagem Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) destacando o contato topográfico entre o megaleque do Aquidauana e a Serra de Maracaju-Campo Grande..... | 30 |
| Figura 8: Trato deposicional da Bacia do Pantanal com indicação do megaleque do Rio Aquidauana..... | 31 |
| Figura 9: Compartimentos geomorfológicos do megaleque do rio Aquidauana..... | 32 |
| Figura 10: Representação do balanço hídrico do município de Aquidauana, MS..... | 34 |
| Figura 11: Mapa geológico da área..... | 35 |
| Figura 12: Em a) Terraços formados pelo entrincheiramento do rio Aquidauana. Em b) Seção Anhumas..... | 36 |
| Figura 13: Pontos selecionados para descrição pedológica e coleta de amostras no compartimento (i) lobo deposicional pleistocênico..... | 37 |
| Figura 14: Área selecionada para estudo pedológico no lobo deposicional pleistocênico com posicionamento das trincheiras e tradagens..... | 38 |
| Figura 15: Distribuição dos 778 pontos de levantamento planialtimétrico | 40 |
| Figura 16: Seção Anhumas com indicação de três perfis de paleossolo e (R) depósito com estruturas sedimentares preservadas..... | 44 |
| Figura 17: Descrição pedológica da seção Anhumas..... | 46 |
| Figura 18: Difratograma padrão para os horizontes B texturais comparando amostra natural (Bt _n), glicolada (Bt _{gl}), aquecida a 300 °C (Bt ₃₀₀) e a 550 °C (Bt ₅₅₀)..... | 51 |
| Figura 19: Difratograma padrão para os horizontes vérticos comparando amostra natural (Bv _n), glicolada (Bv _{gl}), aquecida a 300 °C (Bv ₃₀₀) e a 550 °C (Bv ₅₅₀)..... | 52 |

| | |
|---|----|
| Figura 20: em a) rizólito de CaCO ₃ e em b) nódulo carbonático septário..... | 53 |
| Figura 21: Modelo digital de elevação gerado a partir do levantamento planialtimétrico da área..... | 54 |
| Figura 22: Distribuição dos perfis de solo em perfil topográfico da área..... | 55 |
| Figura 23: Em (a), ao fundo da foto, cordão florestal da morfologia das cordilheiras. Em (b), posicionamento do perfil 1 (P1) em cordilheira..... | 55 |
| Figura 24: Em (a), imagem com identificação de pequena elevação circular. Em (b), imagem com identificação da morfologia de vazante..... | 56 |
| Figura 25: Vegetação arbustiva e espinhosa associada às elevações circulares..... | 57 |
| Figura 26: Representação das 26 tradagens..... | 58 |
| Figura 27: Fendas de ressecamento nas depressões da planície de inundação..... | 59 |
| Figura 28: Foto do perfil 1 (P1) com identificação dos horizontes..... | 60 |
| Figura 29: Em (a), nódulos de ferro frequentes no horizonte Ec. Em (b), detalhe dos horizontes Ec e Btfl (B plíntico)..... | 63 |
| Figura 30: Difratoograma do horizonte Btfl. Em vermelho, amostra natural. Em azul, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em verde, amostra após queima de 550°C..... | 64 |
| Figura 31: Foto do perfil 2 (P2) com identificação dos horizontes..... | 66 |
| Figura 32: Em (a), cerosidade forte/abundante que definem estruturas prismáticas. Em (b), pequenos nódulos carbonáticos no horizonte Btg2..... | 67 |
| Figura 33: Difratoograma do horizonte Btgn1. Em vermelho, amostra natural. Em azul, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em verde, amostra após queima de 550°C..... | 70 |
| Figura 34: Foto do perfil 3 (P3) com identificação dos horizontes..... | 71 |
| Figura 35: Películas de areia recobrindo os pedos no horizonte Bg1 e Bg2..... | 73 |
| Figura 36: Difratoograma do horizonte Bg1. Em vermelho, amostra natural. Em azul, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em verde, amostra após queima de 550°C..... | 74 |
| Figura 37: Foto do perfil 4 (P4) com identificação dos horizontes..... | 76 |
| Figura 38: Em (a), cunhas de areia que penetram o horizonte 2Bg2. Em (b), grandes nódulos carbonáticos no horizonte 2Bg3..... | 77 |

| | |
|--|----|
| Figura 39: Em (a) Difratoograma do horizonte Bg1 com amostra natural, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol e amostra após queima de 550°C. Em (b), difratoograma do horizonte 2Bg2 com amostra natural, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol e amostra após queima de 550°C..... | 80 |
| Figura 40: Foto do perfil 5 (P5) com identificação dos horizontes..... | 81 |
| Figura 41: Vista dos perfis 4 (P4) e 5 (P5) para comparação das feições morfológicas..... | 82 |
| Figura 42: Em (a), estrutura colunar em horizonte Bt1. Em (b), <i>slickensides</i> preenchidos por areia no horizonte 2Bvn1..... | 84 |
| Figura 43: Difratoograma padrão para os horizontes do perfil 5 (P5). Em vermelho, amostra natural. Em azul, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em verde, amostra após queima de 550°C..... | 85 |
| Figura 44: Foto do perfil 6 (P6) com identificação dos horizontes..... | 88 |
| Figura 45: Difratoograma padrão para os horizontes do perfil 6 (P6). Em vermelho, amostra natural. Em azul, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em verde, amostra após queima de 550°C..... | 91 |
| Figura 46: Foto do perfil 7 (P7) com identificação dos horizontes..... | 93 |
| Figura 47: Difratoograma do horizonte Bt do perfil 7 (P7). Em vermelho, amostra natural. Em azul, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em verde, amostra após queima de 550°C..... | 95 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Distribuição granulométrica da seção Anhumas..... | 47 |
| Tabela 2: Descrição morfológica da seção Anhumas..... | 49 |
| Tabela 3: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX dos horizontes da seção Anhumas..... | 50 |
| Tabela 4: Dados químicos da seção Anhumas..... | 50 |
| Tabela 5: Distribuição granulométrica do perfil 1 (P1)..... | 61 |
| Tabela 6: Descrição morfológica do perfil 1 (P1)..... | 62 |
| Tabela 7: Descrição nodular do perfil 1 (P1)..... | 62 |
| Tabela 8: Análise química do perfil 1 (P1)..... | 65 |
| Tabela 9: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX nos horizontes diagnósticos do perfil 1 (P1)..... | 65 |
| Tabela 10: Distribuição granulométrica do perfil 2 (P2)..... | 67 |
| Tabela 11: Descrição morfológica do perfil 2 (P2)..... | 68 |
| Tabela 12: Descrição nodular do perfil 2 (P2)..... | 68 |
| Tabela 13: Análise química do perfil 2 (P2)..... | 69 |
| Tabela 14: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico do perfil 2 (P2)..... | 69 |
| Tabela 15: Descrição morfológica do perfil 3 (P3)..... | 72 |
| Tabela 16: Descrição nodular do perfil 3 (P3)..... | 72 |
| Tabela 17: Distribuição granulométrica do perfil 3 (P3)..... | 73 |
| Tabela 18: Análise química do perfil 3 (P3)..... | 75 |
| Tabela 19: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico do perfil 3 (P3)..... | 75 |
| Tabela 20: Descrição morfológica do perfil 4 (P4)..... | 78 |
| Tabela 21: Distribuição granulométrica do perfil 4 (P4)..... | 78 |
| Tabela 22: Descrição nodular do perfil 4 (P4)..... | 79 |
| Tabela 23: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico do perfil 4 (P4)..... | 79 |
| Tabela 24: Dados químicos do perfil 4 (P4)..... | 79 |
| Tabela 25: Distribuição granulométrica do perfil 5 (P5)..... | 82 |
| Tabela 26: Descrição morfológica do perfil 5 (P5)..... | 83 |

| | |
|---|----|
| Tabela 27: Descrição nodular do perfil 5 (P5)..... | 86 |
| Tabela 28: Dados químicos do perfil 5 (P5)..... | 86 |
| Tabela 29: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico do perfil 5 (P5)..... | 87 |
| Tabela 30: Descrição nodular do perfil 6 (P6)..... | 89 |
| Tabela 31: Distribuição granulométrica do perfil 6 (P6)..... | 89 |
| Tabela 32: Descrição morfológica do perfil 6 (P6)..... | 90 |
| Tabela 33: Dados químicos do perfil 6..... | 92 |
| Tabela 34: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico do perfil 6 (P6)..... | 92 |
| Tabela 35: Distribuição granulométrica do perfil 7 (P7)..... | 94 |
| Tabela 36: Descrição morfológica do perfil 7 (P7)..... | 95 |
| Tabela 37: Dados químicos do perfil 7 (P7)..... | 95 |
| Tabela 38: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico do perfil 7 (P7)..... | 95 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 16 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 18 |
| 2.1 LEQUES FLUVIAIS NO TRATO DEPOSICIONAL DA BACIA DO PANTANAL..... | 18 |
| 2.2 PERFIS DE SOLOS NOS LEQUES FLUVIAIS DA BACIA DO PANTANAL..... | 23 |
| 2.2.1 PALEOSSOLOS E A DINÂMICA SEDIMENTAÇÃO/PEDOGÊNESE..... | 23 |
| 2.2.2 SOLOS ATUAIS E A PAISAGEM DO PANTANAL..... | 27 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 29 |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDO..... | 29 |
| 3.1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA..... | 29 |
| 3.1.2 CLIMA ATUAL..... | 34 |
| 3.1.3 GEOLOGIA..... | 35 |
| 3.1.4 LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS DE SOLO..... | 36 |
| 3.2 METODOLOGIA DA PESQUISA..... | 39 |
| 3.2.1 CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA..... | 39 |
| 3.2.2 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA, AMOSTRAGEM E CLASSIFICAÇÃO DOS PERFIS..... | 40 |
| 3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS..... | 41 |
| 3.3.1 GRANULOMETRIA..... | 41 |
| 3.3.2 ROTINA PEDOLÓGICA E FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X..... | 41 |
| 3.3.3 MINERALOGIA..... | 42 |
| 3.3.4 ANÁLISE POR LUMINESCÊNCIA OPTICAMENTE ESTIMULADA (LOE/SAR)..... | 43 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 44 |
| 4.1 DESCRIÇÃO GERAL DA SEÇÃO ANHUMAS..... | 44 |
| 4.1.1 VARIAÇÕES AMBIENTAIS E A SEÇÃO ANHUMAS..... | 52 |
| 4.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA..... | 54 |
| 4.3 DESCRIÇÃO GERAL DAS TRADAGENS..... | 57 |
| 4.4 DESCRIÇÃO GERAL DOS PERFIS..... | 60 |
| 4.4.1 PERFIL 1 (P1)..... | 60 |
| 4.4.2 PERFIL 2 (P2)..... | 66 |
| 4.4.3 PERFIL 3 (P3)..... | 71 |
| 4.4.4 PERFIL 4 (P4)..... | 76 |
| 4.4.5 PERFIL 5 (P5)..... | 81 |

| | |
|--|-----|
| 4.4.6 PERFIL 6 (P6)..... | 88 |
| 4.4.7 PERFIL 7 (P7)..... | 93 |
| 4.5 ANÁLISE DA RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM..... | 96 |
| 4.6 CORRELAÇÃO COM A SEÇÃO ANHUMAS..... | 97 |
| 4.7 HIERAQUIA DE PROCESSOS E EVOLUÇÃO DA PAISAGEM..... | 99 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 100 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 101 |

1 INTRODUÇÃO

O Pantanal é uma bacia sedimentar quaternária tectonicamente ativa que compreende área sazonalmente inundada com aproximadamente 150.000 km², uma das maiores áreas alagáveis contínuas do planeta (Por, 1995; Assine, 2003; Padovani, 2010).

Leques fluviais de grande extensão (megaleques) que se diferenciam de acordo com sua área fonte de sedimentos (Assine et al., 2015) são considerados seus ambientes deposicionais principais e os grandes responsáveis pelo modelado da paisagem pantaneira. Dentre esses sistemas, os leques localizados na borda leste da bacia do Pantanal são bastante expressivos devido as grandes dimensões. Suas áreas de captação estão nos planaltos desenvolvidos em depósitos paleozoico-mesozoicos da bacia sedimentar do Paraná. É o caso do megaleque fluvial do rio Aquidauana (Facincani et al., 2006).

Em compartimentação geomorfológica foi reconhecido e individualizado na porção proximal do megaleque do rio Aquidauana um lobo deposicional abandonado de idade pleistocênica (Merino, 2016). Esta morfologia, análoga a outros megaleques que compõem o trato da bacia, é resultado de uma paisagem que muda continuamente, pois sua sedimentação se processa através da construção e abandono de lobos (Assine et al., 1997; Assine, 2003).

Este domínio pleistocênico ocupa 70% de todo o megaleque e sua superfície pode ser reconhecida por uma complexa rede de paleocanais distributários superimpostos cortados em sentido longitudinal por um grande cinturão de meandros que corre em vale inciso (entrincheirado), escavado em período holocênico pelo rio Aquidauana (Facincani e Assine, 2010; Assine et al., 2015).

O lobo com sedimentação ativa localiza-se apenas entre o final do cinturão de meandros e a foz com o rio Miranda. Um importante evento avulsivo mudou a direção de fluxo do rio Aquidauana e causou o abandono de sua parte superior que, embora não receba o fluxo de água do rio, recebe escoamento pluvial e desenvolve uma dinâmica de inundação durante a estação chuvosa responsável por erodir, retrabalhar sedimentos previamente depositados (Assine et al., 2015; Merino, 2016) e promover intensa pedogênese.

Ao criar tempo hábil, o abandono da área expressa condição favorável para o desenvolvimento de solos. Baseado na dinâmica entre sedimentação/pedogênese, os solos podem se formar quando há períodos de estabilidade da paisagem em que a taxa de sedimentação não excede a taxa de pedogênese (Kraus, 1999). Se a sedimentação é baixa, episódica, ou apresenta longos intervalos, permite-se o desenvolvimento de horizontes de

solos. Se a taxa de sedimentação é alta e contínua, o fator tempo pode não viabilizar a formação de qualquer horizonte de solo (Wright, 1992).

Nos últimos anos, muitas pesquisas foram desenvolvidas sobre o trato deposicional e a dinâmica hidrológica da bacia do Pantanal. No entanto, esses trabalhos concentram-se nas áreas da geomorfologia e sedimentologia. Em pedologia, os trabalhos ainda são limitados, principalmente no que diz respeito à borda sul e sudeste do Pantanal. Apesar disso, contribuições importantes que utilizam a abordagem solo-paisagem possibilitam dizer, de maneira geral, que há uma forte tendência na associação de processos pedogenéticos e ordens de solo a feições típicas da paisagem e ao controle geomofológico sobre as alterações nas propriedades dos solos (Barbiero et al., 2002; Barbiero, et al., 2008; Ferreira Junior, 2009; Furquim et al., 2010, Nascimento, 2012; Nascimento et al., 2015).

Especificamente no megaleque do rio Aquidauana, apesar de pouco comum devido à topografia plana, foi descrita a seção Anhumas. Com 7,5 metros, ela foi exposta pela incisão do rio de mesmo nome que formou terraços. Em sua base foram identificados sedimentos arenosos sem evidências de pedogênese e com estruturas sedimentares cruzadas preservadas. Enquanto na porção superior, há perfis de paleossolos bem desenvolvidos onde a pedogênese não só prevaleceu mas também apagou qualquer estrutura sedimentar. O primeiro segmento demonstra que havia uma sedimentação mais expressiva onde nenhum perfil de solo pôde se desenvolver e, no segundo segmento, a pedogênese obliterou as estruturas sedimentares e demonstrou que houve um hiato deposicional. A presença de um paleossolo enterrado implica, necessariamente, um período estável naquela paisagem (Schaetzl e Anderson, 2005).

Para além da informação sobre os dois diferentes momentos da dinâmica entre sedimentação e pedogênese pelas quais a paisagem foi submetida, no segmento em que predomina a pedogênese há três perfis de paleossolos que guardam em sua memória feições indicativas de ambientes com condições climáticas distintas durante seus intervalos de formação. Há um PLANOSSOLO HÁPLICO com mosqueamento abundante, nódulos de ferro e películas de manganês e dois VERTISSOLOS HÁPLICOS com presença de nódulos/rizólitos carbonáticos e estruturas definidas por superfícies de fricção (*slickensides*).

Tendo em vista as contribuições bibliográficas já publicadas e as situações observadas na seção Anhumas, foi selecionado um transecto de solos em área adjacente e admitida a seguinte hipótese. Apesar de os solos terem se desenvolvido em diferentes momentos e condições climáticas, dando origem a um mosaico de solos e paleossolos

coexistindo na mesma superfície geomórfica, é possível estabelecer associações entre o relevo local e a variabilidade dos solos.

Assim, como escopo geral da pesquisa, buscou-se origem para a heterogeneidade dos solos considerando não apenas sua distribuição espacial mas também a cronologia de condições ambientais atuantes durante a sua formação por meio dos objetivos específicos: i) avaliar a relação entre os solos/paleossolos da atual superfície e o relevo da área; ii) identificar descontinuidades causadas por eventos de sedimentação ou erosão e a sobreposição de perfis de solo; iii) identificar feições pedológicas indicativas de climas pretéritos, iv) hierarquizar os processos pedogenéticos identificados e v) elaborar uma proposta evolutiva para a área.

Desta maneira, o trabalho buscou contribuir para o conhecimento pedológico ainda incipiente no Pantanal em duas perspectivas. A espacial, em que a relação solo-paisagem orientada por morfologias típicas deste ambiente foi corroborada e a temporal, na qual perseguimos associações entre feições pedogenéticas e condições climáticas pretéritas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 LEQUES FLUVIAIS NO TRATO DEPOSICIONAL DA BACIA DO PANTANAL

O termo leque aluvial é utilizado para definir sistemas em que o padrão de drenagem é mais distributário do que contributário. Em forma de leque aberto ou de segmento de cone, são encontrados em todas as latitudes da superfície terrestre e sobre diferentes condições climáticas. Porém, suas descrições foram feitas inicialmente em regiões áridas. A interpretação mais aceita na formação de um leque aluvial é a de uma drástica redução no gradiente topográfico entre a porção erodida e a porção de recebimento da carga sedimentar (Denni, 1967; Bull, 1977; Miall, 1990; Junk et al., 2006; Weismann et al., 2010).

Há grande contribuição para o termo “leque aluvial” em trabalhos realizados em clima árido. No entanto, nas regiões intertropicais úmidas como o Pantanal os rios desempenham importante papel para o desenvolvimento dos leques, tendo sido incorporadas as terminologias “leques dominados por rios”, “leques fluviais” ou ainda “megaleques fluviais”. O Taquari é o mais notável dos megaleques por sua geomorfologia circular incomum e sua vasta área, aproximadamente 50.000 km², o que o torna facilmente identificável em imagens de satélite. Mas também têm grandes dimensões os leques formados

pelos rios São Lourenço (segundo maior leque do Pantanal com 16.000 km²) e Aquidauana (3.000 km²) (Assine, 2003, 2005; Facincani, 2006, 2007; Assine et al., 2014).

O sítio de sedimentação da bacia do Pantanal abriga um dinâmico sistema de planícies aluviais e megaleques fluviais cujas águas são drenadas pelo rio Paraguai, chamado de rio-tronco e considerado nível de base regional (Assine, 2003).

De acordo com classificações geológicas e geomorfológicas da área, foram identificadas quatro principais categorias neste sistema (Assine et al., 2015): a) leques fluviais com área fonte em planaltos sedimentares, b) leques fluviais com área fonte em terrenos pré-cambrianos rebaixados, c) planícies tronco do rio Paraguai e d) planícies interleques (Figura 1).

Em se tratando da primeira categoria (a), os megaleques do Taquari, São Lourenço, Aquidauana, Taboco, Itiquira e Negro foram formados por rios com elevados potenciais erosivos que dissecaram planaltos adjacentes à bacia e que, ao adentrarem a planície, passam por mudança nos gradientes topográficos, alargamento de seus vales para espraiamento do fluxo e conseqüente queda na velocidade das águas (Cordeiro et al., 2010).

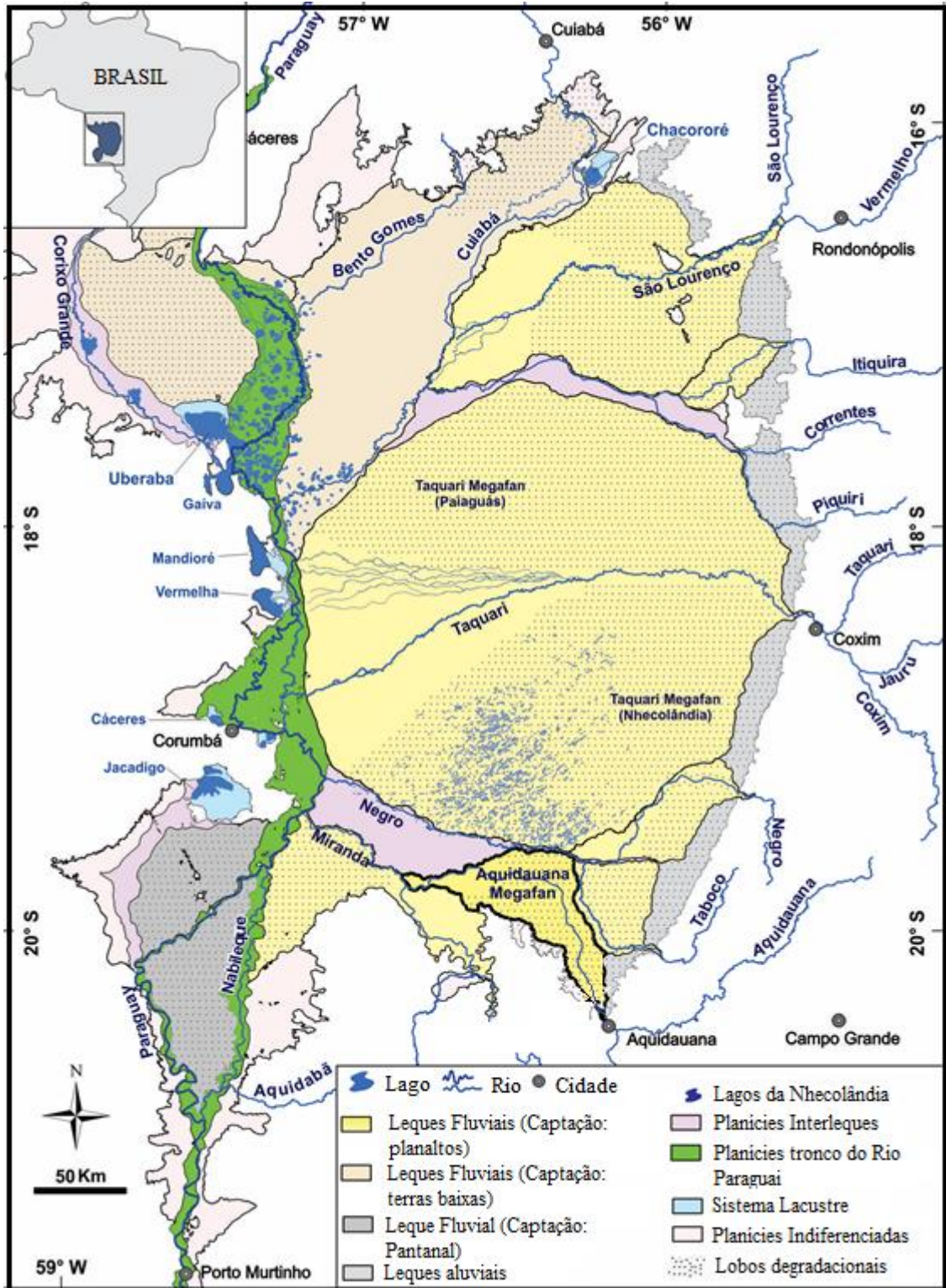


Figura 1: Trato deposicional da bacia do Pantanal.

Fonte: (Modificado de Assine et al., 2015)

Quanto à morfologia interna desses leques fluviais, sua altitude decresce das cabeceiras para a base, dando origem a perfis longitudinais em forma côncava e perfis transversais em forma convexa (Figura 2). Em todos eles, foram identificados na área

proximal, cinturões meandrantos ativos que entrincheiraram os depósitos de idade pleistocênica. Enquanto na área distal, os leques exibem rios com baixa sinuosidade e canais pouco confinados que formam áreas de sedimentação modernas e ativas.

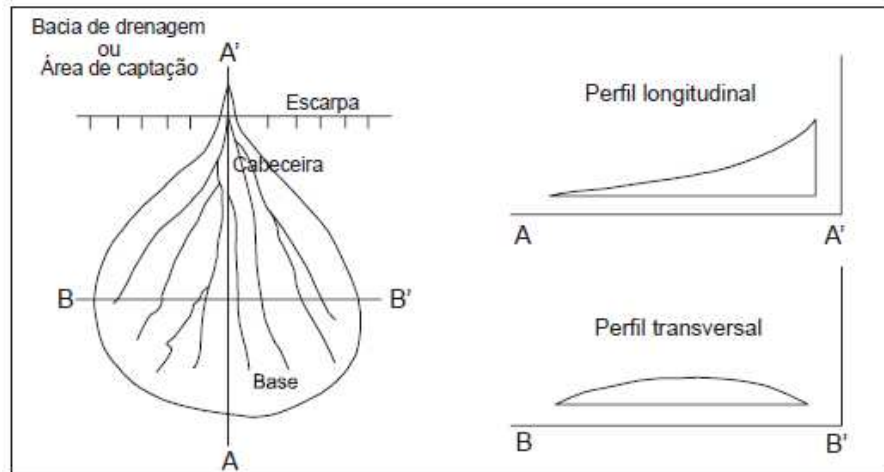


Figura 2: Perfis topográficos em leques fluviais.

Fonte: (Assine, 2003)

Apesar de apresentarem essas morfologias típicas, a paisagem dos leques é extremamente dinâmica, sendo condicionada por fatores autogênicos, como a construção e o abandono de lobos (geofoma deposicional circular) e avulsões, mas também por fatores alogênicos, relacionados principalmente a mudanças climáticas (Ab'Saber, 1988; Assine et al., 2005; Hartley et al., 2010; Zani et al., 2012). Neste caso, dados cronológicos disponíveis indicam que a paisagem atual do Pantanal tem mudado numa adaptação ao clima do período Holoceno, mais quente e úmido (Assine et al., 1997).

Embora o clima tenha sido alterado, os leques não se tornaram sistemas fósseis. O intemperismo sobre os sedimentos dos leques foi aumentado devido a maior disponibilidade de água, assim como a erosão dos lobos primários e o entrincheiramento dos rios. Os sedimentos erodidos foram carregados pelo rio dando origem a lobos secundários em direção às áreas mais baixas (Figura 3), processo que pode ocorrer repetidas vezes (Denny, 1967; Assine, 2003).

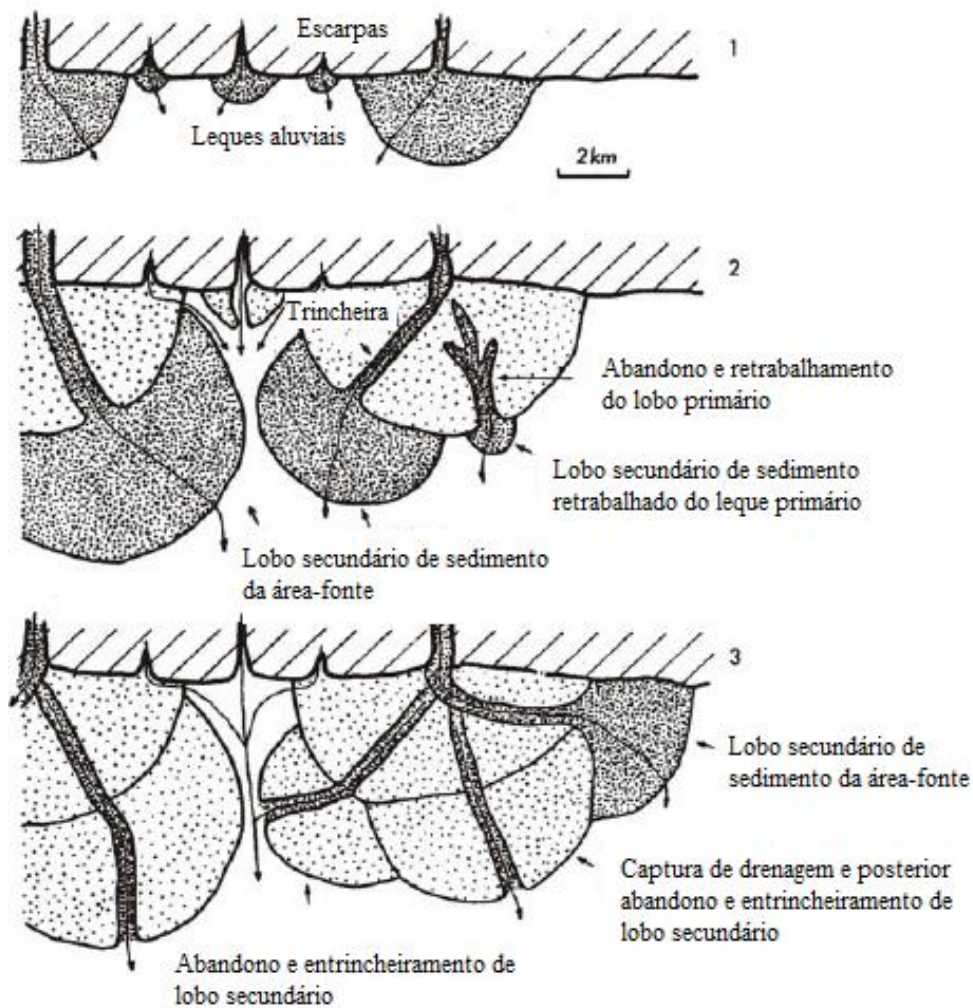


Figura 3: Entincheiramento, abandono de lobos primários e formação de lobos secundários.
Fonte: (Adaptado de Denny, 1967).

Nos segmentos distais onde não houve entincheiramento (incisão fluvial), o fluxo não confinado do canal reduz a capacidade de transporte de sedimentos e leva ao assoreamento. Seu traçado apresenta-se mais vulnerável, principalmente quando submetidos a grandes cheias (Assine, 2003; Zani et al., 2012). É comum que o aumento no volume de água durante as cheias provoquem o transbordamento dos rios desencadeando rompimentos laterais (crevasses) que, eventualmente, podem evoluir para avulsões. As avulsões provocam divisão do canal, dando origem a um distributário, ou em casos extremos, o abandono do antigo canal e a completa mudança do curso do rio para outra direção. Os pontos de rompimento dos diques marginais são chamados pela população local de “arrombados” (Assine, 2003; Slingerland e Smith, 2004; Assine et al., 2005).

2.2 PERFIS DE SOLOS NOS LEQUES FLUVIAIS DA BACIA DO PANTANAL

2.2.1 PALEOSSOLOS E A DINÂMICA SEDIMENTAÇÃO/PEDOGÊNESE

A dinâmica da paisagem nos leques fluviais dá origem a áreas estáveis representadas nesses ambientes pelos lobos que foram abandonados. Seu abandono reduz a taxa de abastecimento sedimentar possibilitando a formação de perfis de solo (Wright, 1992).

A pedogênese é favorecida porque os solos só podem se desenvolver em superfícies relativamente estáveis, sendo possível afirmar que, quanto maior for a entrada de sedimentos, menor a probabilidade de um solo se desenvolver (Kraus, 1999). Ou ainda, que o desenvolvimento do solo é inversamente relacionado à entrada de sedimentos (Leeder 1975). Em se tratando do período de tempo durante o qual o solo pode se formar (período solo-formador) há muito mais variáveis, a exemplo do tipo climático (Morrison, 1967).

A medida que os solos encontram superfícies estáveis para se desenvolverem tornam-se marcadores de que, por um determinado período de tempo, naquela superfície, ocorreu pouca deposição de sedimentos (Ruhe, 1956; Bull, 1991). Eles continuarão a evoluir até que, eventualmente, a superfície seja soterrada ou erodida (Ruhe et al.; 1971).

Para Kraus (1992) e Wright (1992) os perfis de solo refletem a ciclicidade entre sedimentação e pedogênese durante sua formação através de sua espessura e grau de desenvolvimento. Solos pouco espessos (fracamente desenvolvidos) indicam ciclo curto, enquanto perfis muito espessos (desenvolvidos) indicam grandes hiatos na sedimentação. Ainda é possível a formação de perfis múltiplos quando a sedimentação é descontínua, sendo comum encontrar nesses ambientes solos incorporados a sequências sedimentares verticais. Quando ocorre erosão, têm origem os solos com superfícies truncadas (Figura 4).

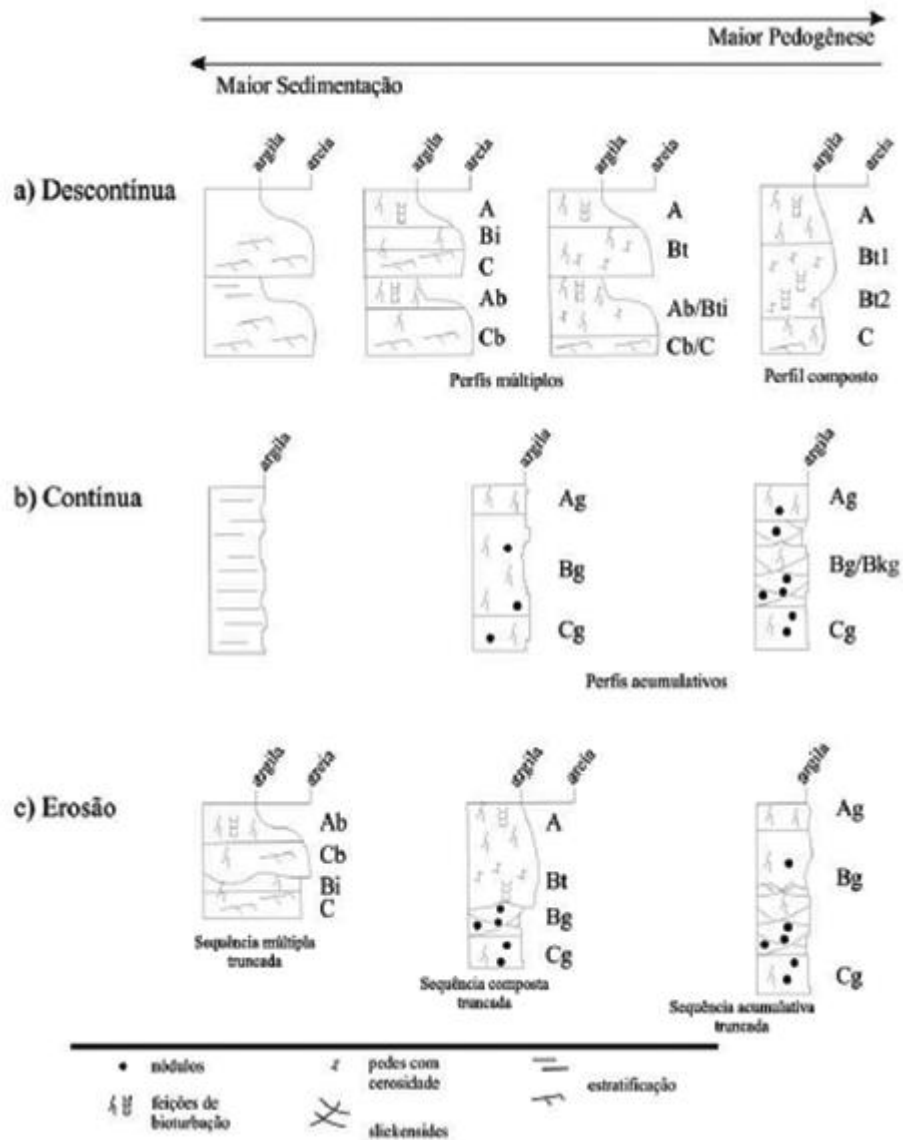


Figura 4: Perfis de solos refletindo a variação das taxas de pedogênese e sedimentação. Em (a), a condição de sedimentação é descontínua, em (b) é contínua e em (c) houve erosão. Fonte: Kraus (1999).

Sob a ótica da paleopedologia e das reconstruções paleoclimáticas, Targulian e Sokolov (1978) descreveram a expressão “memória do solo” como sendo sua capacidade de registrar fenômenos ambientais através de processos pedogenéticos. Esses registros são muito diversos, podendo ser de biogênicos (plantas fósseis, fitólitos) a geoquímicos (sais, carbonatos). Para os autores, a pedogênese pode ser considerada não apenas como um processo que ocorre na superfície terrestre, mas também um processo de gravação das informações ambientais *in situ*.

Hoje, o conceito de memória do solo é uma importante base teórica para as áreas que lidam com o comportamento do solo ao longo do tempo e com condições ambientais do

passado. Levando em conta a experiência mundial existente em gênese do solo e espacialização geográfica dos solos, é possível afirmar que cada tipo de clima é refletido na diversidade do solo e que essa relação deve ser obrigatoriamente considerada (Targulian e Goryachkin, 2004). O significado paleoambiental dos solos também foi levado em consideração, por exemplo, por Fedoroff et al., 1990; Kemp, 1999; Felix-Henningsen e Mauz, 2004 e Ferraro et al., 2004.

A memória do solo é um conceito muito semelhante ao do palimpsesto, palavra de origem grega que descreve um pergaminho utilizado para registro de informações. Catt (1990) considera que todos os solos (exceto os mais jovens) são um palimpsesto que guarda informações pretéritas referentes ao clima, vegetação ou geomorfologia.

Schaetzl e Anderson (2005) chamaram-nos de pedo-palimpsesto ao descreverem diversas propriedades do solo associadas a um determinado tipo de situação ou condição ambiental. Mas é importante ressaltar que, na natureza, e especialmente para os solos que por algum motivo se mantiveram em superfície, seu desenvolvimento se torna geralmente poligenético. Dessa forma, o ambiente ou a atuação dos fatores de formação do solo mudam com o tempo e o solo continua a evoluir depois que o modo com que os fatores atuam muda. Isso resulta na sobreposição de memórias, também chamada de sobreposição palimpsestal. Em tais casos, a memória do solo é uma combinação complexa de “camadas” mais antigas de memória do solo que não são apagadas, mas modificadas, onde o novo registro é sobreposto ao antigo (Targulian e Bronnikova, 2019).

Estudos revelam que quase todos os paleossolos foram afetados por processos de retrabalhamento, podendo ser erosão, transporte, deposição ou agregação (Retallack, 2005; Sephton et al., 2005) e que algumas propriedades possibilitam discernir melhor a condição climática vigente no período de formação do solo, como morfologia e mineralogia (Dormaar e Lutwick, 1983; Karlstrom e Osborn, 1992).

Solos que guardam memórias de antigos ambientes e mantêm registros a respeito do clima, cobertura vegetal, formas de relevo, intensidade da pedogênese e taxas de sedimentação vigentes durante sua formação incluem-se na definição de paleossolos (Wright, 1992; Kraus, 1992), mesmo quando mantidos em superfície e influenciados por mudanças ambientais posteriores (Retallack, 1990) ou ainda os solos pertencentes à cobertura atual, mas que possuem características herdadas do passado, resultantes de condições ambientais diferentes das que ocorrem hoje (Fedoroff et al., 2010).

Também são considerados paleossolos, os solos antigos que foram soterrados e incorporados a sequências sedimentares (Andreis, 1981) e aqueles cujas condições

responsáveis por sua gênese não mais ocorrem (Meyer, 1987), sendo excluídos os solos que, apesar de soterrados, não apresentam qualquer tipo de registro de alteração ambiental, não resultando de condições ambientais pretéritas (Ladeira, 2010).

Ainda buscando definições, diferentes tipos de paleossolos foram categorizados como sendo: (i) reliquiaes, (ii) soterrados e (iii) exumados (Ruhe, 1956, 1965, 1970; Andreis, 1981).

A primeira categoria corresponde aos solos que permaneceram expostos desde sua formação em ambientes antigos, até os dias de hoje. Assim, suas propriedades resultam do somatório de processos pedológicos superpostos que se sucederam nesse espaço de tempo, ou seja, são poligenéticos. Condições ótimas para interpretar paleoclimas nesses solos ocorrem quando a precipitação ou mudanças de temperatura são grandes o suficiente para produzir novas propriedades do solo, mas não para obliterar propriedades já existentes. Quanto ao tempo que um solo deve permanecer na superfície para ser considerado um paleossolo reliquiaes, Nettleton et al. (1989) argumentou que ele deve exibir horizontes ou características formadas em ambientes pré-holocênicos, diferentes de hoje.

São muito raramente preservados como perfis completos e costumam apresentar descontinuidades fáceis de identificar em campo, como truncamentos, linhas de pedra e sobreposições texturais. Esses perfis podem ser: (i) justapostos, quando as feições pedológicas do horizonte superior não penetram no horizonte inferior, (ii) sobrepostos, quando há penetração de feições na camada subjacente ou (iii) cumulativos, quando uma feição ocorre sem mudança significativa de um horizonte para o outro (Fedoroff et al., 2010) (Figura 5).

Os paleossolos soterrados são aqueles formados em uma superfície de relevo pretérita, recobertos por depósitos sedimentares, sendo sua gênese independente das condições ambientais na superfície atual, pois suas características pedológicas ficaram preservadas pelo soterramento.

Por fim, os exumados são aqueles que estiveram soterrados, guardaram suas características pedológicas durante certo tempo e, posteriormente, foram expostos à nova pedogênese, mais recente, em decorrência da erosão dos materiais sobrepostos.

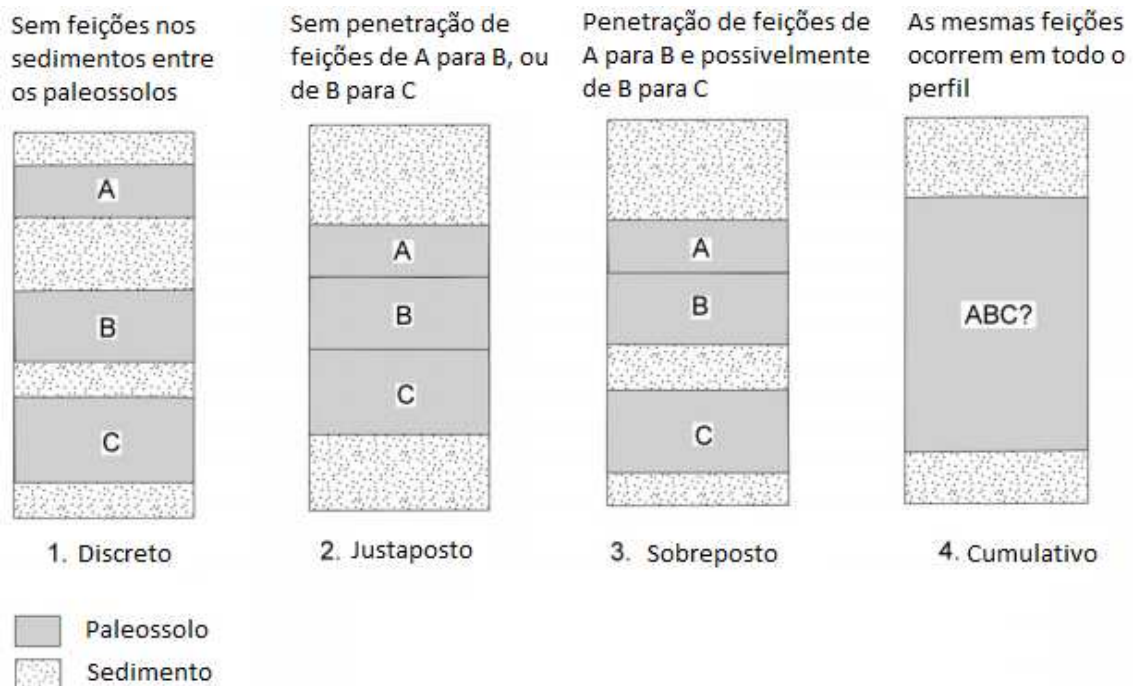


Figura 5: Possíveis relações entre horizontes em paleossolos reliquiais.

(Fonte: Fedoroff et al., 2010).

2.2.2 SOLOS ATUAIS E A PAISAGEM NO PANTANAL

No contexto atual da Bacia do Pantanal, com clima quente e estação seca bem definida, já foram identificados diversos processos pedogenéticos como biopedoturbação, redoximorfismo (gleização, plintização e ferrólise), petroplintização, argiluviação, salinização, carbonatação, sodificação, solodização e vertissolização. A ocorrência desses processos e as pequenas variações topográficas e sedimentares definem a elevada diversidade de tipos de solos presentes na área, representada por Planossolos, Plintossolos, Cambissolos Flúvicos, Gleissolos, Luvissolos, Vertissolos, Chernossolos, Espodossolos, Neossolos Flúvicos e Quartzarênicos (FAO, 1988).

No entanto, apesar de haver grande heterogeneidade, algumas características aparecem com maior frequência como os mosqueados, os nódulos de ferro e manganês, os gradientes texturais e o acúmulo de sódio (Santos et. al., 1997).

Parte significativa dos solos do Pantanal permanece saturada ou inundada por períodos que variam de alguns dias a vários meses. Por isso, a ocorrência dos solos hidromórficos é bastante ampla e as características morfológicas destes solos advêm, principalmente, dos processos de redução e oxidação do ferro e do manganês (Coringa et al.; 2012). Como consequência, os processos pedogenéticos mais comuns são a gleização e a plintização, responsáveis pelas cores cinzas no todo ou em algumas partes do perfil de várias ordens de solo e pela formação de horizontes com ocorrência de plintita. As plintitas ocorrem tanto em solos com desenvolvimento pedogenético incipiente quanto em solos mais desenvolvidos e são característica diagnóstica da ordem dos Plintossolos e de solos intermediários a eles (Couto e Oliveira, 2010).

A relação dos solos com a dinâmica das cheias permite dizer que, nos solos que estão sob influência direta das inundações (porções mais baixas), as feições redoximórficas são mais contrastantes. Progressivamente, essas feições se tornam menos evidentes à medida que se caminha para as porções elevadas (Beirigo, 2008).

Por outro lado, os solos que não estão sob influência da inundação, localizados nas partes mais altas da paisagem, podem apresentar acúmulo de sódio e vem sendo considerados uma evidência das mudanças climáticas que ocorreram no Pantanal. Os gradientes texturais, por sua vez, são comuns independentemente da porção do relevo e resultam da combinação de processos pedogenéticos e sedimentares (Coringa et al., 2012; Nascimento et al, 2015).

Especificamente no Pantanal, trabalhos que associam os solos às diferentes unidades geomorfológicas dentro do leque são relativamente recentes (Furquim et al., 2010; Nascimento, 2012; Sousa e Souza, 2013; Nascimento et al. 2015; Cardoso et al., 2016; Oliveira Junior, 2017) e são especialmente relacionados a solos desenvolvidos no Holoceno, procurando associar o desenvolvimento destes solos às condições atuais/subatuais. Associações entre ordens de solo e as morfologias típicas da paisagem pantaneira também são possíveis. Luvisolos e Planossolos têm sido frequentemente identificados em porções mais altas do relevo (Oliveira et al., 2006; Beirigo, 2008; Nascimento, 2012; Nascimento et al., 2015). Nestas porções, é frequente a presença de caráter sódico ou solódico. Nas porções baixas das planícies de inundação (vazantes e corixos) ocorrem os Plintossolos, Gleissolos, Vertissolos e Neossolos flúvicos (FAO, 1988; Fernandes et. al., 2007; Ferreira Junior, 2009). Já os solos localizados nos antigos canais/paleocanais são frequentemente Neossolos Quartzarênicos. Obviamente estas posições podem não ser as mesmas para toda a bacia, entretanto exemplificam importantes associações.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

Localizado no estado do Mato Grosso do Sul, o rio Aquidauana é um dos afluentes da margem direita do rio Miranda, que é um dos principais tributários do Paraguai, rio-tronco da Bacia do Pantanal (Figura 6). Sua nascente está localizada na serra de Maracaju-Campo Grande, a 698 m de altitude.

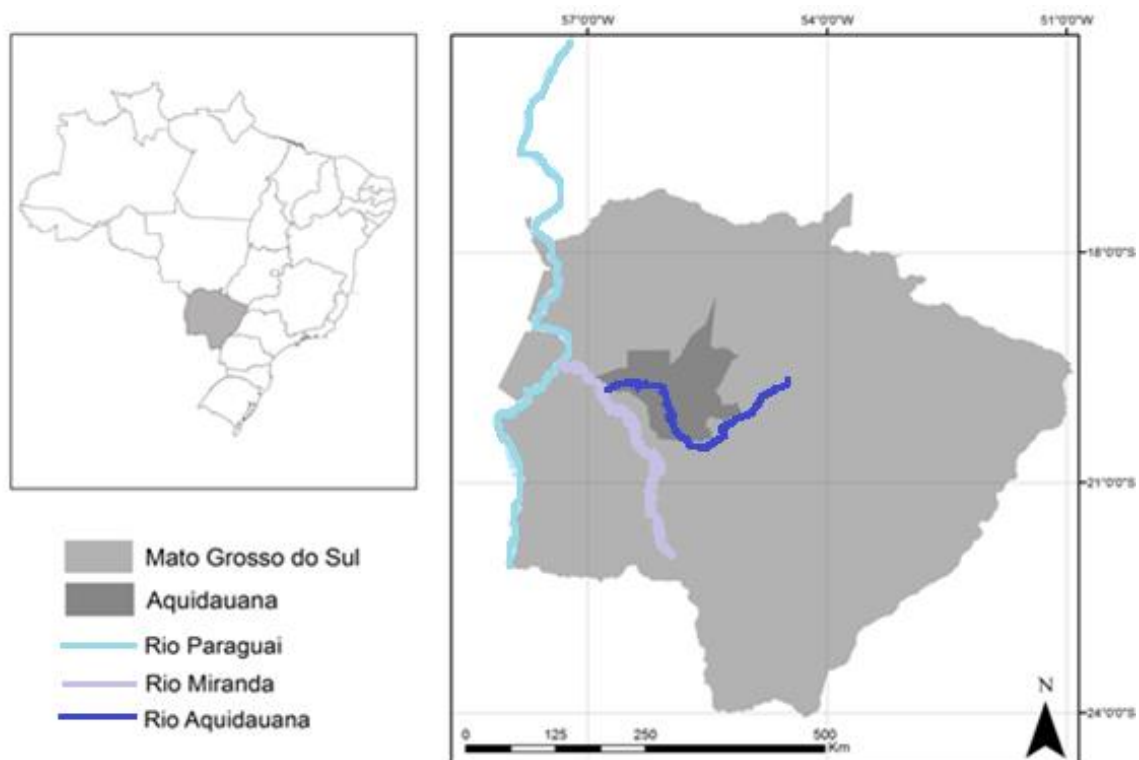


Figura 6: Localização do rio Aquidauana e do município homônimo.

O rio inicia seu fluxo em ambiente confinado e por cerca de 320 km têm elevada carga de transporte dos sedimentos que são erodidos nos planaltos e transportados para a parte baixa. Somente próximo à área urbana do município de Aquidauana é que o rio adentra a planície. A partir daí, há brusca diminuição do gradiente topográfico (Figura 7) e da vazão do rio, provocando um grande aporte dos sedimentos e o início do megaleque fluvial do rio Aquidauana (Facincani e Assine, 2010).

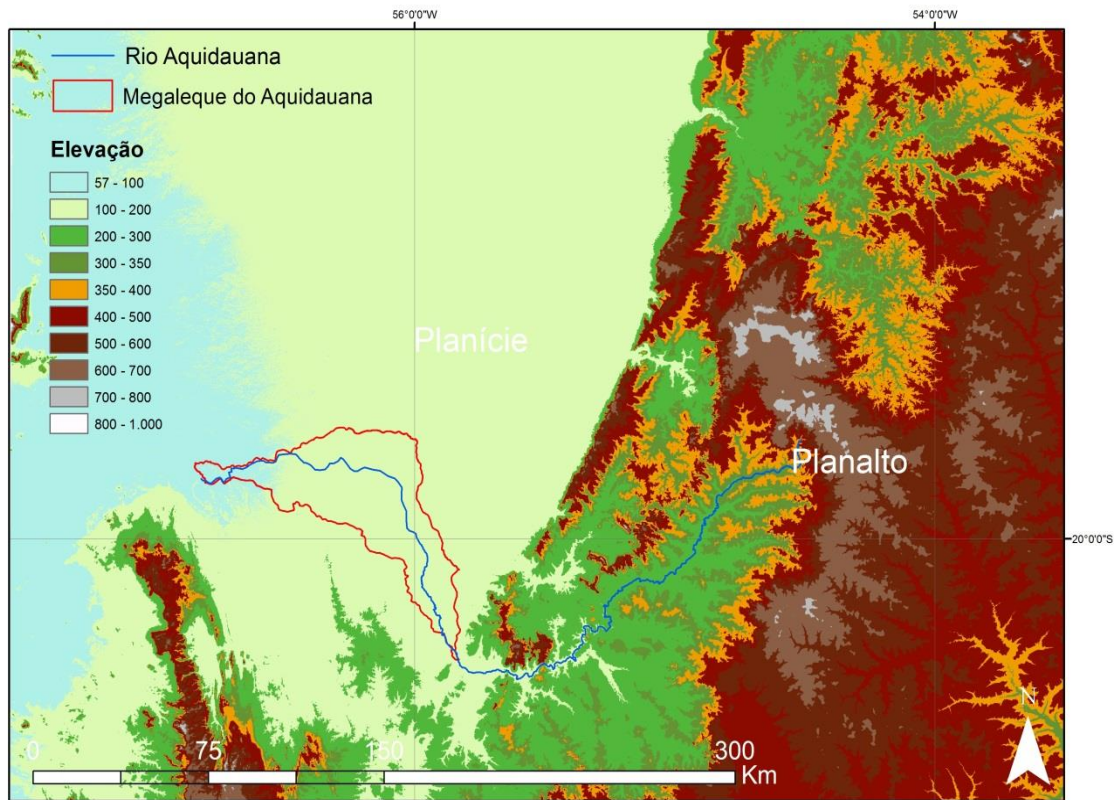


Figura 7: Modelo digital de elevação (MDE) derivado de imagem Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) destacando o contato topográfico entre o megaleque do Aquidauana e a Serra de Maracaju-Campo Grande.

Delimitado por Facincani et al., (2006), o megaleque tem cerca de 3.000 km² de extensão e geometria triangular, com altitudes que variam de 150 m em seu ápice a sudeste e 90 m nas porções distais a norte e noroeste, na confluência com o rio Miranda (Figura 8).

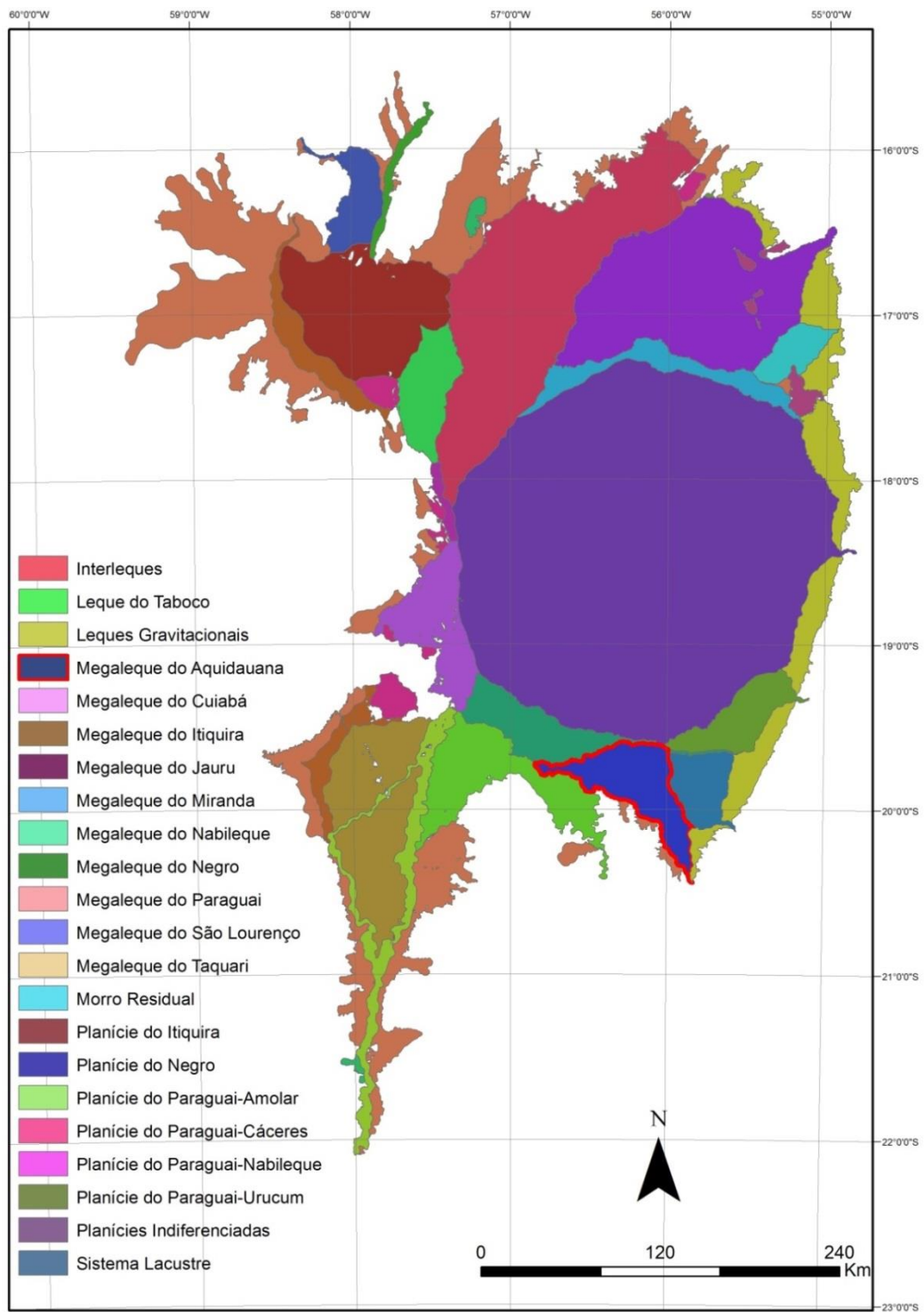


Figura 8: Trato deposicional da Bacia do Pantanal com indicação do megaleque do Rio Aquidauana à Sudeste. Fonte: (Modificado de Assine et al., 2015)

Com base em semelhanças morfológicas e nas características das redes de drenagem, três compartimentos principais do megaleque do Aquidauana (Figura 9) foram

individualizados e descritos por Merino, 2016: i) lobo deposicional pleistocênico; ii) cinturão de meandros em vale inciso e iii) lobo distributário atual.

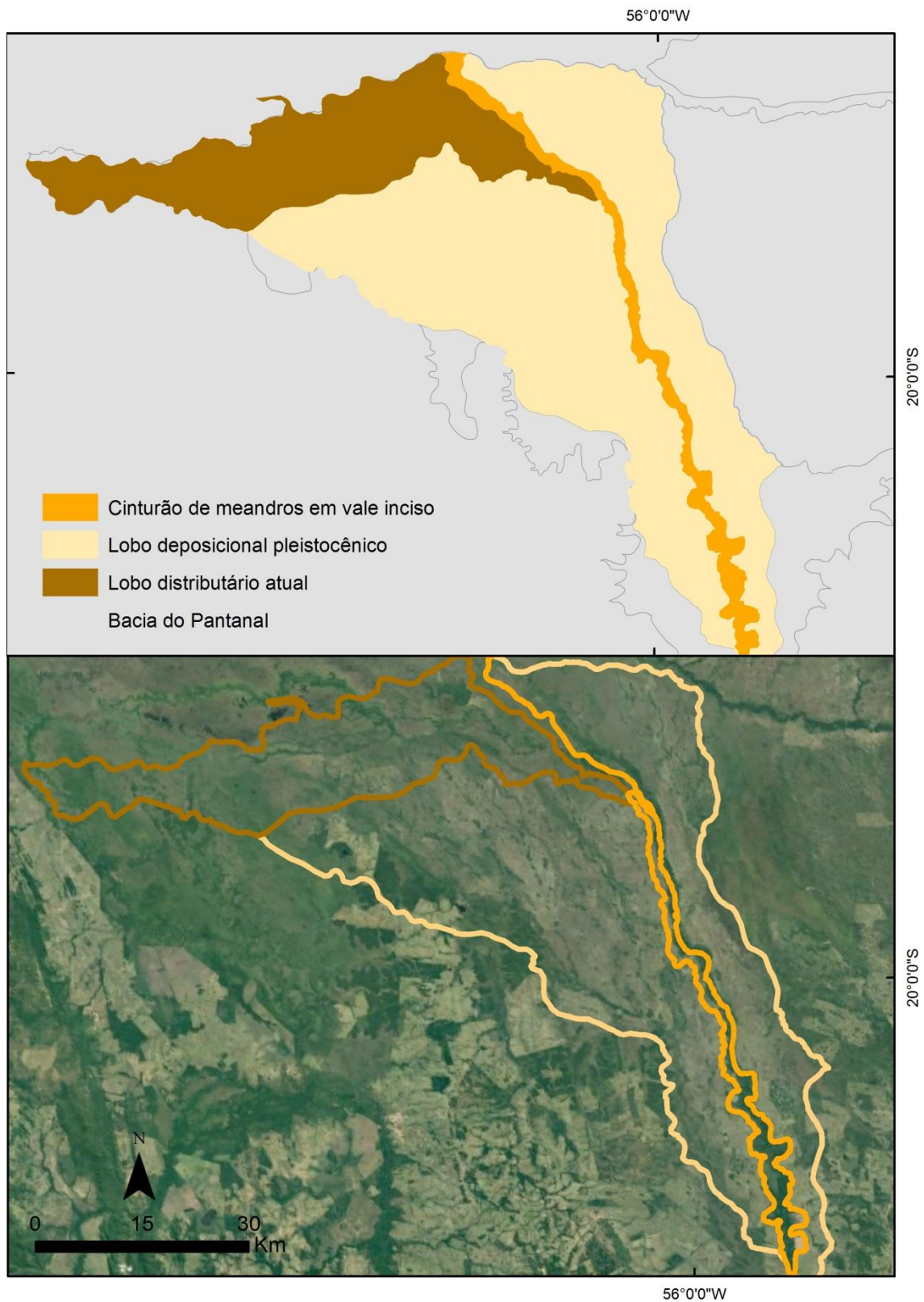


Figura 9: Compartimentos geomorfológicos do megaleque do rio Aquidauana.

Fonte: (Modificado de Merino, 2016)

O lobo deposicional pleistocênico (i) apresenta superfície plana e feições morfológicas indicativas de mudanças ambientais que registram características climáticas e hidrológicas distintas das atuais. Paleocanais distributários irradiam a partir do ápice do leque em direção às porções mais baixas do lobo e canais rasos originados por erosão, chamados de vazantes, degradam a antiga superfície.

Sua origem remonta ao Pleistoceno Médio em que a ocorrência dos paleocanais distributários seria a resposta dos sistemas fluviais às condições de clima semiárido que predominaram entre o MIS 3 (Marine Isotope Stage) e o Último Máximo Glacial, com prevalência de descargas fluviais torrenciais, de grande aporte de sedimentos grossos e pouco desenvolvimento pedogenético (May et al., 2008, 2009 *apud* Pupim, 2014).

Por sua vez, o cinturão de meandros em vale inciso (ii) entrincheirou a superfície do lobo pleistocênico longitudinalmente nas porções superior e intermediária do leque. Tais eventos regionais de incisão fluvial foram relacionados às mudanças climáticas que provocaram aumento na descarga de água (Scchum, 1981; Bull, 1990; Hartley et al., 2010; Weissmann et al., 2010; Wobus et al., 2010; Fielding et al., 2012).

As condições climáticas mais secas predominantes durante o Pleistoceno e a transição para um clima mais úmido durante o Holoceno (mesmo que tenham ocorrido condições regionais mais úmidas durante o pleistoceno e mais secas no Holoceno (Merino *apud* Baker et al, 2001; Barbieri, 2001; Cruz Jr et al., 2009) possibilitam dizer que a incisão fluvial foi desencadeada pelo aumento regional das taxas de precipitação a partir do Holoceno Superior. O aumento de chuvas e de temperatura no Holoceno em relação ao Pleistoceno também foi sugerido por Whitney et al., 2011; McGlue et al., 2012 e Metcalfe et al., 2014. As indicações de novas condições ambientais com maior descarga fluvial, redução de sedimentos e maior efeito estabilizador da cobertura vegetal na paisagem (Pupim, 2014) sugerem momento favorável à pedogênese.

Neste compartimento, o canal do rio Aquidauana é altamente meandrante, com índice de sinuosidade 2,01 (Merino, 2016) e limitado por terraços marginais que diminuem de altura para jusante ao ponto de praticamente desaparecerem ao final do cinturão. Quando o canal entra no compartimento do lobo distributário atual (iii) ocorre desconfinamento e expansão do fluxo do canal, gerando espaço de acomodação. Uma avulsão com direção para WNW deu início a construção do lobo deposicional moderno, um sítio ativo de sedimentação constituído por terras baixas e frequentemente inundadas.

3.1.2 CLIMA ATUAL

O município de Aquidauana apresenta clima tropical com estação seca de inverno (Aw) de acordo com o sistema Köppen-Geiger. O período chuvoso fica compreendido entre os meses de novembro e abril, seguidos por uma nítida estação seca, entre maio e outubro, sendo julho seu mês mais seco. Suas médias anuais para temperatura, precipitação e evapotranspiração são de 23,3 °C, 1.323 mm e 1.211 mm respectivamente (Zaroni et al., 2011).

A precipitação anual na bacia do Pantanal diminui para oeste, com índices em torno de 1500 mm/ano nos planaltos podendo chegar a <1.000 mm/ano no interior da planície, onde a evaporação excede a precipitação durante a maior parte do ano (McGlue et al., 2011).

Em Aquidauana, o balanço hídrico (Thorntwaite e Mather, 1955) indica deficiência hídrica anual (DEF) de aproximadamente 40 mm (entre junho e setembro) e excedente hídrico (EXC) de 150 mm (Figura 10).

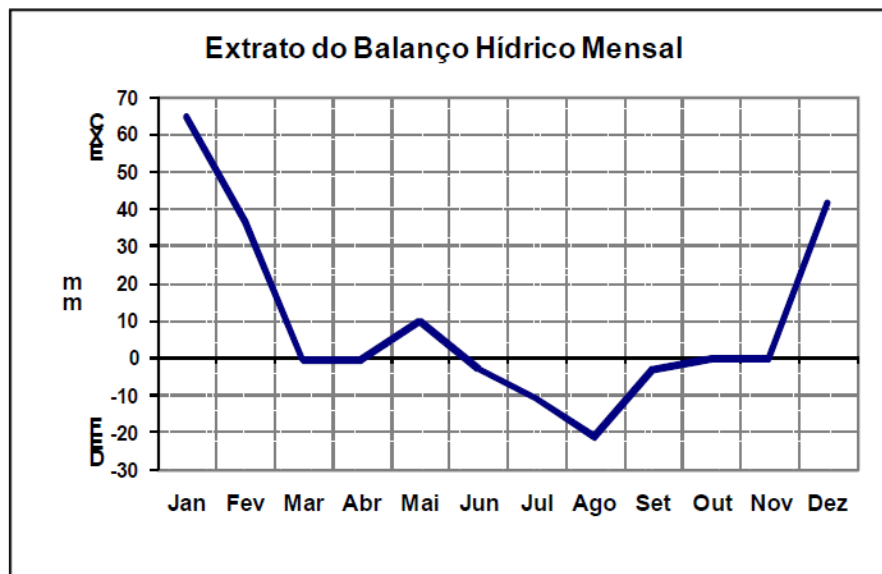


Figura 10: Representação do balanço hídrico do município de Aquidauana, MS. (Fonte: Zoneamento Agroecológico do Município de Aquidauana - MS, 2011).

3.1.3 GEOLOGIA

A bacia de captação do megaleque do rio Aquidauana na serra de Maracaju-Campo Grande tem a morfologia de um grande anfiteatro e erode rochas pré-cambrianas do Grupo Cuiabá e paleo-mesozóicas da bacia sedimentar do Paraná (Figura 11) (Facincani e Assine, 2010; Assine et al., 2015).

Do Grupo Cuiabá afloram a subunidade pelítica composta por xistos com filitos, quartzitos intercalados por mármore, filitos com quartzitos subordinados, metarenitos, mármore, xistos quartzíticos, filitos quartzíticos com metagrauvacas subordinadas e a subunidade carbonática de mármore calcítico/dolomítico com filitos subordinados (Lacerda Filho et al., 2004; CPRM, 2006).

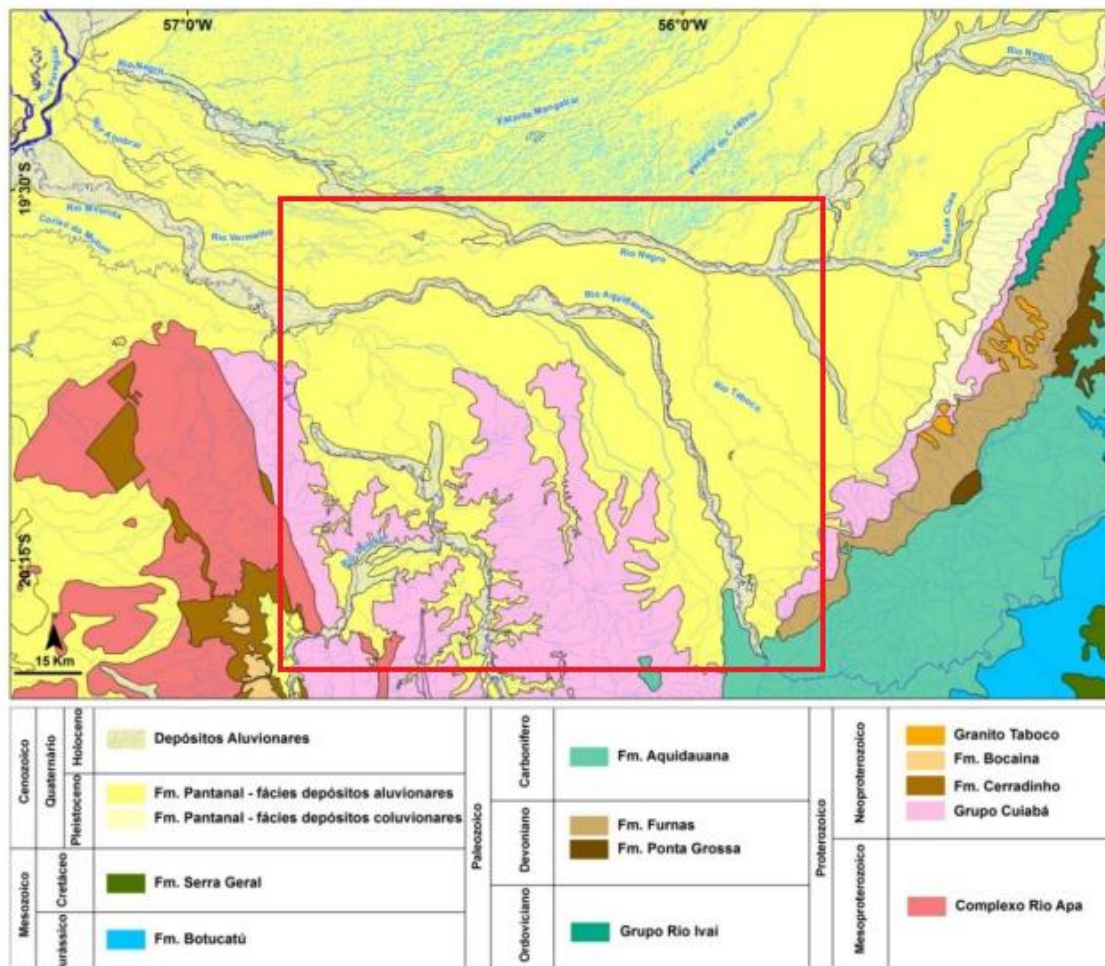


Figura 11: Mapa geológico (modificado de Merino, 2016) com indicação da área estudada.

Também afloram rochas depositadas em diferentes ciclos de subsidência da Bacia do Paraná pertencentes aos grupos Itararé e Paraná. Respectivamente, a Formação Aquidauana é composta por arenito vermelho a róseo, médio a grosso, diamictito, arenito esbranquiçado, conglomerado, siltito, folhelho, arenito fino laminado, vermelho a róseo, intercalações de diamictito, folhelho de cor cinza-esverdeado e a formação Furnas de arcócio grosso imaturo, arenito conglomerático, conglomerado oligomítico e arenito fino interdigitado com argilito e siltito (Lacerda Filho et al., CPRM, 2006).

Com deposição mais recente, denominados de Formação Pantanal, os depósitos de leques aluviais dominados por rios repousam sobre as rochas pré-cambrianas e paleozoicas-mesozoicas. São compostos por areia e grãos silticoargilosos, com pouco cascalho e lateritos ferruginosos, possivelmente formados em condições climáticas distintas da atual (Almeida, 1964).

3.1.4 LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS DE SOLO

As feições identificadas na seção vertical Anhumas (20° 20' 48''S e 55° 53' 25'' W) localizada em terraço formado pelo entrincheiramento do rio Aquidauana (Figura 12) evidenciaram a sobreposição de diferentes momentos de sedimentação e pedogênese e um paleoambiente pleistocênico mais seco tendo sido utilizada como base para a elaboração da hipótese a ser comprovada em sete trincheiras e 26 pontos de tradagem em área adjacente. Os pontos selecionados localizam-se no compartimento (i) lobo deposicional pleistocênico, entre as coordenadas 20°19'58''S de latitude e 55°54'15''W de longitude (Figuras 13 e 14).



Figura 12: Em a) Terraços formados pelo entrincheiramento do rio Aquidauana. Em b) Seção Anhumas.

As prospecções com trado foram realizadas com o objetivo de captar a maior heterogeneidade dentre as características dos solos e assim selecionar os sete locais para descrição pedológica completa e coleta de amostras para análises laboratoriais. Para tanto, amostras foram coletadas a cada 10 cm e dispostas em pedocomparadores. O aprofundamento mínimo foi de 1 metro e o máximo de 5,9 metros, apenas sendo interrompido ao atingir o nível do lençol freático e/ou camadas extremamente endurecidas. Nas trincheiras o aprofundamento mínimo estabelecido também foi de 1 metro.

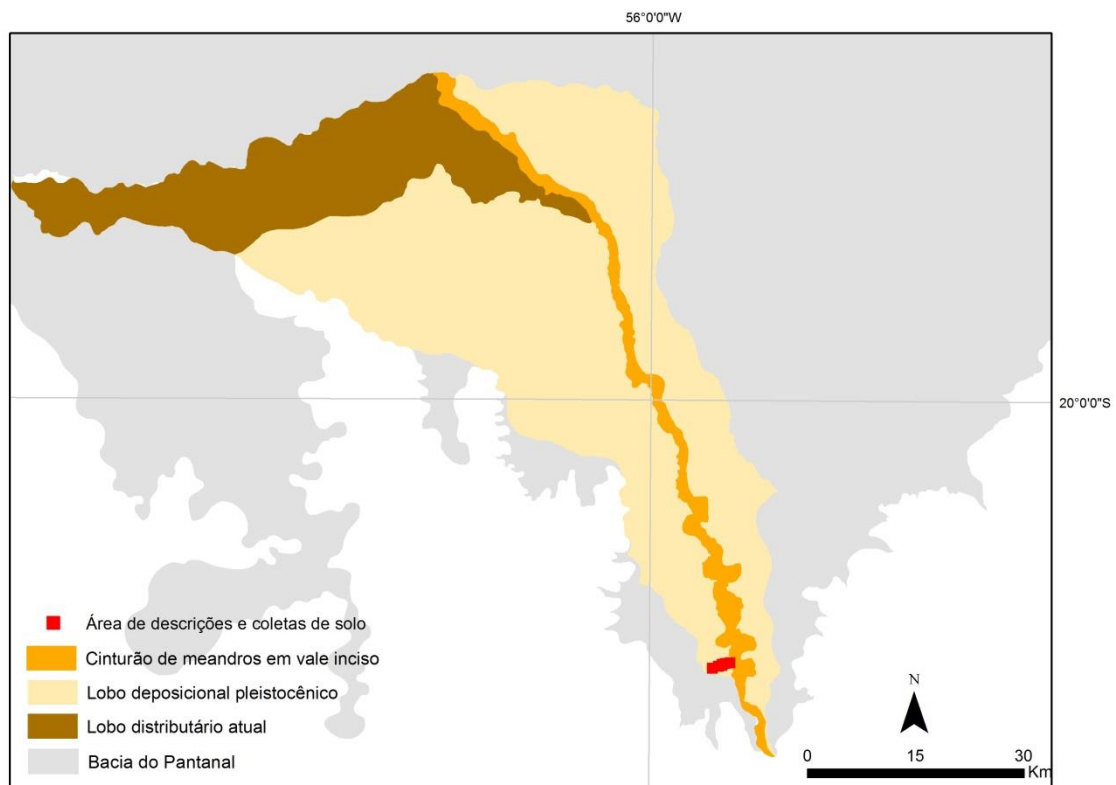


Figura 13: Pontos selecionados para descrição pedológica e coleta de amostras no compartimento (i) lobo deposicional pleistocênico.

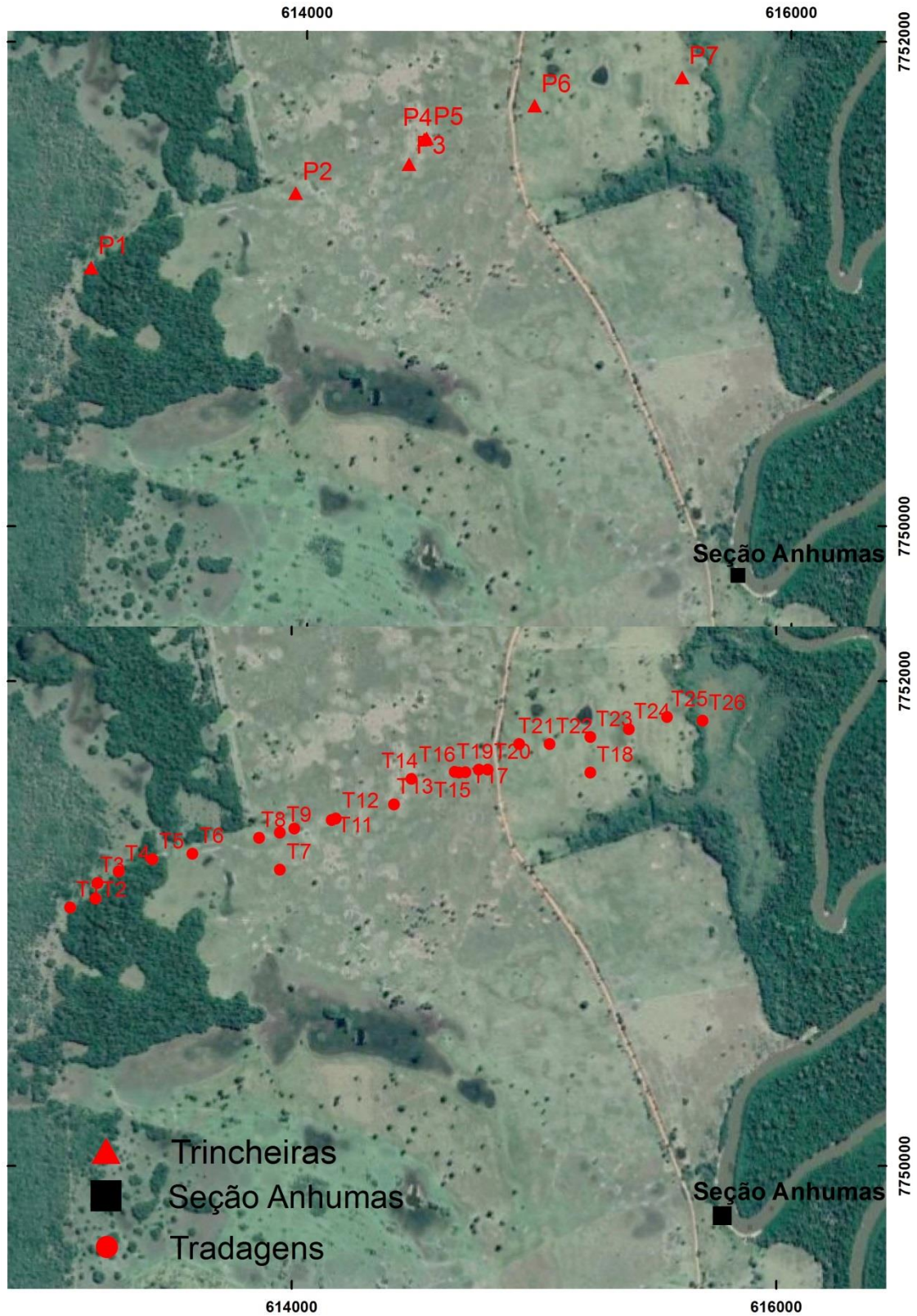


Figura 14: Área selecionada para estudo pedológico no lobo deposicional pleistocênico com posicionamento das trincheiras e tradagens.

3.2 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA

Devido à pequena variação topográfica da área das trincheiras e a necessidade de elaborar um perfil de elevação detalhado que auxiliasse na relação solo-paisagem foi realizado um levantamento planialtimétrico da área.

Foi utilizado o receptor Trimble RTK R8s que tem precisão horizontal de 3mm + 0,1ppm e vertical de 3,5mm + 0,4ppm e realizado um transporte de base simultâneo ao processo de coleta dos pontos com a antena móvel (Rover). Os arquivos da base foram corrigidos no serviço on-line de Posicionamento por Ponto Preciso do IBGE. A antena da base foi configurada para realizar uma leitura de posição a cada cinco segundos com ângulo de Elevação (Mascara de Elevação) de dez graus.

A distribuição dos pontos foi feita por meio de caminhamento, onde obteve-se uma leitura a cada vinte passos, estabelecendo linhas espaçadas em aproximadamente cinquenta metros (Figura 15). As pequenas elevações, quando identificadas, foram detalhadas com um maior número de pontos.

Houve a necessidade de realizar um ajuste de rede, visto que as coordenadas da base foram corrigidas após o levantamento. Assim, as coordenadas vinculadas a base foram ajustadas para um sistema de coordenadas local (UTM), com altitude elipsoidal. Este processamento foi realizado no software Trimble Business Center. Por fim, os resultados foram exportados no formato de Tabela (Excel) e no formato Shapefile.



Figura 15: Distribuição dos 778 pontos de levantamento planialtimétrico.

Foram utilizados produtos da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, Farr et al., 2007; imagem Planet (Planet Team, 2017) com 3 metros de resolução e imagens diversas do Google Earth. A referência espacial adotada foi o datum WGS84 zona 21K e os dados foram processados no software ArcGIS 10.

3.2.2 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA, AMOSTRAGEM E CLASSIFICAÇÃO DOS PERFIS

A descrição dos perfis de solo seguiu o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2013a) e contemplou espessura, arranjo e transição entre os horizontes e as características morfológicas: cor do solo, textura, estrutura, cerosidade, superfícies de compressão e/ou fricção, consistência, nódulos /concreções minerais (ferro, manganês e carbonato de cálcio) e eflorescências.

Foram coletadas amostras deformadas com cerca de 2 kg de solo buscando porções típicas que representassem cada um dos horizontes identificados na descrição. As amostras foram posteriormente aos laboratórios para análises. A classificação dos perfis foi realizada com base no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, o SiBCS (Santos et al., 2013b).

Os perfis foram digitalizados no software CorelDraw Technical Suite 2019. Para as cores foi utilizada a ferramenta conta-gotas ajustada a partir da tabela Munsell de cores para solo para que a semelhança com a cor real fosse a maior possível.

3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

3.3.1 GRANULOMETRIA

Foi realizada a granulometria na fração de terra fina seca ao ar (TFSA) com peneira menor que 2 mm para determinação da distribuição percentual das partículas primárias do solo. As amostras passaram por desagregação mecânica, dispersão e avaliação da proporção relativa das partículas primárias por sedimentação em meio aquoso. Esta análise foi realizada no laboratório Unithal em Campinas/SP e os procedimentos para determinação das frações (cascalho, areia grossa, areia fina, silte e argila) das amostras de solo seguiram o Método da Pipeta do Instituto Agrônomo de Campinas (Camargo et al., 2009).

3.3.2 ROTINA PEDOLÓGICA E FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

As análises químicas para rotina pedológica, também realizadas no laboratório Unithal, envolveram a determinação de pH (KCl e H₂O), alumínio trocável (Al³⁺), saturação por alumínio (valor “m”), sódio trocável (Na⁺) cálcio e magnésio trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺), teores de K, Ca²⁺, Mg²⁺, H + Al (acidez potencial), matéria orgânica, soma de bases (SB), saturação por bases (valor V), capacidade de troca catiônica total (T), e efetiva (t), e fósforo resina (P) conforme a metodologia para análises químicas de solo definidas por Camargo et al. (2009).

Também foram determinados os elementos maiores e menores por espectrometria de fluorescência de raios X (Philips, PW 2404, Holanda) dos horizontes diagnósticos no Laboratório de Geoquímica Analítica do Instituto de Geociências, Unicamp. As amostras foram secas, moídas e pulverizadas em almofariz de ágata. Foi determinada perda ao fogo à 1000 °C (%PF) e preparados discos de vidro por fusão com fundente (Vendemiatto & Enzweiler, 2001).

O controle de qualidade foi realizado pela análise paralela de materiais de referência internacional (BRP-1, BX-N e GRI-1) e de duplicatas de algumas amostras. O método de cálculo das incertezas encontra-se em Enzweiler & Vendemiatto (2013).

3.3.3 MINERALOGIA

A análise mineralógica dos horizontes diagnósticos foi realizada no Laboratório de Difração de Raios X do Instituto de Geociências, Unicamp.

Foi preparada pasta diluída com o material fino (argila) proveniente de decantação e centrifugação dos horizontes diagnósticos subsuperficiais de cada trincheira e disposta em uma lâmina de vidro gotejando-o com o auxílio de uma pipeta. Como as argilas são formadas por partículas lamelares, com a evaporação da água essas partículas sedimentam orientadamente, isto é, tem uma orientação preferencial, paralelas umas as outras, intensificando seus picos diagnósticos.

Foram preparadas três lâminas de cada amostra, sendo elas, natural, glicolada e aquecida, para uma melhor análise do comportamento do mineral presente no solo. As lâminas naturais após a secagem ao ar foram submetidas diretamente à difração de raios-X sem nenhum tratamento específico. As lâminas glicoladas foram submetidas a uma atmosfera de etilenoglicol por um período de 24 horas e em seguida levadas para a realização do ensaio. As lâminas aquecidas foram colocadas na mufla a uma temperatura de 550C° e em seguida foi realizado o ensaio.

Os tratamentos por meio de aquecimento e glicolagem foram realizados nas lâminas, pois alguns minerais comportam-se de forma diferenciada quando submetidos ao tratamento térmico e outros são identificados por adsorverem entre as camadas basais o etilenoglicol que promove a expansão das mesmas (Carrol, D. 1970; Alves, D.B. 1987; Camargo et al., 2009).

Todas as preparações foram analisadas em difratômetro de raios X Bruker (modelo D2 Phaser), equipado com goniômetro de varredura vertical e tubo de cobre de 400 W de potência usando uma geometria de Bragg–Brentano no modo contínuo, tensão e corrente ajustadas. Os difratogramas foram obtidos para um intervalo de exposição de 3° à 30° de varredura, com padrão time step de 0,7°/s. e interpretados com auxílio do software X'Pert Highscore Plus e de diagrama de distâncias interplanares para identificação de minerais de argila (Poppe et al., 2001).

A análise dos difratogramas foi realizada com o intuito de identificar o argilomineral majoritário presente nos horizontes diagnósticos dos perfis de solo e buscar um padrão para agrupá-los.

3.3.4 ANÁLISE POR LUMINESCÊNCIA OPTICAMENTE ESTIMULADA (LOE/SAR)

Foi realizada determinação da cronologia absoluta dos depósitos sedimentares que deram origem aos solos por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) em grão de quartzo no Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência – LEGAL do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Essa técnica possibilita estimar a idade de soterramento de grãos minerais por meio da determinação da dose equivalente (ou natural) armazenada na estrutura cristalina dos minerais e a taxa de dose ambiental experimentada por cada amostra, abrangendo uma faixa de tempo entre 10 anos e 200 ka (Rhodes, 2011).

A coleta de amostras de sedimentos para a determinação da dose equivalente foi realizada nas trincheiras com o uso de tubos de PVC opacos, evitando o contato dos grãos com a luz. Para a determinação da taxa de dose, foram coletadas 500 g de sedimentos em sacos plásticos, conservando as condições de umidade de campo das amostras. A preparação das amostras para obtenção de concentrados de quartzo seguiu procedimentos descritos por Aitken (1985), que envolvem peneiramento, ataques ácidos (H_2O_2 , HCl e HF) e separação de minerais pesados e feldspatos por densidade. O protocolo single-aliquot regenerative dose (SAR) (Murray & Wintle, 2000) foi utilizado para a estimativa da dose equivalente.

Para cada amostra foram medidas cerca de 24 aliquotas e a dose equivalente calculada segundo o modelo de idade central (Central Age Model; Galbraith et al., 1999). A concentração de radionuclídeos (U, Th e K) foi determinada pelo método de espectrometria de raios gama usando um detector de germânio hiper-puro (HPGe, Camberra Industries). O cálculo da taxa de dose seguiu os fatores de conversão sugeridos por Guérin et al. (2011). O conteúdo de água na amostra foi mensurado pela diferença e peso da amostra úmida e seca (Aitken, 1985). A contribuição da radiação cósmica na taxa de dose foi calculada como descrito por Prescott & Hutton (1994).

As datações possibilitaram uma melhor associação entre os depósitos e as condições climáticas vigentes bem como corroboraram inferências a respeito da evolução da paisagem na área.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DESCRIÇÃO GERAL DA SEÇÃO ANHUMAS

Com base na descrição pedológica e nas análises laboratoriais foi possível estabelecer que a seção Anhumas registra uma sequência de 3 perfis de paleossolos que se sobrepõem com uma espessura total de 4,26 metros. Abaixo dos solos há depósitos de sedimentos inconsolidados com estrutura preservadas, totalizando 7,5 metros. (Figura 16).

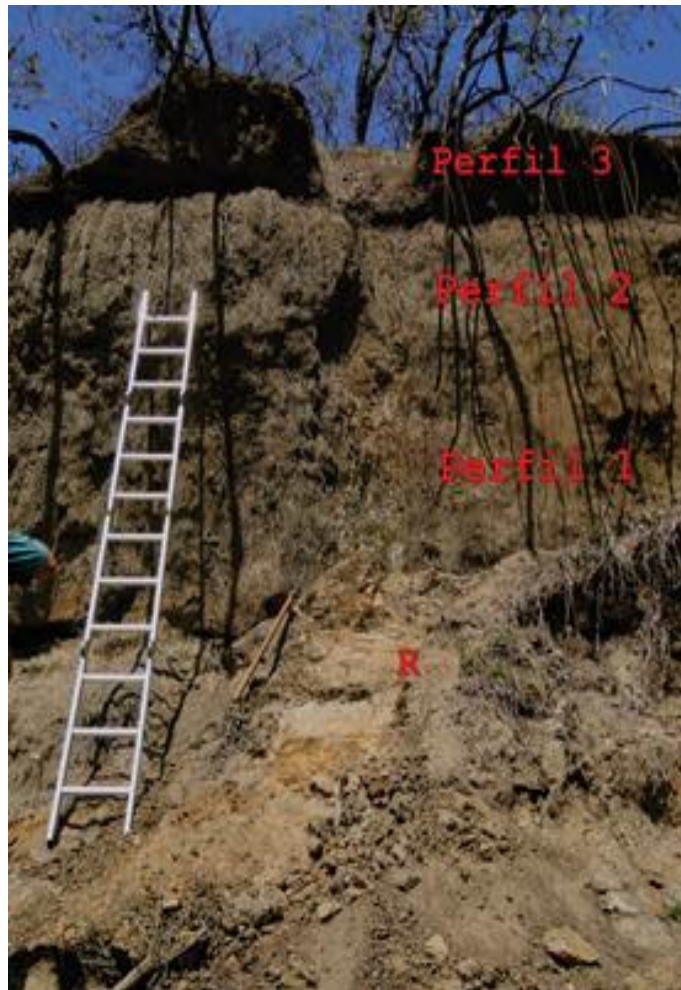


Figura 16: Seção Anhumas com indicação de três perfis de paleossolo e (R) depósito com estruturas sedimentares preservadas.

Partindo do topo, o perfil 3 foi classificado como um PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico (WRB: Dystric Planosol (plyntic)) com gradiência textural para indicar a presença de um B textural, estrutura forte em blocos, cerosidade e mosqueados abundantes, nódulos de ferro em seu nível intermediário e películas de manganês recobrando os *peds* no Btf2. O contato com o perfil inferior se faz com transição abrupta e plana para horizonte

2Bvg1. A ausência do horizonte A indica truncamento do perfil posicionado abaixo (Figura 17).

O segundo perfil, um VERTISSOLO HÁPLICO Carbonático gleissólico (WRB: Calcic Vertisol (gleyic, hypereutric)), corresponde a dois horizontes Bvg com estrutura paralelepipedica e valores de argila iguais ou superiores a 30% (limite inferior para classificar um horizonte vértico). Ambos são cinzas, tem mosqueados abundantes, presença de nódulos carbonáticos e as estruturas são definidas por superfícies de fricção (*slickensides*). A transição com o perfil inferior também se faz de forma abrupta, nitidamente truncando o perfil e eliminando o horizonte A.

O perfil 1, também um VERTISSOLO HÁPLICO Carbonático gleissólico (WRB: Calcic Vertisol (gleyic, hypereutric)), corresponde a dois horizontes Bvg e dois horizontes C com cores similares aos horizontes do perfil anterior, mas menor quantidade de películas de manganês e presença abundante de *slickensides*. A presença de mosqueados é menos frequente que no perfil superior e há presença de rizólitos de carbonato. Os horizontes 3C são maciços, mais arenosos, e apresentam concentrações carbonáticas e mosqueamentos. Abaixo destes horizontes os depósitos apresentam estruturas sedimentares sem qualquer evidência de pedogênese (Tabelas 1 e 2).

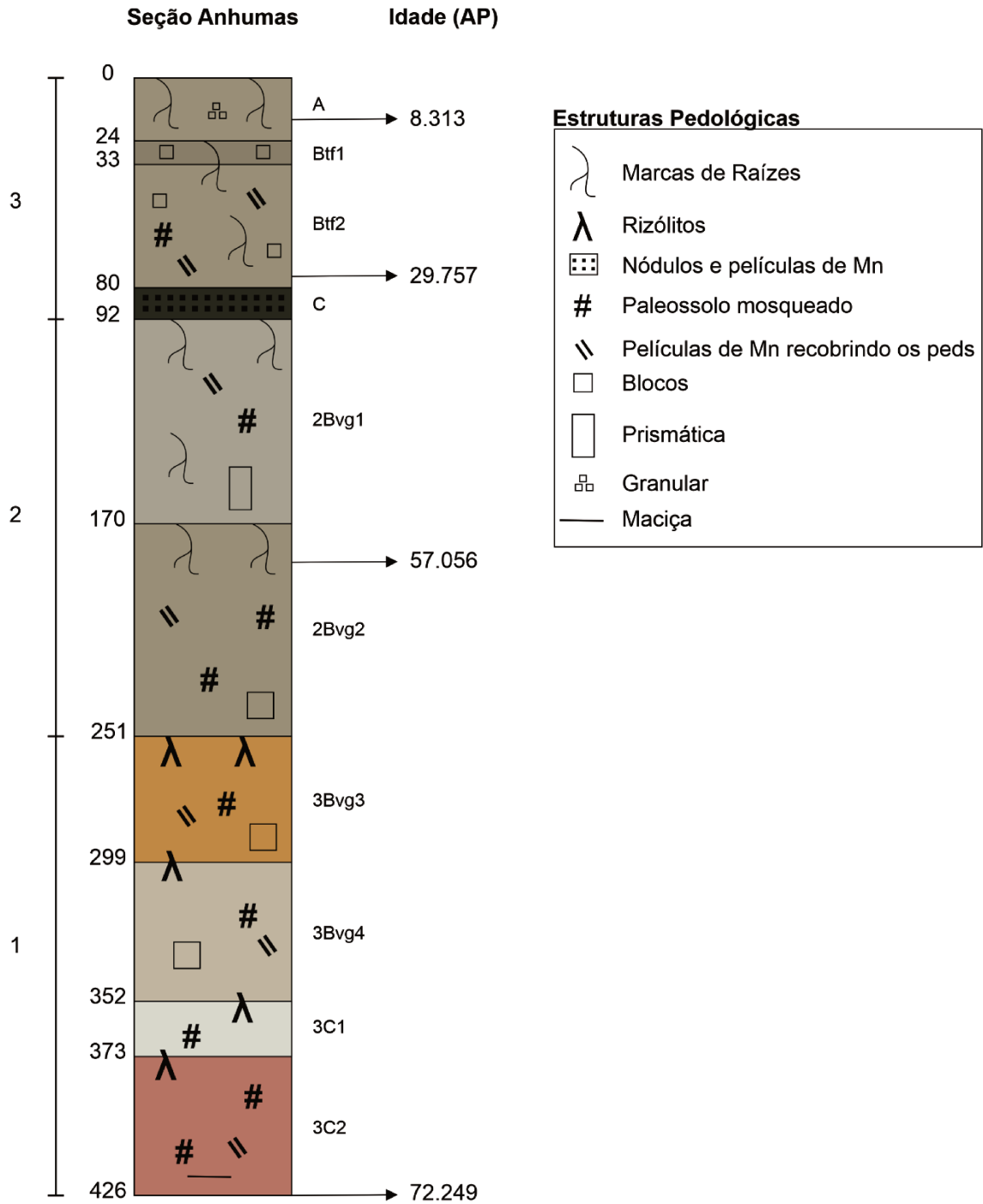


Figura 17: Descrição pedológica da seção Anhumas.

No topo dos depósitos que apresentam estruturas sedimentares (base do horizonte 3C2) a idade foi de 72.249 ± 5.5 anos, enquanto no topo do horizonte 2Bvg2 a idade obtida para a foi de 57.056 ± 4.0 anos, o que indica um hiato de cerca de 15.000 anos durante o Pleistoceno Superior para desenvolvimento do perfil 1.

Outra datação foi realizada na base do horizonte Btf2, com idade de 29.757 ± 2.3 anos. Desta forma o perfil 2 também teve seu desenvolvimento compreendido no Pleistoceno Superior, em intervalo de aproximadamente 28.000 anos.

A idade mais nova, obtida nos materiais arenosos correspondentes ao horizonte A do topo do perfil foi de 8.313 ± 0.7 anos, muito mais recente (Holoceno) que os depósitos onde se desenvolveu o horizonte Btf2 (29.757 ± 2.3). Desta forma, no contato entre horizonte A/B plânico há uma descontinuidade sedimentar, separado por um hiato de aproximadamente 20 mil anos, e o gradiente textural observado em campo decorre, em parte, da diferença na deposição sedimentar.

Tabela 1: Distribuição granulométrica da seção Anhumas.

| Hor. | AMG | AG | AM | AF | AMF | AT | Silte | Argila |
|--------------|-----|-----|------|------|------|------|-------|--------|
| % | | | | | | | | |
| A | 1,9 | 3,6 | 17,3 | 30 | 24,1 | 76,9 | 14,4 | 8,7 |
| Btf1 | 0,4 | 1,9 | 13,8 | 20,1 | 17,4 | 53,6 | 16 | 30,4 |
| Btf2 | 0,3 | 2,5 | 11,7 | 17,5 | 14,9 | 46,9 | 17,2 | 35,9 |
| C | 6,2 | 4,9 | 1,2 | 15,3 | 13,3 | 51,7 | 14,5 | 33,8 |
| 2Bvg1 | 0,2 | 1 | 9,1 | 20,2 | 23,6 | 54,1 | 16 | 29,9 |
| 2Bvg2 | 0,2 | 0,7 | 5,5 | 10,7 | 11,7 | 28,8 | 40,3 | 30,9 |
| 3Bvg3 | 0,5 | 1,1 | 7,7 | 19,1 | 22,3 | 50,7 | 20,9 | 28,4 |
| 3Bvg4 | 0 | 0,2 | 3,1 | 9 | 13,3 | 25,6 | 29,7 | 44,7 |
| 3C1 | 1,4 | 2,6 | 11,5 | 32,1 | 20,9 | 68,5 | 14,2 | 17,3 |
| 3C2 | 1,8 | 2,9 | 8,2 | 24,5 | 28 | 65,4 | 17,3 | 17,3 |

Hor. = horizonte; AMG = areia muito grossa; AG = areia grossa; AM = areia média; AF = areia fina; AMF = areia muito fina.

Os resultados de espectrometria de fluorescência de Raios X (Tabela 3) indicam a ampla presença de SiO_2 , sempre com valores superiores a 68,81%. Os valores de Al_2O_3 são significativamente superiores nos horizontes mais argilosos. O MnO possui valores muito baixos no perfil, exceto no horizonte C, onde os valores de MnO chegam a 0,179%, corroborando a observação de campo de películas negras sobre os pedrs. Estes valores indicam condições redutoras (Kampf et al, 2009; Schulze et al., 1995) e poderia corresponder a um

impedimento de drenagem vinculado ao horizonte inferior, gerando um lençol suspenso ou indicando condições pretéritas de drenagem (Kampf et al, 2009).

No caso do CaO é clara a existência de duas condições muito distintas, tendo o perfil superior valores muito baixos que aumentam significativamente nos horizontes Bv subjacentes, especialmente no terceiro perfil pedológico.

Os resultados do complexo sortivo (Tabela 4) indicam que estas características se repetem. O alumínio trocável é muito maior no perfil superior e diminui significativamente em profundidade. Isso se reflete diretamente na saturação por bases, muito baixo no topo do perfil e muito elevada nos demais perfis, sendo o primeiro perfil de características distróficas e os demais eutróficos. O cálcio trocável é mais elevado nos perfis inferiores.

Tabela 2: Descrição morfológica da seção Anhumas.

| Horizonte | Profundidade (cm) | Cor | Textura | Estrutura | Cerosidade | Consistência | Transição |
|-----------|-------------------|--|----------------------|--|-------------------|---|-----------------|
| A | 0-24 | 10YR 6/2 (seca), 10YR 4/2 | Areia franca | Moderada, pequena e média, granular; blocos pequenos | - | Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa | Plana e clara |
| Btf1 | 24-33 | 10YR 5,5/2 (seca), 10YR 5/1; mosqueado 10R 5/8 (seca), 10R 4/8; pontuações negras | Franco-argiloarenosa | Forte, blocos médios e grandes | Forte e abundante | Muito dura, firme, plástica e pegajosa | Plana e clara |
| Btf2 | 33-80 | 10YR 6/2 (seca), 10YR 5,5/2; nódulos de córtex 10YR 7/8 (seca), 10YR 6/8 e núcleo 10YR 2/1 (seca), 10YR 2/1 | Argiloarenosa | Forte, blocos pequenos e médios | Forte e abundante | Dura, firme, dura, plástica e pegajosa | Plana e abrupta |
| C | 80-92 | 10YR 2/1 (seca e úmida), mosqueado abundante 10YR 5/2 (seca), 10YR 5/1 | | - | - | Dura e muito dura | Plana e abrupta |
| 2Bvg1 | 92-170 | Horizonte mosqueado 10YR 6,5/2 - 7,5YR 6/8 - 10R 3/2 (secas), 10YR 5/1 - 7,5Y 5/8 - 10R 3/2 | Franco-argiloarenosa | Forte, prismática média, blocos angulares médios e grandes | Forte e abundante | Extremamente dura, extremamente firme, muito plástica e muito pegajosa | Plana e clara |
| 2Bvg2 | 170-251 | Horizonte mosqueado 10YR 6/2 - 7,5YR 6/8 - 10YR 2/1 (secas), 10YR 5/2 - 7,5YR 5/8 - 10YR 2/1 | Francoargilosa | Forte, blocos angulares médios e grandes | Comum e moderada | Muito dura, firme, muito plástica e muito pegajosa | Plana e clara |
| 3Bvg3 | 251-299 | Horizonte mosqueado 7,5YR 6/8 - 10YR 6/2 - 5YR 6/8 - 10YR 2/1 (secas); 7,5YR 6/8 - 10YR 5/2 - 5YR 5/8 - 10YR 2/1 | Franco-argiloarenosa | Forte, blocos médios | Comum e moderada | Extremamente dura, extremamente firme, muito plástica e muito pegajosa | Plana e clara |
| 3Bvg4 | 299-352 | 10YR 7/2 (seca), 10YR 6/2; mosqueado 10YR 6/2 (seca), 7,5YR 5/8; pontuações negras | Argila | Moderada, blocos médios e pequenos | Comum e moderada | Extremamente dura, firme muito plástica e muito pegajosa | Plana e clara |
| 3C1 | 352-373 | 10YR 8/1 (seca), 10YR 7/1; mosqueados raros 7,5YR 6/8 (seca), 7,5YR 5/8 | Francoarenosa | Maciça | - | Muito dura, plástica e pegajosa | Plana e abrupta |
| 3C2 | 373-426 | Horizonte mosqueado 2,5YR 6/6 - 10YR 7/2 (secas); 2,5YR 5/8 - 10YR 6/2 | Francoarenosa | Maciça | - | Extremamente dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa | - |

Tabela 3: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX dos horizontes da seção Anhumas.

| Horizontes | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ |
|--------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| | (%) | | | | | | | | | |
| A | 91,73 | 1,316 | 2,49 | 3,12 | 0,084 | 0,09 | 0,02 | 0,03 | 0,28 | 0,038 |
| Btf1 | 79,46 | 1,484 | 9,11 | 4,94 | 0,024 | 0,24 | 0,05 | 0,03 | 0,32 | 0,047 |
| Btf2 | 74,65 | 1,649 | 10,98 | 6,15 | 0,039 | 0,3 | 0,13 | 0,08 | 0,42 | 0,045 |
| C | 71,36 | 1,5 | 10,73 | 10,3 | 0,439 | 0,36 | 0,17 | 0,09 | 0,49 | 0,071 |
| 2Bvg1 | 80,16 | 1,5 | 6,9 | 5,9 | 0,05 | 0,38 | 0,24 | 0,12 | 0,74 | 0,056 |
| 2Bvg2 | 77,58 | 1,46 | 7,5 | 6,66 | 0,08 | 0,5 | 0,3 | 0,17 | 0,94 | 0,077 |
| 3Bvg3 | 75,26 | 1,769 | 8,48 | 7,28 | 0,149 | 0,65 | 0,39 | 0,27 | 1,18 | 0,062 |
| 3Bvg4 | 68,81 | 1,91 | 11,06 | 8,5 | 0,183 | 0,92 | 0,58 | 0,32 | 1,3 | 0,056 |
| 3C1 | 87,26 | 1,332 | 4,4 | 3 | 0,146 | 0,34 | 0,23 | 0,19 | 0,85 | 0,028 |
| 3C2 | 83,42 | 1,613 | 4,75 | 5,17 | 0,179 | 0,41 | 0,31 | 0,21 | 0,95 | 0,039 |

Tabela 4: Dados químicos da seção Anhumas.

| Hor. | pH (H2O) | Al | Ca | Mg | K | SB | CTC | V | C |
|--------------|-------------|----------|------|-----|------|-------|-------|-------|-------------------|
| | | cmolc/kg | | | | | | % | g/dm ³ |
| A | 4,6 | 3,8 | 0,6 | 0,3 | 0,25 | 1,15 | 4,75 | 24,21 | 5 |
| Btf1 | 4,2 | 3,2 | 1,6 | 0,4 | 0,11 | 2,11 | 17,91 | 11,78 | 7 |
| Btf2 | 4,5 | 2,6 | 4,5 | 1 | 0,13 | 5,63 | 15,43 | 36,49 | 9 |
| C | 4,8 | 0,7 | 5,6 | 1,8 | 0,17 | 7,57 | 11,37 | 66,58 | 8 |
| 2Bvg1 | 4,8 | 0,6 | 6,8 | 2,5 | 0,26 | 9,56 | 13,36 | 71,56 | 6 |
| 2Bvg2 | 5,3 | 0,2 | 9,8 | 3,5 | 0,34 | 13,64 | 16,54 | 82,47 | 5 |
| 3Bvg3 | 6,3 | - | 13,5 | 4,5 | 0,38 | 18,38 | 19,98 | 91,99 | 5 |
| 3Bvg4 | 6,5 | - | 18 | 5,2 | 0,49 | 23,69 | 25,29 | 93,67 | 7 |
| 3C1 | 6,5 | - | 5,5 | 2,3 | 0,2 | 8 | 9 | 88,89 | 3 |
| 3C2 | 6,5 | - | 7,2 | 2,8 | 0,2 | 10,2 | 11,2 | 91,07 | 4 |

No primeiro perfil pedogenético da seção, os horizontes subsuperficiais Bt1 e Bt2 são texturais e apresentam essencialmente caulinita na fração argila. O pico principal apresentado é de 7,20Å que, após o aquecimento, colapsa e desaparece totalmente confirmando a presença de caulinita. Um pico secundário se apresenta em 14,53Å, que mais frequentemente corresponde a argilominerais expansivos. Após glicolagem e queima, o pico apresentou um leve deslocamento do espaçamento basal devido à desidratação da camada contendo água/hidroxila dos minerais expansivos. No entanto, a mudança pouco acentuada

indica contribuição pequena deste grupo de argilominerais na amostra, predominando a caulinita (Figura 18).

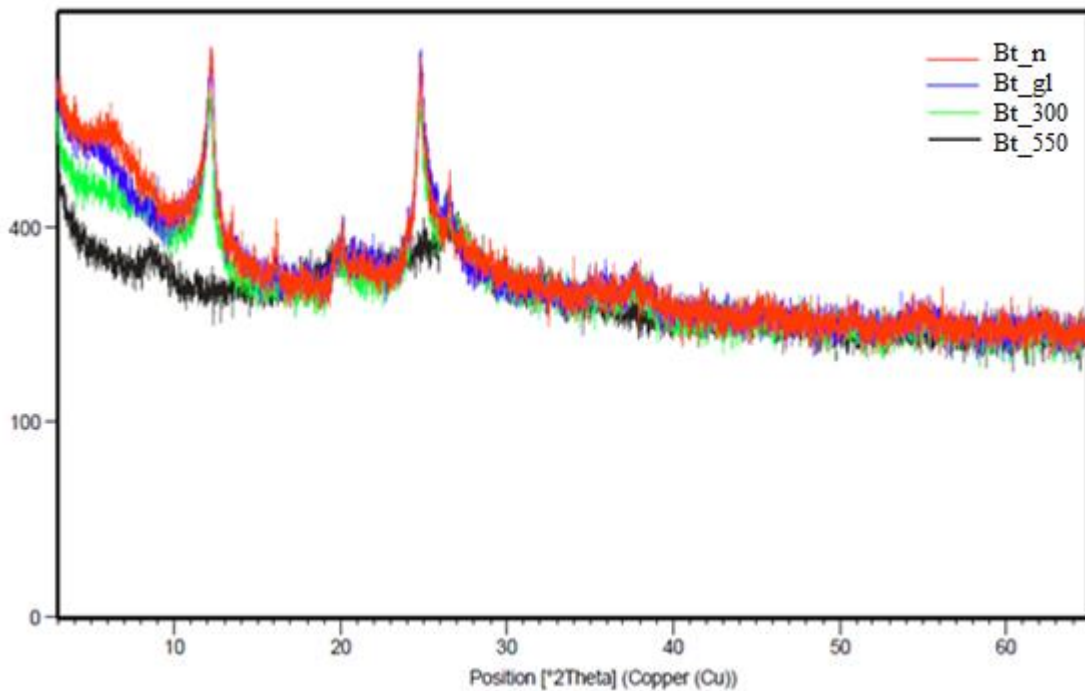


Figura 18: Difratograma padrão para os horizontes B texturais comparando amostra natural (Bt_n), glicolada (Bt_gl), aquecida a 300 °C (Bt_300) e a 550 °C (Bt_550).

O segundo e terceiro perfil da seção, com horizontes subsuperficiais vérticos (2Bvg1, 2Bvg2, 3Bvg3 e 3Bvg4), apresentam predomínio de argilominerais do grupo das esmectitas, especialmente montmorillonita.

Nestes perfis o pico principal é de $15,67\text{\AA}$, que pode corresponder a minerais como a clorita, montmorillonita e vermiculita, identificados após glicolagem e queima. Também está presente um pico secundário em $7,23\text{\AA}$ cujo espaçamento corresponderia a presença de caulinita. Em amostra glicolada, o pico principal foi deslocado para $18,15\text{\AA}$, e corresponde à expansão do espaçamento basal de $15,67\text{\AA}$ apresentado na fração natural (expansão aproximada de $2,5\text{\AA}$), o que confirma a presença de montmorillonita. A expansão é muito elevada, o que corrobora com a presença de argilominerais extremamente plásticos e de grande capacidade de absorção de cátions e água. Após queima, nota-se ainda que houve colapso do pico de $15,67\text{\AA}$ para uma posição próxima de 10\AA , o que corresponderia à desidratação da camada contendo água/hidroxila da montmorillonita (Figura 19).

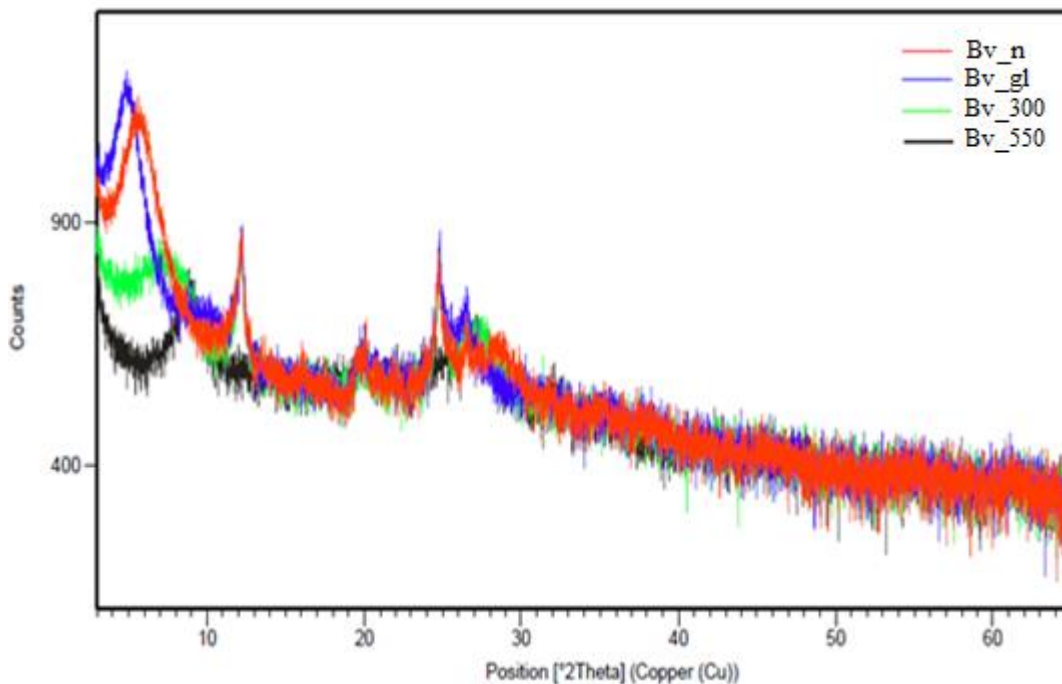


Figura 19: Difratoograma padrão para os horizontes vérticos comparando amostra natural (Bv_n), glicolada (Bv_gl), aquecida a 300 °C (Bv_300) e a 550 °C (Bv_550).

4.1.1 VARIAÇÕES AMBIENTAIS E A SEÇÃO ANHUMAS

A porção inferior aos paleossolos descritos anteriormente apresenta depósitos sem qualquer evidência de pedogênese em que não houve condições para o desenvolvimento ou conservação dos perfis de solo. A ausência de perfis de solo nesta porção poderia ser explicada pelos curtos intervalos de depósitos e/ou erosões associadas (Marriott e Wright, 1993; Kraus e Aslan, 1999; Kraus, 1999). Ao contrário, no segmento superior há a presença de 3 perfis de paleossolos sem qualquer estrutura sedimentar preservada sendo dois deles Vertissolos cujo horizonte A foi obliterado indicando um processo erosivo que truncou os perfis. Este fato é importante para a compreensão da dinâmica local pois implica que as condições de pedogênese foram intercaladas por condições de erosão e deposição.

Situação distinta observa-se no paleossolo posicionado na porção superior da sequência. O perfil de Planossolo sugere condições climáticas mais úmidas. Diferentes autores indicam que a incisão de canais pode estar associada com momentos climáticos mais úmidos, que favorecem a formação de terraços (Wright, 1992; Bestland, 1997) e este solo poderia indicar isso. Pedogeneticamente, o afloramento indica dois conjuntos evolutivos em termos ambientais e climáticos bastante distintos, um associado aos Vertissolos e outro ao Planossolo.

Segundo Buol et al. (2011), os Vertissolos podem se desenvolver associados a 3 condições básicas: em um clima árido ou semiárido; associado a uma camada ou horizonte de baixa permeabilidade abaixo dos horizontes vérticos; associado a baixa permeabilidade produzida pelas argilas esmectitas que caracterizam os horizontes. No perfil Anhumas apenas a segunda premissa não está presente, pois o Vertissolo posicionado na base encontra-se diretamente em contato com sedimentos arenosos de elevada porosidade, indicando que a possibilidade do tipo climático e mineralógico é que poderia justificar a presença de Vertissolos

Pal et al. (2009) também identificam feições de concentrações carbonáticas associadas à pedogênese, e estas são melhor desenvolvidas em condições mais secas. Nos Vertissolos da Seção Anhumas há concentrações carbonáticas na forma de rizocnecções e nódulos carbonáticos (Figura 20) com forte efervescência que indicam condições ambientais com significativo déficit hídrico (Pal et al., 2001).

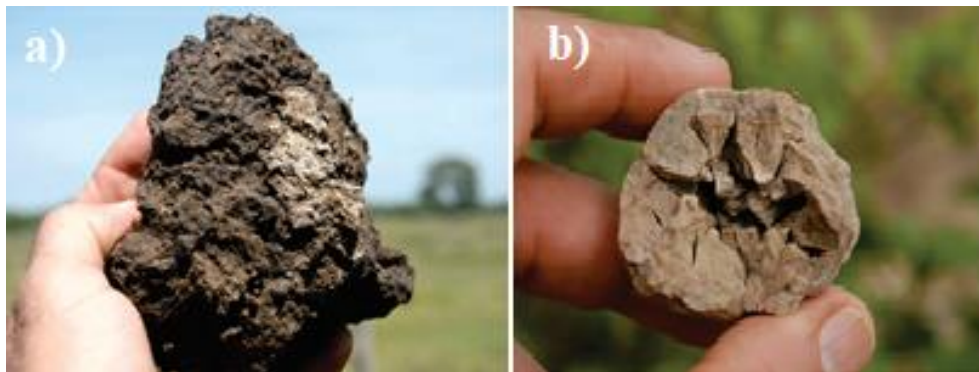


Figura 20: em a) rizólito de CaCO_3 e em b) nódulo carbonático septário.

As concentrações carbonáticas no Perfil Anhumas são brancas e Pal et al. (2001) e Srivastava (1994, 1998) indicam que cores brancas, em condições aluviais, indicam climas áridos e semiáridos.

Já o Planossolo apresenta baixa saturação por bases e a presença de nódulos de ferro, películas de manganês e essencialmente caulinita na fração argila. Estas características, completamente distintas do Vertissolo posicionado abaixo, indicam outro pedoclima, que pode ser sazonal, entretanto sem déficit hídrico significativo e com maior presença de água no sistema.

O Perfil Anhumas forneceu informações em uma seção vertical, ou seja, pedologicamente nos trouxe uma cronologia em que os paleossolos se sucederam ao longo do tempo no mesmo local. Fez-se então necessário obter também as informações da distribuição

espacial destes solos. Assim, a partir destas evidências, admitiu-se a hipótese de que alguns solos que estão em superfície desenvolveram-se em condições ambientais distintas e hoje coexistem na mesma superfície geomórfica.

4.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

Com base no levantamento planialtimétrico realizado na área das sete trincheiras, foi possível determinar com exatidão não apenas a altitude em que os perfis de solos estão posicionados, mas a variação topográfica entre eles que, em alguns casos, é de ordem centimétrica (Figura 21). Por tratar-se de uma área com pouca variação morfológica e de baixo gradiente topográfico, parâmetros como vegetação e o nível de alagamento auxiliaram na definição das unidades de relevo.

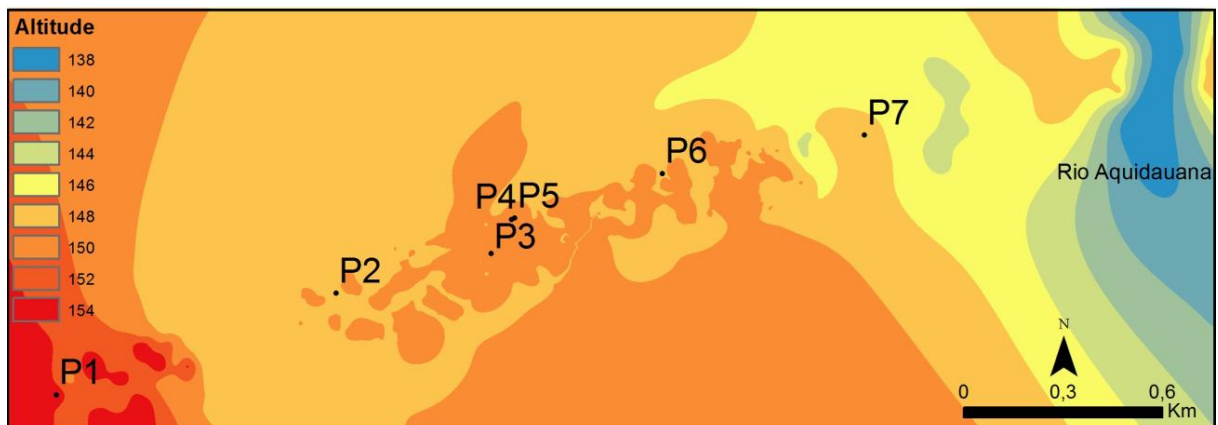
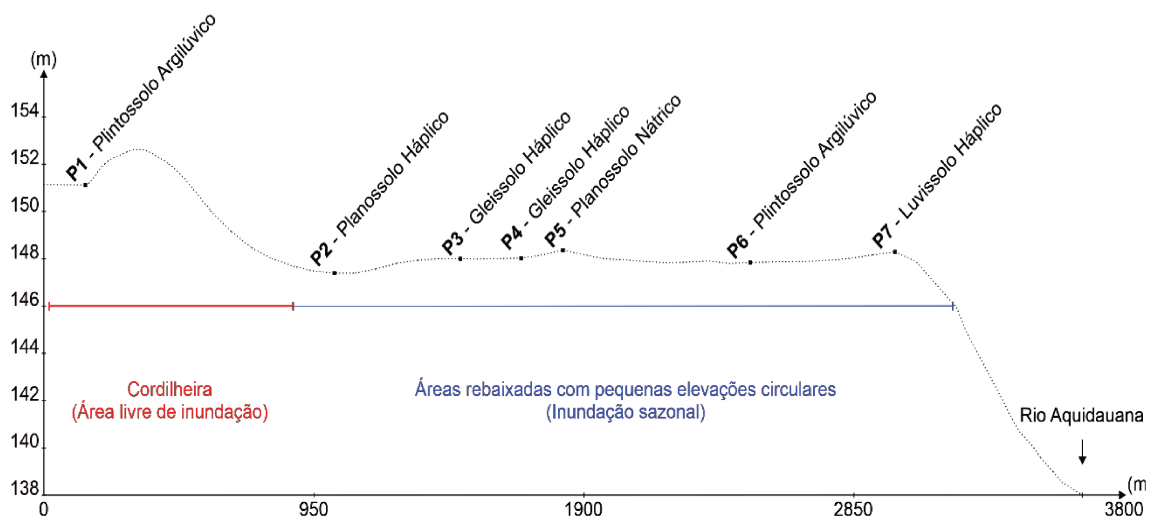


Figura 21: Modelo digital de elevação gerado a partir do levantamento planialtimétrico da área.

A variação topográfica total entre os perfis é de 3,4 metros distribuídos em uma faixa de 2,9 km de comprimento. O perfil em posição mais elevada localiza-se a 151,1 metros de altitude e o mais baixo a 147,7 metros (Figura 22).



Quanto as morfologias típicas do ambiente pantaneiro, o perfil 1 (P1) está posicionado em um cordão florestal que ocorre em área ligeiramente mais elevada que a planície de inundação adjacente. Essas áreas são localmente conhecidas como cordilheiras e representam um importante refúgio para os animais em períodos de cheia. Em razão de sua posição mais elevada, não sofrem inundação, a não ser no caso de enchentes excepcionais. A origem das cordilheiras remonta à antigos diques marginais cobertos por sedimentos arenosos e vegetação arbórea (Souza et al., 2006) (Figura 23).

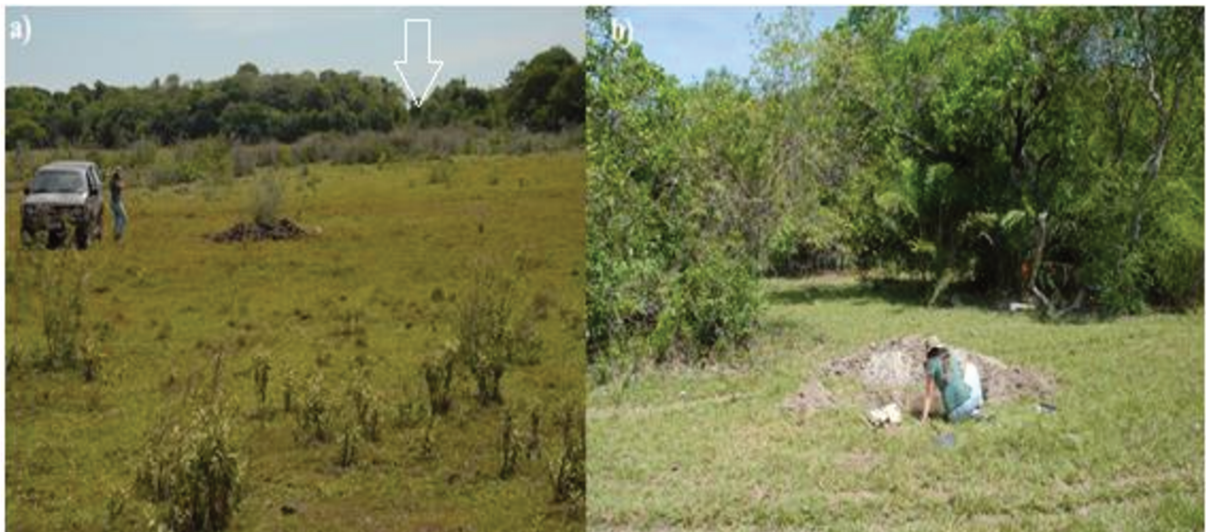


Figura 23: Em (a), ao fundo da foto, cordão florestal da morfologia das cordilheiras. Em (b), posicionamento do perfil 1 (P1) em cordilheira.

Os demais perfis (P2, P3, P4, P5, P6 e P7), dispostos em direção ao canal meandrante do rio Aquidauana, ocupam um vasto arranjo de pequenos canais intermitentes (corixos) e vazantes (áreas rebaixadas) cobertos por gramíneas cuja dinâmica de inundação está associada ao regime das cheias do Pantanal com alagamento sazonal. A inundação anual em grande parte decorre do impedimento ao escoamento superficial resultante da baixa declividade, além da presença de lençol freático pouco profundo.

Nesta área, a diferença topográfica entre os perfis é de apenas 1,1 m (Figura 24). Apesar do aspecto muito plano é possível identificar, em escala de detalhe, pequenas elevações circulares cobertas por vegetação arbustiva e espinhosa (Figura 25) por vezes identificadas na literatura como montes vegetados, montículos ou morrotes e localmente conhecidas como capões. Alguns autores atribuem sua formação a atividade biológica (termiteiros), a um estágio erosivo avançado de antigos diques marginais (Marimon et al., 2012; Oliveira Junior et al., 2017) ou ainda fenômenos de erosão diferencial (Araújo Neto et al., 1963).

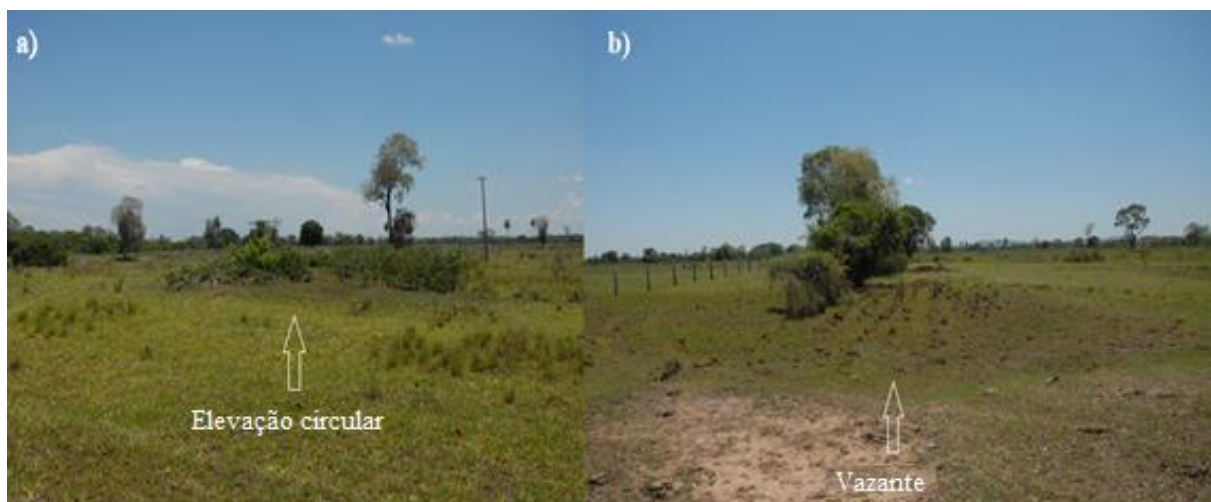


Figura 24: Em (a), imagem com identificação de pequena elevação circular. Em (b), imagem com identificação da morfologia de vazante.



Figura 25: Vegetação arbustiva e espinhosa associada às elevações circulares.

4.3 DESCRIÇÃO GERAL DAS TRADAGENS

As 26 tradagens foram realizadas na faixa selecionada com 2,9 km de extensão e variação topográfica 3,4 m com início na cordilheira e no sentido do Rio Aquidauana, assim como os sete perfis completos. Além de serem utilizadas como norteadoras para identificação dos locais de abertura das trincheiras e descrição detalhada, as tradagens demonstraram uma grande variação nas feições pedológicas descritas. Foi priorizada a descrição e observação das variações no relevo, textura e de cinco feições: (i) nódulos endurecidos de ferro e/ou manganês, (ii) nódulos carbonáticos, (iii) *slickensides*, (iv) manchas brancas reativas à HCl e (v) plintita/mosqueamento (Figura 26).

Na área da cordilheira verifica-se a presença de plintita/mosqueamento e nódulos endurecidos de ferro e/ou manganês em todas as tradagens (de T1 a T5). Em T1, o aprofundamento do trado foi interrompido pelo endurecimento relacionado a presença desses nódulos. Há também uma camada arenosa (areia franca ou fracoarenosa) em todos eles, que varia entre 40 e 80 cm de espessura a partir da superfície.

Já em área da planície de inundação, entre os pontos T6 e T15, identificamos duas situações distintas. Tradagens localizadas em depressões por onde passam canais intermitentes/vazantes e tradagens localizadas nas elevações circulares cobertas por vegetação arbustiva e espinhosa.

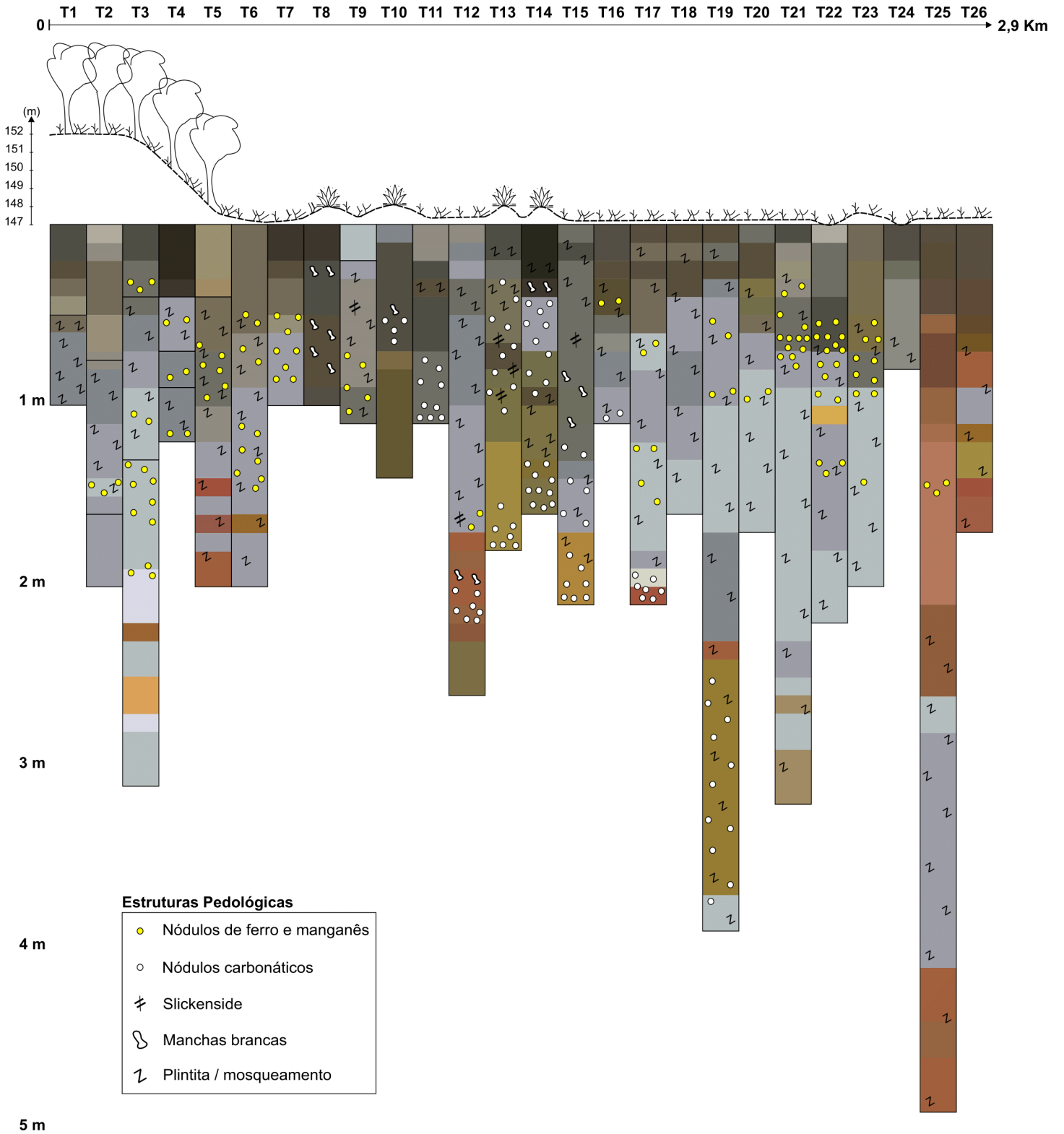


Figura 26: Representação das 26 tradagens.

Nas depressões os solos mantêm as feições de hidromorfia, há níveis com ocorrência de água livre, mas surgem características vérticas representadas pelos *slickensides*. Nestes, a textura francoarenosa não ultrapassa os 20 cm de espessura. Há em algumas tradagens textura argiloarenosa e argilosa desde a superfície. Em campo, foi possível perceber fendas de ressecamento (Figura 27) e micro-relevo tipo gilgai.

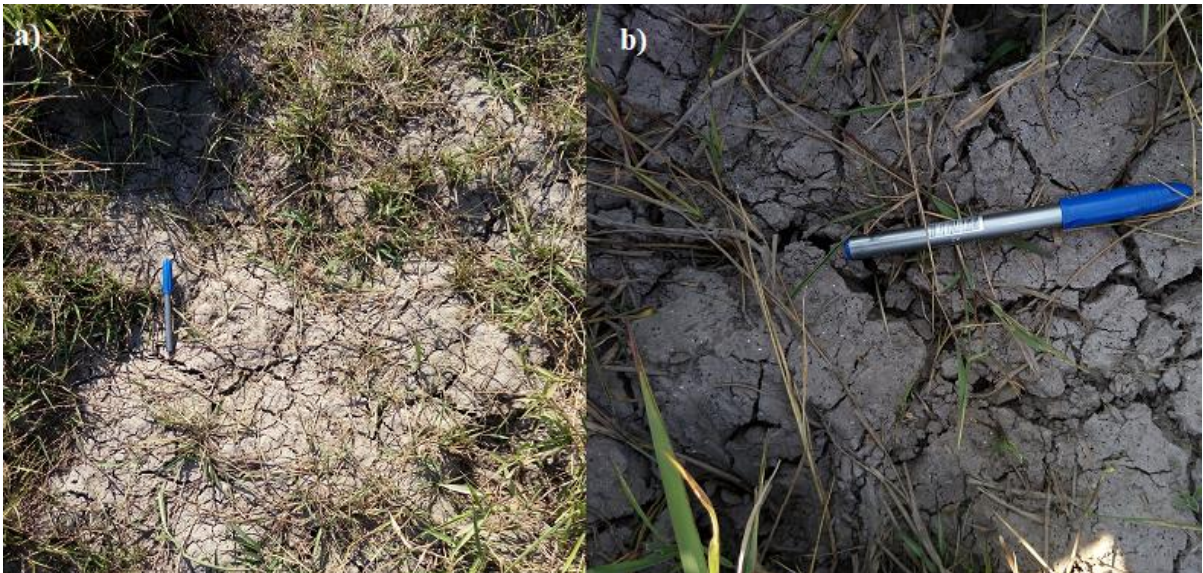


Figura 27: Fendas de ressecamento nas depressões da planície de inundação.

Nas elevações circulares as tradagens apresentaram, além dos nódulos de ferro, mosqueamento e *slickensides*, nódulos carbonáticos e manchas brancas reativas ao HCl que variam em profundidade, tamanho e esfericidade.

Da tradagem 16 (T16) em diante as elevações circulares tornam-se mais raras e a vegetação espinhosa por vezes associada a elas não mais aparece, tem-se a impressão de uma topografia totalmente plana. As superfícies de fricção e as feições carbonáticas são identificadas em maiores profundidades, a exemplo da tradagem 17 (T7) em que nódulos carbonáticos são identificados abaixo dos 2,4 metros de profundidade em condições de degradação (córtex alterado, formato irregular) e muita umidade, até desaparecem gradativamente. As plintitas e nódulos endurecidos de ferro, por sua vez, continuam presentes e abundantes. A camada superficial com textura francoarenosa volta a aparecer em espessura que varia de 40 a 55 centímetros a partir da superfície, ultrapassando 1 metro na tradagem 25 (T25).

4.4 DESCRIÇÃO GERAL DOS PERFIS

4.4.1 PERFIL 1 (P1)

O perfil 1 localiza-se a 151,1 m de altitude. Classificado como PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico abrupto, sua sequência de horizontes é A1 (0-30 cm), A2 (30-39 cm), Ec (39-56 cm), Btf1 (56-81 cm) e Btf2 (81-100+ cm). Em tradagem complementar, o horizonte Btf2 continua por no mínimo 1 m com as mesmas características descritas (Figura 28).

Os três primeiros horizontes apresentam textura média e estrutura maciça (Tabelas 5 e 6). Porém, o horizonte Ec tem quantidade muito frequente de nódulos endurecidos de natureza ferruginosa (petroplintita) que evidenciam uma acentuada influência do processo de umedecimento e secagem no perfil (Tabela 7, Figura 29).

Logo abaixo, o horizonte Btf1 tem 25 cm de espessura, razão textural superior a 2, cerosidade forte e abundante, coloração glei e presença de plintita em quantidade superior a 15%. O mesmo horizonte satisfaz, simultaneamente, aos requisitos para ser identificado como um horizonte plíntico, textural e glei, identificado como plíntico por precedência taxonômica sobre os demais (Figura 29).

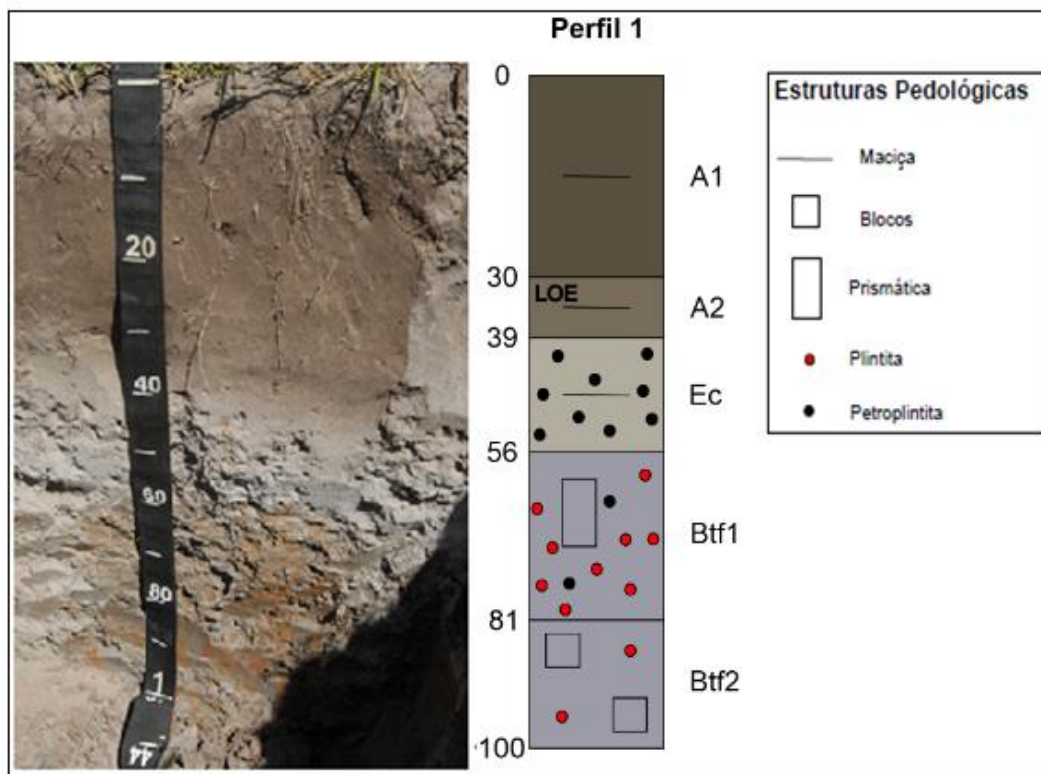


Figura 28: Foto do perfil 1 (P1) com identificação dos horizontes.

Tabela 5: Distribuição granulométrica do perfil 1 (P1).

| Horizontes | Profundidade (cm) | Areia | Areia | Argila | Silte | Classe textural |
|--|----------------------|--------|-------|--------|-------|----------------------|
| | | grossa | Fina | % | | |
| PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico abrupto (P1) | | | | | | |
| A1 | 0-30 | 56,3 | 23,8 | 16,0 | 3,9 | Francoarenosa |
| A2 | 30-39 | 58,7 | 22,5 | 15,4 | 3,4 | Francoarenosa |
| Ec | 39-56 | 47,4 | 31,9 | 16,7 | 4,0 | Francoarenosa |
| Btf1 | 56-81 | 35,2 | 19,7 | 34,1 | 11,0 | Franco-argiloarenosa |
| Btf2 | 81-100+ | 29,6 | 18,3 | 38,0 | 14,1 | Argiloarenosa |

Tabela 6: Descrição morfológica do perfil 1 (P1).

| Horiz. | Prof. (cm) | Cor | | | Estrutura | Cerosidade | Consistência | Transição | Raízes |
|--------|------------|---------------------------------|---|--|----------------------------|-------------------|---|-----------------|--------|
| | | Matriz | Mosq. | Outras Pontuações | | | | | |
| A1 | 0-30 | 10YR4/2 seca e úmida | | 10YR8/3 (seca) e 10 YR 3/2 (úmida) 10YR7/4 (úmida) | Maciça | | Macia, muito friável, não plástica e não pegajosa | Clara e plana | Muitas |
| A2 | 30-39 | 10YR5/2 (seca) 10YR 4/2 (úmida) | | | Maciça | | Macia, muito friável, não plástica e não pegajosa | Clara e plana | Muitas |
| Ec | 39-56 | 10YR7/1 (seca) 10YR5/2 (úmida) | | | Maciça | | Ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa | Abrupta e plana | Muitas |
| Btf1 | 56-81 | G2 6/5PB | 5YR6/8 | | Prismática, média e grande | Forte e abundante | Muito dura, firme, plástica e pegajosa | Clara e plana | Comuns |
| Btf2 | 81-100+ | G2 6/5PB | 5YR6/8 e 2,5YR4/8 (seca), G25/5PB (úmida) 5YR6/8 (seca), 2,5YR4/8 (úmida) | | Blocos angulares, grande | Comum e fraca | Muito dura, firme, plástica e pegajosa | | |

Tabela 7: Descrição nodular do perfil 1 (P1).

| Hor. | Prof. (cm) | Nódulos | | | | | |
|------|------------|------------------|---|--------|---|-------|--------------|
| | | Quantidade | Tamanho | Dureza | Forma | Cor | Natureza |
| A1 | 0-30 | | | | | | |
| A2 | 30-39 | | | | | | |
| Ec | 39-56 | Muito frequentes | Pequenos e raramente grandes (até 2 cm) | Duros | Esféricos, irregulares e por vezes tubiformes | Preto | Ferruginosos |
| Btf1 | 56-81 | Frequentes | Pequenos (milimétricos) | Duros | Irregulares | Preto | Ferruginosos |
| Btf2 | 81-100+ | | | | | | |

Neste ponto foi coletada amostra para datação por luminescência opticamente estimulada a 35 cm de profundidade, no horizonte A2. O resultado identificou um depósito com 4.763 ± 0.5 anos.

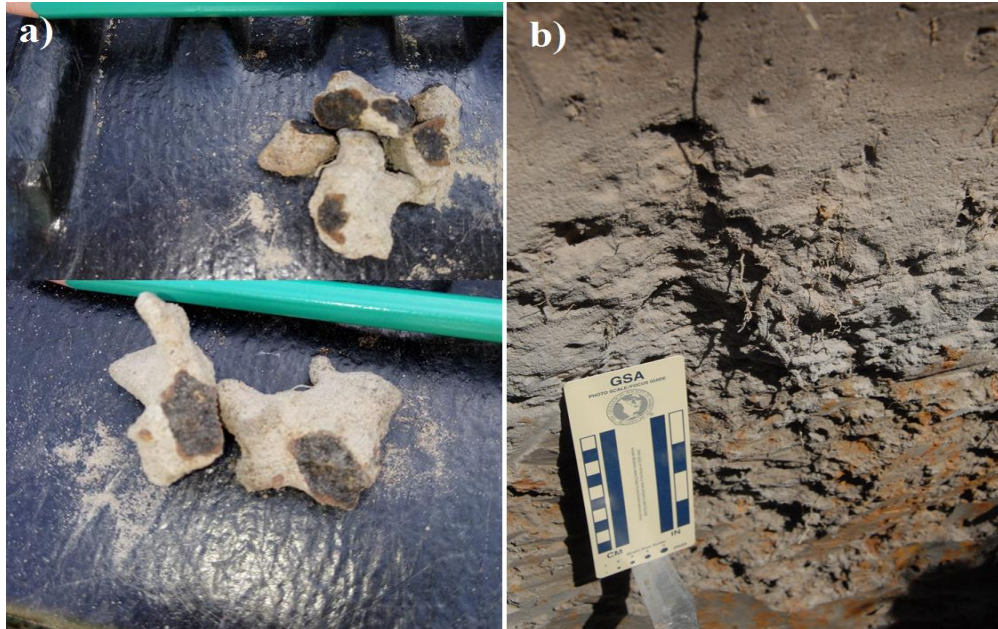


Figura 29: Em (a), nódulos de ferro frequentes no horizonte Ec. Em (b), detalhe dos horizontes Ec e Bt1 (B plântico).

Dados do complexo sortivo (Tabela 8) indicam horizontes com pH ácido, presença de argilas de baixa atividade nos primeiros três horizontes e de argilas de alta atividade nos horizontes Bt1 e Bt2. A saturação por bases (V%) é inferior a 50% em parte do horizonte B diagnóstico, ainda assim, a saturação aumenta em profundidade (51,97% no horizonte Bt2).

Os resultados de espectrometria de fluorescência de raios X apresentados na tabela 9 indicam maior concentração de 3 elementos, SiO_2 (ampla presença com valores superiores a 73,85%), Al_2O_3 e Fe_2O_3 . O teor de SiO_2 diminui em profundidade enquanto os teores de Al_2O_3 e Fe_2O_3 aumentam com a profundidade. O teor em óxidos de ferro caracteriza um perfil de solo hipoférrico, abaixo de 8%, de acordo SiBCS, apesar da presença de plintita e nódulos.

O difratograma de raios X executado no subhorizonte diagnóstico (Bt1) indica que o pico principal é de $\sim 7\text{Å}$ em amostra natural, que corresponde a caulinita. A confirmação se dá após glicolagem da amostra em que o pico não foi alterado, demonstrando não haver espaço entre camadas do argilomineral presente na amostra e após queima, quando nota-se colapso do pico (Figura 30).

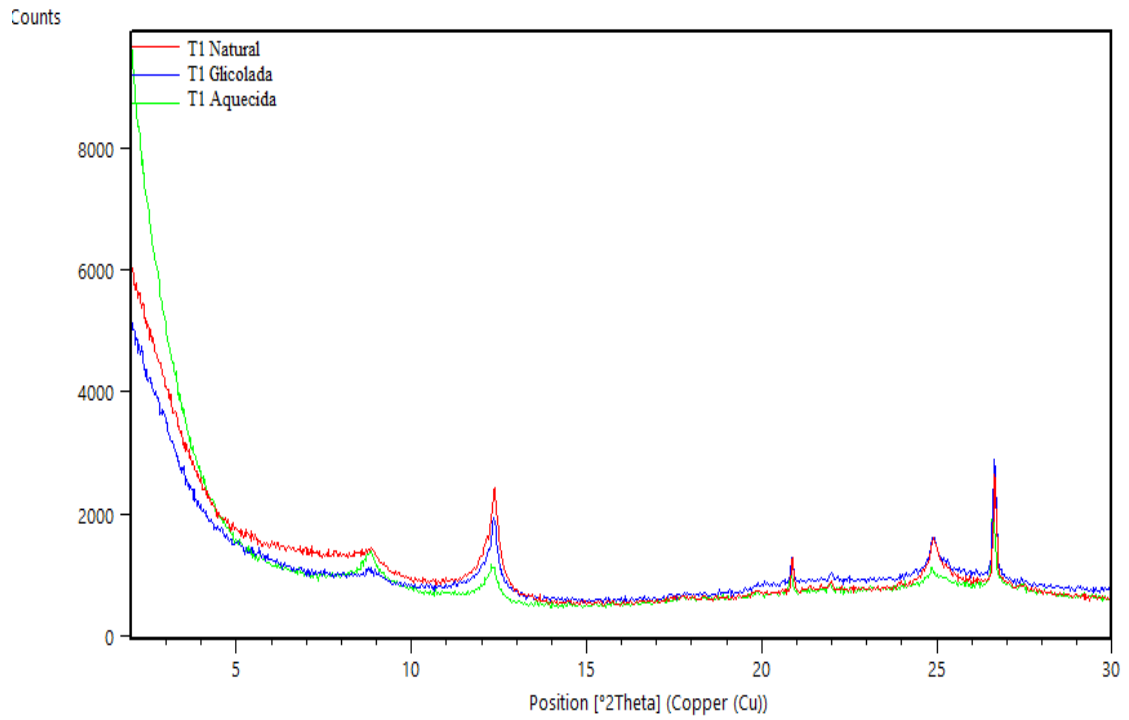


Figura 30: Difratoograma do horizonte Btg1. Em vermelho, amostra natural. Em azul, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em verde, amostra após queima de 550°C.

Tabela 8: Análise química do perfil 1 (P1).

| Hor. | Profundidade (cm) | pH (KCl) | pH (H2O) | H+Al | Al | Ca | Mg | K | Na | P(Res) | C | SB | CTC | V | m | R C | T |
|--|-------------------|----------|----------|-----------------------|-----|-----|-----|------|------|--------|-----------------------|------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| | | | | cmol _c /kg | | | | Ppm | | % | cmol _c /kg | | % | cmol/100g Argila | | | |
| PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico abrupto (P1) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A1 | 0-30 | 4,4 | 5,2 | 1,8 | 0,2 | 0,9 | 0,6 | 0,09 | 0,07 | 4,0 | 0,7 | 1,66 | 3,46 | 47,98 | 10,75 | 11,63 | 21,63 |
| A2 | 30-39 | 4,3 | 5,0 | 1,4 | 0,3 | 0,7 | 0,5 | 0,06 | 0,05 | 3,0 | 0,5 | 1,31 | 2,71 | 48,34 | 18,63 | 10,45 | 17,60 |
| Ec | 39-56 | 4,2 | 4,9 | 1,4 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,07 | 0,09 | 2,0 | 0,5 | 1,06 | 2,46 | 43,09 | 27,40 | 8,74 | 14,73 |
| Btf1 | 56-81 | 4,0 | 4,5 | 5,4 | 1,1 | 2,0 | 1,4 | 0,13 | 0,35 | 1,0 | 0,5 | 3,88 | 9,28 | 41,81 | 22,09 | 14,60 | 27,21 |
| Btf2 | 81-100+ | 4,1 | 4,6 | 5,0 | 1,0 | 3,1 | 1,7 | 0,16 | 0,45 | 2,0 | 0,6 | 5,41 | 10,41 | 51,97 | 15,60 | 16,87 | 27,39 |

Tabela 9: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX nos horizontes diagnósticos do perfil 1 (P1).

| Horizontes | Profundidade (cm) | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO g/100g | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ |
|--|-------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico abrupto (P1) | | | | | | | | | | | |
| Btf1 | 56-81 | 80,32 | 1,597 | 8,26 | 4,6 | 0,026 | 0,26 | 0,07 | 0,08 | 0,62 | 0,046 |
| Btf2 | 81-100+ | 73,85 | 1,539 | 10,65 | 6,93 | 0,238 | 0,35 | 0,1 | 0,07 | 0,74 | 0,043 |

4.4.2 PERFIL 2 (P2)

O perfil 2 (Figura 31) localiza-se em uma vazante a 147,7 m de altitude. Tendo sido classificado como um PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico, sua sequência de horizontes é A (0-14 cm), Btgn1 (14-47 cm) e Btg2 (47-100+ cm).

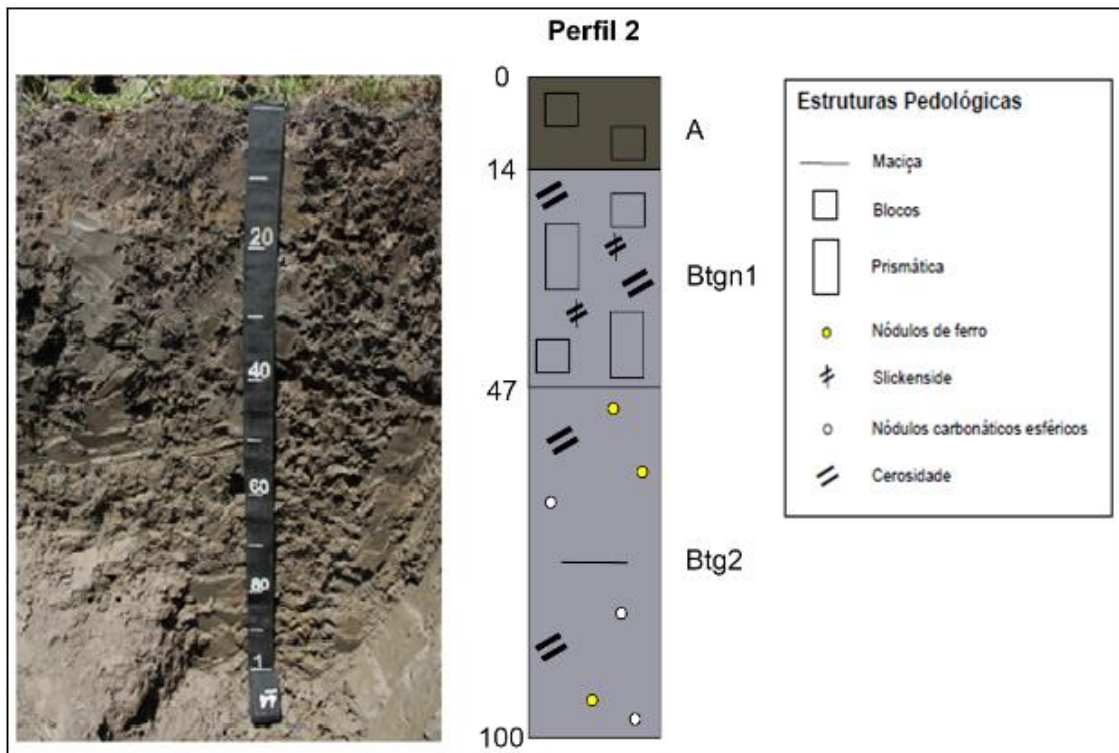


Figura 31: Foto do perfil 2 (P2) com identificação dos horizontes.

A coloração glei inicia-se em 14 cm a partir da superfície e imediatamente abaixo do horizonte A. O processo de gleização mais acentuado deste perfil pode estar relacionado à sua posição topográfica mais baixa, o que significa uma mais longa permanência de água durante o ano.

O horizonte Btgn1 tem razão textural superior a 2 e cerosidade forte/abundante associada aos *slickensides* que definem estruturas prismáticas (Figura 32, tabelas 10 e 11).

O horizonte Btg2 apresenta estrutura maciça devido a forte umidade e uma associação de pequenos nódulos de natureza ferro-magnésiana e carbonática (Figura 32), estes últimos podem ser responsáveis pelo pH neutro (Tabelas 12 e 13).

O perfil tem argilas de atividade alta nos horizontes subsuperficiais, bem como elevada saturação por bases com maior contribuição de Ca (cálcio), seguido por Mg (magnésio), Na (sódio) e K (potássio). Quanto aos elementos identificados por fluorescência

de raios X, a predominância de SiO_2 se mantém (78,15%) seguida por Al_2O_3 e Fe_2O_3 (Tabela 14).



Figura 32: Em (a), cerosidade forte/abundante que definem estruturas prismáticas. Em (b), pequenos nódulos carbonáticos no horizonte Btgn2.

Tabela 10: Distribuição granulométrica do perfil 2 (P2).

| Horizontes | Profundidade (cm) | Areia grossa | Areia Fina | Argila | Silte | Classe textural |
|---|-------------------|--------------|------------|--------|-------|----------------------|
| | | % | | | | |
| PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (P2) | | | | | | |
| A | 0-14 | 40,5 | 23,6 | 26,3 | 9,6 | Franco-argiloarenosa |
| Btgn1 | 14-47 | 8,7 | 12,4 | 57,9 | 21,0 | Argila |
| Btgn2 | 47-100+ | 20,8 | 21,7 | 41,2 | 16,3 | Argila |

Tabela 11: Descrição morfológica do perfil 2 (P2).

| Hor. | Prof. (cm) | Cor | | Estrutura | Cerosidade | Consistência | Transição | Raízes |
|--------------|------------|-------------------------------------|--|--|----------------------|--|-----------------|--------------------------|
| | | Matriz | Mosq. | | | | | |
| A | 0-14 | 10YR4/1 | 2,5YR5/8 (seca), 10YR3/1 (úmida) Associados à raízes 2,5YR4/8 | Blocos, médios, moderada | | Dura, firme, plástica e pegajosa | Abrupta e plana | Muitas (de gramíneas) |
| Btgn1 | 14-47 | G2 6/5PB (seca) G2 4/5PB (úmida) | | Prismática, grande e muito grande qsd* em blocos grandes e muito grandes, forte | Forte e abundante | Extremamente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa | Clara e plana | Raras |
| Btgn2 | 47-100 | G2 5/5PB (úmida) | 2,5YR6/8 e 10YR5/8 (secas) G24/5PB, 2,5YR5/6 e 10YR5/8 (úmidas) | Maciça em decorrência da forte umidade | Forte e abundante | Extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa | | Raras |

*qsd: que se desfaz.

Tabela 12: Descrição nodular do perfil 2 (P2)

| Horizontes | Profundidade (cm) | Nódulos | | | | | |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------------|--------|-----------|---------|---------------------|
| | | Quantidade | Tamanho | Dureza | Forma | Cor | Natureza |
| A | 0-14 | | | | | | |
| Btgn1 | 14-47 | | | | | | |
| Btgn2 | 47-100+ | Muito poucos | Pequenos (milimétricos) | Macios | Esféricos | Brancos | Carbonáticos |
| | | Muito poucos | Pequenos (milimétricos) | Duros | Esféricos | Pretos | Ferro-manganesianos |

Tabela 13: Análise química do perfil 2 (P2).

| Profundidade (cm) | pH (KCl) | pH (H2O) | H+Al | Al | Ca | Mg | K | Na | P(Res) | C | SB | CTC | V | m | R C | T | |
|---|-------------|-------------|------|-----|-----|------|-----|------|--------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | cmol/kg |
| PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (P2) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 0-14 | 4,3 | 4,9 | 2,6 | 0,6 | 2,5 | 1,3 | 0,12 | 0,34 | 2,0 | 1,1 | 4,26 | 6,86 | 62,10 | 12,35 | 18,48 | 26,08 |
| Btgn1 | 14-47 | 4,1 | 4,6 | 9,2 | 1,3 | 17,0 | 6,0 | 0,25 | 3,90 | 2,0 | 1,0 | 27,15 | 36,35 | 74,69 | 4,57 | 49,14 | 62,78 |
| Btgn2 | 47-100+ | 6,2 | 7,1 | 1,0 | 0,0 | 15,0 | 7,0 | 0,24 | 3,30 | 1,0 | 0,4 | 25,54 | 26,54 | 96,23 | 0,00 | 61,99 | 64,42 |

Tabela 14: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico do perfil 2 (P2).

| Horizontes | Profundidade (cm) | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO g/100g | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ |
|---|----------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|-----|------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (P2) | | | | | | | | | | | |
| Btgn2 | 47-100+ | 78,15 | 1,746 | 8,26 | 5,69 | 0,082 | 0,5 | 0,62 | 0,17 | 0,44 | 0,039 |

A análise mineralógica realizada nos horizontes Btgn1 e Btgn2 indica, em ambos, um pico principal e mais proeminente em $\sim 14\text{\AA}$ com amostra natural, o que pode corresponder a minerais do grupo da clorita, do grupo da montmorillonita ou a vermiculita. Após glicolagem, o pico apresenta aumento de 2\AA ou mais, o que representa expansão do espaço entre camadas do argilomineral. Após queima, o pico tem sua intensidade diminuída para $\sim 10\text{\AA}$ confirmando a presença majoritária de montmorillonita, mineral do grupo das esmectitas que apresentam estrutura de camadas 2:1. Este colapso após queima reflete a desidratação da camada contendo água/hidroxila dos minerais do grupo da montmorillonita (Figura 33).

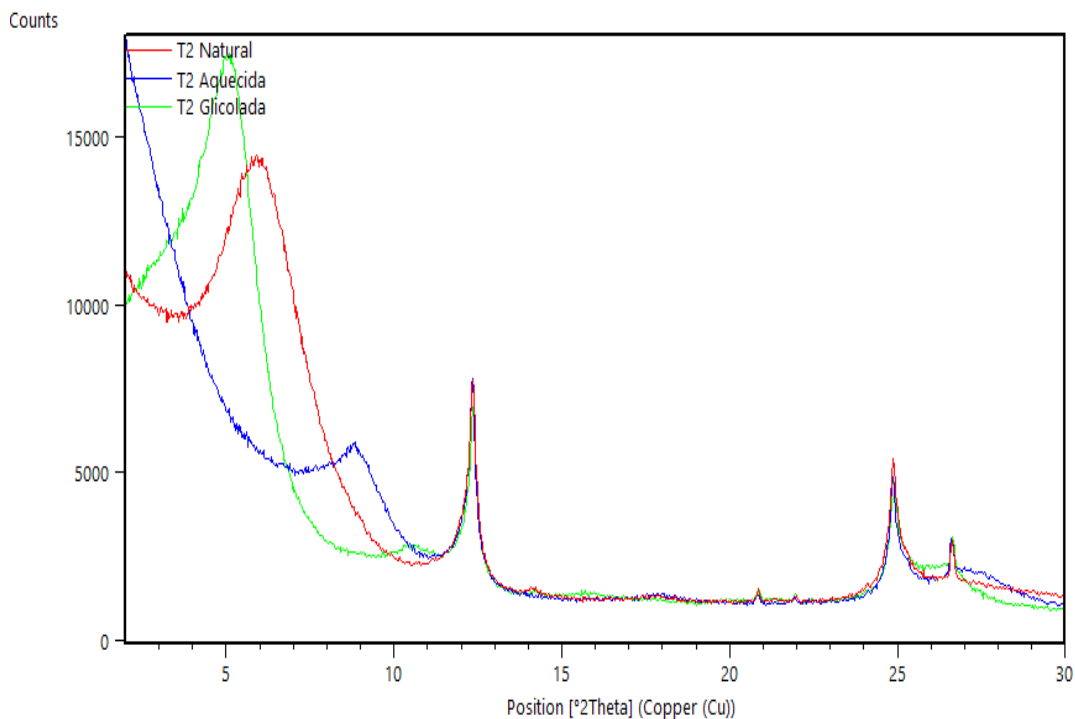


Figura 33: Difratograma do horizonte Btgn1. Em vermelho, amostra natural. Em azul, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em verde, amostra após queima de 550°C .

4.4.3 PERFIL 3 (P3)

O perfil 3 (Figura 34), também localizado em vazante, está a 148,2 m de altitude. Sua posição topográfica diferencia-se do PLANOSSOLO anteriormente descrito em 50 cm. Trata-se de um GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico com sequência de horizontes A (0-13 cm), Bg1 (13-36 cm), Bg2 (36-67 cm) e Bg3 (67-100+ cm).

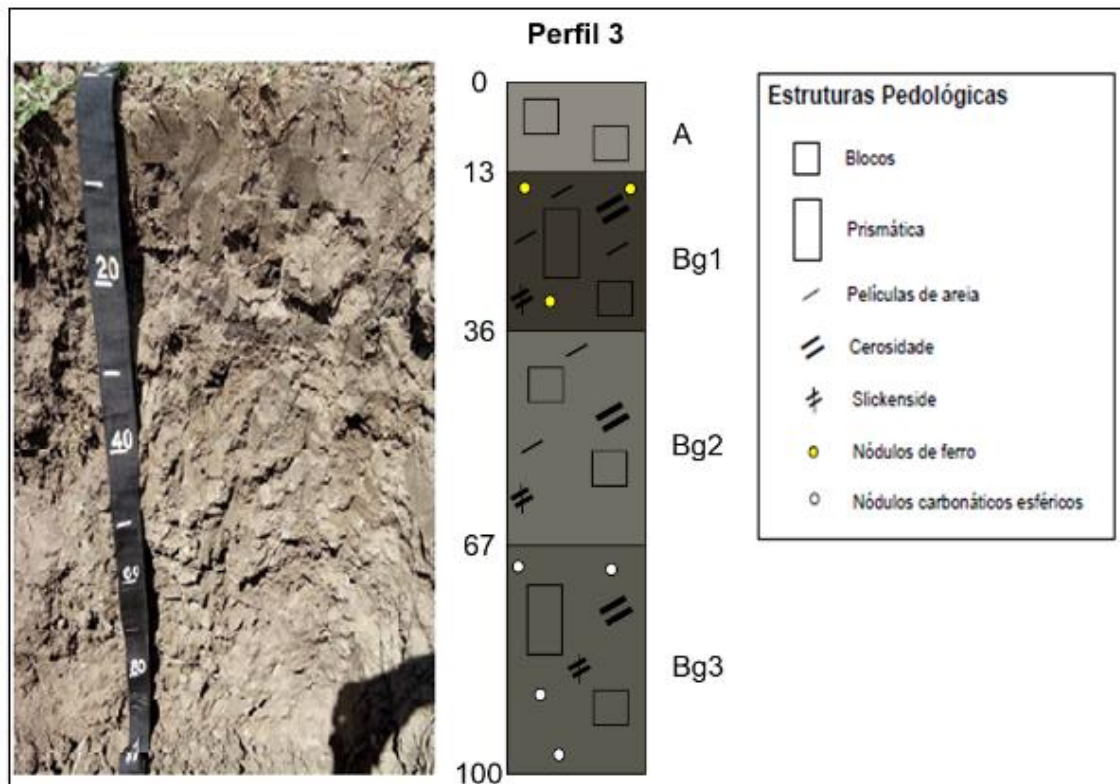


Figura 34: Foto do perfil 3 (P3) com identificação dos horizontes.

As estruturas em blocos ou prismáticas de grau forte iniciam-se em 13 cm da superfície (Tabela 15). No horizonte Bg1, os planos das estruturas são recobertos com areia fina 10YR8/1 (seca) que formam películas no entorno dos *peds* e há presença de poucos e pequenos nódulos de natureza ferruginosa (Tabela 16).

Tabela 15: Descrição morfológica do perfil 3 (P3).

| Hor. | Prof. (cm) | Cor | | Estrutura | Cerosidade | Consistência | Transição | Raízes |
|------|------------|-------------------------------------|---|---|-------------------|--|--------------------|--------|
| | | Matriz | Mosq. | | | | | |
| A | 0-13 | 10YR6/1 (úmida) | 10YR4/1 (seca) 5YR 5/8 (úmida) Associado à raízes 5YR5/8 (seca) | Blocos sub angulares, grandes e fortes | | Ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa | Abrupta e ondulada | Comuns |
| Bg1 | 13-36 | 10YR4/1 (seca) 10YR3,5/1 (úmida) | | Prismática, grande (até 15cm) e forte qsd* em blocos angulares, grandes e muito grande, forte | Forte e abundante | Extremamente dura, extremamente firme, muito plástica e muito pegajosa | Clara e plana | Raras |
| Bg2 | 36-67 | 10YR5/1 | 5YR5/8 e 10YR7/8 (secas) 5YR5/8 e 10YR6/8 (úmidas) | Blocos, grandes e fortes | Forte e abundante | Extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa | Clara e plana | |
| Bg3 | 67-100+ | 10YR4,5/1 | | Prismática, grande e forte Blocos angulares, grande e forte Cuneiforme, médias e grandes, forte | Forte e abundante | Extremamente dura, extremamente firme, muito plástica e muito pegajosa | | |

*qsd: que se desfaz.

Tabela 16: Descrição nodular do perfil 3 (P3).

| Horizontes | Profundidade (cm) | Nódulos | | | | | |
|------------|-------------------|--------------|-------------------------|--------|-----------------------|--------|--------------|
| | | Quantidade | Tamanho | Dureza | Forma | Cor | Natureza |
| A | 0-13 | | | | | | |
| Bg1 | 13-36 | Muito poucos | Pequenos (milimétricos) | Duros | Esféricos | Pretos | Ferruginosos |
| Bg2 | 36-67 | | | | | | |
| Bg3 | 67-100+ | Poucos | Médios (até 1 cm) | Duros | Esféricos e tubulares | Branco | Carbonáticos |

No horizonte Bg2, as películas de areia são mais raras, porém idênticas ao horizonte anterior e preenchem os *slickensides*, estes muito evidentes e que definem estruturas. Acredita-se que essas areias sejam transportadas da superfície pelas fendas que se abrem nos Vertissolos durante os períodos mais secos do ano (Figura 35).

No horizonte Bg3, há nódulos carbonáticos de tamanho médio em pequena quantidade. A cerosidade forte e abundante está presente em todos os horizontes B vérticos associada aos *slickensides*. Não há incremento de argila suficiente para caracterização de horizonte B textural (Tabela 17).



Figura 35: Películas de areia recobrimdo os peds no horizonte Bg1 e Bg2.

Tabela 17: Distribuição granulométrica do perfil 3 (P3).

| Horizontes | Profundidade (cm) | Areia grossa | Areia Fina | Argila | Silte | Classe textural |
|---|-------------------|--------------|------------|--------|-------|----------------------|
| % | | | | | | |
| GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico (P3) | | | | | | |
| A | 0-13 | 37,9 | 31,2 | 21,6 | 9,3 | Franco-argiloarenosa |
| Bg1 | 13-36 | 30,4 | 26,5 | 31,2 | 11,9 | Franco-argiloarenosa |
| Bg2 | 36-67 | 26,7 | 24,0 | 35,7 | 13,6 | Argiloarenosa |
| Bg3 | 67-100+ | 19,2 | 24,7 | 41,0 | 15,1 | Argila |

No perfil 3, o pH próximo de 7 associa-se ao horizonte com nódulos carbonáticos, bem como uma elevada saturação por bases (acima de 96%) e argilas de atividade alta (67cmol/100g). Há maior contribuição de Mg na soma de bases, seguido por Ca, Na e K. O

caráter solódico, porcentagem de saturação por sódio entre 6 e 15%, aparece nos horizontes subsuperficiais, Os resultados de espectrometria de fluorescência de Raios X seguem o padrão de maior concentração de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . No entanto, neste perfil, há um ligeiro aumento da concentração de CaO (1,44 g/100g) no horizonte Bg3 quando comparado aos perfis anteriores e aos horizontes sobrejacentes (Tabelas 18 e 19).

Para verificar o mineral predominante na fração argila no perfil 3, foram analisadas por difração de raios X, amostras dos horizontes Bg1 e Bg2. O resultado mostrou-se muito semelhante ao do perfil 2, cujo pico principal representa a presença majoritária de montmorillonita. Nos dois horizontes, há um pico principal em $\sim 14\text{\AA}$, que expande para $\sim 17\text{\AA}$ quando submetido a atmosfera de etilenoglicol e colapsa para $\sim 10\text{\AA}$ quando aquecida (Figura 36).

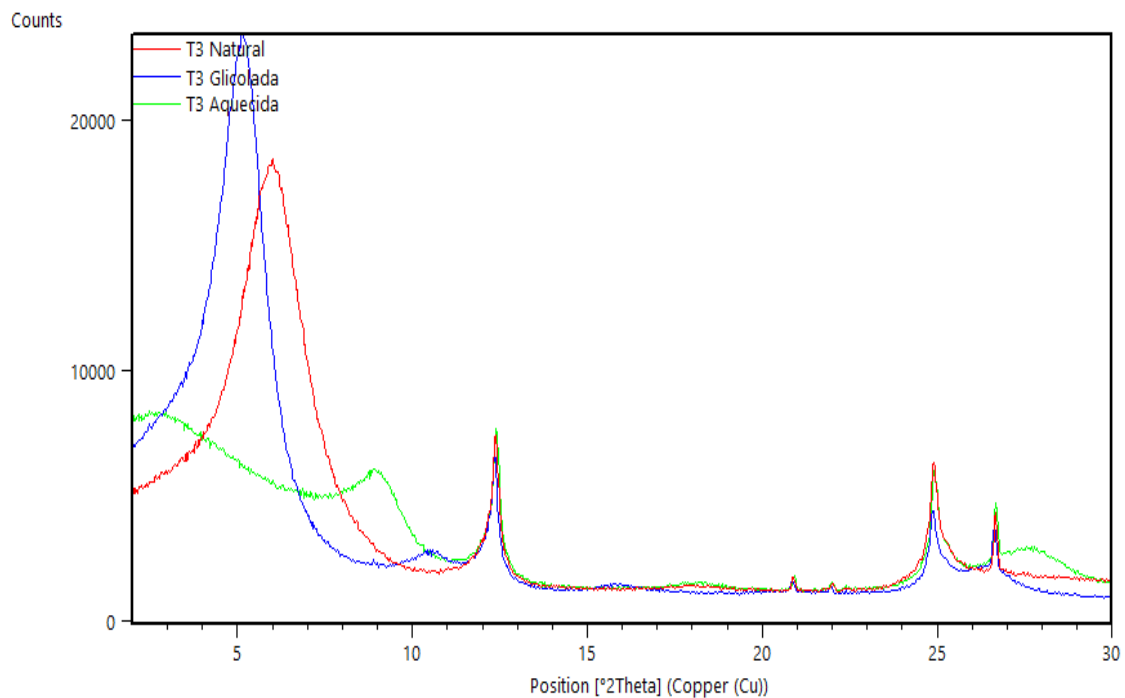


Figura 36: Difratograma do horizonte Bg1. Em vermelho, amostra natural. Em azul, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em verde, amostra após queima de 550°C.

Tabela 18: Análise química do perfil 3 (P3).

| Profundidade (cm) | pH (KCl) | pH (H ₂ O) | H+Al | Al | Ca | Mg | K | Na | P(Res) | C | SB | CTC | V | m | R C | T | |
|---|-------------|--------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|------|------|--------|-----------------------|-----|-------|-------------------------|-------|------|-------|-------|
| | | | cmol _c /kg | | | | ppm | | % | cmol _c /kg | | % | cmol/ 100g Argila | | | | |
| GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico (P3) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 0-13 | 5,5 | 6,2 | 1,4 | 0,0 | 3,5 | 2,3 | 0,40 | 0,21 | 16,0 | 1,8 | 6,41 | 7,81 | 82,07 | 0,00 | 29,68 | 36,16 |
| Bg1 | 13-36 | 6,0 | 6,8 | 1,2 | 0,0 | 4,6 | 13,5 | 0,24 | 3,10 | 3,0 | 1,1 | 21,44 | 22,64 | 94,70 | 0,00 | 68,72 | 72,56 |
| Bg2 | 36-67 | 6,6 | 7,4 | 0,8 | 0,0 | 4,7 | 14,0 | 0,21 | 3,00 | 2,0 | 0,5 | 21,91 | 22,71 | 96,48 | 0,00 | 61,37 | 63,61 |
| Bg3 | 67-100+ | 6,5 | 7,3 | 1,0 | 0,0 | 7,0 | 16,0 | 0,23 | 3,50 | 1,0 | 0,4 | 26,73 | 27,73 | 96,39 | 0,00 | 65,20 | 67,63 |

Tabela 19: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico do perfil 3 (P3)

| Horizontes | Profundidade (cm) | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO g/100g | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ |
|---|----------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico (P3) | | | | | | | | | | | |
| Bg1 | 13-36 | 82,35 | 1,249 | 5,7 | 4,79 | 0,056 | 0,55 | 0,19 | 0,11 | 0,28 | 0,033 |
| Bg2 | 36-67 | 82,03 | 1,413 | 6,58 | 4,27 | 0,038 | 0,72 | 0,36 | 0,12 | 0,31 | 0,044 |
| Bg3 | 67-100+ | 74,15 | 1,72 | 9,46 | 5,84 | 0,041 | 0,86 | 1,44 | 0,15 | 0,31 | 0,046 |

4.4.4 PERFIL 4 (P4)

O perfil 4 (Figura 37), um GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico, com sequência de horizontes A (0-7 cm), Bg1 (7-29 cm), 2Bg2 (29-76 cm) e 2Bg3 (76-110+ cm), localiza-se nos mesmos 148,2 m de altitude que o perfil descrito anteriormente (P3).

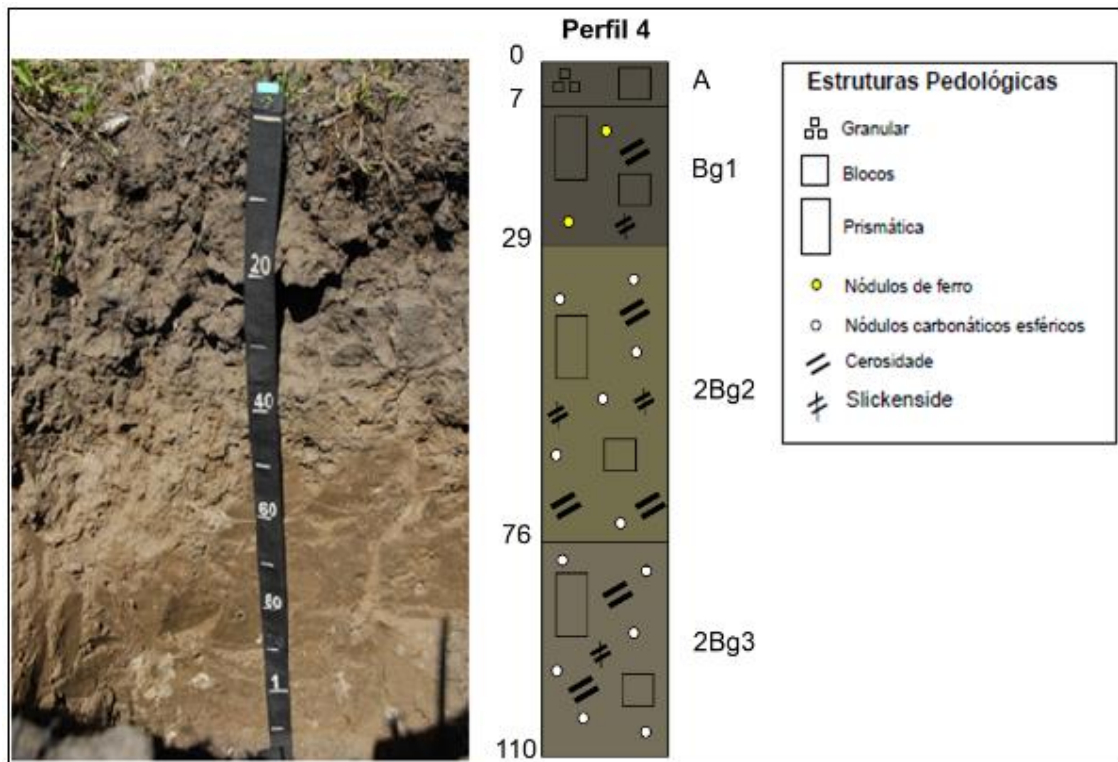


Figura 37: Foto do perfil 4 (P4) com identificação dos horizontes.

Apesar dos horizontes subsuperficiais apresentarem estruturas e consistências semelhantes (Tabela 20), no horizonte 2Bg2 observam-se cunhas de areia que penetram o horizonte, no topo com até 7 cm de largura e na base com 2 mm, a areia de preenchimento é média-fina, com até 30 cm de profundidade e truncadas no contato Bg1/2Bg2. Provavelmente são cunhas de ressecamento preenchidas por areia de superfície que indicam que os dois horizontes superiores (A e Bg1) desenvolveram-se em materiais depositados posteriormente (Figura 38). Trata-se de uma característica indicativa da sobreposição de perfis de solo e da formação de sequências sedimentares. As discontinuidades no material de origem em solos de planícies fluviais são muito comuns devido aos diferentes ciclos de sedimentação e seus hiatos que permitem a pedogênese, os perfis de solo refletem tal ciclicidade (Kraus e Wright., 1992). A ausência do horizonte A na sequência 2Bg2/2Bg3 e o truncamento das cunhas preenchidas por areia indicam que houve erosão entre os eventos deposicionais.

Outro indicativo de descontinuidade no material de origem é a diminuição do teor de argila entre os horizontes Bg1 (33,5%) e 2Bg2 (30,8%). Situações em que horizontes mais argilosos estão sobrejacentes aos horizontes mais arenosos sugerem descontinuidade litológica associada a mudanças sedimentares (Tabela 21).

Todos os horizontes vérticos têm grandes *slickensides* que definem estruturas. No entanto, no horizonte Bg1 há nódulos de natureza ferro-magnésiana e mosqueados vermelho-amarelos endurecidos. Enquanto nos horizontes 2Bg2 e 2Bg3 os nódulos são brancos, carbonáticos e grandes, que aumentam sua frequência com a profundidade (Tabela 22 e Figura 38). Em tradagem complementar percebe-se que a 120 cm o aprofundamento com o trado torna-se muito difícil e ponto de impossibilitar a descida.

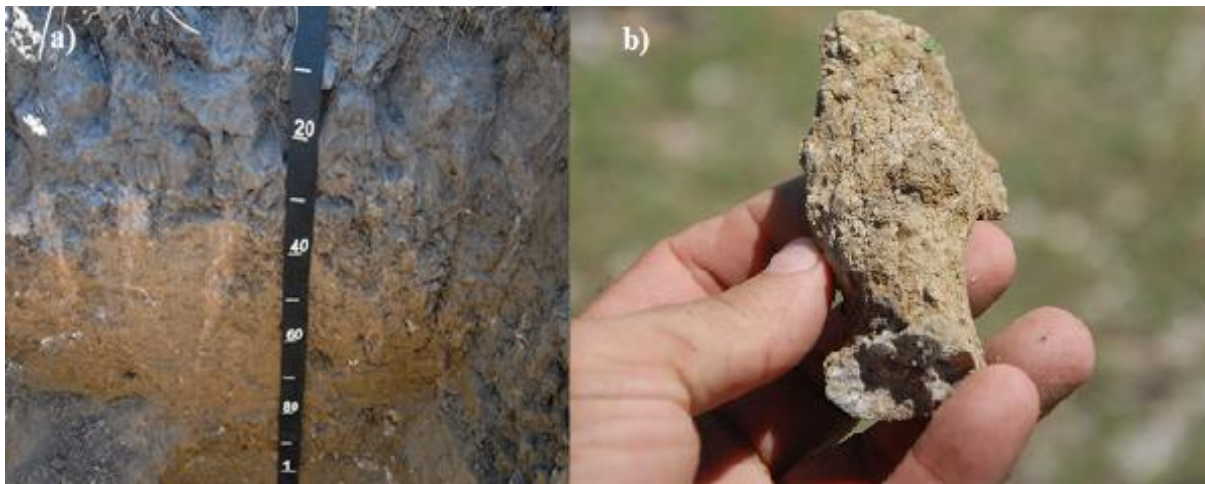


Figura 38: Em (a), cunhas de areia que penetram o horizonte 2Bg2. Em (b), grandes nódulos carbonáticos no horizonte 2Bg3.

A análise por fluorescência de raios X foi realizada apenas nos horizontes 2Bg2 e 2Bg3, não acrescentando informações acerca da descontinuidade de um perfil enterrado. No entanto, apesar de todos os horizontes do perfil serem eutróficos com argila de alta atividade, dados do complexo sortivo demonstram o pH ácido nos dois primeiros horizontes e alcalino nos horizontes subjacentes. A contribuição de Na e Ca na soma de bases também aumenta consideravelmente nos horizontes 2Bg2 e 2Bg3, diferentemente dos horizontes A e Bg1 (Tabelas 23 e 24).

| Hor. | Prof. (cm) | Cor | Estrutura | Cerosidade | Consistência | Transição | Raízes |
|-------------|------------|--------------------------|--|--|---|------------------------------------|---|
| | | Matriz | Mosq. | Outras | | | |
| A | 0-7 | 10YR4/1 | Associados à raízes 7,5YR5/8 (seca e úmida) | Porções 10YR8/2 (seca), 10YR3/1 (úmida) | Blocos, médios, moderada Granular, pequena e média, forte | Dura, friável, plástica e pegajosa | Abrupta e plana Muitas (de gramíneas) |
| Bg1 | 7-29 | 10YR4/1 | Associado à raízes 2,5YR5/8 | | Prismática, grande e muito grande, forte qsd* em blocos, grandes e fortes | Pouca e fraca | Extremamente dura, extremamente firme, muito plástica e muito pegajosa Abrupta e plana Comuns |
| 2Bg2 | 29-76 | 2,5YR 5/3 (seca e úmida) | | Porções 10YR8/3 (seca), 10YR8/2 (úmida) | Prismática, grande qsd em blocos angulares, médios e grandes, forte | Forte e comum | Extremamente dura, e extremamente firme, muito plástica e muito pegajosa Clara e plana Raras |
| 2Bg3 | 76-110 | 2,5YR 5/2 | 7,5YR8/3 (seca e úmida) | Porções 2,5Y5/1 | Prismática, grande e muito grande qsd em blocos, grandes e muito grandes, forte | Comum e moderada | Dura, firme, muito plástica e muito pegajosa . |

Tabela 20: Descrição morfológica do perfil 4 (P4).

Tabela 21: Distribuição granulométrica do perfil 4 (P4).

| Horizontes | Profundidade (cm) | Areia grossa | Areia Fina | Argila | Silte | Classe textural |
|---|-------------------|--------------|------------|--------|-------|-----------------------|
| | | % | | | | |
| GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico (P4) | | | | | | |
| A | 0-7 | 39,5 | 23,6 | 26,9 | 10,0 | Franco- argiloarenosa |
| Bg1 | 7-29 | 32,1 | 21,8 | 33,5 | 12,6 | Franco- argiloarenosa |
| 2Bg2 | 29-76 | 26,8 | 28,5 | 30,8 | 13,9 | Franco- argiloarenosa |
| 2Bg3 | 76-110+ | 26,4 | 20,0 | 39,3 | 14,3 | Argiloarenosa |

Tabela 22: Descrição nodular do perfil 4 (P4).

| Horizontes | Profundidade (cm) | Nódulos | | | | | |
|------------|-------------------|------------------------|------------------------|--------|---|--------|-------------------------|
| | | Quantidade | Tamanho | Dureza | Forma | Cor | Natureza |
| A | 0-7 | | | | | | |
| Bg1 | 7-29 | Poucos Muito poucos | Pequenos (até 4mm) | Duros | Esféricos | Pretos | Ferro- manganesianos |
| 2Bg2 | 29-76 | Frequentes | Grandes (até 4 cm) | Duros | Irregulares | Branco | Carbonáticos |
| 2Bg3 | 76-110+ | Muito frequentes | Grandes (até 10 cm) | Duros | Esféricos, irregulares, alguns septários | Branco | Carbonáticos |

Tabela 23: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico do perfil 4 (P4).

| Horizontes | Profundidade (cm) | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO g/100g | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ |
|---|-------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico (P4) | | | | | | | | | | | |
| 2Bg2 | 29-76 | 78,06 | 1,405 | 6,99 | 5,03 | 0,103 | 1,1 | 1,12 | 0,12 | 0,46 | 0,049 |
| 2Bg3 | 76-110+ | 78,36 | 1,822 | 8,05 | 5,62 | 0,07 | 0,28 | 0,19 | 0,04 | 0,37 | 0,098 |

Tabela 24: Dados químicos do perfil 4 (P4).

| Profundidade (cm) | pH (KCl) | pH (H2O) | H+Al | Al | Ca | Mg | K | Na | P(Res) | C | SB | CTC | V | M | R C | T | |
|---|----------|----------|------|-----|-----|-----|------|------|--------|------|-----|-------|-------|-------|------|-------|---------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | cmol/kg |
| GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico (P4) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 0-7 | 5,2 | 5,9 | 2,2 | 0,0 | 4,2 | 5,0 | 1,70 | 0,42 | 69,0 | 2,3 | 11,32 | 13,52 | 83,73 | 0,00 | 33,79 | 40,36 |
| Bg1 | 7-29 | 5,9 | 6,6 | 1,0 | 0,0 | 4,6 | 6,5 | 1,50 | 0,41 | 61,0 | 0,9 | 13,01 | 14,01 | 92,86 | 0,00 | 48,36 | 52,08 |
| 2Bg2 | 29-76 | 6,5 | 7,2 | 0,8 | 0,0 | 6,5 | 13,0 | 1,40 | 1,60 | 19,0 | 0,6 | 22,50 | 23,30 | 96,57 | 0,00 | 55,15 | 57,11 |
| 2Bg3 | 76-110+ | 6,9 | 7,5 | 0,8 | 0,0 | 6,8 | 17,0 | 0,35 | 2,20 | 2,0 | 0,5 | 26,35 | 27,15 | 97,05 | 0,00 | 67,05 | 69,08 |

Em análise da assembleia mineralógica do perfil, verifica-se predominância de montmorillonita no horizonte Bg1, assim como ocorre nos perfis 2 e 3. Quando verificados os difratogramas dos horizontes 2Bg2 e 2Bg3, o pico principal se mantém em $\sim 14\text{\AA}$ para a amostra natural. Mas quando a amostra é glicolada, o pico não mais expande para $\sim 17\text{\AA}$, apenas sofre uma leve expansão para $\sim 15\text{\AA}$ e em seguida colapsa para $\sim 10\text{\AA}$, protocolo indicativo da presença majoritária de vermiculita e não mais de montmorillonita (Figura 39). A menor expansão do pico se deve a vermiculita ser um mineral expansível, porém menos que a montmorillonita.

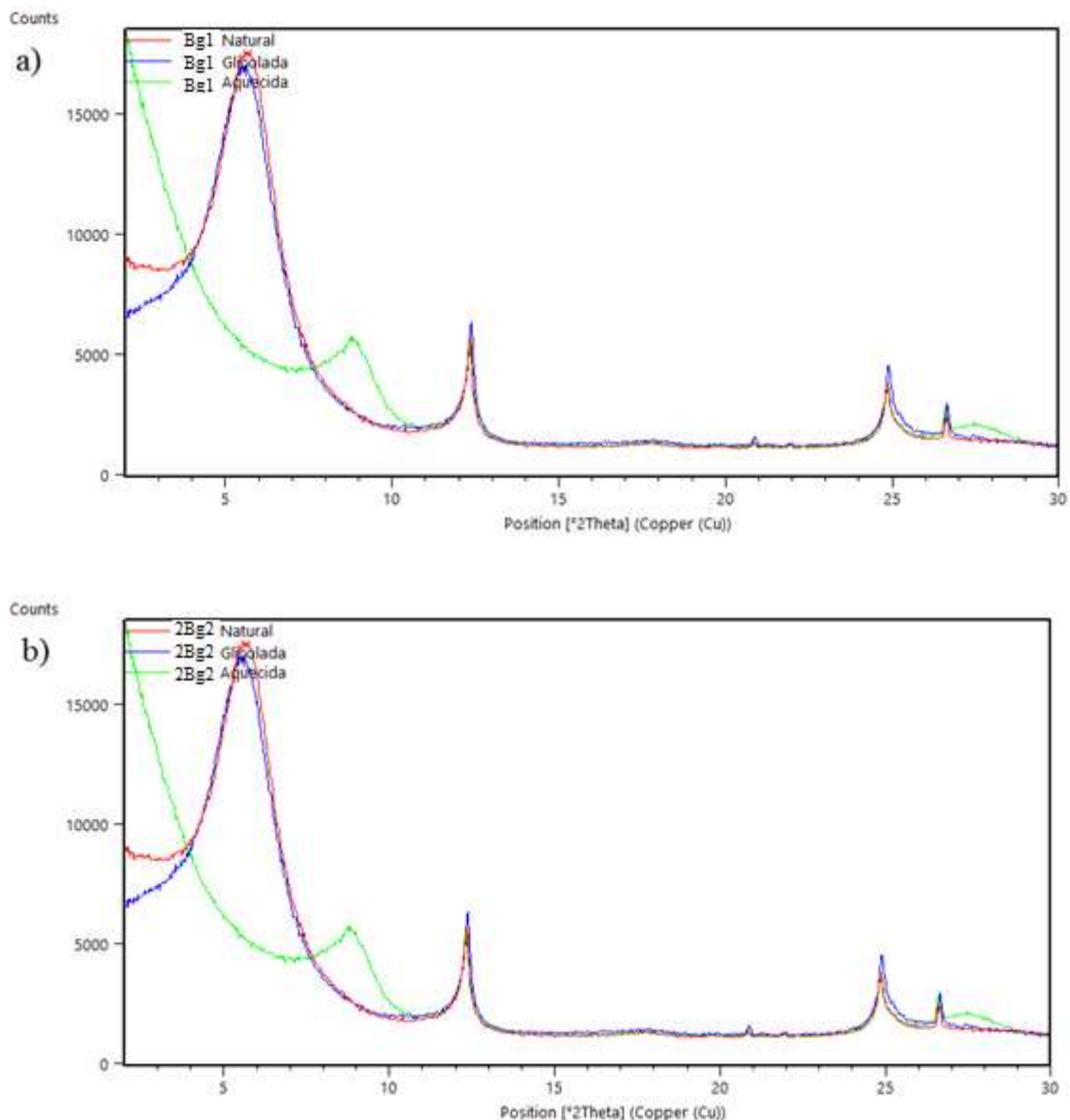


Figura 39: Em (a) Difratograma do horizonte Bg1 com amostra natural, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol e amostra após queima de 550°C. Em (b), difratograma do horizonte 2Bg2 com amostra natural, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol e amostra após queima de 550°C.

4.4.5 PERFIL 5 (P5)

O perfil 5 (Figura 40), um PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico vertissólico, tem sequência de horizontes A (0-15 cm), Bt1 (15-45 cm), Bt2 (45-64 cm), 2Bvn1 (64-117 cm), 2Bvn2 (117-153 cm) e 3Bv3 (153,175+ cm). Com 148,5 m de altitude, localiza-se em pequena elevação circular, 30 cm acima do perfil anterior (Figura 41) e também apresenta evidências de que há mais de um perfil de solo incorporado à uma sequência de depósitos sedimentares.

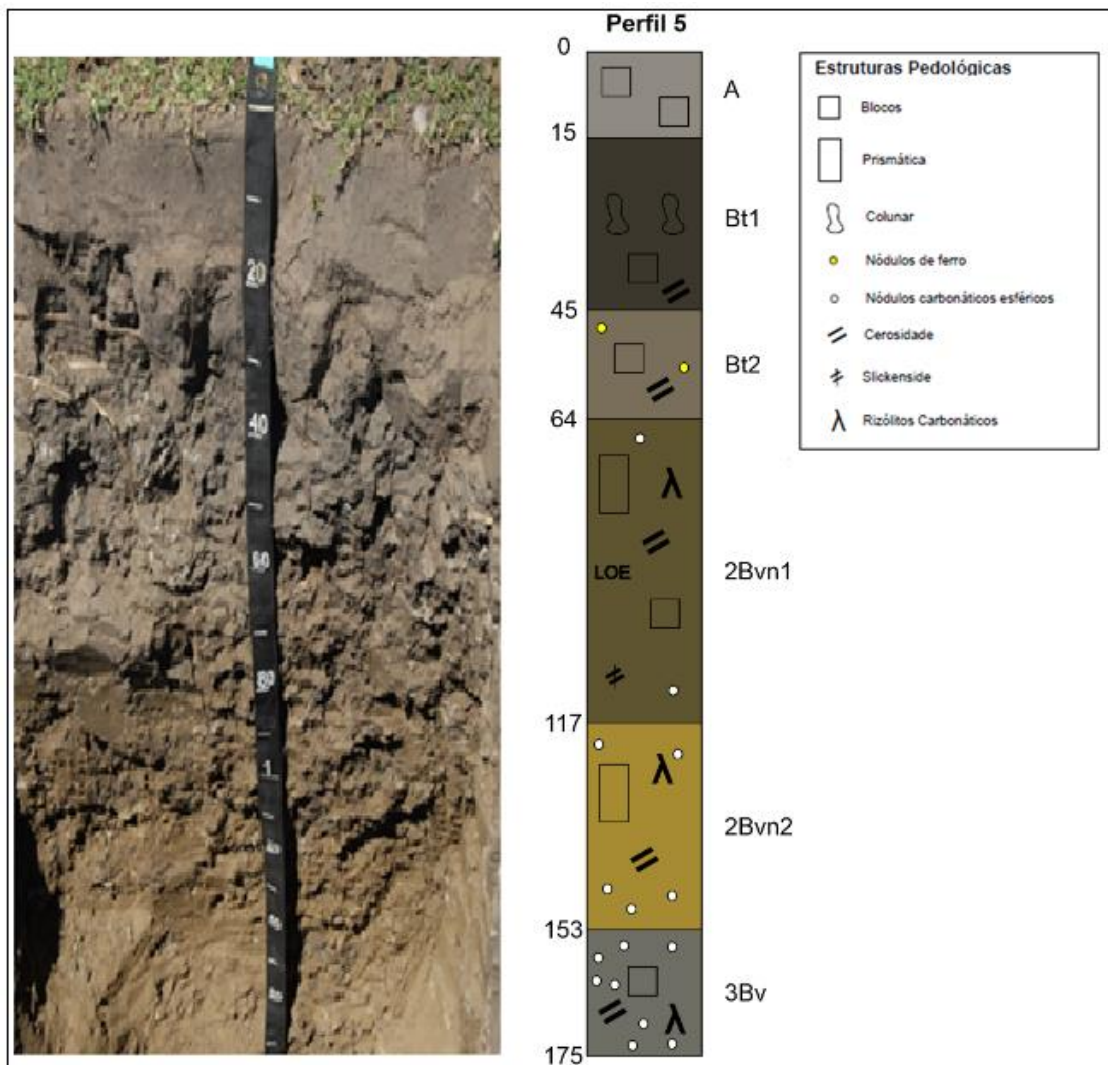


Figura 40: Foto do perfil 5 (P5) com identificação dos horizontes.

O perfil superficial apresenta transição abrupta (A/Bt1), razão textural de 1,8 (Tabela 25) e estrutura colunar (Tabela 26) característica de horizonte B plânico (Figura 42). O

horizonte 2Bvn1 tem *slickensides* preenchidos por areia, indicando que este perfil já esteve em superfície e foi soterrado por evento deposicional posterior (Figura 42).



Figura 41: Vista dos perfis 4 (P4) e 5 (P5) para comparação das feições morfológicas.

Tabela 25: Distribuição granulométrica do perfil 5 (P5)

| Horizontes | Profundidade (cm) | Areia grossa | Areia Fina | Argila | Silte | Classe textural |
|--|-------------------|--------------|------------|--------|-------|----------------------|
| % | | | | | | |
| PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico vertissólico (P5) | | | | | | |
| A | 0-15 | 42,9 | 32,7 | 18,6 | 5,8 | Francoarenosa |
| Bt1 | 15-45 | 28,1 | 26,4 | 34,3 | 11,2 | Franco-argiloarenosa |
| Bt2 | 45-64 | 31,0 | 22,5 | 35,0 | 11,5 | Franco-argiloarenosa |
| 2Bvn1 | 64-117 | 21,7 | 24,2 | 40,0 | 14,1 | Argiloarenosa |
| 2Bvn2 | 117-153 | 17,5 | 19,6 | 46,7 | 16,2 | Argila |
| 3Bv3 | 153-175+ | 17,3 | 20,4 | 47,3 | 15,0 | Argila |

| Hor. | Prof. (cm) | Cor | | | Estrutura | Cerosidade | Consistência | Transição | Raízes |
|-------|---------------|-----------------------------------|--|---|--|-------------------|---|-----------------|-----------------------|
| | | Matriz | Mosq. | Outras | | | | | |
| A | 0-15 | 10YR6/1 | Associado á raízes 5YR5/8 (seca) e 10YR4/1 (úmida) | | Blocos sub angulares, médios e grandes, moderada e forte | | Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa | Abrupta e plana | Comuns (de gramíneas) |
| Bt1 | 15-45 | 10YR3/1 (seca e úmida) | | Películas 10YR8/1 (seca) | Colunar, muito grande (até 20 cm), forte, qsd* em blocos, grandes e muito grandes, forte | Forte e abundante | Extremamente dura, firme, plástica e muito pegajosa | Clara e plana | |
| Bt2 | 45-64 | 10YR5/2 (seca) 10YR4/2 (úmida) | 10YR6/6 (seca) 10YR5/4 (úmida) | Películas negras associadas a marcas de raízes | Blocos angulares, muito grandes e grandes, forte | Forte e abundante | Extremamente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa. Porém, observa-se a presença de muitos nódulos | Abrupta e plana | |
| 2Bvn1 | 64-117 | 2,5Y5/4 (seca) 2,5Y4/4 (úmida) | 7,5YR5/8 (seca) | Películas de iluviação e <i>slickensides</i> 2,5Y4/1 (seca e úmida) | Prismática, média e grande, forte qsd em blocos, grandes e médios, forte | Forte e abundante | Dura Friável Muito plástica e muito pegajosa | Abrupta e plana | |
| 2Bvn2 | 117-153 | 2,5Y6/6 (seca) 2,5Y5/6 (úmida) | | <i>Slickensides</i> e cerosidade 2,5Y5/1 (seca e úmida) Raras películas negras na superfície dos agregados | Prismática e blocos, grandes e médios, forte | Forte e abundante | Dura Friável Muito plástica e muito pegajosa | Abrupta e plana | |
| 3Bv3 | 153-175 | 10YR5/1 (seca) 10YR4/1 (úmida) | | Manchas pretas associadas a superfície dos pedr e porções 10YR6/8 (seca e úmida) | Blocos, médios e grandes, forte | Comum e moderada | Muito dura Muito firme Plástica e pegajosa | | |

*qsd: que se desfaz.

Tabela 26: Descrição morfológica do perfil 5 (P5).



Figura 42: Em (a), estrutura colunar em horizonte Bt1. Em (b), estrutura prismática preenchida por areia no horizonte 2Bvn1.

A exemplo do perfil 4, no perfil 5 os nódulos ferro-manganesianos também são substituídos por nódulos carbonáticos em profundidade (Tabela 27). Porém, estão associados em 2Bvn1. As concentrações carbonáticas são brancas e Pal et al. (2001), Srivastava (1994, 1998) indicam que cores brancas, em condições aluviais, indicam climas áridos e semiáridos, já que em condições um pouco mais úmidas há a formação de películas de Fe-Mn, gerando cores vermelhas e negras associadas às feições carbonáticas.

Essa natureza poligenética é especialmente comum em solos que presenciaram mudanças ambientais, o que resultou na sobreposição de memórias (Targulian e Bronnikova, 2019), ou ainda, quando considerado um pedo-palimpsesto (Schaeztl e Anderson, 2005), na sobreposição de registros de como era o ambiente em seu intervalo de formação.

Foi coletada amostra para datação por luminescência opticamente estimulada a 90 cm de profundidade no horizonte 2Bvn1. O resultado identificou um depósito com 12.463 ± 1.3 anos.

O perfil 5 é o que apresenta os maiores nódulos carbonáticos e também aqueles cuja efervescência em contato com HCl é mais forte. Como consequência, seu pH é bastante elevado (acima de 8) bem como seu eutrofismo (acima de 97%). A atividade alta da argila permanece, assim como nos perfis descritos anteriormente.

A porcentagem de saturação por sódio (PSS) indica caráter solódico (entre 6 e 15%) nos horizontes Bt1, Bt2, 2Bvn2 e 3Bv3. Enquanto o caráter solódico ($PSS > 15\%$) foi

identificado apenas no horizonte 2Bvn1 e, apesar de não coincidir com o horizonte plânico (Bt1), ocorre dentro de 120 cm a partir da superfície do solo, podendo ser utilizado para caracterizar um Planossolo Nátrico (Tabela 28).

Os resultados de espectrometria de fluorescência de raios x apresentados na tabela 29 continuam a indicar maior concentração SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Além do padrão de alteração em que o teor de SiO_2 diminui em profundidade os teores de Al_2O_3 e Fe_2O_3 aumentam com a profundidade. O teor de CaO atinge a maior concentração de todos os perfis em 3Bv (3,38 g/100g), apesar de ainda serem relativamente baixos para perfis carbonáticos.

A análise por difração de raios X foi realizada nos horizontes Bt1, Bt2, 2Bvn1, 2Bvn2 e 3Bv3. Em todos os horizontes o pico principal está em $\sim 14\text{\AA}$ para a amostra natural, se mantém ou expande ligeiramente para $\sim 15\text{\AA}$ em amostra glicolada e colapsa para $\sim 10\text{\AA}$ após aquecimento, indicando presença majoritária de vermiculita (Figura 43).

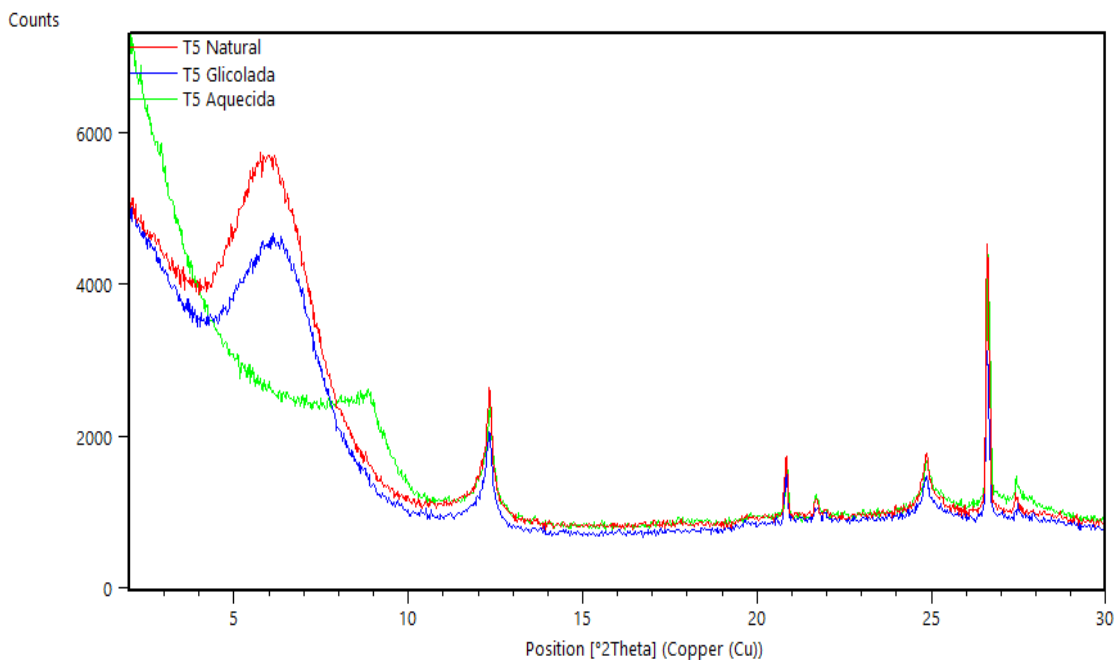


Figura 43: Difratograma padrão para os horizontes do perfil 5 (P5). Em vermelho, amostra natural. Em azul, amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em verde, amostra após queima de 550°C.

Tabela 27: Descrição nodular do perfil 5 (P5).

| Horizontes | Profundidade (cm) | Nódulos | | | | | |
|------------|-------------------|------------------|---|--------|--|--------|---------------------|
| | | Quantidade | Tamanho | Dureza | Forma | Cor | Natureza |
| A | 0-15 | | | | | | |
| Bt1 | 15-45 | | | | | | |
| Bt2 | 45-64 | Muito poucos | Pequenos | Duros | Esféricos | Pretos | Ferro-manganesianos |
| 2Bvn1 | 64-117 | Poucos | Grandes (até 2 cm) | Duros | Tubulares (rizólitos), eventualmente esféricos | Branco | Carbonáticos |
| 2Bvn2 | 117-153 | Frequentes | Grandes (até 20 cm de comprimento e 4 cm de diâmetro) | Duros | Tubulares (rizólitos), alguns septários | Branco | Carbonáticos |
| 3Bv3 | 153-175+ | Muito frequentes | Grandes (até 5 cm de diâmetro) | Duros | Tubulares (rizólitos), alguns esféricos ou septários | Branco | Carbonáticos |

Tabela 28: Dados químicos do perfil 5 (P5)

| Horizonte | Profundidade (cm) | pH (KCl) | pH (H2O) | H+Al | Al | Ca | Mg | K | Na | P(Res) | C | SB | CTC | V | M | R C | T |
|--|-------------------|----------|----------|------|-----|------|------|------|------|--------|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico vertissólico (P5) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 0-15 | 6,5 | 7,2 | 1,2 | 0,0 | 4,0 | 2,6 | 0,59 | 0,19 | 63,0 | 1,9 | 7,38 | 8,58 | 86,01 | 0,00 | 39,68 | 46,13 |
| Bt1 | 15-45 | 7,4 | 8,1 | 0,6 | 0,0 | 2,9 | 14,0 | 2,00 | 2,80 | 97,0 | 0,7 | 21,70 | 22,30 | 97,31 | 0,00 | 63,27 | 65,01 |
| Bt2 | 45-64 | 7,3 | 8,1 | 0,6 | 0,0 | 2,4 | 13,5 | 1,80 | 2,75 | 39,0 | 0,5 | 20,45 | 21,05 | 97,15 | 0,00 | 58,43 | 60,14 |
| 2Bvn1 | 64-117 | 7,5 | 8,2 | 0,6 | 0,0 | 2,2 | 14,5 | 0,42 | 4,10 | 3,0 | 0,4 | 21,22 | 21,82 | 97,25 | 0,00 | 53,05 | 54,55 |
| 2Bvn2 | 117-153 | 7,3 | 8,1 | 0,6 | 0,0 | 7,1 | 17,0 | 0,20 | 4,00 | 2,0 | 0,5 | 28,30 | 28,90 | 97,92 | 0,00 | 60,60 | 61,88 |
| 3Bv3 | 153-175+ | 7,3 | 8,0 | 0,8 | 0,0 | 10,5 | 16,5 | 0,18 | 3,50 | 2,0 | 0,6 | 30,68 | 31,48 | 97,46 | 0,00 | 64,86 | 66,55 |

Tabela 29: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico do perfil 5 (P5).

| Horizontes | Profundidade (cm) | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO g/100g | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ |
|--|-------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico vertissólico (P5) | | | | | | | | | | | |
| Bt1 | 15-45 | 85,04 | 1,204 | 4,78 | 3,70 | 0,120 | 0,58 | 0,17 | 0,12 | 0,43 | 0,081 |
| Bt2 | 45-64 | 80,37 | 1,277 | 6,64 | 4,76 | 0,110 | 1,11 | 0,38 | 0,16 | 0,41 | 0,051 |
| 2Bvn1 | 64-117 | 75,73 | 1,428 | 7,71 | 5,49 | 0,091 | 1,33 | 1,46 | 0,19 | 0,43 | 0,043 |
| 2Bvn2 | 117-153 | 71,93 | 1,646 | 9,69 | 6,95 | 0,134 | 1,26 | 0,99 | 0,23 | 0,51 | 0,053 |
| 3Bv3 | 153-175+ | 66,42 | 1,682 | 9,88 | 7,36 | 0,164 | 1,66 | 3,38 | 0,24 | 0,60 | 0,060 |

4.4.6 PERFIL 6 (P6)

O perfil 6 (Figura 44), apesar de estar 3,2 m de altitude abaixo do perfil 1, a 147,9 m e localizado em vazante, pertence a mesma ordem de solos, tendo sido classificado como um PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico abruptico. Sua sequência de horizontes é A1 (0-22 cm), A2 (22-28/37 cm), Ec (28/37-45/47 cm), Ec/Btf (45/47-59 cm), Btg1 (59-99 cm) e Btg2 (99-130+ cm).

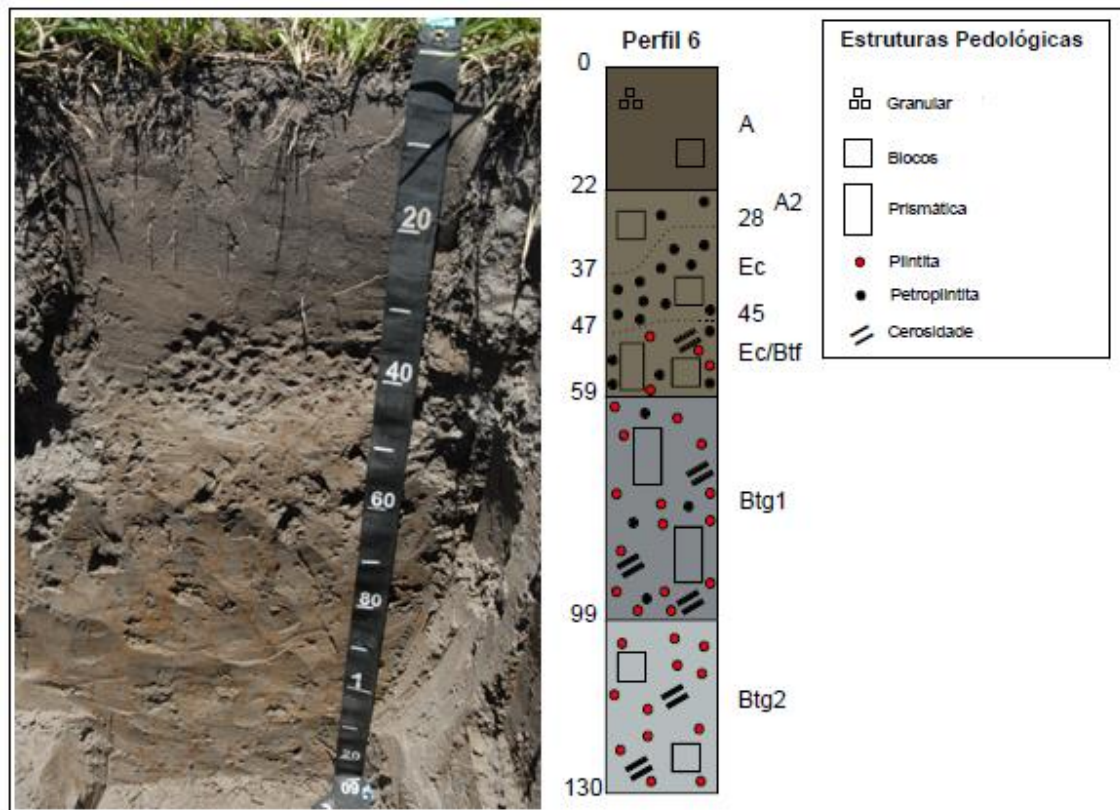


Figura 44: Foto do perfil 6 (P6) com identificação dos horizontes.

O horizonte Ec tem nódulos duros de ferro (petroplintita) muito frequentes que ocupam cerca de 60% do volume do horizonte (Tabela 30), enquanto o horizonte Btg1 apresenta cerosidade de iluviação característica de B textural (Tabelas 31 e 32), gleização e plintita. Os nódulos de ferro imediatamente acima da zona com plintita comprovam a presença de um horizonte plíntico.

Tabela 30: Descrição nodular do perfil 6 (P6).

| Horizontes | Profundidade (cm) | Nódulos | | | | | |
|---------------|-------------------|------------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------|--------|---------------------|
| | | Quantidade | Tamanho | Dureza | Forma | Cor | Natureza |
| A1 | 0-22 | | | | | | |
| A2 | 22/28-37 | Muito poucos | Pequenos (até 5 mm) | Duros | Esféricos e irregulares | Pretos | Ferro |
| Ec | 28/37-45/47 | Muito frequentes (60%) | Pequenos e grandes (de 5 mm a 3 cm) | Duros | Esféricos e irregulares | Pretos | Ferro |
| Ec/Btf | 45/47-59 | Poucos | Pequenos | Duros | Esféricos e irregulares | Pretos | Ferro-manganesianos |
| Btg1 | 59-99 | Muito poucos | Pequenos | Duros | Esféricos | Pretos | ferro-manganesianos |
| Btg2 | 99-130+ | | | | | | os |

Tabela 31: Distribuição granulométrica do perfil 6 (P6).

| Horizontes | Profundidade (cm) | Areia grossa | Areia Fina | Argila | Silte | Classe textural |
|--|-------------------|--------------|------------|--------|-------|----------------------|
| | | % | | | | |
| PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico abruptico (P6) | | | | | | |
| A1 | 0-22 | 58,9 | 19,8 | 17,1 | 4,2 | Francoarenosa |
| A2 | 22/28-37 | 55,5 | 22,0 | 17,6 | 4,9 | Francoarenosa |
| Ec | 28/37-45/47 | 53,4 | 24,7 | 17,6 | 4,3 | Francoarenosa |
| Ec/Btf | 45/47-59 | 30,2 | 20,5 | 36,9 | 12,4 | Argiloarenosa |
| Btg1 | 59-99 | 27,2 | 21,7 | 37,4 | 13,7 | Argiloarenosa |
| Btg2 | 99-130+ | 35,4 | 20,9 | 32,7 | 11,0 | Franco-argiloarenosa |

Tabela 32: Descrição morfológica do perfil 6 (P6).

| Hor. | Prof. (cm) | Cor | | Estrutura | Cerosidade | Consistência | Transição | Raízes |
|---------------|---------------|---|--|---|-------------------|---|------------------|-----------------------|
| | | Matriz | Mosq. | | | | | |
| A1 | 0-22 | 10YR4/2 (seca) 10YR3/1 (úmida) | | Blocos, médios e pequenos, fraca Granular, fraca | | Macia, muito friável, não plástica e não pegajosa | Clara e plana | Muitas (de gramíneas) |
| A2 | 22-28/37 | 10YR5/1 (seca) 10YR4/1 (úmida) | 10YR5/8 (seca e úmida) | Blocos, pequenos, moderada | | Macia, friável, não plástica e não pegajosa | Clara e ondulada | Muitas |
| Ec | 28/37-45/47 | 10YR5/1 (seca e úmida) | | Blocos, pequenos e médios, fraca | | Ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa | Clara e ondulada | Raras |
| Ec/Btf | 45/47-59 | 10YR5/1 (seca) 10YR4/1 (úmida) Películas de areia 10YR7/1 (seca) | 5YR5/8 (seca e úmida) | Prismática média e grande, moderada qsd* em blocos, médios e grandes, moderada. | Comum e moderada | Dura, friável, plástico e pegajoso | Clara e plana | Raras |
| Btg1 | 59-99 | G25/4PB (seca) G24/5PB (úmida) | Comum 5YR5/6 (seca) 5YR4/6 (úmida) | Prismática, média e grande, forte | Forte e abundante | Muito dura, friável, muito plástica e muito pegajosa | Clara e plana | |
| Btg2 | 99-130 | G27/5PB (seca) G26/5PB (úmida) | Comum 10YR6/8, 10R4/6 (secas) 10YR4/6, 10R4/6 (úmidas) | Blocos, médios, fraca | Pouca e fraca | Dura, friável, muito plástica e muito pegajosa | | |

*qsd: que se desfaz.

O perfil 6 tem pH ácido na totalidade de seus horizontes e não mais apresenta quaisquer indicativos da presença de carbonato de cálcio na forma de manchas ou nódulos, tampouco saturação por sódio elevada. Outra diferença a ser ressaltada com relação aos perfis anteriores é a atividade da argila, apesar de ainda alta nos horizontes subsuperficiais, tem valores bem menos expressivos (Tabela 33). As alterações no complexo sortivo não ocorrem nos teores dos elementos identificados por FRX, que mantem valores e padrões muito próximos aos dos perfis anteriores. Apenas os teores de CaO apresentam-se ainda mais baixos (Tabela 34).

Para análise mineralógica, amostras dos horizontes Ec/Btf, Btg1 e Btg2 foram submetidas a difração de raios X. Há uma mudança no pico principal em comparação aos perfis anteriores, o pico em $\sim 14\text{\AA}$ não é mais o principal, que volta a ser o de $\sim 7\text{\AA}$, como no perfil 1 (P1) em amostra natural, não se altera em amostra glicolada e colapsa após queima indicando presença de caulinita (Figura 45).

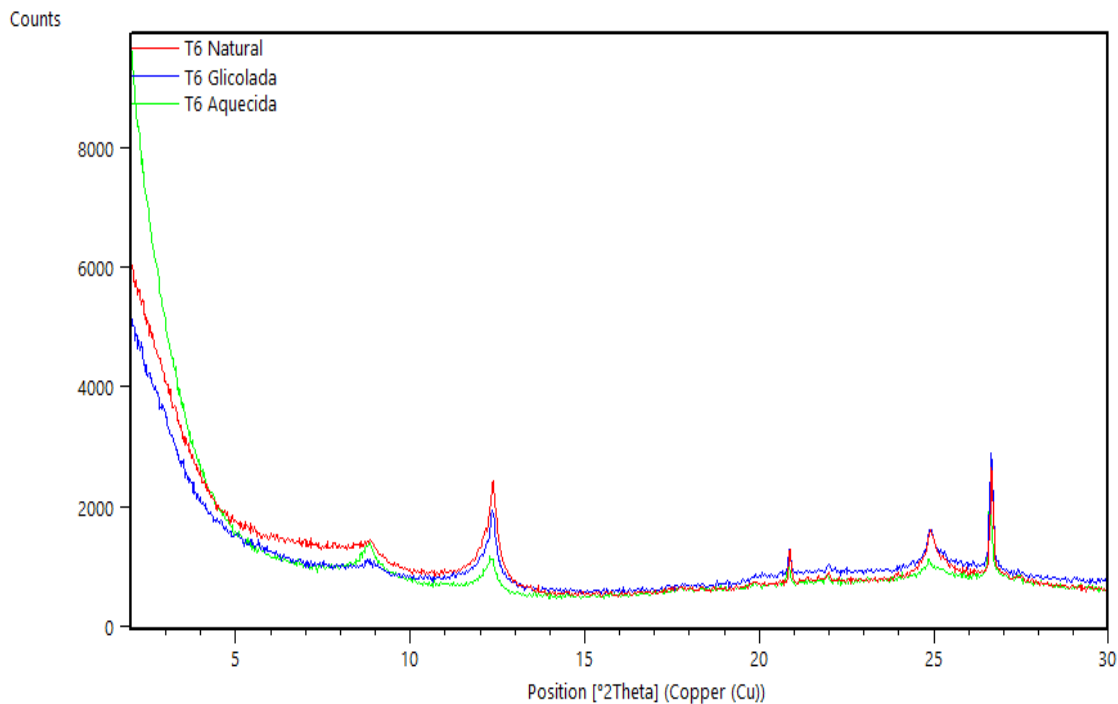


Figura 45: Difratograma padrão para os horizontes do perfil 6 (P6). Em (a), amostra natural. Em (b), amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em (c), amostra após queima de 550°C .

Tabela 33: Dados químicos do perfil 6.

| Horizonte | Profundidade (cm) | pH (KCl) | pH (H2O) | cmolc/kg | | | | | | Ppm | | % | | cmolc/kg | | % | | cmol/ 100g Argila |
|--|-------------------|----------|----------|----------|-----|-----|-----|------|------|--------|-----|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------------------------|
| | | | | H+Al | Al | Ca | Mg | K | Na | P(Res) | C | SB | CTC | V | M | R C | T | |
| PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico abrupto (P6) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A1 | 0-22 | 4,4 | 5,0 | 2,0 | 0,5 | 1,0 | 0,7 | 0,21 | 0,04 | 17,0 | 0,9 | 1,95 | 3,95 | 49,37 | 20,41 | 14,33 | 23,10 | |
| A2 | 22/28-37 | 4,4 | 5,1 | 1,6 | 0,3 | 0,9 | 0,6 | 0,19 | 0,03 | 18,0 | 0,5 | 1,72 | 3,32 | 51,81 | 14,85 | 11,48 | 18,86 | |
| Ec | 28/37-45/47 | 4,9 | 5,7 | 1,2 | 0,0 | 1,0 | 1,4 | 0,21 | 0,14 | 15,0 | 0,5 | 2,75 | 3,95 | 69,62 | 0,00 | 15,63 | 22,44 | |
| Ec/Btf | 45/47-59 | 5,1 | 5,8 | 2,2 | 0,0 | 5,6 | 5,0 | 0,59 | 0,12 | 4,0 | 0,7 | 11,31 | 13,51 | 83,72 | 0,00 | 30,65 | 36,61 | |
| Btg1 | 59-99 | 4,9 | 5,6 | 2,0 | 0,0 | 5,5 | 6,5 | 0,43 | 0,08 | 3,0 | 0,7 | 12,51 | 14,51 | 86,22 | 0,00 | 33,45 | 38,80 | |
| Btg2 | 99-130+ | 4,4 | 5,0 | 2,6 | 0,5 | 4,8 | 4,5 | 0,32 | 0,11 | 4,0 | 0,5 | 9,73 | 12,33 | 78,91 | 4,89 | 31,28 | 37,71 | |

Tabela 34: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico

| Horizontes | Profundidade (cm) | g/100g | | | | | | | | | |
|--|-------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| | | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ |
| PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico abrupto (P6) | | | | | | | | | | | |
| Ec/Btf | 45/47-59 | 76,48 | 1,451 | 8,00 | 5,39 | 0,084 | 1,32 | 0,87 | 0,22 | 0,37 | 0,041 |
| Btg1 | 59-99 | 76,7 | 1,719 | 9,13 | 5,86 | 0,038 | 0,31 | 0,19 | 0,04 | 0,35 | 0,102 |
| Btg2 | 99-130+ | 77,51 | 1,58 | 8,06 | 7,17 | 0,057 | 0,28 | 0,16 | 0,04 | 0,32 | 0,107 |

4.4.7 PERFIL 7 (P7)

O perfil 7 (Figura 46), um LUVISSOLO HÁPLICO Pálico típico com sequência de horizontes A (0-26 cm), AB (26-54 cm) e Bt (54-110+cm), localiza-se em pequena elevação circular com evidências de atividade biológica no topo, a 148,7 m de altitude.

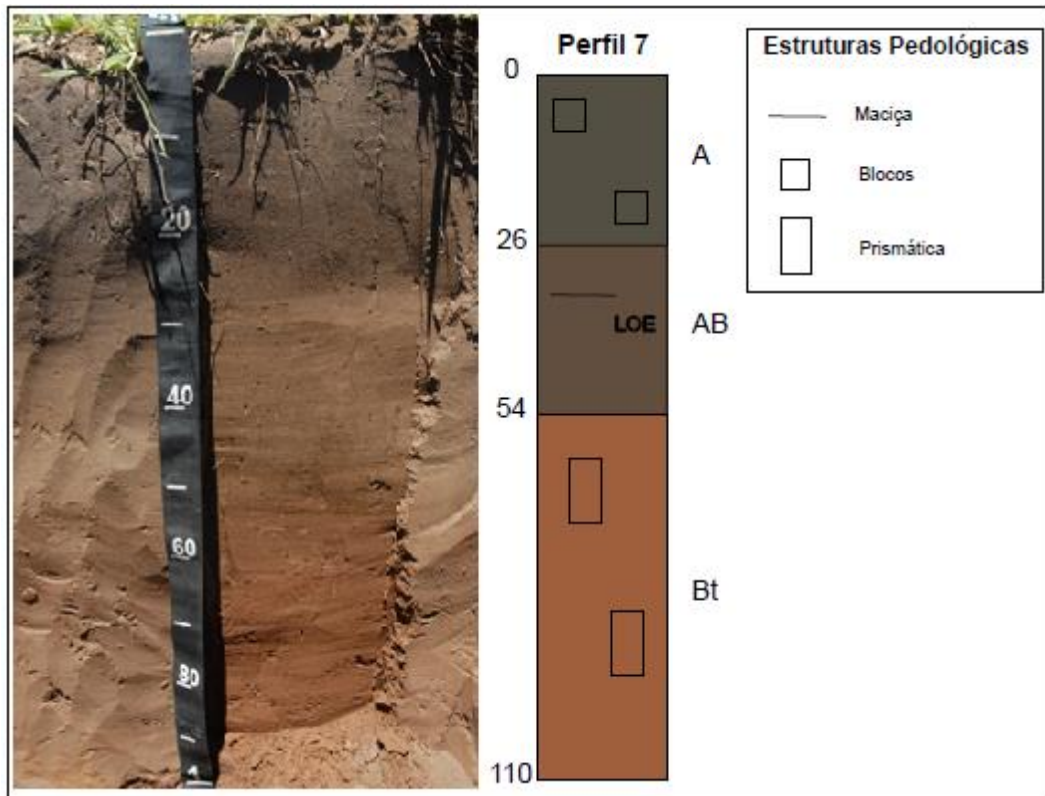


Figura 46: Foto do perfil 7 (P7) com identificação dos horizontes.

O perfil de textura média tem razão textural superior a 1,7 e cerosidade pouca/moderada. É o único perfil descrito que não apresenta nódulos de qualquer natureza e feições hidromórficas (Tabelas 35 e 36).

Foi coletada amostra para datação por luminescência opticamente estimulada a 40 cm de profundidade no horizonte AB. O resultado identificou o depósito com 2554 ± 0.5 anos.

Tabela 35: Distribuição granulométrica do perfil 7 (P7).

| Horizontes | Profundidade (cm) | Areia grossa | Areia Fina | % | | Classe textural |
|---|-------------------|--------------|------------|--------|-------|----------------------|
| | | | | Argila | Silte | |
| LUVISSOLO HÁPLICO Pálico típico (P7) | | | | | | |
| A | 0-26 | 54,9 | 24,5 | 16,9 | 3,7 | Francoarenosa |
| A/B | 26-54 | 54,6 | 23,7 | 17,2 | 4,5 | Francoarenosa |
| Bt | 54-110+ | 40,3 | 20,6 | 29,8 | 9,3 | Franco-argiloarenosa |

Dados do complexo sortivo mostram que o perfil tem pH ácido, elevada saturação por bases e argila de atividade alta (Tabela 37). Quanto aos teores identificados em fluorescência de raios X, o teor de SiO_2 é mais elevado que nos demais perfis (92,58 g/100g), enquanto os teores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO são ainda mais baixos (Tabela 38).

Assim como difratogramas de raios X dos perfis 1 e 6, a análise executada no horizonte Bt do perfil 7 indica que o pico principal é de $\sim 7\text{Å}$ em amostra natural, que corresponde a minerais do grupo da caulinita. A confirmação se dá após glicolagem da amostra em que o pico não foi alterado, demonstrando não haver espaço entre camadas do argilomineral presente na amostra e após queima, quando nota-se colapso do pico (Figura 47).

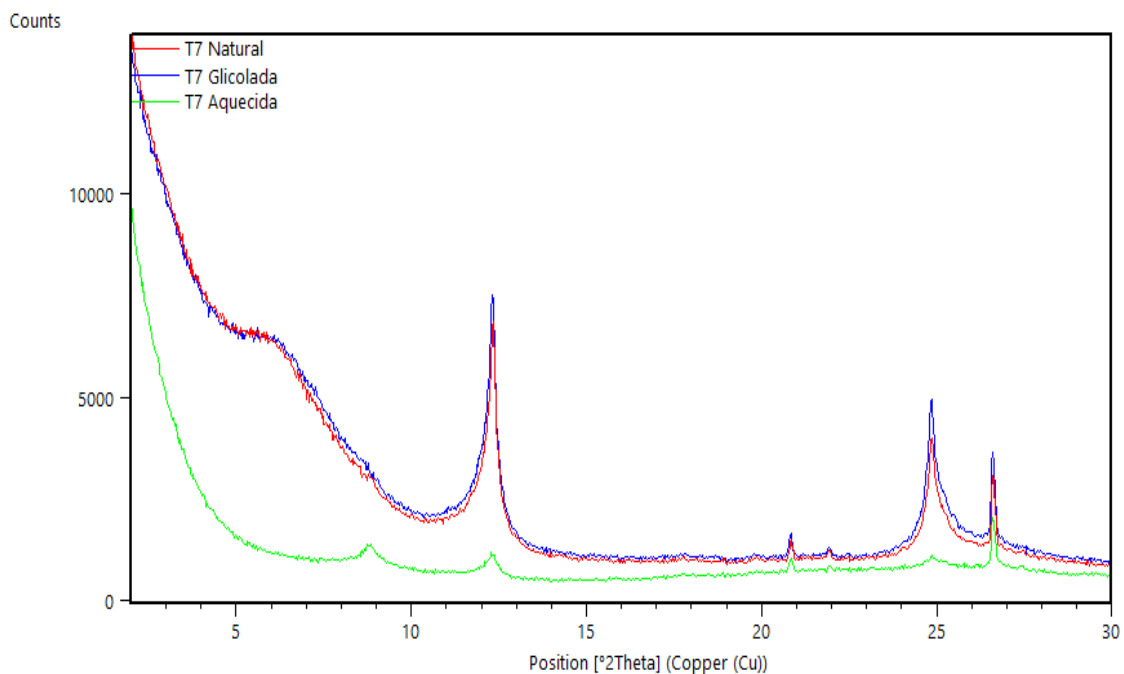


Figura 47: Difratograma do horizonte Bt do perfil 7 (P7). Em (a), amostra natural. Em (b), amostra submetida à atmosfera de etilenoglicol. Em (c), amostra após queima de 550°C.

Tabela 36: Descrição morfológica do perfil 7 (P7).

| Hor. | Prof. (cm) | Cor | | Estrutura | Cerosidade | Consistência | Transição | Raízes |
|------|------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|---|---------------|-----------------------|
| | | Matriz | Porções | | | | | |
| A | 0-26 | 10YR4/1 (seca) 10YR3/1 (úmida) | 10YR7/4 (seca), 10YR6/6 (úmida) | Blocos, médios e grandes, fraca | | Macia, muito friável, não plástica e não pegajosa | Clara e plana | Muitas (de gramíneas) |
| AB | 26-54 | 7,5YR4/3 (seca) 7,5YR 3/2 (úmida) | | Maciça | | Ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa | Clara e plana | Comuns |
| Bt | 54-110 | 5YR5/6 (seca) 5YR4/4 (úmida) | | Prismática, pequena e fraca | Pouca e moderada | Ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa | | Raras |

Tabela 37: Dados químicos do perfil 7 (P7).

| Horizonte | Profundidade (cm) | pH (KCl) | pH (H2O) | cmolc/kg | | | | | | P(Res) | C | cmolc/kg | | | V | M | R C | T |
|---|-------------------|----------|----------|----------|-----|-----|-----|------|------|--------|-----|----------|------|-------|------|-------|-------|---|
| | | | | H+Al | Al | Ca | Mg | K | Na | | | Ppm | % | | | | | |
| LUVISSOLO HÁPLICO Pálico típico (P7) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 0-26 | 5,6 | 6,3 | 1,4 | 0,0 | 3,2 | 1,3 | 0,25 | 0,06 | 19,0 | 1,1 | 4,81 | 6,21 | 77,46 | 0,00 | 28,46 | 36,75 | |
| A/B | 26-54 | 5,5 | 6,2 | 1,2 | 0,0 | 2,6 | 0,8 | 0,10 | 0,04 | 10,0 | 0,7 | 3,54 | 4,74 | 74,68 | 0,00 | 20,58 | 27,56 | |
| Bt | 54-110+ | 5,6 | 6,3 | 1,6 | 0,0 | 5,0 | 2,1 | 0,16 | 0,05 | 2,0 | 0,7 | 7,31 | 8,91 | 82,04 | 0,00 | 26,29 | 32,05 | |

Tabela 38: Teores de elementos maiores e menores identificados por FRX no horizonte diagnóstico do perfil 7 (P7).

| Horizontes | Profundidade (cm) | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO g/100g | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ |
|---|-------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------|-----|------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| LUVISSOLO HÁPLICO Pálico típico (P7) | | | | | | | | | | | |
| A/B | 26-54 | 92,58 | 1,253 | 1,74 | 2,22 | 0,07 | 0,1 | 0,09 | 0,05 | 0,31 | 0,053 |

4.5 ANÁLISE DA RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM

Considerando a perspectiva espacial ao relacionar ordens de solos, processos pedogenéticos e sua relação com as morfologias típicas da paisagem no Pantanal, algumas ocorrências já preconizadas foram corroboradas. Porém, algumas novas situações foram identificadas.

Dois perfis de PLINTOSSOLO Argilúvico foram identificados em morfologias bastante distintas, o primeiro em cordilheira e o segundo em vazante na planície de inundação. Sua ocorrência tanto em porção mais elevada quanto em porção baixa da planície já havia sido observada por Oliveira et al., 2006; Fernandes et. al., 2007; Beirigo, 2008; Ferreira Junior, 2009; Nascimento, 2012 e Nascimento et al., 2015. O umedecimento e ressecamento alternados, acompanhados da oxido-redução nos solos, é a principal causa (e a mais aceita) da formação de plintitas e petroplintitas (Alexander e Cady, 1962). Mas uma quantidade de água alta pode não ser necessária, bastando a zona de variação do lençol freático permanecer continuamente saturada por algum período (Alexander e Cady, 1962; Watana, 2005).

Nas porções mais elevadas da planície de inundação, descritas como pequenas elevações circulares, foram identificados dois perfis com características bastante distintas, um PLANOSSOLO Nátrico com concentrações carbonáticas sobre vegetação arbustiva espinhosa e um perfil de LUVISSOLO com ausência de nódulos de qualquer natureza bem como feições de hidromorfia, sobre gramíneas.

Nas porções baixas da planície de inundação (vazantes) ocorre um perfil de PLANOSSOLO Háptico, frequentemente identificados em porções mais altas do relevo em trabalhos realizados no Pantanal Norte (Oliveira et al., 2006; Beirigo, 2008; Nascimento, 2012; Nascimento et al., 2015) e dois perfis de GLEISSOLO, todos com nódulos carbonáticos e saturação por sódio elevada.

As feições redoximórficas foram muito marcantes, especialmente a presença de plintita e petroplintita, ocorrendo em seis (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) dos sete perfis descritos. Observou-se que as feições ocorrem mesmo nos solos das posições não inundáveis da paisagem, mas cujo lençol freático passa por flutuações sazonais e encontra-se próximo da superfície em algum período do ano, condição de endossaturação (Vepraskas e Lindbo, 2012).

A presença de solos com elevada porcentagem de saturação por sódio (PSS) ocorre tanto em vazantes (caráter solódico em P2, P3 e P4) quanto em porção mais elevada, sendo maior na elevação circular em que se localiza o perfil 5 (caráter solódico em P5).

Associações entre morfologias típicas da paisagem e ordens de solo são mais difíceis de estabelecer devido às grandes variações em níveis categóricos mais elevados. No entanto, há maior associação entre a morfologia da paisagem e os processos pedogenéticos. Ao observarmos o perfil realizado a partir das tradagens (Figura 26), percebemos que os solos caulíníticos sofreram grande influência das oscilações dos lençóis freáticos e tem mais nódulos de Fe/Mn, já os solos com mineralogia 2:1 (esmectíticos e vermiculíticos) apresentam nódulos carbonáticos em maior profundidade (material de origem e/ou clima pretérito)/ e nódulos ferro-manganesianos em menor profundidade (clima atual/área de oscilação do lençol freático), variações refletidas também nas trincheiras.

Algumas dessas situações demonstram ser possível estabelecer associações solo-relevo na atual superfície do lobo abandonado. No entanto, reforçam a hipótese de que sua variabilidade espacial também está relacionada à momentos distintos de deposição de sedimentos (diferentes materiais de origem) e condições climáticas.

4.6 CORRELAÇÃO COM A SEÇÃO ANHUMAS

Comparando as informações obtidas na seção vertical Anhumas e no transecto de perfis percebe-se semelhanças como a presença de feições nodulares de natureza ferruginosa mais próximas da superfície e que são gradualmente substituídas por feições nodulares carbonáticas em profundidade (perfis P2, P3, P4 e P5).

Nestes mesmos perfis a análise mineralógica indicou presença majoritária de montmorillonita e vermiculita, o mesmo ocorre nos VERTISSOLOS da seção Anhumas. Estes minerais expansivos tendem a se formar e permanecerem estáveis em clima mais seco, ambientes mal drenados ou não lixiviantes (Kampf e Curi, 2003; Kampf et al., 2009).

Soma-se a mineralogia, o fato de apresentarem horizontes ricos em carbonatos e caráter sódico e/ou solódico, características que também evidenciam um período de formação climaticamente seco e com evapotranspiração potencial elevada.

Em áreas de precipitação limitada, os sais solúveis acumulam-se no solo. As quantidades, tipos e profundidades das acumulações variam com o clima, sendo típicos da maioria das regiões áridas e semiáridas (Gumuzzio et al, 1982). Em geral, nos solos argilosos é mais provável que os minerais solúveis persistam porque são menos facilmente lixiviados (Watson, 1985). Quando tais solos estão presentes em áreas que hoje são úmidas, essa morfologia pode ser um indicador claro de uma mudança climática seca para úmida (Reider, 1983) como ocorre no período quaternário, em que durante o pleistoceno prevaleceram climas

mais áridos (Martin et al., 1997; Mayle et al., 2000) e no Holoceno Médio e início do Holoceno Superior (6.500-5.000 anos) houve aumento da umidade (Bertaux et al., 2002, McGlue et al., 2012).

Na perspectiva temporal e considerando as datações por LOE realizadas, os paleossolos 2 e 3 da seção Anhumas (VERTISSOLOS) formaram-se entre 29.757 anos a aproximadamente 80 cm da superfície, 57.056 anos em 1,90 cm e 72.249 anos aos 4 metros e 26 centímetros de profundidade. A idade obtida no perfil 5 do transecto (PLANOSSOLO Nátrico) a 90 cm de profundidade foi de 12.463 ± 1.3 anos. Todos datam do Pleistoceno Superior e, ao que tudo indica, tem-se uma superfície anterior aos 12.000 anos com condições ambientais que favoreciam a formação de solos com mineralogia esmectítica, vermiculítica e nódulos carbonáticos.

Ademais, os perfis P2, P3, P4 e P5 do transecto apresentam indicativos de solos que foram incorporados a sequências sedimentares (feições truncadas, *slickensides* preenchidos por areia em profundidade e presença de horizontes argilosos sobrejacentes a horizontes arenosos) comparáveis aos da seção Anhumas, a diferença é que esta foi excepcionalmente exposta devido a incisão do canal do Rio Aquidauana. Estes, podem ser considerados perfis poligenéticos, ou seja, suas propriedades resultam do somatório de processos pedológicos superpostos que se sucederam nesse espaço de tempo. Muitos solos têm idade suficiente para ter experimentado mudanças nos fatores formadores (Wright, 1983). Assim, os solos que são mais antigos do que o Holoceno, provavelmente são produtos poligenéticos, ou seja, resultantes de fatores de formação que variaram com o tempo (Birkeland, 1984).

Muito diferentes são os perfis 1 (P1), 6 (P6) e 7 (P7), cujo padrão identificado após interpretação dos difratogramas de raios X é de mineralogia majoritariamente caulinitica com presença minoritária de minerais 2:1 (Sousa, 2003; Couto e Oliveira 2010; Furquim et al., 2010, Coringa et al., 2012). Tal mineralogia demonstra perfeita conformação com ambientes quentes e úmidos onde há períodos prolongados de chuvas (Resende et al., 1995; Alleoni et al., 2009).

Os depósitos onde se localizam os perfis de solo 1 e 7 (os dois extremos do transecto) foram datados com menos de 5.000 anos em torno de 40 cm de profundidade e apresentam essencialmente caulinita. O mesmo ocorre nas areias do topo do PLANOSSOLO (perfil 1) da seção Anhumas, datado de 8.313 anos e apontado como uma descontinuidade litológica. Ambos, sem ocorrência de carbonatos ou saturação por sódio elevada, apenas mosqueamentos, nódulos de ferro e películas de manganês.

4.7 HIERARQUIA DE PROCESSOS E EVOLUÇÃO DA PAISAGEM

A partir dos dois padrões identificados na análise dos sete perfis, é possível incluir os perfis P2, P3, P4 e P5 na definição de paleossolos, pois registraram memórias de antigos ambientes (Wright, 1992; Kraus, 1992) e também pedo-palimpsestos capazes de guardar informações pretéritas referentes ao clima, vegetação ou geomorfologia (Retallack, 1990).

Estes perfis foram mantidos em superfície ou exumados por processos erosivos atuais e suas propriedades resultam do somatório de processos pedológicos superpostos nesse espaço de tempo, ou seja, tem natureza poligenética (Ruhe, 1956, 1965, 1970; Andreis, 1981). O ambiente ou os fatores de formação mudaram sua atuação com o tempo e os solos continuaram a evoluir depois da mudança (Targulian e Bronnikova, 2019).

Estes quatro perfis posicionados em uma superfície antiga, cujo evento deposicional é pleistocênico (mais antigo que 12.000 anos) e anterior a incisão do canal do Rio Aquidauana, passaram por um hiato deposicional suficientemente extenso para gerar perfis de solo bem desenvolvidos com alto grau de pedalidade no horizonte B, bem como oscilações de lençol que favoreceram a formação de argilas expansivas e nódulos septários. No entanto, sua natureza poligenética permitiu que feições antigas fossem mantidas e novas feições, concordantes com o clima atual, se sobrepusessem. Alguns perfis apresentam horizontes poligenéticos do tipo justapostos, quando as feições pedológicas do horizonte superior não penetram no horizonte inferior (Perfil 3 - horizonte Bg1; perfil 4 – horizonte Bg1 e perfil 5 - horizonte Bt2) e outros do tipo sobrepostos, quando há penetração de feições na camada subjacente (Perfil 2 - horizonte Btg2).

Ainda sustentados pelas datações dos perfis P1 e P7, a superfície antiga parece ter sido recoberta por um depósito mais arenoso com menos de 5.000 anos que se manteve em superfície nas extremidades do transecto e que foi descoberta na área central (P2, P3, P4 e P5) pelas vazantes atuais (processo erosivo de exumação). A sobreposição de sedimentos de diferentes idades é muito comum em sistemas aluviais e, em situações pontuais, provavelmente causadas por erosão, as superfícies antigas permanecem visíveis (Wright, 1992).

Os processos pedogenéticos de sodificação e carbonatação/calcificação, bem como a mineralogia predominantemente esmectítica/vermiculítica favorecida por condições mais secas (Pal et al., 2009) ocorreram sobre um material de origem mais antigo. Este material foi posteriormente recoberto por um novo depósito e passou por nova pedogênese,

agora predominando processos redoximórficos (gleização, plintização e petroplintização) e caulinita na fração argila, condições sem déficit hídrico significativo indicando maior presença de água nesse sistema.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as condições predominantemente mais secas durante o Pleistoceno e a transição para um clima mais úmido durante o Holoceno, salvo momentos específicos (Baker et al., 2001; Barberi, 2001; Cruz Jr. et al., 2009), Merino (2016) menciona que a incisão fluvial ocorrida no megaleque do rio Aquidauana e nos demais sistemas deposicionais do Pantanal tenha sido desencadeada por uma possível queda no nível de base regional, mas também pelo aumento nas taxas de precipitação, principalmente a partir do Holoceno Superior, causando um corte longitudinal nos depósitos sedimentares pleistocênicos. Neste momento também teriam sido originadas as vazantes na superfície do megaleque do Aquidauana, processos erosivos atuais que degradam a antiga superfície.

Dessa maneira, a incisão do canal do rio Aquidauana foi chave para a alteração pedológica local, pois o aumento das taxas de precipitação alteraram a dinâmica pedológica permitindo a gênese de feições concordantes com a maior presença de água e a erosão provocada pelas vazantes possibilitou a exumação dos perfis 2, 3, 4 e 5 e seu desenvolvimento poligenético.

Quando a superimposição de processos pedológicos gera também a superposição de feições pedológicas, a análise e a classificação dos solos é dificultada. No entanto, ganha-se nas interpretações sob a ótica da paleopedologia e das reconstruções paleoclimáticas ao possibilitar a verificação de como as condições ambientais se alteraram ao longo dos intervalos de formação.

Apesar das possíveis associações entre o relevo local e a variabilidade dos solos, especialmente no que diz respeito aos seus atributos, conclui-se que os perfis de solo do transecto são resultado da ação pedogenética em diferentes períodos de tempo e diferentes condições climáticas, o que resultou na superposição de condições ambientais distribuídas espacialmente em uma área reduzida e deu origem a um mosaico de solos e paleossolos que hoje coexistem sobre a mesma superfície geomórfica. Para compreender a variabilidade espacial dos solos da área foi fundamental a associação cronológica entre os perfis de solos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N. 1988. O Pantanal Mato-Grossense e a teoria dos refúgios. **Revista Brasileira de Geografia**, 50(2): 9-57.

AITKEN MJ, 1985. Thermoluminescence Dating. **London**, Academic Press: 359 pp.

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A.; CASAGRANDE, J.C. e SOARES, M.R. Química dos solos altamente intemperizados. In: Melo, V.F. & Alleoni, L.R.F. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.2. p.381-447.

ALMEIDA, F. d. 1964. Geologia do Centro-Oeste Matogrossense. **Boletim da divisão de Geologia e Mineralogia**, 215, 123p.

ALVES DB. 1987. Desenvolvimento da metodologia de preparação de amostras para análise difratométrica de argilominerais no Centro de Pesquisas da Petrobrás. **Boletim de Geociências da Petrobrás** 1(2): 157-175.

ANDREIS, R.R. Identificación e importancia geológica de los Paleosuelos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1981. 67p.

ASSINE, M. L.; SOARES, P. C.; ANGULO, R. J. Construção e abandono de lobos na evolução do leque do rio Taquari, Pantanal Mato-grossense. In: **Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, 6., 1997, Curitiba. Resumos... Curitiba: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - Abequa, 1997, p.431-433.

ASSINE, M.L. 2003. Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Tese de Livre Docência, 106p.

ASSINE, M. L. 2005. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, 70(3-4): 357-371.

ASSINE, M. L.; CORRADINI, F. A.; PUPIM, F. d. N.; McGLUE, M. 2014. Channel arrangements and depositional styles in the São Lourenço fluvial megafan, Brazilian Pantanal wetland. **Sedimentary Geology**, 301: 172-184.

ASSINE, M. L.; MERINO, E. R.; PUPIM, F. d. N.; MACEDO, H. d. A.; SANTOS, M. G. M. d. 2015. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, 45(3): 475-489.

BAKER, P. A.; SELTZER, G. O.; FRITZ, S. C.; DUNBAR, R. B.; GROVE, M. J.; TAPIA, P. M.; CROSS, S. L.; ROWE, H. D.; BRODA, J. P. 2001. The History of South American Tropical Precipitation for the Past 25,000 Years. **Science**, 291(5504): 640-643.

BARBIERI, M. Mudanças paleoambientais na região dos cerrados do Planalto Central durante o Quaternário tardio: o estudo da Lagoa Bonita, DF. Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 227p.

BARBIÉRO L., QUEIRÓZ NETO J.P., CIORNEI G., SAKAMOTO A.Y., CAPPELARI B., FERNANDES V. 2002. Geochemistry of water and groundwater in the Nhecolândia, Pantanal of Mato Grosso, Brazil: variability and associated process. **Wetlands**, 22:528-540.

BARBIÉRO, L.; REZENDE FILHO, A.; FURQUIM, S.A.C.; FURIAN, S.; SAKAMOTO, A.Y.; VALLES, V.; GRAHAM, R.C.; FORT, M.; FERREIRA, R.P.D.; QUEIROZ NETO, J.P.; Soil morphological control of hydrogeochemistry in a saline and freshwater lake landscape in the Pantanal of Nhecolândia, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 148, p. 91–106, 2008.

BEIRIGO, R.M. Sistema pedológico Planossolo-Plintossolo no Pantanal de Barão de Melgaço-MT. 2008. 69 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Piracicaba, 2008.

BESTLAND, E.A., 1997. Alluvial terraces and paleosols as indicators of early Oligocene climate change (John Day Formation, Oregon). **J. Sediment. Res.** 67A, 840–855.

BERTAUX, J.; SONDAG, F.; SANTOS, R.; SOUBIES, F.; CAUSSE, C.; PLAGNES, V.; LE CORNEC, F.; SEIDEL, A. 2002. Paleoclimatic record of speleothems in a tropical region: study of laminated sequences from a Holocene stalagmite in Central–West Brazil. **Quaternary International**, 89(1): 3-16.

BIRKELAND, P.W., 1984. Soils and Geomorphology. Oxford University Press, New York, N.Y., 372 pp.

BULL, W.B. The alluvial-fan environment. **Progress in Physical Geography**, 1(2):222-270, 1977.

BULL, W. B. (1991) - Geomorphic Responses to Climate Change. Oxford Univ. Press, Oxford, 326 p.

BULLOCK P, FEDOROFF, JONGERIUS A, STOOPS G, TURSINA T. Handbook for soil thin section description. **London: Waine Research Publications**; 1985.

BUOL, S.W., SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C. McDANIEL, P. A., 2011. *Soil genesis and classification*. **John Wiley & Sons, Inc**, 6ed. 543p.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. e VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química e física de solos do Instituto Agrônômico de Campinas, IAC, 2009.

CARROL, D. Clay Minerals: A guide to their X-ray identification. **Geology Society of America**, Colorado, 126p,1970.

CATT, J.A., 1990. Paleopedology manual. *Quaternary International* 6, 1–95.

CORDEIRO, B. M.; FACINCANI, E. M.; PARANHOS FILHO, A. C.; BACANI, V. M.; ASSINE, M. L. 2010. Compartimentação geomorfológica do leque fluvial do rio Negro, borda sudeste da Bacia do Pantanal (MS). **Revista Brasileira de Geociências**, 40(2): 175-183.

CORINGA, E.A.O; COUTO, E.G.; PEREZ, X.L.O.; VIDAL - TORRADO, P. Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, p. 19 – 28, 2012.

COUTO, E.G; OLIVEIRA, V.A. The Soil Diversity of the Pantanal. In: Junk, W.J.; Silva, C.J.; Nunes da Cunha, C.; Wantzen, K.M. The Pantanal: ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland. **Sofia: Pensoft**, 2010. chap. 3, p. 71-102.

CPRM – Companhia de pesquisa e Recursos Minerais. Mapa Geológico de Mato Grosso do Sul, escala 1:1.000.000. Brasília, CPRM, 2006.

CRUZ Jr., F. W.; WANG, X.; AULER, A.; VUILLE, M.; BURNS, S. J.; EDWARDS, L. R.; KARMANN, I.; CHENG, H. 2009. Orbital and Millennial-Scale Precipitation Changes in Brazil from Speleothem Records. In: Vimeux, F.; Sylvestre, F.; Khodri, M. (ed.) Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions: From the Last Glacial Maximum to the Holocene. Dordrecht, **Springer Netherlands**, 29-60.

DENNY C.S. Fans and pediments. **American Journal of Science**, New Haven, v. 265, p. 81-105, 1967.

DORMAAR, J. F. and LUTWICK, L. E. 1983. Extractable Fe and Al as an indicator for buried soil horizons. **Catena** 10: 167-173.

FACINCANI, E. M. e ASSINE, M. L. 2010. Geomorfologia fluvial do rio Aquidauana, borda sudeste do Pantanal Mato-Grossense. In: **Revelando Aquidauana**. Serie Fronteiras. 267-284

FACINCANI, E. M.; ASSINE, M. L.; SILVA, A.; ZANI, H.; ARAÚJO, B. C.; MIRANDA, G. M. 2006. Geomorfologia fluvial do leque do rio Aquidauana, borda sudeste do Pantanal, MS. 1º **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Campo Grande, MS. 175-181p.

FACINCANI, E. M. Geomorfologia e Geologia do Cenozóico do Médio Vale do Rio Aquidauana, Borda Sudeste da Bacia do Pantanal, MS. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, 2007. Tese de Pós-Doutorado, 100 p.2007.

FAO. FAO/Unesco Soil map of the World: revised legend. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre, 1988. 138p. Reprint of World Soil Resources Report 60, FAO, Rome, 1988. (ISRIC Technical Paper, 20).

FEDOROFF, N. 1990. Notas del curso: Gdnscis de los suelos tropicales y subtropicales (in Ed.), Mexico.

FEDOROFF, N., COURTY, M.A., Guo, Z., 2010. Palaeosoils and relict soils. In Stoops, G.; Marcelino, V.; Mees, F. Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. **Elsevier**. pp. 623-662.

FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.B.M.; SOARES, M.T.S; PELLEGRIN, L.A.; LIMA, I.B.T. Atualização do mapa de solos da planície pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007.

FERREIRA JÚNIOR, W.G. Análise de gradientes vegetacionais e pedogeomorfológicos em Floresta, Cerrado e Campo no Pantanal Matogrossense, Barão de Melgaço, Mato Grosso. 2009. 190p. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa,2009.

FURQUIM SAC, GRAHAM RC, BARBIÉRO L, QUEIROZ NETO JP, VIDAL -TORRADO P. Soil mineral genesis and distribution in a saline lake landscape of Pantanal Wetland, Brazil. **Geoderma**. 2010;154:518-28.

GALBRAITH, R.F., ROBERTS, R.G., LASLETT, G.M., YOSHIDA, H. e OLLEY, J.M., 1999. Optical dating of single grains of quartz from Jinmium rock shelter, northern Australia. Part I: experimental design and statistical models. **Archaeometry** 41, 339-364.

GUÉRIN, G, MERCIER, N and ADAMIEC, G (2011) Dose-rate conversion factors: update, **Ancient tL**, 29, 5-8.

GUMUZZIO, J., BATILE, J. and CASAS, J., 1982. Mineralogical composition of salt efflorescences in a Typic Salorthid, Spain. **Geoderma**, 28: 39-51.

HARTLEY A.J., WEISSMANN G.S., NICHOLS G.J., WARWICK G.L. 2010. Large Distributive Fluvial Systems: Characteristics, Distribution, and Controls on Development. **Journal of Sedimentary Research**, 80:167-183.

IUSS Working Group WRB, 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

JUNK, W. J.; CUNHA, C. N.; WANTZEN, K. M.; PETERMANN, P.; STRUSSMANN, C.; MARQUES, M. I.; ADIS, J. 2006. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, 68: 278-309.

KAMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: Curi, N.; Marques, J.J.; Guilherme, L.R.G.; Lima, J.M. de; Lopes, A.S.; Alvarez., V.H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.1-54.

KAMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J.J. 2009. Óxidos de alumínio, silício, manganês e titânio In. Melo, V.F.; Alleoni, L.R.F. (eds.) **Química e Mineralogia do Solo** Parte I – conceitos básicos. SBCS pp. 573-610.

KARLSTROM, E. T. and G. OSBORN. 1992. Genesis of buried paleosols and soils in Holocene and late Pleistocene tills, Bugaboo Glacier area, British Columbia, Canada. **Arctic Alpine Res.** 24: 108–123.

KRAUS, M. Alluvial response to differential subsidence: Sedimentological analysis aided by remote sensing, Wilwood Formation (Eocene), Bighorn Basin, Wyoming, USA. **Sedimentology**, 39:455-470, 1992.

KRAUS, M. Paleosols in clastic sedimentary rocks: Their geologic applications. **Earth Sci. Rev.**, 47:41-70, 1999.

KRAUS, M.J., ASLAN, A., 1999. Paleosol sequences in floodplain environments: a hierarchical approach. In: Thiry, M. (Ed.), *Palaeoweathering, Palaeosurfaces and Related Continental Deposits*. Int. Assoc. Sedimentol., **Spec. Publ.** 27, 303–321.

LACERDA FILHO, J. V. d. 2004. *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso do Sul*. Goiânia, CPRM (Convênio CPRM/SICME). Ilustrações + Mapasp.

LADEIRA, F. S. B.. Solos do passado: origem e identificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo JCR**, v. 34, p. 1773-1786, 2010.

LEEDER, M.R., 1975. Pedogenic carbonates and flood plain accretion rates: a quantitative model for alluvial arid-zone lithofacies. **Geol. Mag.** 112: 257-270.

MARIMON, B.S.; MARIMON JUNIOR, B.H.; MEWS, H.A.; JANCOSKI, H.S.; FRANZAK, D.D.; LIMA, H.S.; LENZA, E.; ROSSETE, A.N.; MORESCO, M.C. Florística dos campos de murundus do Pantanal do Araguaia, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v.26, p.181-196, 2012.

MARRIOT, S.B., WRIGHT, V.P., 1993. Paleosols as indicators of geomorphic stability in two Old Red Sandstone alluvial suites, South Wales. **J. Geol. Soc. London** 150, 1109–1120.

MARTIN, L.; BERTAUX, J.; CORREGE, T.; LEDRU, M.-P.; MOURGUIART, P.; SIFEDDINE, A.; SOUBIES, F.; WIRRMANN, D.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. 1997. Astronomical forcing of contrasting rainfall changes in tropical South America between 12,400 and 8800 cal yr BP. **Quaternary Research**, 47(1): 117-122.

MAYLE, F. E.; BURBRIDGE, R.; KILLEEN, T. J. 2000. Millennial-scale dynamics of Southern Amazonian rain forests. **Science**, 290(5500): 2291-2294.

McGLUE, M.; Silva, A.; CORRADINI, F.; ZANI, H.; TREES, M.; ELLIS, G.; PAROLIN, M.; SWARZENSKI, P.; COHEN, A.; ASSINE, M. 2011. Limnogeology in Brazil's "forgotten wilderness": a synthesis from the large floodplain lakes of the Pantanal. **Journal of Paleolimnology**, 46(2): 273-289.

McGLUE, M. M.; SILVA, A.; ZANI, H.; CORRADINI, F. A.; PAROLIN, M.; ABEL, E. J.; COHEN, A. S.; ASSINE, M. L.; ELLIS, G. S.; TREES, M. A. 2012. Lacustrine records of Holocene flood pulse dynamics in the Upper Paraguay River watershed (Pantanal wetlands, Brazil). **Quaternary Research**, 78(2): 285-294.

MERINO, E.R. Evolução geomorfológica e mudanças paleohidrológicas na porção sul do Pantanal: a planície interleques do rio Negro e leques fluviais coalescentes. Tese de Doutorado (Geociências e Meio Ambiente) – UNESP, Rio Claro-SP, 2016.

MEYER, R. Paléolités et paléosols. **Orleans**, BRGM, 1987. 163p.

MIALL, A.D. Sedimentation and tectonics in alluvial basin with examples from North American. **Geol. Assoc. Can. Spec. Paper**, 1990. 23 p.

MORRISON, R.B. Principles of quaternary stratigraphy. In: Morrison, R.B. & Wright, H.E., eds. Quaternary soils. In: **Congress of the International Association of Quaternary Research**, 7., Reno, 1967. Proceedings... Reno, 1967.v.9. p.1-69.

MURRAY, A.S., WINTLE, A.G., 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. **Radiation Measurement** 32: 57–73.

NASCIMENTO, A. F.; FURQUIM, S. A.; GRAHAM, R. C.; BEIRIGO, R. M.; JUNIOR, J. C. O.; COUTO, E. G.; VIDAL-TORRADO, P. 2015. Pedogenesis in a Pleistocene fluvial system of the Northern Pantanal—Brazil. **Geoderma**, 255: 58-72.

NASCIMENTO AF. Relações pedologia-geomorfologia-sedimentologia no Pantanal Norte [tese] Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 2012.

NETTLETON, W. D., GAMBLE, E. E., ALLEN, B. L., et al. 1989. Relict soils of the subtropical regions of the United States. **Catena** (Suppl.) 16: 59–93.

OLIVEIRA, H.; CARVALHO FILHO, A.; SCHAEFER, C.E.R.G.; CARDOSO, E.L. Soils of the Pantanal. In: Chesworth, W. Encyclopedia of soil science. **Dordrecht: Taylor & Francis**, 2006. p. 1658-1663.

OLIVEIRA JUNIOR, Jairo CALDERARI; BEIRIGO, Raphael Moreira; CHIAPINI, Mariane do Nascimento; DO NASCIMENTO, Alexandre Ferreira; COUTO, Eduardo Guimarães ; VIDAL-TORRADO, Pablo . Origin of mounds in the Pantanal wetlands: An integrated approach between geomorphology, pedogenesis, ecology and soil micromorphology. **PLoS One JCR**, v. 12, p. e0179197, 2017.

PADOVANI, C. R. 2010. Dinâmica das Inundações do Pantanal. Ecologia Aplicada, Universidade de São Paulo/ESALQ, Piracicaba - SP, Tese de Doutorado, 174p.

PAL, D.K., Balpande, S.S., Srivastava, P., 2001. Polygenetic Vertisols of the Purna Valley of Central India. *Catena*, **Catena** 43: 231–249.

PAL, D.K., BHATTACHARYYA, T., CHANDRAN, P., Ray, S.K., SATVAVATHI, P.L.A., DURGE, S.L., RAJA, P., MAURYA, U.K., 2009. Vertisols (cracking clay soils) in a climosequence of Peninsular India: Evidence for Holocene climate changes. **Quaternary International**. 209: 6–21.

POPPE, L.J., PASKEVICH, V.F., HATHAWAY, J.C., BLACKWOOD, D.S. A Laboratory Manual of X-Ray Powder Diffraction, 2001.

POR, F. D. 1995. The Pantanal of Mato Grosso (Brazil): world's largest wetlands. **Springer Science & Business Media**.

PRESCOTT, J. R., & HUTTON, J. T. (1994). Cosmic ray Contributions to Dose-Rates for Luminescence and ESR Dating: Large Depths and Long Terms Time Variations. **Radiation Measurements**, 23, 497-500.

PUPIM F.N., 2014. Geomorfologia e paleo-hidrologia dos megaleques dos rios Cuiabá e São Lourenço, Quaternário da Bacia do Pantanal. MS Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro - SP, 109p.

REIDER, R. G. 1983. A soil catena in the Medicine Bow Mountains, Wyoming, USA., with reference to paleoenvironmental influences. **Arctic Alpine Res.** 15: 181-192.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S.B. & CORREA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa, MG, Neput, 1995. 304p.

RETALLACK, G. J. Soils of the past – An introduction to paleopedology. **London**, Unwin Hyman, 1990. 520p.

RETALACK, G. J. A colour guide to paleosols. **Chichester**, Wiley, 1997. 175p.

RHODES E.J. 2011. Optically Stimulated Luminescence Dating of Sediments over the Past 200,000 Years. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, 39(1):461-488.

RUHE, R. V., MILLER, G. A., and W. J. VREEKEN. 1971. Paleosols, loess sedimentation and soil stratigraphy. In D. H. Yaalon (ed.) Paleopedology: Origin, Nature and Dating of Paleosols. Jerusalem, **Israel University Press**, pp. 41–60.

RUHE, R.V. Geomorphic Surfaces and the nature of soils. **Soil Science**, Madison, v. 82, p. 441-445, 1956.

RUHE, R.V., 1965. Quaternary paleopedology. In: H.E. Wright, Jr, and D. Frey (Editors), The Quaternary of the United States, Princeton University Press, Princeton, N.J., pp. 755-764.

SANTOS, R.D. dos; LEMOS, R.C. de; SANTOS, H.G. dos; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. dos; SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 100 p.

SANTOS, R.D. dos; CARVALHO FILHO A. ; NAIME, U. J.; OLIVEIRA, H.; MOTTA P. E. F.; BARUQUI, A. M.; BARRETO, W.O.; MELO, M. E. C. C. M.; PAULA, J. L.; SANTOS, E. M. R.; DUARTE, M. N. Pedologia. In: Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP: diagnóstico dos meios físico e biótico - meio físico. Brasília, DF: PNMA, 1997. p.127-307. v.2, t.1.

SANTOS HG, JACOMINE PKT, ANJOS LHC, OLIVEIRA VA, OLIVEIRA JB, COELHO MR, LUMBRERAS JF, CUNHA TJF. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2013.

SCHAELTZ, R. J.; ANDERSON, S. Soils: genesis and geomorphology. New York, NY: Cambridge University press, 2005.

SLINGERLAND, R.; SMITH, N.D. River avulsions and their deposits. **Annual Reviews of Earth and Planetary Science**, v. 32, n. 1, p. 257-284, 2004.

SOUSA, J. B. Caracterização e gênese de solos de cordilheiras em campo de inundação periódica da sub-região do Pantanal de Poconé, Mato Grosso. 2003. 72p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2003.

SRIVASTAVA, P., PARKASH, B., SEHGAL, J.L., KUMAR, S., 1994. Role of neotectonics and climate in development of the Holocene geomorphology and soils of the Gangetic Plains between Ramganga and Rapti rivers. **Sediment. Geol.** 94, 119–151.

SRIVASTAVA, P., PARKASH, B., PAL, D.K., 1998. Clay minerals in soils as evidence for Holocene climatic changes in the central Indo-Gangetic Plains, north-central India. **Quat. Res.** 50, 230–239.

STOOPS G. Guidelines for analyses and description of soil and regolith thin sections. Madison: **Soil Society of America Inc**; 2003.

TARGULIAN, V.O., BRONNIKOVA, M.A., 2019. Soil Memory: Theoretical Basics of the Concept, Its Current State, and Prospects for Development. *Eurasian Soil Science*, 2(3), pp. 229-243.

TARGULIAN, V. O. and GORYVACHKIN, S. V. "Soil memory: types of record, carriers, hierarchy and diversity," **Rev. Mex. Cien. Geol.** 21 (1), 1–8 (2004).

TARGULIAN, V.O., SOKOLOV, I.A., 1978, Structural and functional approaches to the soil: soil-memory and soil-moment (in Russian), in *Mathematical Modeling in Ecology*: Moscow, Nauka, 17-33 p.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, Jr. 1955. The Water Balance. Laboratory of Climatology, Centerton, NJ, USA.

VENDEMIATTO, M. A; ENZWEILLER, J. Routine control of accuracy in silicate rock analysis by X-ray fluorescence spectrometry. **Geostandards and Geoanalytical Research**, v. 25, p. 103-112, 2001.

VEPRASKAS, M.J.; LINDBO, D. L. Redoximorphic features as related to soil hydrology and hydric soils. In: LIN, H. (Ed.). *Hydropedology: synergistic integration of soil Science and hydrology*. Amsterdam: **Elsevier**, 2012. p. 143-172.

WATSON, A., 1985. Structure, chemistry and origins of gypsum crusts in southern Tunisia and the central Namib Desert. **Sedimentology**, 32: 855-875.

WEISSMANN, G. S.; HARTLEY, A. J.; NICHOLS, G. J.; SCUDERI, L. A.; OLSON, M.; BUEHLER, H.; BANTEAH, R. 2010. Fluvial form in modern continental sedimentary basins: Distributive fluvial systems. **Geology**, 38(1): 39-42.

WRIGHT, H.E., Jr. (Editor), 1983. Late Quaternary Environments of the United States. University of Minnesota Press, Minneapolis, Minn., 648 pp.

WRIGHT, V.P. Paleopedology: Stratigraphic relationship and empirical models. In: Martini, I.P. & Chesworth, W., eds. *Weathering, soils e paleosols*. Amsterdam, **Elsevier**, 1992, p.475-499.

ZABI, H.; ASSINE, M.L.; McGLUE, M.M. 2012. Remote sensing analysis of depositional landforms in alluvial settings: method development and application to the Taquari megafan, Pantanal (Brazil). **Geomorphology** 161-162(0): 82-92.

ZARONI MJ, AMARAL FCS, SILVA EF, COELHO MR, CARVALHO-Jr W, et al. Zoneamento Agroecológico do Município de Aquidauana - MS, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2011.