UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS

Gênese dos Nitossolos Vermelhos férricos
na bacia do córrego Miringuava, Maringá - PR

MARCELO REIS NAKASHIMA
Orientador: José Pereira de Queiroz Neto

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

MARCELO REIS NAKASHIMA

**Gênese dos Nitossolos Vermelhos férricos na Bacia do Córrego Miringuava,
em Maringá – PR**

(versão corrigida)

São Paulo

2013

MARCELO REIS NAKASHIMA

**Gênese dos Nitossolos Vermelhos férricos na Bacia do Córrego Miringuava,
em Maringá – PR**

(versão corrigida)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de pós-graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Geografia Física.

Área de concentração: Estudos Interdisciplinares em Pedologia e Geomorfologia

Orientador: Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto

De acordo:

São Paulo

2013

NOME: NAKASHIMA, Marcelo

TÍTULO: Gênese dos Nitossolos vermelhos férricos na Bacia do Córrego Miringuava, em Maringá - PR

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de pós-graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Geografia Física.

Orientador: Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto

Aprovado em:

Banca examinadora

Titulares:

Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Profa. Dra. Maria Teresa de Nóbrega

Instituição: Universidade Estadual de Maringá

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. Carlos Roberto Espindola

Instituição: Universidade Estadual de Campinas

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Suplentes:

Profa. Dra. Rosely Pacheco Dias Ferreira

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho

Instituição: Universidade Estadual de Maringá

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dra. Lylian Zulma Doris Coltrinari

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: _____

Assinatura: _____

*Dedico este trabalho à Bia Magnetita,
sobrinha querida, desde os três aninhos
curiosa e interessada pelos ensinamentos
da Geografia. Um beijão do tio Feldspato!*

AGRADECIMENTOS

Bom, é isso aí, amigos e amigas, terminamos! Um longo caminho foi percorrido durante a realização desta pesquisa. Encerrados os trabalhos, fica a sensação de dever cumprido e a satisfação pelo aprendizado, amizades feitas e experiência de vida que uma jornada deste porte traz.

A Geografia é uma paixão de infância: não poderia deixar de ser, filho de Geógrafos que sou, desde cedo tive contato com esta bela Ciência. Considero-me um cara de sorte por ter os pais que tenho e os diversos “tios” e “tias” dos departamentos de Geografia da USP e da UEM. Cada um deles fez parte da minha formação não só como geógrafo, mas como pessoa.

Neste momento, gostaria de lembrar e agradecer a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram com a realização deste trabalho.

Começo da forma mais clichê: agradeço aos meus pais. No meu caso, porém, sinto que posso ir além dos formais “agradeço pela vida, pela formação, pelos ensinamentos de carácter, etc...” Mantenho tudo isso e vou mais longe, obrigatoriamente. Meus pais são geógrafos apaixonados, com uma extensa lista de contribuições à nossa Ciência no ensino e na pesquisa. Foram e são, sem dúvidas, os meus primeiros professores de Geografia. Só filhos de geógrafos como eu sabem como é viajar na companhia de pais entusiasmados em ensinar os caminhos da Terra e do Homem. Lembro-me, desde muito pequeno, de observar meus pais andando por aí olhando pro chão, pro céu, pras montanhas, para a vegetação e para as cidades...de cada vez que aterrissávamos em uma cidade diferente e eram feitas observações acerca de rios e dunas. Lembro também dos muitos brinquedos geográficos, quebra-cabeças de mapas, jogos de perguntas, atlas, bandeiras...tudo isso entrou em mim muito cedo e permanece até hoje.

Além disso, pude ainda contar com o apoio dos dois na elaboração do trabalho, de forma direta mesmo: meu pai participou de todos os campos, coletas de amostras, descrição de perfis e trincheiras, escolha da área...além de ter sido meu professor de Pedologia. Minha mãe, por outro lado, foi de fundamental importância na etapa de mapeamento morfopedológico, auxiliando na fotointerpretação e campos de verificação do mapeamento. Filho de Pedólogo com Geomorfóloga só podia dar nisso mesmo: um geógrafo trabalhando nas relações solo x vertente. Aos dois, meu muito obrigado por tudo, tudo mesmo.

Passo aos agradecimentos à pessoa mais importante para a realização da pesquisa, meu orientador, amigo e professor, José Pereira de Queiroz Neto. Em primeiro lugar, devo deixar claro a honra que tem sido trabalhar na companhia deste grande homem – grande em todos os sentidos. O Queiroz sempre foi personagem recorrente de histórias contadas na minha casa...foi orientador do meu pai, lá nos idos da década de 1970, companheiros de trabalho, campo e cachaça. Posteriormente, tornou-se uma referência importante na minha formação, figura extremamente citada nas aulas de Pedologia...era um autor, desses que a gente admira de longe, um cidadão de papel, que a gente trata com muita reverência quando encontra por aí, de vez em nunca. O considero o mais importante Pedólogo brasileiro.

O Professor Queiroz não apenas topou a barra que é orientar um cara tão teimoso quanto este que aqui escreve, mas me resgatou faltando uma semana para a inscrição do mestrado (os planos eram outros, originalmente). Durante esse convívio que agora completa pouco mais de três anos, tornou-se um verdadeiro amigo e ORIENTADOR, na melhor acepção possível do termo: este trabalho foi tomando forma conforme os obstáculos colocados pelo Queiroz foram sendo superados (e muitos não foram). Rubem Alves disse, em uma entrevista recente, que “Na educação a coisa mais deletéria na relação professor com o aluno é dar a resposta. Ele tem que provocar a curiosidade e a pesquisa.” Penso que seja por aí mesmo.

Professores que fazem isso de fato, que provocam a inteligência, são raros. E o meu Professor cumpriu esse papel com maestria, carinho e atenção...isso aos 83 anos de idade, indo a campo, entrando em trincheira e se sujando. Professor, muito obrigado pelo exemplo, apoio e horas de conversa, na USP, em casa e nas divertidas caronas...que venham muitas outras horas de conversa jogada fora e outras tantas de conversa jogada dentro. Já aproveito para assumir aqui a responsabilidade completa pelos erros e enganos cometidos neste trabalho: em caso de dúvida, é mais provável que o erro seja meu..

Faço o gancho aqui para agradecer demais à professora Sidneide Manfredini, outra pessoa rara nesse meio acadêmico cada vez menos inspirado. A Sid ajudou ativamente na discussão das análises químicas, nos ensaios laboratoriais e, principalmente, com a amizade. Agradeço pelas horas e horas de conversas, receitas trocadas e inúmeros almoços e jantares, sempre deliciosos e agradáveis.

Agradeço também à professora Rosely Pacheco Dias Ferreira, pelo carinho, ensinamentos de fotointerpretação e pelas aulas, ministradas com muita paixão e entusiasmo, além da participação na banca de qualificação. As aulas de fotointerpretação me abriram os olhos para um mundo de possibilidades e trouxe novamente a análise geográfica, como análise integrada dos fenômenos da superfície terrestre. Considero-me sortudo de ter aprendido a fotointerpretação com quem aprendi e a Fisiologia da paisagem com quem aprendi:

À professora Maria Teresa de Nóbrega, professora favorita da graduação, pelos muitos ensinamentos, pela inspiração para o trabalho e pela área de estudos – presentão! Trata-se de outra professora que faz a defesa apaixonada da Geografia e a ensina com amor.

Ao professor Hélio Silveira, da UEM, orientador do trabalho de conclusão de curso, incansável, amigo e sempre mestre...agradeço muito pela ajuda no campo.

Ao professor Carlos Roberto Espindola, outro cara que só existia como referência bibliográfica e que me honra muito com a participação nas duas bancas. Agradeço demais pelas sugestões, pelo incentivo e disposição para ajudar.

Outra pessoa fundamental para o desenvolvimento da pesquisa foi o amigo e colega André Mateus Barreiros, menino de ouro, geógrafo brilhante e de futuro promissor. O Dé é meu parceiro desde os primeiros trabalhos da graduação, e ao longo desses anos todos funcionou como principal debatedor das minhas ideias, de forma que pode ser acusado e condenado pela coautoria deste trabalho. Mais que isso, é nos amigos que a gente encontra a válvula de escape para os momentos de stress do trabalho. É importante que eu reconheça aqui a participação fundamental do Dé em todos os trabalhos de campo, no mapeamento, no laboratório e na elaboração das técnicas de macrofotografia de solo.

Agradeço também à amiga Grace Bungenstab Alves, companheira de cinema, caloteira (me deve um almoço há três anos) e estrela da Rede Globo – ah, é geógrafa também. Gracinha também participou da etapa de trabalho de campo e ajudou no laboratório e no mapeamento. Conta com poderes mediúnicos, capazes de prever o que os membros da banca acharão do trabalho, por via das dúvidas, acatei as sugestões.

Ao Marcos Roberto Pinheiro, amigo, colega, técnico do LABOPED e grande geógrafo. Pra quem acha que funcionário público é tudo igual, sugiro que conheçam o Marcos: perdi as contas de quantos dias esse cara ficou no laboratório até a madrugada ajudando nos ensaios. Passou muito tempo ouvindo minhas viagens e contribuiu com muitas

sugestões. De quebra, ainda deu uma grande força no mapeamento, ensinando o uso do ArcGIS. O único defeito aparente é o corintianismo, moléstia grave e incurável.

Ao Otávio Cardoso Cardona, amigo, geógrafo e verdadeiro presidente da IPS (International Peat Society). O Otávio contribuiu com muitas perguntas e com a discussão dos temas ao longo de todo o trabalho.

Ao João Carlos Christophe da Silva, brilhante geólogo e amigo, contribuiu ativamente discutindo os aspectos geológicos do trabalho, além de fornecer companhia agradabilíssima. No mesmo sentido, agradeço também ao Fernando Junqueira Nadal Vilella, outro amigo e brilhante colega de profissão.

Ao Pablo Nepomuceno, amigo, geógrafo e técnico do LASERE, pelas aulas de ArcGIS, fundamentais para a confecção dos mapas.

Ao professor Antônio Azevedo, da Esalq, pelo apoio nas análises mineralógicas e ao Luiz, técnico do laboratório de análises químicas da mesma instituição.

Ao amigo e colega de graduação Rogério Fernandes de Oliveira Reis, pela ajuda nos trabalhos de campo.

Ao José Antônio de Andrade, também pela ajuda no campo e por todo o apoio que nos dá em Floraí, desde a graduação.

Aos irmãos Róbson e Benício Teixeira, proprietários do sítio São José, onde fica a “minha” vertente, por permitir os trabalhos e a escavação de uma trincheira nada discreta.

Ao amigo Augusto Vaghetti Luchese, agrônomo, pela ajuda com as análises mineralógicas.

A todos os amigos e colegas que participaram dos colóquios semanais realizados no LABOPED, sob coordenação do Professor Queiroz: normalmente as reuniões de orientação e participação em colóquios científicos constam dos agradecimentos, no início dos trabalhos científicos. Considero, porém, que este trabalho, se beneficiou tanto das discussões feitas nesses encontros que poderia estar no capítulo de materiais e métodos seria obrigatória.

Participaram de forma permanente desses colóquios, além deste pesquisador e do orientador do trabalho, no papel de coordenador deste ciclo de discussões, outros seis pesquisadores, que estão desenvolvendo, ou concluíram neste período, pesquisas em nível de doutorado: Marcos Roberto Pinheiro, Grace Bungenstab Alves, João Carlos Christophe da Silva, Juliana de Paula Silva, e outros em nível de mestrado: André Mateus Barreiros e Otávio Cardoso Cardona. Aos professores convidados: Sidneide Manfredini, Carlos Roberto

Espíndola, Sheila Aparecida Correia Furquim, Fernando Junqueira Nadal Vilella e Lylian Zulma Doris Coltrinari, além de pesquisadores ligados a outros laboratórios.

Acreditamos que essa etapa tenha sido tão importante quanto o levantamento bibliográfico e aproveitamos a oportunidade para agradecer a todos os participantes.

Aos muitos médicos que me atenderam nos últimos dois anos, em especial à doutora Elisabete Mitiko Kobayashi, que se tornou muito mais do que somente minha médica de confiança, por ter montado a equipe que me tratou...a tranquilidade que eu recebi de toda a equipe (Dra. Sarah Pagliarini, Dra. Adriana Valadares, Dr. Alexandre Leszczynski, Dr. Écio Nascimento e Dr. Reynaldo Bravini) foi o que possibilitou que continuasse nessa pesquisa...porque poucas coisas mexem tanto com a cabeça quanto um tumor de cabeça (por sorte benigno, é bom que se diga para não assustar os leitores desavisados).

Por fim, agradeço à Fapesp pelo apoio financeiro e investimento em mim e na pesquisa, sem o qual a realização do trabalho teria se tornado um tanto mais difícil.

A todos os citados – e a quem mais eu porventura tenha esquecido – meus sinceros agradecimentos.

“Não há, na Terra, outra espécie que faça ciência. Trata-se, até aqui, de uma invenção humana, que evoluiu por seleção natural no córtex cerebral por uma simples razão: funciona. Não é perfeita. Pode ser mal usada. É somente uma ferramenta, porém, é de longe o melhor instrumento que temos, autocorretivo, que progride sem cessar e aplicável a tudo. Obedece a duas regras. Primeira: não há verdades sagradas; todas as asserções devem ser examinadas com espírito crítico; argumentos de autoridade são inúteis. Segunda: tudo aquilo que for inconsistente com os fatos deve ser descartado ou revisto. Nós devemos entender o Cosmos como ele é e não confundir com o que gostaríamos que fosse. Às vezes o óbvio é falso e o insólito, verdadeiro. Quando o contexto é amplo o suficiente, seres humanos, de todas as parte, compartilham os mesmos objetivos; o estudo do Cosmos fornece o mais amplo contexto possível. A cultura global atual é uma recém-chegada arrogante: Chega ao planeta após 4,5 bilhões de anos de outros eventos e, depois de olhar em volta por alguns milhares de anos, se declara dona de verdades incontestáveis. Num mundo de mudanças tão rápidas quanto o nosso, isso é uma receita para o desastre, é improvável que qualquer nação, religião, sistema econômico ou corpo de conhecimento tenha todas as respostas necessárias para a nossa sobrevivência. Deve haver muitos sistemas sociais que funcionariam melhor que o nosso. Na tradição científica, nossa tarefa é encontra-los.”

– Carl Sagan - Cosmos, 1980

Resumo:

Esta pesquisa investigou os processos de gênese dos NITOSSOLOS VERMELHOS Férricos, buscando compreender quais os fatores que levam a diferenciação entre Nitossolos típicos, nos quais encontramos a sequência de horizontes A-Bni-C e Nitossolos latossólicos, mais comuns, de sequência A-Bni-Bw-C.

A área de estudos é a bacia do córrego Miringuava, situada no município de Maringá-PR. Esta pequena bacia se insere em um setor da bacia do ribeirão Pinguim no qual ocorre uma transição, entre duas áreas de domínio latossólico, uma no alto curso do Pinguim, outra no baixo curso. A área apresenta-se dominada por Nitossolos e por associações entre Cambissolos e Neossolos Litólicos, que ocorrem devido à presença de diques de diabásio relacionados aos derrames basálticos da Formação Serra Geral.

Para atingir este objetivo, investigamos a relação entre a declividade e a posição destes solos nas vertentes, a ocorrência de transporte de argila no interior destes perfis e sua eventual relação com a formação dos horizontes B nítricos (Bni) e por fim, a relação da evolução destes sistemas pedológicos com a evolução do relevo regional. Os procedimentos adotados no estudo seguem a abordagem da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, proposta por Boulet (1982 a, b, c).

Os resultados mostram que há uma relação entre declividade e a posição destes solos na vertente, embora não seja possível estabelecer um limite que possa ser extrapolado para toda a bacia do Pinguim. Revelam ainda indícios que apontam para processos de eluviação/iluviação nos perfis estudados e, por fim, que provavelmente os horizontes Bni se formaram a partir de antigos horizontes B latossólicos (Bw), como os encontrados no alto curso do ribeirão pinguim, e que há um processo atual de degradação dos horizontes Bni, que ocorre através da fragmentação de sua estrutura poliédrica em uma estrutura microagregada, sugerindo que há um processo de latossolização destes sistemas, que provavelmente evoluirão para uma cobertura pedológica semelhante à encontrada no setor do baixo curso do ribeirão Pinguim, dominado por Latossolos eutróficos.

Palavras-chave: Gênese de Solos, Solos Basálticos, Nitossolos, Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, Relação Solo-Vertente.

Abstract:

This research investigated the genetic processes which give origin to the Red ferric Nitisols, trying to understand which factors lead to the differentiation between the typical Nitisols, with a horizon sequence A-Bni-C and the latosolic Nitisols, the most common type, with an A-Bni-Bw-C horizon sequence.

The study area is the Miringuava Creek basin, located in the municipality of Maringá-PR, Brazil. This small hydrographic basin is placed in a sector of the Pinguim Creek basin, in which occurs a transition between two sectors dominated by Latosols, one in the high course of the Pinguim Creek and the other in the low course. The area is dominated by Nitisols and associations of shallow, poorly developed soils, which occur due to the presence of diabase dikes related to the basalts of the Serra Geral Formation.

In order to accomplish the goal of this work, we investigated the relationship between slope and the positions of the soils in the hillslopes, clay transportation within the soil systems and finally, the relation between soil coverage and regional landform evolution. The procedures adopted for this research are based on the Structural Analysis of the Pedologic Coverage, proposed by Boulet (1982, a, b, c).

The results show a relationship between slope and soil position, although it wasn't possible to establish a limit which could be extrapolated for the entire area of the Pinguim Creek basin. The results also reveal evidence which point towards clay migration within the soil profiles studied in this work and finally, point to an evolution process in which the nitic horizons are formed from older latosolic horizons, such as the ones found in highest sectors of the Pinguim Creek basin, and that there is a present process of degradation of the nitic horizons, which through the fragmentation of the blocky structures into microgranular ones, suggesting that the Nitisols are evolving into younger eutrofic Latosols, similar to the ones found in the sectors of the low course of the Pinguim Creek.

Key-words: Soil Genesis, Basaltic Soils, Nitisols, Structural Analysis of the Pedological Coverage, Soil-Slope Relationship.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados dos ensaios de granulometria	91
Tabela 2: Argila dispersa x argila floculada	94
Tabela 3: Resultados de densidade e porosidade	96
Tabela 4: resultados das análises químicas	98
Tabela 5: Classificação dos minerais da fração areia	102
Tabela 6: classificação mineralógica da lâmina da fração areia, dRx	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da bacia do Ribeirão Pinguim	2
Figura 2: Mapa das unidades de Paisagem e localização da topossequência	8
Figura 3: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná	9
Figura 4: Dique de diabásio	10
Figura 5: Carta hipsométrica da bacia do ribeirão Pinguim	12
Figura 6: Carta de declividade da bacia do ribeirão Pinguim	14
Figura 7: Carta de solos da bacia do ribeirão Pinguim	15
Figura 8: Transformação micromorfológica dos horizontes Bni em Bw	26
Figura 9: relações entre os Nitossolos e solos adjacentes em função de suas posições topográficas	26
Figura 10: Sondagem a trado realizada no terço inferior da topossequência São José	32
Figura 11: Croqui esquemático de campo da parede oeste da trincheira estudada	33
Figura 12: Topossequência São José	53
Figura 13: Paredes da trincheira estudada	57
Figura 14: Trincheira, fotografia tirada no sentido sul-norte	58
Figura 15: Perfil 1, NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico latossólico	60
Figura 16: macrofotografia de torrão do horizonte C2	63
Figura 17: macrofotografia de torrão do horizonte C1	64
Figura 18: Fotomicrografias da lâmina do horizonte C1 do Perfil 1	67
Figura 19: macrofotografia de torrão do horizonte Bw	68
Figura 20: Fotomicrografias da lâmina do horizonte C1 do Perfil 1	70
Figura 21: macrofotografia de torrão do horizonte Bni/Bw	71
Figura 22: Fotomicrografias da lâmina do horizonte Bni/Bw do Perfil 1	73
Figura 23: macrofotografia de torrão do horizonte Bni	75
Figura 24: Fotomicrografias da lâmina do horizonte Bni do Perfil 1	76
Figura 25: Macrofotografia de torrão do horizonte Ap	
Figura 26: Fotomicrografias da lâmina do horizonte Ap do Perfil 1	80
Figura 27: Perfil 2, NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico	81
Figura 28: Macrofotografia de torrão do horizonte C1	84
Figura 29: Fotomicrografias da lâmina do horizonte C1 do Perfil 2	86

Figura 30: Macrofotografia de torrão do horizonte Bni	87
Figura 31: Fotomicrografias da lâmina do horizonte Bni do Perfil 2	89
Figura 32: (a) Horizonte C1 do perfil 1; (b) Horizonte C1 do perfil 2	93
Figura 33: Difratoograma do horizonte Bni, Perfil 1	100
Figura 34: Difratoograma do horizonte C1, Perfil 1	101
Figura 35: Aspecto da solução ao final do primeiro ataque ácido e ao final do 7º ciclo	103
Figura 36: Aspecto das areias antes do ataque ácido e ao final do 7º ciclo	104
Figura 37: Carta hipsométrica da bacia do córrego Miringuava	106
Figura 38: Carta de declividade da bacia do córrego Miringuava	107
Figura 39: Carta morfopedológica da bacia do córrego Miringuava	108

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Localização da Área de Estudos	8
2.2. Geologia	8
2.3. Relevo	11
2.4. Cobertura Pedológica	13
2.5. Bacia do córrego Miringuava	16
2.6. Processos de Alteração de Basaltos	17
2.7. Pedogênese e Nitossolos	19
3. MATERIAL E MÉTODO	27
3.1. Técnicas de Campo	28
3.1.1. Reconhecimento e seleção da área de estudos	28
3.1.2. Topossequência de solos	30
3.1.3. Trincheira	32
3.1.4. Perfis de solo	33
3.1.5. Coleta de amostras	34
3.2. Técnicas de laboratório	34
3.2.1. Análises Físicas	35
3.2.1.1. <i>Granulometria</i>	35
3.2.1.2. <i>Argila dispersa x argila floculada</i>	36
3.2.1.3. <i>Porosidade e densidade</i>	36

3.2.2. Análises químicas	37
3.2.2.1. <i>Análise de pH e principais cátions trocáveis</i>	38
3.2.2.2. <i>Ataque sulfúrico</i>	38
3.2.3. Análises mineralógicas	39
3.2.3.1. <i>Difratometria de raios-X</i>	39
3.2.3.2. <i>Análise morfoscópica da fração areia</i>	40
3.2.3.3. <i>Ataque ácido à fração areia</i>	41
3.2.4. Micromorfologia de solos	42
3.3. Técnicas de gabinete	43
3.3.1. Mapeamento	44
3.3.2.1. <i>Confecção das cartas temáticas</i>	44
3.3.2.2. <i>Confecção da carta morfopedológica</i>	45
3.3.3. Macrofotografias de torrões de solo	46
3.3.4. Tratamento e elaboração do material gráfico	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1. Levantamentos de campo	50
4.1.1. Topossequência de solos	51
4.1.2. Trincheira	54
4.1.3. Perfis de solo, descrição morfológica, macrofotografias e micromorfologia	54
4.2. Análises físicas	91
4.2.1. Granulometria	91
4.2.2. Argila dispersa x argila floculada	94
4.2.3. Porosidade e densidade	95
4.2.4. Análise integrada dos dados das análises físicas	97
4.3. Análises químicas	97

4.4. Análises mineralógicas	100
4.4.1. Caracterização mineralógica da fração argila	100
4.4.2. Caracterização mineralógica da fração areia	102
4.5. Mapeamento morfopedológico	104
5. Considerações finais	116
6. REFERÊNCIAS	123

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem, como principal objetivo, investigar a gênese dos NITOSSOLOS VERMELHOS Férricos e as condições que implicam na sua diferenciação nos sistemas pedológicos da região norte do Paraná, uma vez que a presença de horizontes pedológicos Bni (B nítico) fora assinalada ora assentados sobre horizontes Bw (B latossólico), ora diretamente sobre rocha alterada.

O estudo foi realizado na bacia do córrego Miringuava, afluente da margem direita do ribeirão Pinguim, que drena quase a totalidade do sul do município de Maringá-PR, além dos municípios de Sarandi, Marialva, Floresta e Itambé (**Figura 1**).

Em tese de doutoramento realizado na bacia do rio Keller, adjacente à área de estudos aqui proposta, Reis Nakashima (1999) relacionou estes solos às vertentes com declividades entre 12% e 20%. Desta forma, iniciamos o trabalho tentando relacionar os Nitossolos às classes de declividade referidas neste trabalho.

Na tentativa de identificar os fatores de diferenciação destes dois sistemas pedológicos, buscamos responder três perguntas: primeiro, se há uma relação direta entre a declividade das vertentes e a formação dos horizontes nitossólicos; segundo, se os processos de transporte de argila no interior das vertentes contribuem para a formação dos horizontes níticos; e por fim, relacionar a evolução destes sistemas pedológicos com a evolução do relevo na bacia do ribeirão Pinguim.

Em relação à primeira pergunta, constatamos que há duas situações de posição dos Nitossolos nos perfis verticais ao longo das vertentes: topossequências com o horizonte Bni sobreposto a um Bw, classificados como NITOSSOLOS VERMELHOS Férricos Latossólicos, comuns na região e descritos por Nakashima (1999). Também foram

encontrados em campo perfis com horizontes níticos desenvolvidos diretamente sobre horizontes C, caso dos NITOSSOLOS VERMELHOS Férricos típicos, tais como descrito por Alves (2010) no município de Maracaí - SP, em área também situada sobre basaltos da Formação Serra Geral.

Figura 1: Mapa de localização da bacia do Ribeirão Pinguim

Elaboração: Paiva, R. G., 2006

Adaptação: Nakashima, M. R., 2012

Nas bacias do ribeirão Pinguim e do córrego Miringuava, entretanto, encontramos, nas observações de campo, estes tipos de solos em posições de topos planos e também sobre patamares estruturais de derrames basálticos. Este fato indica que poderia haver uma relação entre os sistemas pedológicos e as formas de relevo associadas às estruturas litológicas, como os diques de diabásio, comuns na área de estudos, suspeita que nos levou a confeccionar uma carta morfopedológica que poderia, finalmente, fornecer indícios de tal relação.

O segundo ponto investigado diz respeito à formação dos horizontes B níticos. Consideramos que, para atacar essa questão, seria adequado trabalhar sob o enfoque da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, proposta por Boulet *et al.* (1982 a, b, c). Uma vez que encontramos, na vertente estudada, ambas as situações de Nitossolo (latossólico e típico), e estes sistemas são adjacentes, o estudo das transições verticais e laterais poderia apontar no sentido da evolução da cobertura pedológica. Além de basearmos-nos nestes procedimentos, encontramos, na literatura, algumas possibilidades de formação dos horizontes níticos que poderiam explicar as transições entre estes e os horizontes latossólicos, discutindo qual se transforma em qual. Neste sentido os trabalhos de Espíndola (1979) e Cooper e Vidal-Torrado (2005) indicam que estas transformações podem ocorrer nos dois sentidos, sendo mais comum a transformação dos horizontes Bni nos horizontes Bw.

As técnicas e procedimentos adotados neste trabalho visaram, desta forma, caracterizar estes solos segundo suas características morfológicas (em níveis macro, meso e micro), físicas, químicas e mineralógicas, buscando sempre estudar atentamente as transições entre os horizontes descritos. Pelas mesmas razões, conforme já explanado, optamos por trabalhar com o levantamento de uma topossequência de solos, procedimento que permitiu compreender as relações geométricas dos horizontes de solo no interior da vertente, e por fim, relacionamos os dados obtidos com as observações feitas a partir dos trabalhos de campo de interpretação de fotografias aéreas.

Duas razões justificam a escolha das bacias do ribeirão Pinguim e, dentro desta, a bacia do córrego Miringuava como áreas de estudo. Primeiro porque na bacia do ribeirão Pinguim encontramos, nos diferentes setores (alto, médio e baixo curso), exemplos representativos dos tipos de solo predominantes na região, e mais do que isso, encontramos variações do padrão de sistemas pedológicos considerados "típicos" em função das formas de vertente. A bacia do córrego Miringuava, por sua vez, se encontra em uma unidade de paisagem que Paiva e Nóbrega (2007) classificaram como intermediária entre duas áreas mais planas e dominadas por coberturas latossólicas.

Vidal-Torrado *et al.* (2005) defendem a importância do estudo destas zonas de transição, classificando-as como uma das etapas fundamentais para estudos que visem relacionar solo e paisagem em uma escala regional. Dessa forma, o estudo deste setor permitiu compreender as relações de transição entre diferentes sistemas pedológicos e também diferentes domínios de relevo, o que pode fornecer elementos que respondam ao terceiro objetivo aqui proposto: relacionar a evolução dos sistemas pedológicos à evolução do relevo regional.

Cabe aqui ressaltar que o trabalho de Reis Nakashima (1999) foi realizado em uma bacia adjacente a esta área, onde foram constatadas ambas as situações, descrevendo como mais frequentes os sistemas em que os LATOSSOLOS VERMELHOS Férricos ocupam os topos e os NITOSSOLOS VERMELHOS Férricos ocupam as posições de média e baixa vertente, obedecendo, de forma geral, os limites de declividade supracitados, de 12% a 20%. A segunda razão que justifica a escolha da área de estudos é a grande diversidade de formas de vertentes: há setores com predomínio de colinas com baixa declividade; outros apresentando patamares de diferentes derrames basálticos; e finalmente alguns com morros-testemunho. Tais características foram estudadas e detalhadas no estudo de

compartimentação fisiográfica realizado por Paiva e Nóbrega (2007), apoiada, especialmente nos atributos morfopedológicos.

Estas razões nos levam a crer que, para compreender a gênese e distribuição dos NITOSSOLOS VERMELHOS Férricos, devemos abordar o problema em três frentes: identificar as posições e situações de declividade em que estes solos ocorrem nas vertentes; as suas relações com os solos adjacentes; e suas relações com os materiais de origem, solo anterior ou rocha.

Este tipo de pesquisa se justifica pela possibilidade de contribuição com aprofundamento do conhecimento sobre a gênese dos Nitossolos, classe de solos que apenas recentemente (1999) foi incluído no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 2006), e ainda acrescentar aos estudos da cobertura pedológica do norte do Paraná, área intensamente explorada por atividades agrícolas.

Observamos ainda que nos últimos anos houve uma redução na quantidade de pesquisas realizadas e artigos publicados sobre gênese de solos em periódicos científicos. Acreditamos que essa diminuição de estudos de gênese de solos implica, diretamente, em um menor potencial para novos avanços na Pedologia, uma vez que os estudos de gênese representam, sem dúvida, a pesquisa de ciência de base neste campo do conhecimento.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Localização da Área de Estudos

A bacia do Córrego Miringuava está localizada no distrito de Floriano, no município de Maringá-PR, entre as coordenadas 23°30'24"S e 52°04'30"W e 23°31'36"S e 52°01'28"W. Drena uma área de 3,86 km². Trata-se de uma sub-bacia do Ribeirão Pinguim, que se localiza entre os municípios de Maringá, Sarandi, Marialva, Floresta e Itambé (**Figura 2**). De acordo com a classificação proposta por Maack (1981), está localizada no Terceiro Planalto Paranaense ou planalto do "*trapp*" do Paraná, no bloco do planalto de Apucarana. Ocupa uma área de 228km², e está situada entre as latitudes 23°25' a 23°38'58" sul e longitudes 51°51'17" a 52°04'28" oeste. Trata-se de uma bacia de 4^a. ordem de ramificação (CHRISTOFOLETTI, 1974).

2.2. Geologia

A área de estudos situa-se em uma região conhecida como "Província Magmática do Paraná" (PMP), que tem sua formação no Cretáceo. As rochas que afloram nesta província são constituídas, principalmente, pelos basaltos da Formação Serra Geral e, em menor quantidade, de rochas efusivas ácidas.

Almeida (1986) discorre sobre a PMP, e aponta que os basaltos da Formação Serra Geral estão assentados sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu, sendo estas rochas básicas essencialmente sub-horizontais, com inclinações médias de 5° em direção ao centro da bacia do Paraná. Os basaltos toleíticos representam cerca de 90% do volume das rochas da

Formação Serra Geral, seguidos por andesitos toleíticos (7%) e rochas vulcânicas ácidas, representadas por riodacitos e riolitos (3%). As rochas ácidas ocupam, principalmente, regiões mais próximas às bordas continentais, nas partes mais altas dos derrames representando, portanto, as últimas fases das atividades vulcânicas. Esta configuração permite afirmar que o vulcanismo da PMP é de natureza bimodal (basaltos e riolitos).

A Formação Serra Geral recobre 1.200.000 km² nos estados da região Sul, Sudeste e Centro Oeste do Brasil. Almeida (1986) aponta ainda que os basaltos toleíticos são mais ricos em piroxênios, olivinas, sílica e plagioclásios que os basaltos alcalinos convencionais, estando os primeiros, associados normalmente às zonas de ascensão magmática, como dorsais oceânicas e rifts. Esta condição, classifica estas rochas, entre as vulcânicas básicas, como sub-alcalinas.

Do ponto de vista mineralógico e petrográfico, os basaltos da Formação Serra Geral apresentam microfenocristais de augita, plagioclásio, pigeonita e pequenas proporções de titanomagnetita, além de pequena quantidade de olivina (normalmente alterada). A matriz dessas rochas é composta destes mesmos minerais.

No mesmo sentido, Santos *et al.* (1984), assinalam que do ponto de vista petrográfico, esta formação representa uma completa suíte de tipos litológicos que variam do basalto aos riolitos. No caso da área de estudos, os principais tipos litológicos encontrados, segundo Reis Nakashima (1999) são basaltos de estrutura maciça, de estrutura amigdaloidal, diabásios e depósitos recentes, "compostos por sedimentos inconsolidados depositados nos talwegues, e fundos de planícies fluviais, constituindo terraços, diques marginais e ilhas fluviais" (**Figura 2**). Ressalta ainda que tais depósitos foram encontrados na área, porém não estão descritos na carta geológica.

Figura 2: Mapa das unidades de Paisagem e localização da topossequência.

Elaboração: Nakashima, M. R., 2013.

Adaptado de: Paiva, R. G., 2007.

Figura 3: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (Bellieni *et al.*, 1986; Nardy *et al.*, 2001).

(1) Embasamento cristalino; (2) sedimentos pré-vulcânicos (principalmente paleozóicos); (3) rochas vulcânicas básicas a intermediárias da Província Magmática do Paraná; (4) rochas ácidas do tipo Palmas da Província Magmática do Paraná; (5) rochas ácidas do tipo Chapecó da Província Magmática do Paraná; (6) enxames de diques da Província Magmática do Paraná; (7) sedimentos pós-vulcânicos (principalmente do Cretáceo superior); (8) alinhamentos tectônicos e/ou magnéticos; (9) localização das sequências de derrames investigadas nos estudos paleomagnéticos.

Marques e Ernesto (2004) apontam que além dos derrames basálticos, há uma grande representatividade de atividade intrusiva associada, que podem ser percebidas no relevo como enxames de diques de diabásio (**Figura 3**). Estes enxames de diques de diabásio estão relacionados à abertura do Atlântico Sul, datam do Cretáceo inferior e se concentram em três

principais agrupamentos: os enxames da Serra do Mar (132-119 Ma), Florianópolis (129-119 Ma) e Ponta Grossa (131-129 Ma), sendo este último o maior deles. Os diques do enxame do Arco de Ponta Grossa distribuem-se desde a região costeira paranaense até a porção leste dos derrames da Formação Serra Geral, cortando tanto o embasamento cristalino da bacia quanto as rochas sedimentares, atingindo até 100km de extensão.

Na bacia do ribeirão Pinguim encontramos uma grande quantidade de estruturas alinhadas no sentido SE-NW (**Figura 4**), que correspondem aos diques de diabásio do enxame do Arco de Ponta Grossa. Neste ponto, estes diques já não se apresentam com extensões tão significativas quanto as encontradas na área *core*, mais à leste, porém, estes diques foram reconhecidos e mapeados em Reis Nakashima (1999), e também neste trabalho.

Figura 4: Dique de diabásio, marcado na linha do horizonte
Fotografia: Nakashima, M. R., 2011

Os relevos dos diques de diabásio encontrados na área podem ser considerados residuais, encontram-se com extensão reduzida e vários, como o registrado na **Figura 4**, tem seus topos marcados por colos, resultado da incisão de canais de drenagem. Outros se apresentam como uma sucessão de pequenas colinas alongadas e alinhadas, como é o caso das estruturas encontradas na bacia do córrego Miringuava, encaixada entre dois diques. Estas estruturas tem papel fundamental na compreensão tanto do relevo regional quanto da cobertura pedológica, conforme veremos adiante – estão relacionados a solos rasos e as rupturas côncavas marcadas no ponto de contato entre esses diques e o restante da vertente marcam a transição entre os Neossolos litólicos e os Nitossolos típicos.

2.3. Relevo

O relevo da bacia do ribeirão Pinguim é caracterizado por uma grande variação de formas no sentido Norte-Sul. No que tange à hipsometria (**Figura 5**), observamos que as maiores altitudes são da ordem de 580 metros e que há dois espigões, que correspondem aos divisores das margens direita e esquerda da bacia, que se estendem por praticamente toda a extensão desta, perdendo altitude de forma gradual. No centro da bacia, encontramos dois cursos d'água principais, o ribeirão Pinguim e seu principal afluente na margem direita, o córrego Floriano, do qual o córrego Miringuava é subsidiário. Considerando estes dois cursos d'água como cursos principais, uma vez que o córrego Floriano apresenta ordem de grandeza semelhante à do Pinguim, a bacia pode ser considerada relativamente simétrica, com o último apresentando uma maior densidade de drenagem e rede de afluentes mais complexa e ramificada.

CARTA HIPSONÔMETRICA DA BACIA DO RIBEIRÃO DO PINGUIM, MARINGÁ - PR

Legenda:

Elevação (m)

- Limite da bacia
- Hidrografia
- Área Urbana
- Estradas
- Curvas de nível
- Área de estudo
- Unidades de paisagem

Escala: 1:150.000

Projeção: UTM; Zona 22; Datum: WGS84

Bases: IBGE, 1972 (carta topográfica 1:50.000, Folhas SF-22-Y-D-V-1 e SF-22-Y-D-II-3); Ministério do Exército (carta topográfica 1:50.000, Folhas SF-22-Y-D-V-1 e SF-22-Y-D-II-3); NASA: SRTM, 2000; Mapa de solos do Estado do Paraná, 1:250.000, Embrapa, 2008; Paiva, R. G. 2007.

Elaboração: Nakashima, M. R., 2013

Figura 5: Carta hipsométrica do ribeirão Pinguim

Em relação à declividade (**Figura 6**), encontramos uma concentração maior de áreas mais declivosas no médio curso do ribeirão Pinguim e ao longo de todo o curso do córrego Floriano. Essas áreas correspondem às Unidades de paisagem II, III e V na compartimentação proposta por Paiva e Nóbrega (2007).

Há uma orientação destas faixas de maior declividade no sentido SE-NW, resultado da orientação preferencial das estruturas geológicas (diques de diabásio). Desta forma, as maiores declividades estão relacionadas às vertentes curtas que se entendem dos topos estreitos dos diques aos canais que se encaixam entre estas estruturas, de forma que os tributários diretos do Pinguim e do Floriano seguem, grosso modo, as mesmas direções estruturais.

2.4. Cobertura Pedológica

Paiva & Nóbrega (*idem*) realizaram estudos nesta bacia, e propuseram uma compartimentação em cinco unidades de paisagem, que adotamos como ponto de partida para a realização desta pesquisa (**Figura 2**). Neste trabalho, os autores constataram uma variabilidade de combinações relevo-solo que evoluíram, por processo de erosão remontante.

Podemos observar, na carta de solos (**Figura 7**), as relações entre os compartimentos descritos e as coberturas pedológicas. Nas porções localizadas mais a jusante (compartimento IV) predomina um relevo mais aplainado, de colinas amplas e vertentes longas. Neste compartimento, os Latossolos ocupam desde o topo até as posições de média-baixa vertente, onde dão lugar aos Nitossolos.

CARTA DE DECLIVIDADE DA BACIA DO RIBEIRÃO DO PINGUIM, MARINGÁ - PR

Legenda:

Declividade (%)

- 30 - 50
- 24 - 30
- 20 - 24
- 16 - 20
- 12 - 16
- 9 - 12
- 6 - 9
- 3 - 6
- 0 - 3
- Limite da bacia
- Hidrografia
- Área Urbana
- Estradas
- Curvas de nível
- Área de estudo
- Unidades de paisagem

Escala: 1:150.000

Projeção: UTM, Zona 22S; Datum: WGS84

Bases: IBGE, 1972 (carta topográfica 1:50.000, Folhas SF-22-Y-D-V-1 e SF-22-Y-D-II-3); Ministério do Exército (carta topográfica 1:50.000, Folhas SF-22-Y-D-V-1 e SF-22-Y-D-II-3); NASA: SRTM, 2000; Mapa de solos do Estado do Paraná, 1:250.000, Embrapa, 2008; Paiva, R. G. 2007.

Elaboração: Nakashima, M. R., 2013

Figura 6: Carta de declividade do ribeirão Pinguim

Na porção central da bacia (compartimentos II, III e V) encontram-se os níveis rebaixados observados próximos da confluência com o rio Ivaí, porém, com a presença de topos estreitos, relacionados às estruturas mais resistentes, de base de derrames basálticos ou mesmo diques de diabásio. Por conta desta situação, as vertentes encontradas neste compartimento são mais íngremes e apresentam rupturas de declividade ou patamares marcando a sucessão de derrames basálticos. Neste caso, os solos encontrados nos topos são associações de CAMBISSOLOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS, transicionando para NITOSSOLOS nos segmentos mais longos e retilíneos.

Por fim, nas posições topograficamente mais altas (compartimento I) encontramos a situação mais frequente dos solos basálticos do norte do Paraná, com colinas suaves, topos amplos e a sequência LATOSSOLOS - NITOSSOLOS - Colúvios ou GLEISSOLOS.

Partindo do compartimento I em direção ao vale do rio Ivaí, passamos por uma sequência de compartimentos de relevo bastante diferenciados, e por uma sequência de domínios pedológicos que poderia ser descrito da seguinte forma: Latossolos distróficos, Nitossolos eutróficos – Cambissolos e Neossolos litólicos – Nitossolos – Latossolos eutróficos. Assumindo que os processos erosivos ocorrem regionalmente de forma remontante, essa sequência de solos descrita representaria também uma ordem cronológica de um compartimento mais antigo, dominado pelos Latossolos distróficos para a situação mais recente, representada pela cobertura latossólica eutrófica da planície do rio Ivaí.

2.5. Bacia do córrego Miringuava

Dentro deste contexto geral, a bacia do córrego Miringuava, conforme citamos, localiza-se em um dos compartimentos intermediários delimitados por Paiva e Nóbrega

(2007). Encontra-se encaixada entre dois diques de diabásio, que delimitam os divisores das margens direita e esquerda desta bacia. Conforme podemos observar nas cartas de hipsometria e declividade (Figuras 8 e 9), trata-se de uma bacia dissimétrica, na qual as altitudes variam entre 370 e 505 metros, sendo que o divisor da margem esquerda é mais elevado, variando na maior parte de sua extensão, entre 475 e 495 metros e o divisor da margem direita apresenta altitudes mais baixas, entre 420 e 470 metros por quase toda sua extensão.

As vertentes da margem direita são também mais curtas e apresentam menores declividades, tendo ainda um perfil mais regularizado, quando comparadas com as vertentes da margem esquerda, mais longas e com declividades mais acentuadas. Outra diferença notável entre os dois lados desta bacia, é a praticamente ausência de canais afluentes na margem direita – com exceção de dois pequenos canais temporários e um canal perene na cabeceira da bacia. A margem esquerda apresenta uma quantidade maior de canais temporários e um afluente mais importante. Essa rede de drenagem mais complexa na margem esquerda está relacionada à topografia deste lado, que apresenta uma forte ruptura côncava com alguns recuos, a partir dos quais encontramos as cabeceiras de drenagem dos diversos canais temporários, sendo que o mais importante deles forma um pequeno anfiteatro, que dá origem à nascente do único afluente relevante do córrego Miringuava.

A análise mais detalhada das feições de relevo e da cobertura pedológica será feita mais adiante, no capítulo de análise de resultados, onde discutiremos a carta morfopedológica.

2.6. Processos de Alteração de Basaltos

Ladeira (1995) afirma que as coberturas lateríticas são muito antigas, podendo ter alguns milhões de anos e até mesmo ter migrado com a deriva dos continentes. Lembra este

autor que a distribuição desse tipo de cobertura, em ambientes tão diversos como florestas tropicais e grandes desertos, indica que estas teriam sua origem em paleoclimas bastante diferentes das condições atuais porque para a formação dessas lateritas, grosso modo, seria preciso contar com suprimento adequado de ferro, alternância de estações secas e úmidas e superfícies relativamente planas.

Segundo Ladeira (1995), as couraças ferruginosas são constituídas por nódulos ferruginosos e concreções. O processo de degradação dessas couraças dá origem aos solos lateríticos. Esses processos de degradação podem ocorrer de três formas: degradação superficial, quando ocorre o afloramento destas couraças; degradação subcutânea, mais comum em ambientes semiáridos, e degradação interna, típica de ambientes úmidos, que corresponde a uma amplificação da degradação superficial, e dá origem aos Latossolos de cores avermelhadas ou amareladas.

Em relação aos episódios paleoclimáticos na bacia do alto Paraná, Stevaux (1993, 2000) inferiu quatro episódios que indicam a alternância entre climas secos e úmidos no cenozoico, mais especificamente entre o Pleistoceno Superior e o Holoceno, descritos no trabalho. Este autor trabalhou com datações relativas e ainda com datações absolutas por C14 e por termoluminescência, e indica que houve um primeiro período mais seco entre o final do Pleistoceno e início do Holoceno, de 40.000 a 8.000 anos AP, inferido um uma unidade com fácies de cascalho arenoso, indicativo de depósitos por chuvas torrenciais, além da presença, nos estudos palinográficos, de pólenes de plantas de savana. Posteriormente, entre 8.000 e 3.500 anos AP, teria ocorrido um primeiro episódio úmido, inferido através da alternância entre depósitos arenosos e argilosos, depositados por sistemas de canais anastomosados com conteúdo palinográfico florestal, além de um decréscimo dos depósitos eólicos. Posteriormente, teria ocorrido um segundo período seco, menos intenso que o primeiro e de duração mais curta, entre 3.500 e 1.500 anos AP, deduzido a partir do decréscimo no

conteúdo de matéria orgânica e pólenes nos depósitos; e por fim, um período úmido equivalente ao clima atual, a partir de 1500 anos AP.

Os principais minerais fornecedores de cátions durante os processos de alteração do basalto são os plagioclásios cálcicos e os piroxênios tipo augita (BARROS, 1996). Decorrem desses processos de alteração, a liberação, principalmente, dos cátions Fe^{2+} , Ca^{2+} e Na. Para Melfi (1967), a evolução mineralógica dos perfis de alteração dependem sobretudo da drenagem, de forma que os plagioclásios em perfis bem drenados tendem a liberar sílica, que é praticamente eliminada, favorecendo a formação de gibbsita nos estágios iniciais de alteração; enquanto em perfis mal drenados, a sílica tende a se concentrar, favorecendo a formação das caulinitas. Os piroxênios, em ambos os casos, favorecem a formação de montmorilonita, sendo que a alteração, ao progredir, evolui para a formação de hidróxidos de ferro, na forma de goetita.

Melfi e Pedro (1977) chamam a atenção para o fato de que os processos de ferralitização e alitização ocorrem com muita frequência no Brasil, em cerca de 65% da coberturas pedológicas. Apontam ainda que na bacia do Paraná, especialmente nos solos derivados de basalto, a gibbsita ocorre com maior frequência, associada à caulinita, par que indicaria, uma cobertura de alteração ferralítica ($K_i < 2$), correspondente aos LATOSSOLOS VERMELHOS férricos e NITOSSOLOS VERMELHOS férricos - solos lateríticos.

2.7. Pedogênese e Nitossolos

Desde Dokutchaev, no último quartel do século XIX, sabemos que clima, material de origem, organismos, relevo e tempo são os elementos responsáveis pela formação dos solos, relação retomada por Jenny (1941). Decorre daí que, ao menos em teoria, se fosse possível

manter fixas algumas variáveis, as outras serão responsáveis pela diferenciação dos tipos de solo: em uma área em que clima, colonização biológica e ocupação antrópica são semelhantes, os fatores responsáveis pela origem de solos diferentes devem ser relevo (vertentes), material de origem e tempo.

Dessa forma, o estudo abordou aspectos relativos ao estudo das sucessões de solos, formas de vertentes e diferenças dos materiais de origem encontrados na área de estudos.

Para atingir tais objetivos, partimos dos estudos de pedologia. Queiroz Neto (1984) ensina que o solo:

(...) constitui uma espécie de limite entre a litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, esse limite não se faz segundo linhas definidas, mas é representado pelas interpenetrações que ocorrem dentro do solo: esse contém elementos de cada um dos domínios, que interagem entre si e são responsáveis pelos processos mecânicos da dinâmica pedológica.

Considerando que este trabalho se propõe a investigar a gênese dos NITOSSOLOS VERMELHOS Férricos, é importante compreender, especialmente, os fatos que decorrem de sua distribuição ao longo das vertentes. Como mencionado anteriormente, Reis Nakashima (1999) situa os NITOSSOLOS ocupando seções das vertentes com declividades entre 12 e 20%. Tal fato indicaria uma relação condicional entre atributos das vertentes e processos pedogenéticos. Entendemos ainda que os limites de declividade não possam ser encarados como absolutos, ou seja, podem variar em função de outros fatores, como a estrutura geológica. Esta relação entre sistemas pedológicos e forma das vertentes decorre principalmente da dinâmica hídrica responsável por processos de erosão, deposição e transporte superficial e subsuperficial de partículas e soluções.

O estudo da cobertura pedológica da área em questão foi realizado sob o enfoque da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, levando em consideração a distribuição dos solos sobre a paisagem, e atribuindo igual importância às variações laterais e verticais dos

horizontes pedológicos. Apoiamo-nos, principalmente nos estudos de Boulet *et al.* (1982, a, b e c), Queiroz Neto (1988, 2002), Bocquier (1973) e Castro (1989).

Para Boulet (1992), a Análise Estrutural é um procedimento que:

(...) consiste primeiro na reconstituição da organização vertical da cobertura pedológica segundo transectos geralmente orientados segundo a linha de maior declive. Esta reconstituição é feita por aproximação geométrica, com tradagens e trincheiras. Ela permite representar os limites dos diversos horizontes. Numa segunda etapa, estabelece-se, também com aproximação geométrica a projeção no plano horizontal dos limites laterais ou das variações de espessura destes horizontes, dando o que chamamos mapa de curvas de isodiferenciação. O documento gráfico obtido é uma representação tridimensional da cobertura pedológica, que mostra as relações geométricas que existem entre os volumes que constituem esta cobertura. Ela permite assim raciocinar sobre a geometria real, podemos falar de anatomia, da organização da cobertura do solo. (págs. 37-38).

Segundo Queiroz Neto (2001), a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica permitiu um maior aprofundamento nos estudos das formações superficiais. O autor destaca as condições que permitem o surgimento dos horizontes B texturais (que se aplicam aos horizontes níticos): *"no final da vertente observam-se os principais indícios dos sistemas de transformação: a estrutura microagregada começa a transformar-se em estrutura poliédrica, com drástica redução da macroporosidade, originando o B textural que dominará a vertente quase até a base."* Segundo o autor, essa redução na macroporosidade do horizonte A para o B altera as condições de circulação hídrica, saturando o limite entre os horizontes. Neste processo está uma possível explicação para o aparecimento dos horizontes B_{ni} sobre horizontes B_w.

Um aspecto que deve ser compreendido a fim de investigarmos o limite de declividade no qual há a ocorrência do NITOSSOLO VERMELHO Férrico descrito em Reis Nakashima (1999), é o conceito de cobertura pedológica com sistema de transformação proposto por Boulet *et al.* (1990), para quem nesses sistemas encontramos uma discordância entre os horizontes de solos e a geometria da vertente, havendo a substituição de uma cobertura/modelado por outra. Ao contrário do que se observa nas coberturas pedológicas em

equilíbrio, onde temos a mesma cobertura ao longo de toda a vertente, esses sistemas indicam que algum fator superveniente funciona como "gatilho" do processo de transformação. Queiroz Neto (2008) ensina que os fatores que podem implicar tais mudanças estão relacionadas às alterações na declividade, e podem ter três origens distintas: maior entalhamento do canal de drenagem, alterações no balanço hídrico da vertente por fatores climáticos e, finalmente, tectônicos. Tais fatores de transformação podem explicar a diferenciação das coberturas nitossólicas sobrepostas à rocha ou a horizontes latossólicos, e é possível que exista um limiar dentro do limite de 12% a 20% que diferencie essas duas situações da cobertura pedológica.

Segundo o SiBCS (EMBRAPA, 2006), os NITOSSOLOS são definidos como solos que apresentam horizonte B nítico (Bni), em sequência a qualquer tipo de horizonte A, com pequeno gradiente textural, apresentando estrutura em blocos angulares e subangulares, ou prismática, com cerosidade expressiva na superfície das unidades estruturais.

Os horizontes Bni caracterizam-se por serem horizontes minerais subsuperficiais, de textura argilosa ou muito argilosa, com gradiente textural B/A sempre inferior a 1,5. As argilas são de baixa atividade ou caráter alítico.

Ainda segundo o Sistema Brasileiro de Classificação, os requisitos para um horizonte ser classificado como B nítico são os seguintes:

- a) espessura de 30cm ou mais, a não ser que o solo apresente contato lítico nos primeiros 50cm de profundidade, quando deve apresentar 15cm ou mais de espessura e;
- b) textura argilosa ou muito argilosa;
- c) estrutura em blocos ou prismática de grau de desenvolvimento moderado ou forte, associada à cerosidade em quantidade no mínimo comum e com grau forte ou moderado; ou
- d) no caso de horizonte B nítico em Nitossolos Brunos, a estrutura é prismática composta de blocos subangulares a angulares, de grau moderado ou fortemente desenvolvido, e admite-se que a superfície dos agregados seja pouco reluzente (superfícies de compressão). Neste caso observam-se nos cortes de estrada aspecto característico de fendilhamento, indicativo de alta

expansão e contração pelo umedecimento e secagem do material de solo, decorrente dos altos teores de argila. (pág. 55).

Já a FAO (2001) aponta para a existência de 200 milhões de hectares de Nitossolos em todo o mundo. Além das características já citadas, aponta para o fato de que os Nitossolos são solos bem drenados, com transição gradual ou difusa entre os horizontes e pelo menos 30% de argila (O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos requer 350g/kg). Segundo a FAO, a formação dos Nitossolos envolve três processos distintos:

- 1) Ferralitização: hidrólise intensa de materiais intemperizados combinados com a lixiviação de bases e sílica, com a acumulação relativa de haloisitas, caulinitas e sesquióxidos;
- 2) Nitidização: processo proposto por Sombroek e Siderius (1981), que explica o surgimento de superfícies brilhantes pela expansão/contração derivada do umedecimento/ressecamento;
- 3) Pedoturbação por elementos biológicos.

No Brasil, os Nitossolos representam a extinta classe das "Terras Roxas Estruturadas", enquadradas, antigamente, dentre os solos com horizonte B textural. Cooper e Vidal-Torrado (2005) esclarecem que essa questão foi revista devido ao comportamento hídrico muito distinto das Terras Roxas Estruturadas em relação aos outros solos com horizonte B textural e também em relação aos Latossolos. Dessa forma, a classificação de horizonte Bt passou a ser exclusiva de solos com relação textural mais significativa ($B/A > 1,5$).

Espíndola (1979), em sua tese de livre-docência, estudou os processos de pedogênese em áreas basálticas, concluindo que a evolução de Terras Roxas Estruturadas para Latossolos Roxos seria normal, mas que o processo de evolução reversa também ocorre, principalmente,

em função da iluviação de ferro e argila sobre um B latossólico, principalmente em topografias onduladas.

Posteriormente, Cooper e Torrado (2005) viriam a discutir justamente as diferenças entre solos que apresentam os horizontes Bni e Bni/Bw. Os perfis estudados apontam para o fato de que no Nitossolo latossólico houve uma transformação inicial da estrutura microagregada em poliédrica, devido ao entupimento dos poros por argila iluviada, e posterior transformação desta estrutura novamente em microagregada, por dismantelamento dos blocos.

Este adensamento vertical traduz-se numa mudança de estrutura e porosidade nesse mesmo sentido, transformando uma estrutura granular em uma estrutura em blocos subangulares. A porosidade também sofre uma evolução, passando de uma porosidade complexa de empacotamento dominante para uma porosidade onde dominam as cavidades policôncavas e as fissuras (poros arredondados e alongados). Também, neste mesmo sentido, observou-se uma evolução no grau de agregação e na abundância e no grau de desenvolvimento da cerosidade. Esta evolução da estrutura, porosidade, grau de agregação e cerosidade traduz-se em comportamentos físico-hídricos diferenciados (pág. 593).

Espindola (2010) considera, contudo, que neste trabalho não resta esclarecido se os horizontes Bni teriam evoluído a partir dos Bw que se encontram abaixo, já que na transformação demonstrada versa, justamente, a respeito da transformação de Bni em Bw. Faz a ressalva, porém, de que um processo coerente seria o de transformação inicial do substrato em Bni, que viria a se transformar em Bw e posteriormente voltaria a se converter em Bw. Utiliza ainda, na linha argumentativa, o “fato” de que, na prática, não se encontram horizontes Bni sob horizontes Bw. Porém, em observações de campo realizadas no município de Maringá, encontramos sistemas com estas características. Alguns perfis deste tipo são demonstrados em Lepsch (1989), que estuda sistemas deste tipo na Austrália, no do estado de North Queensland, também de domínio basáltico, em que são descritos sete sistemas com horizontes estruturados em blocos poliédricos ocorrem sob horizontes de características

microgranulares ou de “pó de café”, que atingem até 200cm de profundidade, sob horizontes do tipo Ap que apresentavam até 20 cm de espessura. Estes solos são denominados, no SiBCS, como Latossolos nitossólicos.

No sentido da evolução Bw em Bni, Coltrinari *et al.* (1978) aponta para a mesma hipótese, concluindo que haveria um processo de acúmulo de argila até uma certa profundidade, o que acarretaria em uma perturbação dos fluxos hídricos originais nas vertentes. Espindola (2010) se refere a uma série de trabalhos que tratam do mesmo fenômeno, denominando o processo de transformação de Bw em Bt de “evolução regressiva”. Este sentido evolutivo sugere que, nos casos dos perfis estudados, os horizontes Bni, que recobrem toda a vertente estudada, teriam evoluído a partir dos horizontes Bw primitivos, no caso, a cobertura latossólica distrófica que domina a porção norte da bacia do ribeirão Pinguim. Os horizontes Bw eutróficos encontrados sob os horizontes Bni seriam, portanto, mais recentes que os Latossolos Vermelhos férricos distróficos, e representariam a degradação dos horizontes nitossólicos que os sucederam.

Segundo Pédro *et al.* (1976), a transformação final, de horizontes Bni em Bw, ocorreria através de um processo no qual os fluxos hídricos através da porosidade fissural do horizonte nítico atuariam removendo os cátions trocáveis da periferia dos blocos angulares, acarretando em uma transformação, a princípio das superfícies externas destes blocos e que, finalmente, transformaria estas estruturas iniciais em microagregados do tipo “pó de café”. A Figura 8 apresenta essa sequência de transformação: no estágio 1, há uma massa plásmica contínua; o segundo estágio já apresenta a porosidade fissural, derivada dos processos de expansão e contração das argilas; em 3, observa-se a degradação das estruturas poliédricas, causada pela remoção, através dos fluxos hídricos, dos cátions trocáveis, que leva à formação de micronódulos no estágio 4 e finalmente, à estrutura microagregada.

Figura 8: Transformação micromorfológica dos horizontes Bni em Bw.

Fonte: Pédro *et al.*, 1976.

Os perfis estudados por Cooper e Torrado (2005) são semelhantes aos estudados nesta pesquisa, tanto na sequência de horizontes quanto em sua posição topográfica: no caso destes autores, o perfil Bni/Bw se encontra no topo plano e o Bni/C no "ombro" da vertente.

A importância do relevo/posição topográfica com os sistemas pedológicos é apontada pela FAO (2001) - **Figura 9**.

Figura 9: relações entre os Nitossolos e solos adjacentes em função de suas posições topográficas

Fonte: FAO, 2001

No caso específico deste estudo, o exemplo “c” é o caso que interessa a essa pesquisa: o substrato rochoso é basáltico, com Latossolos Vermelhos férricos ocupando as porções mais planas do terreno, com os Nitossolos ocupando as áreas de declividade mediana.

3. MATERIAL E MÉTODO

Passamos, neste capítulo, a descrever e discutir as técnicas e procedimentos utilizados na elaboração desta pesquisa. Consideramos que, num trabalho de pedologia e, especialmente nos trabalhos voltados à gênese de solos, é de fundamental importância que os procedimentos adotados permitam que se faça um estudo das transformações verticais e laterais dos sistemas pedológicos. O raciocínio sobre tais processos só é possível se, além dos dados brutos, seja analisada ainda a espacialização destes dados ao longo da vertente, na trincheira estudada e nos perfis verticais de solo. Deve-se tomar especial cuidado com as transições entre os horizontes estudados, pois são nessas zonas que se podem observar os processos de transformação.

Essas premissas foram levadas em conta tanto para a escolha das técnicas de análise como, e mais importante, para a escolha da área de estudos, da vertente estudada, pontos de sondagem, localização da trincheira e dos perfis de solo e, finalmente, na decisão de quais pontos nestes perfis seriam coletados para as análises laboratoriais, macrofotografias e confecção das lâminas delgadas de solo. Temos a convicção de que as técnicas não tem sentido ou fim em si, mas só adquirem significado real se a amostragem escolhida for representativa daquilo que se deseja estudar e demonstrar.

Dessa forma, pretendemos, neste capítulo, além de descrever as técnicas e procedimentos adotados, discutir o significado, justificar as escolhas e tornar o texto menos árido, do ponto de vista da redação, integrando uma seção que normalmente só é consultada por aqueles que procuram aplicar os mesmos procedimentos ao corpo do trabalho. Esperamos ter êxito nestes objetivos.

3.1. Técnicas de Campo

Um dos primeiros ensinamentos que tivemos ao longo dos estudos de solos é que “a Pedologia é uma ciência que se realiza em campo”. Esta ideia nos foi apresentada em vários momentos da carreira acadêmica, começando pela disciplina de Pedologia na graduação. Os trabalhos práticos e análise de resultados de outros trabalhos reforçam a importância desta fase do trabalho, e a ideia foi muito reforçada durante a execução desta pesquisa.

O laboratório só pode nos mostrar aquilo que foi visto e apreendido em campo, pois os dados que são posteriormente analisados em laboratório estão, necessariamente, atrelados e restritos às amostragens coletada, de forma que um trabalho de campo sistematizado, bem organizado e pensado frente à realidade da natureza, isto é, em função de sua situação geográfica local e regional (litologia, relevo, clima, uso da terra e ocupação, características morfológicas).

Assim, consideramos a etapa de campo a mais importante para qualquer trabalho de Pedologia.

3.1.1. Reconhecimento e seleção da área de estudos

Uma vez determinado o tema da pesquisa e a localização da área de estudos, foram realizadas uma série de saídas de campo que tiveram, como principal finalidade, fazer o reconhecimento geral da área.

Iniciamos esta fase com trabalhos de reconhecimento na área da bacia do Ribeirão Pinguim, onde buscamos identificar, principalmente, dois aspectos: formas de relevo e sistemas pedológicos associados. Aqui devemos ressaltar a importância do trabalho de Paiva e Nóbrega (2007), no qual os autores propõem uma compartimentação desta bacia em

Unidades de Paisagem (**Figuras 5, 6 e 7**), tomando como principais parâmetros, a distribuição dos solos e das formas de relevo. Com este mapeamento em mãos, foi possível identificar no campo a distribuição das principais formas de relevo nos diferentes setores, bem como realizar sondagens a trado para aferir o mapeamento e buscar vertentes representativas dos sistemas pedológicos que nos interessam neste trabalho – em princípio uma vertente que apresentasse os nitossolos típicos e outra que fosse dominada pelos nitossolos latossólicos. Os trabalhos de campo seriam, portanto, realizados em duas áreas, o que permitiria a comparação das topossequências a partir das formas e distribuição dos sistemas pedológicos.

Verificamos, nestes trabalhos de campo, que havia uma grande ocorrência de vertentes em que encontrávamos os dois sistemas, o que nos levou, finalmente, à decisão de trabalhar com apenas uma topossequência, na qual poderíamos estudar, além dos processos de alteração vertical, que levariam à gênese dos nitossolos típicos ou nitossolos latossólicos, os processos de transformação laterais que marcavam a transição contígua destes dois sistemas justapostos.

Selecionamos, finalmente, duas vertentes nestas situações: uma nas proximidades de Floriano, na bacia do Córrego Miringuava e outra no distrito de São Luís, município de Marialva, margem esquerda do Ribeirão Pinguim. Diversas razões nos levaram a optar pelo trabalho na bacia do Miringuava: a maior proximidade ao município de Maringá, acesso por estrada asfaltada, a possibilidade da utilização dos levantamentos aerofotogramétricos e carta planialtimétrica do município de Maringá, ambos em escala de detalhe (1:8.000 e 1:10.000, respectivamente), e, por fim, o fato de que havíamos realizado um trabalho prévio na área (NAKASHIMA et al., 2008), no qual havíamos levantado duas topossequências, feito diversas sondagens na área da bacia e um mapeamento de solos, ao qual aperfeiçoamos no presente trabalho.

3.1.2. Topossequência de solos

Optamos, para o desenvolvimento desta pesquisa, por trabalhar sob o enfoque da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, levando em consideração a distribuição dos solos na paisagem, atribuindo igual valor às variações verticais e laterais dos horizontes pedológicos.

Para atingir o objetivo de espacializar os volumes descritos vertical e lateralmente, optamos por levantar uma topossequência de solos. As sondagens permitem uma visualização da distribuição vertical dos perfis de solo, e a sequência destes perfis, representados sobre o levantamento topográfico da vertente possibilita a visualização de onde ocorrem as transições entre os diferentes sistemas pedológicos, marcando lateralmente o estreitamento ou espessamento dos horizontes, bem como o surgimento ou desaparecimento destes.

Escolhemos uma vertente para realizar a topossequência de solos, denominada “Topossequência São José” em função do nome da propriedade rural na qual se localiza. A principal razão que motivou a escolha desta vertente foi a presença, já indicada em Nakashima et. al (2008), dos dois sistemas estudados: nitossolos típicos e nitossolos latossólicos, posicionados de forma contígua na vertente.

O levantamento topográfico foi feito com o uso de trena, metro graduado e clinômetro, e a implementação dos pontos de sondagem seguiu a proposta preconizada por Boulet (1982, a, b, c).

A identificação dos horizontes pedológicos foi realizada a partir de dois parâmetros morfológicos do solo: análise expedita de cor e textura. Em campo nota-se uma diferença textural entre os horizontes nítico (Bni) e latossólico: os primeiros se apresentam mais pegajosos e apresentam maior aderência à ponta do trado holandês. Há ainda uma pequena

variação de cor entre estes dois horizontes: os horizontes Bni normalmente apresentam coloração 2,5YR3/6 enquanto os latossólicos apresentam, predominantemente, coloração 2,5YR 4/8.

As sondagens foram feitas até o limite da alterita, a partir do qual a grande pegajosidade do material e das paredes tornavam a tarefa extremamente difícil, mesmo com várias pessoas se revezando nesta função e adicionando peso ao cabo do trado (**Figura 10**).

A partir dos dados levantados nas sondagens a trado, foi possível chegar à elaboração gráfica do modelo bidimensional da topossequência. Esse procedimento permitiu estabelecer tanto as transições laterais quanto as verticais entre os volumes. A escala horizontal é de 1:1.000, com exagero vertical de 3x e exagero na escala do solo de 10x.

Consideramos, contudo, que o levantamento da topossequência de solos ocorreu de forma a dar resultados bastante satisfatórios, o que pôde ser comprovado, posteriormente, na abertura da trincheira, onde observamos a coincidência das profundidades e distribuição dos horizontes pedológicos levantados nas sondagens.

Figura 10: Sondagem a trado realizada no terço inferior da topossequência São José. Devido à grande dificuldade para aprofundar o trado, optamos por adicionar o peso de uma pessoa ao cabo do trado.

Fotografia: Nakashima, M. R., 2011.

3.1.3. Trincheira

A partir da representação gráfica da topossequência, foi possível estabelecer o ponto em que seria encontrada a transição lateral entre o sistema A-Bni-C e A-Bni-Bw-C. Isso determinou o ponto da vertente em que seria aberta a trincheira para a descrição.

Consideramos que as dimensões da trincheira devem ser adequadas para cada estudo específico. Optamos por abrir uma trincheira longa, de 16,5 metros de comprimento por 2,25 metros de largura e profundidade média de 2 metros. Com isso, seria possível observar em detalhe não só os perfis verticais, mas a geometria lateral dos horizontes pedológicos, percebendo suas variações e transições. Foram descritas três paredes, duas laterais, com 10.5 metros e um frontal, com 2,25, com perda de 6 metros no sentido longitudinal, na porção à

montante, para rampa de acesso das pessoas que trabalharam na descrição e coleta de material, de forma que trabalhamos com uma extensão de 10,5 metros, nas duas paredes longitudinais.

Os horizontes foram separados segundo os atributos morfológicos cor, textura e estrutura, e marcados nas paredes da trincheira com o uso de um bastão de giz branco. Posteriormente, foram feitas divisões de um em 1 metro, onde foram tomadas as medidas de profundidade das transições entre os horizontes, o que possibilitou a confecção, em campo, de um croqui esquemático das paredes, em papel milimetrado (**Figura 11**).

Figura 11: Croqui esquemático de campo da parede oeste da trincheira estudada, marcando as profundidades das transições entre os horizontes e o ponto em que foi descrito o perfil 1 (seta).

3.1.4. Perfis de solo

Uma vez descrita a trincheira, foram escolhidos dois perfis representativos para descrição e coleta de amostras. Os volumes foram descritos e identificados com base nos atributos morfológicos descritos: cor, textura, estrutura, cerosidade, porosidade, plasticidade,

pegajosidade, estabilidade de agregados, atividade biológica, presença de nódulos com suas variações de profundidade e quaisquer outras características que chamassem a atenção.

Devido ao carácter genético do estudo realizado, foi dada especial atenção para as transições entre os horizontes e para o material intersticial (pedoplasmado) nos horizontes C1 e C2.

Consideramos esta etapa a mais importante de todo o trabalho, pois é a partir deste momento que são escolhidos os pontos de amostragem que serão objeto de análises laboratoriais.

3.1.5. Coleta de amostras

Foram coletadas, nos perfis descritos, amostras indeformadas para os estudos de porosidade em anéis volumétricos (EMBRAPA, 1997) e confecção de lâminas delgadas de solo (CASTRO, 2008). Coletamos ainda amostras indeformadas sob a forma de torrões, para realização das macrofotografias e amostras para realização das demais análises físicas (granulometria e argila dispersa), químicas e mineralógicas. Os pontos de coleta nem sempre correspondem à parte central do horizonte: algumas amostras foram coletadas no topo do horizonte ou transição entre estes.

3.2. Técnicas de laboratório

As análises laboratoriais têm três objetivos principais e complementares. Em um primeiro momento, utilizamos estes dados para caracterizar os volumes sob aspectos físicos, químicos e mineralógicos, o que permitiria, em última instância, compreender as propriedades

dos solos, em seus horizontes e transições e, finalmente, observar como os dados obtidos evoluem vertical e lateralmente; e finalmente, para deduzir os processos genéticos dos solos estudados.

3.2.1. Análises Físicas

3.2.1.1. *Granulometria*

Os ensaios de granulometria permitem entender como as frações constituintes do solo se distribuem ao longo dos perfis estudados. Um dos objetivos específicos aqui é avaliar se há, de fato, um acréscimo de argila quando passamos dos horizontes superficiais (A) para o horizonte B_{ni}, resultado que pode indicar se há migração vertical da argila (processos de eluviação e iluviação). Além disso, consideramos importante conhecer a relação entre a quantidade de argila nos horizontes B_{ni} e aqueles imediatamente abaixo: B_w e C₁ (material pedoplasmado), além da relação textural entre os horizontes B_w e C₁, no perfil do nitossolo latossólico. Outro dado determinado a partir desta análise é o gradiente textural entre os horizontes A e B e a relação silte x argila, possível indicativo de intemperismo.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, e baseado no procedimento descrito por Camargo *et al.* (1986) e adaptado por Gôngora e Nóbrega (2002). Essa adaptação ocorreu em função de problemas de dispersão de argilas, e tem apresentado resultados mais próximos àqueles dos levantamentos de solos do Paraná realizados pela EMBRAPA (1984).

3.2.1.2. Argila dispersa x argila floculada

Este ensaio é complementar ao de granulometria. Aqui interessa saber qual a fração das argilas se encontra floculada e qual se encontra dispersa, podendo migrar vertical e lateralmente com mais facilidade. Trata-se, portanto, de um dado relevante para determinar se os processos de transporte de argila estão ocorrendo no momento atual.

Este ensaio foi também realizado no Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, e sofreu as mesmas alterações baseadas no procedimento descrito por Camargo *et al.* (1986) e adaptado por Gôngora e Nóbrega (2002), visando uniformizar estes resultados com aqueles obtidos nos ensaios granulométricos.

3.2.1.3. Porosidade e densidade

Segundo Grohmann in Moniz (1972), a porosidade do solo é definida como “a porção do seu volume não ocupada por partículas sólidas” (p. 77). Os ensaios de porosidade e densidade aparente têm, como finalidade, além de determinar qual porcentagem do volume não é ocupada por partículas sólidas, permitindo ainda determinar a proporção entre macro e microporos.

Estes resultados, combinados com os dados obtidos na granulometria e dispersão de argilas permitem deduzir quais os horizontes apresentam maior facilidade de percolação da água, soluções e partículas finas dos solos em suspensão (argilas). Permite ainda verificar a diferença de porosidade entre os horizontes Bni e Bw, uma vez que o primeiro apresenta macroporosidade fissural.

Estes ensaios também foram realizados no Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, seguindo a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Para a determinação da macro e microporosidade, foi feita uma alteração em relação ao método proposto: foi utilizada, em substituição à mesa de tensão, uma bateria de três funis de Buchner com placa porosa, disponíveis no laboratório, e a coluna d'água utilizada foi de 100 cm, o que segundo a equação proposta por Karacheviskiy (1967) in Moniz (1972) para o cálculo do diâmetro dos poros, segundo a qual:

$$d=0,3/h$$

Onde “d” representa o diâmetro dos poros e “h” a coluna d'água expressa em cm. Dessa forma, o diâmetro de poros utilizados neste trabalho é de 0,003cm ou 0,03mm. Esta modificação em relação ao método original, que propõe uma coluna d'água de 60 cm, resultado em uma sucção capaz de retirar água dos poros maiores que 0,05mm ocorreu em função da dificuldade de saturação das amostras observada em trabalhos anteriores (ALVES, 2010).

3.2.2. Análises químicas

Estas análises (ataque sulfúrico e cátions trocáveis) tiveram como objetivo primário caracterizar as propriedades químicas do solo, e permitiu verificar a alteração dos valores obtidos nas análises entre os horizontes. A análise dos principais íons trocáveis no solo e dos principais óxidos permitem calcular os valores de CTC (capacidade de troca de cátions), V (saturação em bases) e os índices k_i e k_r , que podem fornecer elementos que auxiliam na interpretação dos processos pedogenéticos.

Estes ensaios (análise dos principais cátions trocáveis, pH e ataque sulfúrico foram realizados no Laboratório de Química do Solo da Esalq-USP).

3.2.2.1. Análise de pH e principais cátions trocáveis

Nesta análise foram determinados o pH em CaCl_2 e os teores dos principais cátions trocáveis em mmolc/dm^3 , segundo a metodologia descrita em Embrapa (1997). A partir destes dados foram calculados os valores CTC (capacidade de troca de cátions), SB (soma de bases) e V (saturação em bases). Estes dados permitiram caracterizar atributos químicos dos solos, resultados que, posteriormente, fornecem indícios sobre a relação genética dos Nitossolos típico e latossólico com os solos encontrados nas porções alta e baixa da bacia do Pinguim, onde, de acordo com o mapa de solos (**Figura 7**), encontramos, respectivamente, Latossolos Vermelhos férricos distróficos e Latossolos Vermelhos férricos eutróficos.

3.2.2.2. Ataque sulfúrico

O ataque sulfúrico permitiu identificar as proporções dos principais óxidos encontrados nos solos estudados: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e MnO . A evolução dessas quantidades nos sentidos vertical e lateral possibilita a análise da evolução pedológica destes horizontes, além dos cálculos dos índices k_i e k_r , indicativos do grau de intemperismo. Os ensaios seguiram a metodologia proposta em Embrapa (*idem*).

3.2.3. Análises mineralógicas

As análises mineralógicas realizadas neste estudo tiveram como objetivo identificar os minerais existentes nos solos estudados, caracterizando melhor o objeto da pesquisa; estes resultados fornecem pistas acerca da evolução pedogenética dos horizontes. Foram estudados, separadamente, as frações argila e areia, a primeira através da Difratomia de raios-X e a segunda através de análise visual morfoscópica com lupa binocular, Difratomia de raios-X e posterior tratamento químico (ataque com HCl) às partículas de areia.

3.2.3.1. Difratomia de raios-X

A Difratomia de raios-X é uma técnica consagrada para a identificação dos principais argilominerais constituintes do solo. Baseia-se no princípio de que diferentes materiais apresentam reflexos diferenciados quando submetidos a um feixe de raios-X, em função de seus espaçamentos interplanares característicos. Esses espaçamentos se alteram conforme as amostras são submetidas a diferentes tratamentos, conforme exemplifica Moniz (1972):

No grupo dos argilominerais de 14 Å, a montmorilonita e a vermiculita se contraem para 11 Å quando aquecidas a 350°C. A vermiculita também se contrai para 11 Å se lavada com um sal de amônio. A montmorilonita se expande para 17-18 Å quando saturada com glicol etileno ou glicerol. A clorita não sofre nenhuma alteração com os tratamentos descritos e, se aquecida a 550°C, aumenta a intensidade de seu espaçamento de 14 Å. (pág. 401).

Resende *et al.* (2011) explica que a interpretação dos difratogramas é uma simples aplicação da lei de Bragg, e que os tamanhos dos picos e sua largura são a chave para determinar o grau de cristalinidade e identificar os minerais na amostra, sendo que a largura dos picos à meia altura pode ser interpretada como uma resposta ao tamanho das partículas.

Quanto menor a cristalinidade, menores as partículas e mais largos serão os picos à meia altura.

No caso desta pesquisa, os ensaios foram realizados no Argilab, do Departamento de Ciência do Solo – LSO, da Esalq-USP, em Piracicaba, sob supervisão do prof. Dr. Antônio Azevedo. Optamos por proceder com esta análise na expectativa de observar alguma distinção entre a mineralogia das argilas dos horizontes estudados.

As análises foram realizadas com amostras de TFSA (terra fina seca ao ar), que passaram pelos seguintes tratamentos: eliminação de matéria orgânica com peróxido de hidrogênio; eliminação de óxidos de ferro com ditionito-citrato-bicarbonato; separação não quantitativa das frações areia, silte e argila; saturação das argilas com K e Mg.

Foram confeccionadas, para cada amostra, cinco lâminas orientadas com a fração argila:

- fração argila saturada com K (temperatura ambiente e aquecidas a 350°C e 500°C; fração argila saturada com Mg (temperatura ambiente e atmosfera de etileno-glicol). O equipamento utilizado nesta análise é um sistema Rigaku Miniflex II, radiação de Cuka, operado a 30kV e 15 mA, com filtro de Ni e monocromador de grafite.

Utilizamos ainda a técnica de difratometria de raios-X para identificar os principais minerais contidos na fração areia, procedimento que justificamos na seção seguinte.

3.2.3.2. Análise morfoscópica da fração areia

A análise expedita de textura em campo já havia indicado uma baixa presença da fração areia nos solos estudados, confirmada nos ensaios de granulometria (121,3 a 256,6 g/kg). Ainda em campo, procedemos com o exame morfoscópico com lupa de bolso, que revelou a presença de cristais escuros e magnetizados, identificados, a priori, como cristais de

magnetita. Uma vez que não observamos em campo a presença de cristais de quartzo e este resultado constou do relatório de qualificação, tendo sido questionado por um dos examinadores, adotamos a sugestão de proceder com o exame morfooscópico com lupa binocular de 40 vezes de aumento.

Selecionamos amostras de 100 grãos da fração 0,125 – 0,250mm, a mais frequentes dentro da fração areia. Classificamos estes grãos segundo sua forma, cor e textura superficial, e os resultados, que descrevemos em detalhes no capítulo de resultados e discussão, novamente apontou para uma quantidade muito baixa de grãos de quartzo, cerca de 5% do total das areias. Restando ainda alguma dúvida sobre a composição mineralógica das areias, optamos por confeccionar uma lâmina desta fração, amostrada no horizonte Bni do Perfil 1. Moniz (1972) indica que a difratometria não é uma técnica adequada para quantificação dos minerais, uma vez que a preparação da lâmina pode resultar em espessuras que ressaltem ou atenuem os picos dos minerais. De qualquer forma, como os resultados se apresentaram bastante díspares, acabamos por adotar um último procedimento complementar, explicado a seguir.

3.2.3.3. Ataque ácido à fração areia

Com resultados muito diferentes entre as análises morfooscópica e de difração de raios-X, optamos por aplicar um tratamento químico à fração areia. Trabalhamos com 300g de TFSA, que foi submetida ao mesmo processo de dispersão de argilas adotado para as análises granulométricas. Após este tratamento prévio, as areias foram lavadas e pesadas.

Essas areias foram colocadas em um Becker de 500 ml, com 300 ml de uma solução de ácido clorídrico em concentração de 50%, e posteriormente aquecida a 100°C por uma

hora. Após este período, aguardava-se a decantação das areias e procedíamos a lavagem para a troca da solução, que era novamente aquecida.

Optamos por este tratamento por termos a identificação prévia de que os principais minerais constituintes da fração areia eram óxidos de ferro. Uma vez que o ferro se mobiliza rapidamente em pH menor que 4 (CHAUVEL e PEDRO, 1978), esperávamos eliminá-lo com este tratamento.

Após 10 ciclos deste procedimento, observamos que a solução ao final do procedimento apresentava um aspecto límpido. Procedemos a retirada da solução, nova lavagem das areias, fracionamento e pesagem.

3.2.4. Micromorfologia de solos

A análise de lâminas delgadas através das técnicas de Micromorfologia de solos é uma etapa muito importante do trabalho, pois permite observar o arranjo dos elementos estruturais do solo com aumento significativo, como feições que podem indicar os processos de formação dos solos, da alteração das rochas às transformações pedogenéticas entre os horizontes, permitindo explorar aspectos como o transporte de material fino e soluções, a sequência de alteração das rochas, feições que denotam a transformação de estruturas microagregadas em poliédricas e vice-versa, bem como a formação de concreções e outros acúmulos absolutos ou relativos de matéria no solo.

Seguindo os procedimentos descritos em Castro (2008) e Bullock *et al.* (1985), foram coletadas amostras indeformadas para confecção das lâminas em sete pontos ao longo dos dois perfis estudados. Estes pontos foram determinados em campo a partir do que foi observado nos perfis descritos, de forma que algumas amostras representam o meio do

horizonte, algumas amostraram horizontes transicionais e outras representam a base ou o topo dos horizontes.

Para tanto, seguimos parte um roteiro de descrição proposto por Castro (2008). Foram analisados apenas alguns dos aspectos sugeridos neste manual, optamos por aqueles que pudessem indicar os processos pedogenéticos relacionados à formação e degradação dos horizontes níticos, latossólico, transporte de argila e expansão/contração dos agregados.

3.3. Técnicas de gabinete

Se as técnicas de campo são consideradas as mais importantes, uma vez que é no campo que são obtidos os dados primários da pesquisa e feita a verificação do mapeamento, que, em última instância, determinam os parâmetros que são posteriormente analisados em laboratório, além de permitir delimitar e identificar os sistemas pedológicos; é a etapa do trabalho de gabinete que traz elementos preliminares que orientam a escolha das áreas de estudo, e ainda a etapa em que fazemos a reflexão e análise de todos os dados obtidos em campo e no laboratório.

A análise dos mapas-base, tabulação dos dados de campo e laboratório, confecção de material gráfico (desenhos dos perfis, da trincheira e da topossequência de solos) e cartográfico, tratamento de fotografias, fotointerpretação e demais etapas, quando analisadas em conjunto, é que permitem, em última análise, chegar às conclusões da pesquisa. Passamos agora a descrever as técnicas de gabinete adotadas nesta pesquisa.

3.3.1. Elaboração do Material Cartográfico

A Pedologia é uma disciplina normalmente colocada nos cursos e programas de Geografia Física por razões óbvias. O solo é o meio em que se encontram os reflexos de todos os aspectos da paisagem geográfica: da influência dos materiais parentais, passando pela influência do clima, elementos bióticos, relevo, fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais, tempo e ações antrópicas. Dessa forma, a cobertura pedológica pode ser considerada um indicador para a ação de cada um desses vetores.

A Geografia tem, nas técnicas de cartografia e mapeamento, uma ferramenta muito útil de análise: ao espacializar os fenômenos, permite a análise integrada dos vários elementos da paisagem, levando a uma interpretação mais segura destes. Neste trabalho, utilizamos uma série de técnicas para confecção de cartas base (hipsométrica e declividade), além do mapa de solos do estado do Paraná, que ajudaram na interpretação dos fenômenos estudados e na elaboração do mapa morfopedológico da bacia do Córrego Miringuava.

3.3.2.1. *Confecção das cartas temáticas*

As cartas de declividade tem um papel importante no processo de mapeamento: permite relacionar os sistemas pedológicos às diferentes classes de declividade, servindo como importante apoio para a confecção do mapa morfopedológico. A hipsometria, também tem um papel importante aqui: na escala da bacia do Ribeirão Pinguim, permitiu avaliar os diferentes setores paisagísticos, identificados por Paiva e Nóbrega (2007).

As cartas de hipsometria, declividade e solos da bacia do Ribeirão Pinguim foram confeccionadas a partir de imagens SRTM (Topodata, 2008). A partir destas imagens de

radar, foram extraídas as curvas de nível com equidistância de 20 metros, o que possibilitou a produção de produtos na escala 1:50.000.

Os outros dados que constam dessas cartas foram extraídos e vetorizados a partir do Mapa de solos do estado do Paraná, em escala 1:600.000 (EMBRAPA, 2008), das cartas topográficas da área de estudos em escala 1:50.000 (IBGE, 1972, 1990, 1992) e do mapeamento realizado por Paiva e Nóbrega (idem).

Os dados que constam nas cartas de hipsometria e declividade da bacia do Córrego Miringuava, foram geradas a partir das curvas de nível extraídas do levantamento planialtimétrico do município de Maringá (ITCf, 1977), em escala 1:10.000 e de imagens do satélite SPOT-5, de 22/12/2011), obtidas no software Google Earth.

Em todos os casos, o software utilizado para vetorização dos elementos constantes nos mapas e cartas foi o Global Mapper v.12, e a geração dos modelos digitais de terreno foi feita no software ArcGIS v. 9.3, licenciados para o Laboratório de Pedologia da Universidade de São Paulo.

3.3.2.2. Confeção da carta morfopedológica

A carta morfológica da bacia do Córrego Miringuava foi construída a partir do mapeamento de solos em campo e da interpretação de fotografias aéreas e restituição dos elementos visíveis em estereoscopia. As fotografias utilizadas são de um levantamento aerofotogramétrico contratado pela Prefeitura Municipal de Maringá (1995) e cedidas para este trabalho (FX16-030, FX16-032, FX17-018 e FX17-020). A escala das fotos é de 1:8.000, o que permitiu a visualização detalhada da superfície.

Além das fotografias aéreas, foi ainda utilizada, como carta base o levantamento planialtimétrico do município de Maringá na escala 1:10.000 (ITCf, 1977).

A fotointerpretação foi controlada por trabalho de campo e também teve o apoio dos dados levantados em Nakashima, M. R. *et al* (2008). Nesses trabalhos foram realizadas topossequências de solos e sondagens em diversos pontos da bacia.

A legenda adotada para a confecção da carta é a proposta pela RCP 77, uma legenda que privilegia a representação gráfica dos elementos cartografados e sua ocorrência e distribuição, através de símbolos pontuais, lineares e areolares.

A carta morfológica final foi confeccionada na escala 1:10.000, no software ArcGIS v. 9.2, e transportada para a base cartográfica citada. A vetorização dos elementos restituídos e sobreposição de camadas foram feitas no software Global Mapper v.13.

A fotointerpretação teve como base a sistemática proposta por Soares e Fiori (1976), e essa escolha é justificada pela necessidade de reconhecer elementos de relevo relacionados á estrutura geológica. Buscamos, dessa forma, passar pelas etapas de fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação, buscando identificar os elementos através de atributos como textura, cor, estrutura e arranjos, para posteriormente observar e analisar sua distribuição e finalmente atribuir-lhes significado morfogenético.

A organização dos elementos da carta morfológica baseou-se no modelo do memorial explicativo da Carta do Modelado e Formações Superficiais do Médio vale do Rio Parateí - SP, Coutard et al (1977). Esta carta é uma referência na aplicação deste tipo de legenda, sua estrutura e organização favorecem a leitura desta carta, uma vez que permite a visualização de cada um dos grupos de elementos separadamente e posteriormente relacionados entre si.

3.3.3. Macrofotografias de torrões de solo

A fotografia digital consiste em um grande avanço de uma ferramenta ainda subutilizada como instrumento técnico. A facilidade de registrar fácil e rapidamente imagens,

permite que se registrem uma grande quantidade de imagens, e ainda facilita o tratamento digital das fotografias capturadas.

Utilizamos, neste trabalho, algumas técnicas de fotografia para registrar detalhes das amostras de solo, em forma de torrões, em uma escala maior àquela observada em campo – ainda que lupas de bolso permitam aumentos de até 20 vezes, o campo de observação é restrito e a condição de iluminação normalmente é precária. O aumento utilizado neste trabalho é de cerca de 40 vezes, e permitiu a observação de detalhes nos torrões de solo em uma escala de detalhe que fica entre aquela observada a olho nu, a escala macromorfológica e a observada em lâminas delgadas, escala micromorfológica. Denominamos esta escala de trabalho de escala “mesomorfológica”, e passamos a descrever as etapas necessárias para a captura de imagens deste tipo:

- 1) Foi montado um pequeno estúdio fotográfico, que consistiu em uma caixa de papelão, na qual fixamos uma folha de papel branco dobrado, sem vincos marcados, de forma a formar uma concavidade no interior da caixa. Este fundo foi fixado em arestas opostas da caixa. Isto foi feito para criar, o que se conhece em fotografia, como “fundo infinito”.
- 2) Fixamos dois pontos de iluminação direta, um vertical e um lateral. A opção por dois pontos de iluminação teve, como objetivo, ressaltar os volumes e eliminar parte das zonas de sombra.
- 3) Criamos, com uma segunda folha de papel branco, um rebatedor, de forma a criar uma terceira fonte de luz, esta indireta. A luz rebatida reduziu ainda mais as zonas de sombra, e ameniza as sombras duras da iluminação direta;
- 4) Posicionamos uma câmera fotográfica, que deve contar com um mínimo de recursos: ajuste de abertura da objetiva e velocidade de exposição, controle do balanço de brancos, lentes do tipo macro. A câmera deve estar montada sobre um

tripé, de forma a evitar movimentos, uma vez que o tempo de exposição pode ser longo. Utilizamos ainda o recurso do *timer*, no caso, de dois segundos, recurso que evita que a câmera trema com o toque do dedo do fotógrafo. Para evitar a granulação nas fotos e obter imagens com a maior nitidez possível, deve-se ajustar o valor de ISO para o menor possível – utilizamos ISO 80.

5) Utilizamos um cartão cinza-médio (proporção de 50% de branco e 50% de preto) para fazer a medição fotométrica. Isso estabelece o ajuste da exposição (abertura/velocidade) para a quantidade de luz recebida no ponto em que foram posicionadas as amostras. Dessa forma, é possível manter sempre a mesma iluminação e exposição em todas as fotos, garantindo que a comparação entre as diferentes amostras mostre a diferença real entre zonas claras e escuras;

6) Procedemos com o ajuste de brancos (*white balance*). Esse ajuste visa fixar a cor que a câmera entenderá como branco. Dessa forma, pode-se fotografar sob luz amarela corrigindo essa cor para o branco. Buscamos, com isso, manter a fidelidade das cores e possibilitar a comparação entre as diferentes amostras;

7) Fotografamos uma escala (régua), posicionada na menor distância focal possível para o conjunto de lentes utilizado. A ampliação desta escala permite calcular a ampliação da imagem no ponto focal – foi dessa forma que chegamos à determinação de que o aumento aproximado utilizado neste trabalho foi de 40 vezes;

8) Posicionamos as amostras na distância focal mínima e executamos a fotografia.

Foram executadas diversas fotografias de vários torrões de solo. A partir das imagens obtidas, selecionamos um campo em que o foco estivesse nítido e no qual encontramos exemplos das feições características de cada amostra registrada.

Consideramos que este procedimento foi de grande utilidade para a descrição dos horizontes de solo, e que pode auxiliar na distinção de volumes que, a olho nu, podem apresentar características muito semelhantes – as fotos dos torrões do horizonte Bni/Bw são um bom exemplo.

Pretendemos redigir, junto com o pesquisador André Mateus Barreiros, que auxiliou na elaboração do procedimento, um artigo detalhando o mesmo e oferecendo exemplos úteis para mostrar as distinções que podem ser feitas utilizando esta técnica. Há ainda a possibilidade de, a partir de um esforço conjunto com outros pesquisadores, elaborar uma chave de descrição específica para este procedimento.

3.3.4. Tratamento e elaboração do material gráfico

Todo o material gráfico obtido ou elaborado nesta pesquisa passou por tratamento gráfico em uma série de softwares específicos, que permitiram melhorar a qualidade das imagens, inserir informações nas fotografias.

Para o tratamento do material fotográfico, foi utilizado o software Photoshop CS4. Este software foi utilizado para inserção de informações nas fotos bem como para fazer recortes nas imagens, aperfeiçoando a composição do material fotográfico e para ajustar aspectos como nitidez, contraste e brilho, e corrigir a exposição de algumas fotografias.

Para a elaboração da representação gráfica da topossequência e paredes da trincheira, utilizamos um software de desenho, o Corel Draw X3.

Por fim, o material cartográfico foi elaborado a partir de dois softwares: Global Mapper v.12 e ArcGIS v. 9.3.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Passamos aqui à parte central do trabalho, no qual discutiremos os resultados obtidos. Em primeiro lugar, discutiremos os dados levantados em campo, que acreditamos serem cruciais para o trabalho, uma vez que estes levantamentos determinaram a escolha da área, bem como as amostras que foram analisadas. Juntamente com os resultados de campo e descrição morfológica dos volumes estudados, colocamos os dados de micromorfologia. Em sequência, passamos a discutir as análises das propriedades físicas, químicas, mineralógicas e, por fim, trataremos do mapeamento morfopedológico, produto final da pesquisa realizada.

4.1. Resultados de campo

Consideramos, como já foi dito, que o trabalho de campo é uma etapa fundamental das pesquisas pedológicas. O questionamento inicial deste trabalho é responsável, em última instância, por determinar a área de estudos e, dentro desta, a vertente estudada, localização da trincheira, escolha dos perfis e locais de amostragem dentro deste. Desta forma, um trabalho de campo mal realizado pode comprometer todo o trabalho, de forma que a discussão acerca da localização da área de estudos e escolha dos atributos estudados tem influência direta nos resultados aqui descritos e analisados. Assim, o planejamento dos trabalhos de campo foram objeto de muita discussão, e consideramos que tomamos as devidas precauções para evitar cometer erros nessa etapa – o que não garante que estes não estejam presentes.

4.1.1. Topossequência de solos

A topossequência foi levantada a partir do método descrito anteriormente, com sondagens a trado e medições feitas com trena, clinômetro e GPS. As tradagens revelaram-se de difícil execução devido ao alto teor de argila destes solos, que os torna pegajosos e dificulta tanto a entrada quanto a retirada do trado.

A vertente levantada se encontra em propriedade denominada "Gleba São José", daí seu nome aqui (**Figura 12**). A amplitude altimétrica é de 40 metros, variando entre 396 e 436 metros de altitude, e o comprimento é de 318 metros, com declividade média de 12,57% - pouco acima do limiar mínimo para os Nitossolos na área, segundo os limites descritos em Reis Nakashima (1999). Se a relação com a declividade descrita pela autora puder ser aplicada no caso específico, seria esperada uma predominância de Nitossolos latossólicos, como de fato ocorre.

A distinção nas tradagens entre os volumes foi feita a partir, sobretudo, dos parâmetros cor e textura. O volume Ap apresentou, ao longo de toda a vertente, coloração pouco mais escura que os volumes abaixo (2,5YR2,5/4 e 2,5YR3/4). Os volumes Bni e Bw apresentaram coloração e textura semelhantes (2,5YR3/6), porém, notou-se que os volumes identificados como Bni apresentavam maior resistência à remoção do trado, enquanto os volumes Bw desmanchavam com maior facilidade.

Foram coletadas amostras de 10 em 10 cm até 1 metro de profundidade e de 20 em 20cm abaixo de 1 metro. Essas amostras foram fotografadas com lentes macro e iluminação constante, o que permitiu observar que há diferenças entre as amostras identificadas como Bni e Bw, especialmente no que diz respeito à estrutura. Apesar do movimento de torção exercido pelo trado, é possível observar resquícios da estrutura microagregada nos volumes Bw.

No terço superior, onde a declividade é um pouco mais acentuada há uma pequena elevação estrutural, de orientação compatível à preferencial dos diques de diabásio – posteriormente, identificamos, através da fotointerpretação, que a estrutura corresponde, de fato, a uma estrutura deste tipo. Encontramos um topo estreito com um solo raso, porém já com sinais de superfícies brilhantes, e entre esse topo e o corte da estrada, um afloramento de basalto de estrutura maciça.

Pouco após o corte da estrada, no terço médio da vertente, encontramos a sequência Ap-Bni-C e poucos metros depois Ap-Bni-Bw-C, que predominou por quase toda a vertente, sendo substituída, já na proximidade do ribeirão Miringuava, por um Nitossolo típico e finalmente por um Gleissolo.

Concluiu-se com os dados das sondagens que entre os pontos S05 (Ap-Bni-C) e S06 (Ap-Bni-Bw-C) seria aberta uma trincheira. A distância entre os dois pontos é de 12 metros e a declividade deste trecho é de 16%.

A utilização de uma escavadeira hidráulica nos levou a abrir uma trincheira longa, com cerca de 16 metros, dos quais foram descritos 10,5 metros, o que permitiu a visão da transição entre aqueles dois sistemas fosse visualizada.

É importante mencionar aqui, dois aspectos que consideramos relevantes: primeiro, o corte da estrada, situado no terço superior da vertente, acabou por ter influência direta nos resultados analíticos – por se tratar de um afloramento rochoso, o material retirado para a construção da estrada foi colocado ao lado desta. Isso causou uma contaminação do horizonte superficial que acabou por atingir o segmento no qual está localizada a trincheira; com isso, o horizonte superficial apresenta uma grande quantidade de pequenos blocos de material alteroplasmado que teve impacto em todas as análises realizadas.

Figura 12: Topossequência São José
Elaboração: Nakashima, M. R., 2013

Outro aspecto importante é a observação da forma da vertente que seria observada caso pudéssemos eliminar a cobertura pedológica, ou seja, o perfil da base do horizonte C. Observando este perfil (**Figura 12**), notamos que a superfície da vertente real acompanha, grosso modo, o substrato rochoso até a proximidade do terço superior da vertente, onde está localizada a trincheira. A forma que observamos é compatível com o perfil de um dique de diabásio, com declividade acentuada e um topo estreito. Este fato e a análise da carta morfopedológica, indicam que existe uma relação entre a transição entre os dois sistemas pedológicos estudados com a proximidade dessas estruturas litológicas.

As declividades de cada trecho levantado com clinômetro e trenas estão demarcadas na barra colorida abaixo da representação gráfica da topossequência. Predominam, nesta vertente, declividades baixas, especialmente a classe entre 6 e 12%. As declividades maiores que 12% estão situadas, preferencialmente na área que corresponde à encosta do dique de diabásio, onde encontramos declividades superiores a 30%. Os afloramentos ocorrem nas declividades superiores a 20%.

O topo da vertente é estreito e relativamente plano, com cobertura de solos rasos, onde identificamos uma associação entre Cambissolos e Nitossolos típicos, o que nos leva a concluir que dos fatores estruturais tem um peso relevante na distribuição dos solos nessa vertente.

4.1.2. Trincheira

A localização da trincheira foi determinada a partir do levantamento da topossequência. Optamos, em princípio, por abrir uma trincheira longa, que permitisse uma boa observação da transição entre os dois sistemas pedológicos estudados.

A trincheira estudada (**Figuras 13 e 14**) media 16 metros de comprimento (paredes leste e oeste), 2.25 de largura (parede norte) e profundidade variando entre 120 a 200cm (**Figura 13**). Para melhorar as condições de trabalho, sacrificamos a parede sul para fazer uma rampa de acesso.

É importante ressaltar que o fato de termos trabalhado com a descrição de duas paredes longas foi muito importante para a compreensão de como se dá a transição entre os solos descritos.

Observando a geometria dos horizontes em ambas as paredes, de montante para jusante, verificamos o seguinte: saímos de uma situação, no topo, em que encontramos três horizontes pedológicos (Ap – Bni – C), sendo que o horizonte Bni se apresenta ligeiramente mais espesso à montante; e passamos, na parte de baixo, para cinco horizontes (Ap – Bni – Bni/Bw – Bw – C1 – C2). Os horizontes apresentam maior relação de paralelismo com a superfície que com o fundo da trincheira. O horizonte Bw e o transicional Bni/Bw parecem avançar de forma remontante, degradando o horizonte Bni, o que indica, possivelmente, que a evolução da vertente seria no sentido de uma cobertura latossólica.

Os horizontes C1 e C2 apresentam um perfil irregular, ao contrário da superfície do solo. Essa característica pode ser causada pela própria irregularidade do substrato rochoso, uma vez que os basaltos apresentam um processo de intemperismo que leva ao “acebolamento”.

O horizonte Bni apresenta uma série de fissuras verticalizadas, em aspecto de escamas, que se tornou mais evidente após a exposição ao sol e consequente ressecamento superficial. Essas fissuras se tornavam menos pronunciadas conforme se avança em profundidade, no sentido do horizonte Bw, que apresentava uma estrutura do tipo “pó de café”.

As transições entre os horizontes ocorrem de forma progressiva, pouco evidente a olho nu. Foi necessária a análise de atributos morfológicos, como cor, textura e estrutura para delimitar as passagens entre os horizontes. A observação do fissuramento nas paredes da trincheira auxiliaram na demarcação dos limites – eram bastante evidentes em Bni, que apresentava estrutura em blocos poliédricos, enquanto em Bni/Bw ainda encontrávamos vestígios desta estrutura fissurada, porém, com estrutura já mais próxima à microagregada, que encontramos imediatamente abaixo. As transições para o horizonte C1 eram mais nítidas, pois foram marcadas a partir do nível em que foram encontrados blocos de rocha alterada.

Notamos, na descrição morfológica da trincheira, mais detalhada a seguir, que há uma concordância entre o material intersticial dos blocos de material alteroplasmado (alterita) com o horizonte imediatamente acima deste, de forma que no perfil 1, este material intersticial (pedoplasmado), guardava características do horizonte latossólico, enquanto no perfil 2, este material apresentava características nitossólicas.

PAREDE OESTE

PAREDE LESTE

PAREDE NORTE

Figura 13: Paredes da trincheira estudada
Elaboração: Nakashima, M. R., 2013

Figura 14: Trincheira, fotografia tirada no sentido sul-norte
Fotografia: Nakashima, M. R., 2012

4.1.3. Perfis de solo, descrição morfológica, macrofotografias e micromorfologia

Passamos aqui a apresentar e discutir os aspectos observados nos perfis descritos em campo. Em um primeiro momento, nos preocupamos em relatar os atributos observados nos perfis em campo, e passamos, em seguida, a discutir aspectos que foram observados posteriormente, em duas diferentes escalas: uma “*mesoescala*”, que se refere às observações feitas a partir das macrofotografias, cujo aumento é de aproximadamente 40 vezes, maior, portanto, àquela das lupas de bolso comumente levadas a campo, de até 20 vezes. Posteriormente, passaremos a falar da descrição das lâminas delgadas, etapa final da descrição morfológica, e finalmente, a discutir estes dados.

Na trincheira estudada, foram descritos dois perfis. O perfil 1 se situa na parede oeste da trincheira aberta, e representa a situação em que encontramos o horizonte B_{ni} assentado sobre o horizonte B_w (NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico latossólico); o perfil 2, a situação em que B_{ni} se assenta diretamente sobre C (NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico).

Optamos por apresentar os dados dos horizontes de baixo para cima. Esta escolha se deve à necessidade de se reconhecer, em primeiro lugar, a filiação da cobertura pedológica, ou seja, sua relação com o material parental (rocha). Desta forma, iniciamos as observações na base da trincheira, observando os horizontes C₂ e C₁. Os horizontes superficiais teriam seu desenvolvimento condicionados, em primeiro lugar, a um material já alterado a partir da rocha, e então submetido às influências da circulação hídrica superficial e subsuperficial.

Perfil 1: NITOSSOLO VERMELHO Férrico latossólico
(Ap-Bni-Bni/Bw-Bw-C1-C2)

Figura 15: Perfil 1, NITOSSOLO VERMELHO Férrico latossólico
Fotografia: Nakashima, M. R., 2012

Aspectos gerais: este perfil (**Figura 15**) apresenta o sistema denominado Nitossolo latossólico. Observamos uma sequência de horizontes pedológicos A – Bni – Bni/Bw – Bw – C1 – C2. Os horizontes C2 e C1 são compostos por uma associação de blocos de rocha alterada e material intersticial, que equivalem ao horizonte Bw, imediatamente acima. A diferença entre estes dois horizontes é a proporção entre rocha alterada e solo, sendo que em C2 encontramos mais blocos de alterita que em C1.

A transição para o horizonte Bw ocorre de forma progressiva: há uma diminuição na quantidade de blocos de alterita no sentido C2 – C1 – Bw, sendo que desaparecem completamente neste horizonte.

O material do horizonte Bw é bastante friável, com estrutura microagregada, semelhante ao “pó de café”, no qual os torrões se desfazem facilmente quando aplicada uma leve pressão com os dedos. A passagem de Bw para o horizonte Bni ocorre em uma faixa de transição, que denominamos horizonte Bni/Bw. Aqui, ainda percebemos o aspecto de “pó de café”, porém, os torrões são mais coesos e percebe-se uma porosidade fissural não muito pronunciada e alguns sinais de cerosidade.

O horizonte Bni, por sua vez, apresenta-se com uma estrutura em blocos poliédricos, com formato angular. A porosidade fissural é bastante pronunciada e a cerosidade é abundante neste volume. A passagem para o horizonte superficial Ap também ocorre progressivamente: as estruturas poliédricas se mantêm, mas há um discreto escurecimento e começa-se a observar pequenos fragmentos de um material amarelado, semelhante aos blocos de alterita encontrados nos horizontes C2 e C1.

C2 (122-160cm+): Volume composto de associação de blocos de material alteroplasmado (80% do volume) separados por material intersticial (estimado em cerca de 20%). Essas proporções foram determinadas através da pesagem do material após separação

na peneira de 2mm e limpeza da superfície dos blocos com pincel. O mesmo procedimento foi adotado nos outros horizontes C.

Os blocos de alterita apresentam dimensão variando de 5 a 15 cm, com coloração heterogênea (10R4/8; 7,5YR4/6, 10YR8/6), revestidos por películas de óxido de manganês (5YR2,5/2; 5GY7/1) e estabilidade de agregados em água baixa. Esse material apresenta significativa redução de peso quando seco, indicando alta porosidade e densidade menor que aquela do basalto. O material intersticial apresenta coloração homogênea (2,5YR4/6 e 2,5YR4/8), estrutura microagregada e textura siltico-argilosa, pouco plástica e pegajosa.

Não foi observada qualquer atividade biológica, como a presença de raízes, fungos ou animais. Reação de efervescência abundante quando em contato com água oxigenada, provavelmente devido à alta concentração de óxidos de manganês.

A macrofotografia deste volume (**Figura 16**) mostra o aspecto do contato entre o material pedoplasmado e o material alteroplasmado. O aspecto desse material intersticial é compatível com características de horizonte Bw, ou seja, estrutura microagregada e ausência de cerosidade.

Podem-se observar, nesta macrofoto, duas zonas distintas: uma relativamente homogênea, de coloração avermelhada, com aspecto de estrutura microagregada, onde aparecem ainda pequenas “ilhas” de material mais claro, de coloração amarelada/esbranquiçada, equivalente ao encontrado na parte de baixo da foto, onde observamos um material de coloração heterogênea, cujas cores variam entre branco, amarelo, creme e alaranjado

A transição deste horizonte para C1 ocorre de forma progressiva, e foi determinada em função da diminuição do tamanho dos blocos de alterita e proporção entre estes blocos e o material intersticial, que aumenta nos sentido ascendente. Não observamos alteração na cor ou textura do material pedoplasmado.

Figura 16: macrofotografia de torrão do horizonte C2
Fotografia: Nakashima, M. R., 2012

C1 (105-122cm): Volume semelhante ao anterior, constituído por uma associação de blocos de material alteroplasmado (estimado em cerca de 65%) separados por material pedoplasmado (estimado em cerca de 35%), denotando, portanto, uma alteração na proporção entre estes dois materiais.

Os blocos de material alteroplasmado são de ordem centimétrica (até 5cm), menores, portanto, que os encontrados em C2. Apresentam coloração heterogênea (10R4/8; 7,5YR4/6, 10YR8/6), são igualmente revestidos por películas de material com coloração preta e reagente à água oxigenada (5YR2,5/2; 5GY7/1), provavelmente óxidos de manganês. O material intersticial apresenta coloração homogênea (2,5YR4/6 e 2,5YR4/8), estrutura microagregada e textura siltico-argilosa, pouco plástica e pegajosa, estabilidade de agregados em água baixa. Esse material apresenta significativa redução de peso quando seco, indicando alta porosidade.

Não foi observada qualquer atividade biológica. Reação de efervescência abundante quando em contato com água oxigenada, provavelmente devido à alta concentração de óxidos de manganês.

A macrofotografia deste volume (**Figura 17**) mostra o aspecto de um bloco de alterita e o contato do revestimento pelo óxido de manganês. Há um aspecto de “crateras”, ou cavidades semiesféricas que pode se observada no canto superior esquerdo da foto. Uma possível explicação para este aspecto seria a de que estes óxidos se deslocam em solução, e a porosidade do material alteroplasmado ao ser recoberto libera pequenas bolhas de ar, provocando este aspecto morfológico.

Há duas zonas distintas nesta foto: a primeira, no canto superior esquerdo representa o revestimento pelicular de óxidos de manganês, e a segunda, mais clara, apresenta a porção do bloco de alterita sem este revestimento.

Figura 17: macrofotografia de torrão do horizonte C1
Fotografia: Nakashima, M. R., 2012

A lâmina delgada deste volume (**Figura 18/A**) mostra uma grande quantidade de blocos de material alteroplasmado separados por grandes poros (fissuras), parcialmente preenchidos por material pedoplasmado com as seguintes características: pedalidade fracamente desenvolvida, com peds de formato subangular e rugosidade superficial ondulada. Os blocos de rocha alterada apresentam coloração que varia do branco ao amarelado, passando por vários tons intermediários e uma grande quantidade de pontos negros, identificados como nódulos de óxidos de ferro. Os peds se encontram parcialmente acomodados ou não acomodados, com distribuição de base aleatória.

Em relação ao fundo matricial, a distribuição relativa é enáulica, o que sugere que este material se formou sob um processo de iluviação e mantém características do material de origem.

A distribuição dos poros é aleatória e não orientada. Os poros aqui são, em sua maioria, de origem intergranular complexa, semelhantes aos encontrados no horizonte latossólico sob o qual se encontra (**Figura 18/D**). Nesta mesma figura, observamos, à esquerda, um bloco de alterita, revestido por uma película escurecida, provavelmente ferromagnesianas, além de uma quantidade de material solto, já pedoplasmado, de aspecto granular.

O esqueleto é constituído, majoritariamente, por grãos escuros, provavelmente nódulos de óxidos de ferro (magnetita, maghemita e titanomagnetita), além de uma quantidade menor (cerca de 20%) de grãos de quartzo e quartzo recoberto por óxidos de ferro.

A exoscopia destes grãos revela superfície rugosa à ondulada, sendo estas últimas mais frequentes (cerca de 70% dos grãos).

Observando o interior dos blocos de alterita, encontramos os mesmos grãos escuros (**Figura 18/C**), normalmente com zonas de formação de plasma ao seu redor, o que sugere que parte destes grãos são herdados da rocha e constituem zonas preferenciais para formação

de argilominerais. Estes mesmos nódulos parecem constituir a fração areia encontrada ao longo de todo o perfil. Na fotografia, observamos um cristal de quartzo com revestimento por óxidos de ferro, o que confirma os resultados de mineralogia das areias, como veremos adiante.

Observa-se também a presença de filmes de óxido de manganês revestindo os blocos de alterita, frequentemente apresentando intrusões que cortam os revestimentos argilosos destes blocos, possíveis cutãs de argila iluviada, indicando que o revestimento por óxidos de manganês é mais recente e a anterioridade de uma estrutura nitossólica (**Figura 18/B**). Podemos observar que o revestimento plásmico ocorre na periferia do bloco de alterita, que nesta imagem aparece no canto superior direito, encontra-se em contato com a matriz da rocha alterada, e a película escura aparece sobre esta, revestindo todo o bloco. A continuidade desse filme argiloso sugere que a rachadura é posterior ao aparecimento deste, e é através dessa fissura que a solução invade o bloco.

Figura 18: Fotomicrografias da lâmina do horizonte C1 do Perfil 1. **A:** lâmina; **B:** revestimento de óxido de manganês e intrusão cortando revestimento argiloso sobre bloco de alterita (aumento de 100X); **C:** nódulos de óxido de ferro e grão de quartzo com revestimento de óxido de ferro (aumento de 200X); **D:** detalhe da passagem do material alteroplasmado para material pedoplasmado com porosidade intergranular complexa (aumento de 25X).

Fotografia: Nakashima, M. R., 2013

Bw (72-105cm): Volume com coloração homogênea (2,5YR4/6), com algumas pequenas manchas mais claras (2,5YR4/8), ausência de cerosidade e estrutura microagregada (“pó de café”). A porosidade é intergranular e o material é bastante friável. Textura muito argilosa e muito pegajosa. Estabilidade de agregados em água baixa, ainda que maior que nos dois volumes anteriores. A atividade biológica é quase nula, não foram observados restos de

raízes ou porosidade tubular de origem biológica. Presença de raros nódulos de argila com no máximo 1mm de diâmetro. Reação de efervescência quando em contato com água oxigenada, provavelmente devido à alta concentração de óxidos de manganês.

A macrofotografia dos torrões deste volume (**Figura 19**) mostra características típicas dos horizontes latossólicos, especialmente a estrutura microagregada. Nesta profundidade, não ocorrem os aspectos de porosidade fissural e a cerosidade.

A transição deste horizonte para o volume imediatamente superior ocorre progressivamente, tanto em termos de cor como de estrutura.

Figura 19: macrofotografia de torrão do horizonte Bw

Fotografia: Nakashima, M. R., 2012

A lâmina delgada deste volume (**Figura 20/A**) indica a presença de alguns blocos de material alteroplasmado, em pequena quantidade, além de “fantasmas” destes blocos, herdados do material de origem, em processo de transformação. O contorno destes blocos apresentam limites claros e bem acomodados. O interior destes blocos apresenta material com características latossólicas, é possível observar microagregados de material argiloso.

Há uma distinção clara entre o material do interior destes blocos e o restante da área da lâmina. O fundo matricial do material do interior dos blocos é mais poroso (20% de poros) e apresenta menor participação do plasma (70%). No material externo, observamos uma estrutura que já tende à poliédrica, com cerca de 10% de poros e 80% de plasma.

A pedalidade varia entre fracamente a moderadamente desenvolvida, sendo que apresenta maior desenvolvimento na matriz externa aos blocos de material menos consolidado. O formato dos pedos também apresenta variação entre os dois materiais: subangulares no primeiro caso, arredondados no último.

A distribuição relativa do material varia de enáulica à enáulica-porfírica, indicando, segundo Castro (2002), no primeiro caso, uma possível perda de argila por eluviação e no segundo caso, ganho por iluviação. Indica ainda que o material com características mais típicas do Latossolo mantém ainda a estrutura herdada do material de origem, enquanto a distribuição enáulica-porfírica indica compactação do material, conforme se pode observar na **Figura 20/C**, na qual observamos um bloco de material latossólico envolto por um material de estrutura semelhante, porém mais adensada.

A porosidade no interior dos blocos é intergranular, como se pode observar na **Figura 20/B**, ao passo que o restante do material apresenta pedos melhor acomodados e com porosidade fissural ou de rachaduras pouco desenvolvidas.

O esqueleto é semelhante ao encontrado no volume anterior: nódulos de óxidos de ferro, por vezes com grãos de quartzo em seu interior, conforme ilustrado pela **Figura 20/D**, que mostra ainda uma zona de recobrimento plásmico no entorno do nódulo. A exoscopia dos grãos é alisada com alguns trechos ondulados. É comum a presença de feições de iluviação no entorno destes grãos

Figura 20: Fotomicrografias da lâmina do horizonte Bw do Perfil 1. **A:** lâmina; **B:** aspecto geral do horizonte latossólico (aumento de 100X); **C:** “fantasma” de bloco de material alteroplasmado já bastante alterado, apresentando, em seu interior, características latossólicas, porosidade intergranular mais aberta (aumento de 100X); **D:** detalhe nódulo de óxido de ferro com presença uma zona de revestimento plásmico, possivelmente da alteração do grão, apresentando um poro parcialmente colmatado à direita deste (aumento de 200X).

Fotografia: Nakashima, M. R., 2013

Bni/Bw (66-72cm): Volume de transição entre Bni e Bw. Apresenta coloração homogênea (2,5YR3/6), cerosidade pouco abundante e estrutura poliédrica angular a subangular, com torrões de até 10cm, mais friáveis que no volume anterior. Textura muito argilosa e muito pegajosa.

A atividade biológica é muito baixa, não foram observados restos de raízes ou porosidade tubular de origem biológica. Ausência das concreções ferruginosas encontradas no volume Bni. Estabilidade de agregados em água baixa, reação de efervescência quando em contato com água oxigenada, provavelmente devido à alta concentração de óxidos de manganês.

A macrofotografia dos torrões deste volume (**Figura 21**) mostra resquícios das características morfológicas observadas no horizonte Bni. A porosidade fissural perde sua angulosidade, atenuada pelo início da formação de uma estrutura microagregada, como pode ser observado no canto superior direito da macrofotografia. A cerosidade é moderada e a estrutura é poliédrica.

A transição entre este volume e o volume imediatamente superior ocorre de forma progressiva.

Figura 21: macrofotografia de torrão do horizonte transicional Bni/Bw
Fotografia: Nakashima, M. R., 2012

A lâmina delgada deste volume (**Figura 22/A**) mostra que se trata de um horizonte transicional: na base da lâmina encontramos características dos Latossolos e no topo, características de Nitossolos. O aspecto geral da lâmina mostra uma porosidade fissural já bem desenvolvida, coloração homogênea e presença de alguns pedotúbulos com preenchimento solto. É possível observar, em vários pontos da lâmina, o contato entre as fácies latossólicas e nitossólicas, como a registrada na **Figura 22/B**, onde percebemos, no canto superior esquerdo uma zona de plasma mais adensado, de natureza porfírica, ao passo que na zona oposta, percebemos a estrutura microagregada.

O material é moderadamente selecionado, com esqueleto representando cerca de 10-20% da amostra, poros 10% no interior dos pedos e plasma 70%. A pedalidade é fortemente desenvolvida, com pedos subarredondados a arredondados na fácies latossólica e angulares a subangulares nas fácies nitossólicas. A rugosidade superficial dos pedos varia de ondulada/mamilada à alisada/mamilada conforme se desloca da base para o topo da lâmina.

A distribuição relativa do fundo matricial também apresenta variação entre as duas fácies: enáulica na latossólica e porfírica aberta na nitossólica, indicando processos de eluviação/iluviação e ainda o adensamento dos pedos nitossólicos (**Figura 22/C**), microfotografia na qual se pode observar o aspecto arredondado dos pequenos microagregados que se organizam em uma massa plásmica compacta.

A porosidade entre os pedos, que se apresentam acomodados, é oriunda de rachaduras, indicando, segundo Castro (2008), processos de contração por umedecimento e ressecamento. Pode-se observar, na **Figura 22/D**, um poro fissural que atravessa a lâmina diagonalmente, mostrando o contato entre dois pedos bem acomodados (encaixados). No interior dos pedos, a porosidade passa de intergranular (Latossolo) a cavidades e ortoporos e metaporos, sendo os primeiros mais comuns. Foram observados ainda pedotúbulos de origem biológica (raros), vesículas e canais.

O esqueleto é semelhante ao encontrado nos horizontes anteriores, constituído por nódulos de óxido de ferro e grãos de quartzo (**Figura 22/B**), majoritariamente recobertos por estes óxidos.

Figura 22: Fotomicrografias da lâmina do horizonte Bni/Bw do Perfil 1. **A:** lâmina; **B:** transição entre o material latossólico e o material nitossólico, denotado principalmente pelo adensamento do plasma e mudança na porosidade (aumento de 100X); **C:** detalhe do interior de um pede nitossólico, mostrando o adensamento dos microagregados de material latossólico (aumento de 200X); **D:** aspecto geral da matriz nitossólica, mostrando um poro fissural e o acomodamento entre os dois peds (aumento de 25X).

Fotografia: Nakashima, M. R., 2013

Bni (45-66cm): Volume com coloração homogênea (2,5YR3/6), cerosidade abundante e estrutura poliédrica angular, com torrões variando entre 10 e 20cm. A porosidade é fissural, e quando os torrões são quebrados fora dos planos preferenciais, tem-se a sensação de estruturas microagregadas. Textura muito argilosa e muito pegajosa, torrões pouco friáveis.

A atividade biológica é quase nula, não foram observados restos de raízes ou porosidade tubular de origem biológica. Presença de raras concreções ferruginosas (semelhantes a chumbinhos de caça), com no máximo 1mm de diâmetro estabilidade de agregados em água baixa.

Reação de efervescência quando em contato com água oxigenada, provavelmente devido à alta concentração de óxidos de manganês, e estabilidade estrutural baixa.

A macrofotografia dos torrões deste volume (**Figura 23**) mostra em detalhe a porosidade fissural entre os torrões, a cerosidade abundante e bem visível e a forte estrutura poliédrica. Nesse nível de detalhe percebemos que as superfícies com esse revestimento brilhante apresentam um aspecto de pequenos degraus, que vai se desfazendo nos horizontes abaixo até chegarmos à destruição dessas estruturas no horizonte Bw.

A transição deste horizonte para o horizonte superficial (A) é progressiva, no que se refere à estrutura. A transição de cor é mais abrupta, ainda que não muito marcada.

Figura 23: macrofotografia de torrão do horizonte Bni
Fotografia: Nakashima, M. R., 2012

A lâmina delgada deste horizonte (**Figura 24/A**) apresenta características típicas dos Nitossolos. Observa-se, no aspecto geral das lâminas, uma rede de poros fissurais bastante complexa, coloração homogênea e um fundo matricial bastante fechado. Trata-se do horizonte em que os grãos de quartzo estão mais evidentes, ainda que a maioria destes ainda se apresente recobertos por óxidos de ferro.

A composição do fundo matricial é de 5-10% de poros, 5-10% de esqueleto e 80-90% de plasma, estimados a partir da tabela de avaliação visual, de Bullock (1985). É o volume mais adensado e mais argiloso entre os observados. Trata-se ainda do único volume sem qualquer presença de “fantasmas” de blocos do material alteroplasmado. A trama é porfírica aberta adensada.

A pedalidade é fortemente desenvolvida, apresentando pedos angulares bem acomodados (**Figura 24/B**), com rugosidade superficial alisada/mamilada e trama porfírica aberta, indicando alto grau de adensamento (Castro, 2002).

A porosidade neste horizonte é fissural ou de rachaduras, apresentando, eventualmente, bioporos e granotúbulos.

Notamos, neste horizonte, a presença de cutãs de grãos, típicos e crescentes (**Figura 24/C**). Estes cutãs são, de forma geral, constituídos de argila turva, e contraste bem marcado, indicando processos de iluviação. Há ainda a presença de cutãs com contraste menos marcado, que podem ser interpretados como cutãs de contração (Castro, 2008).

A **Figura 24/D** mostra um nódulo de óxido de ferro com uma zona de revestimento plásmico, aparentemente, de alteração, uma vez que parece dar continuidade ao contorno do nódulo, feição bastante comum neste volume. A matriz nitossólica densa é bastante evidente, bem como a porosidade fissural, com alguns poros colmatados por plasma.

Quanto à porosidade, neste horizonte é preferencialmente fissural ou de rachaduras, denotando processos de expansão/contração. Encontramos ainda porosidade por cavidades, granotúbulos preenchidos com material solto e contínuo.

O esqueleto apresenta as mesmas características observadas ao longo de todo o perfil, possuindo nódulos de óxido de ferro e, eventualmente, grãos de quartzo revestidos por óxidos de ferro.

Figura 24: Fotomicrografias da lâmina do horizonte Bni do Perfil 1. **A:** lâmina; **B:** aspecto geral, mostrando a pedalidade fortemente desenvolvida, porosidade fissural, denotado principalmente pelo adensamento do plasma e mudança na porosidade (aumento de 100X); **C:** detalhe do interior de um ped nitossólico, mostrando o adensamento dos microagregados de material latossólico (aumento de 200X); **D:** aspecto geral da matriz nitossólica, mostrando um poro fissural e o acomodamento entre os dois peds (aumento de 200X).

Fotografia: Nakashima, M. R., 2013

Ap (0-45cm): Esse volume superficial apresenta coloração homogênea (2,5YR2,5/4), além de fragmentos de rocha, talvez provenientes do corte da estrada (semelhantes ao material encontrado nos horizontes C1 e C2). As cores desses fragmentos são variadas: 2,5Y7/6; 10R6/8; 10YR8/3. Abaixo dos 20 cm de profundidade esses fragmentos desaparecem.

O volume apresenta porosidade estrutural, estrutura poliédrica angular a subangular, com torrões variando entre 5 e 10 cm, material de textura muito argilosa, muito plástica e muito pegajosa. A atividade biológica é baixa, com quase ausência de fragmentos de raízes e pedotúbulos. Presença de pouca cerosidade, reação de efervescência com água oxigenada, e estabilidade de agregados em água mediana (abaixo da esperada para horizontes A desenvolvidos sobre basaltos).

A macrofotografia dos torrões deste volume (**Figura 25**) mostra o detalhe de um fragmento de alterita, possível contaminação do corte da estrada, poucos metros acima. Assumimos que os fragmentos sejam do mesmo tipo da alterita encontrada nos horizontes C1 e C2 por apresentar as mesmas características morfológicas. Observa-se ainda a estrutura poliédrica e alguns grãos de areia (magnetita ou maghemita).

Figura 25: macrofotografia de torrão do horizonte Ap
Fotografia: Nakashima, M. R., 2012

A lâmina delgada deste volume (**Figura 26/A**) apresenta características que confirmam a suspeita de que há contaminação neste horizonte, por blocos de alterita

provenientes do corte da estrada, pouco acima da trincheira, que aparecem na lâmina como blocos de cor amarelo claro.

Os fragmentos de alterita apresentam tamanho maior no topo da lâmina, e diminuem de tamanho, progressivamente, conforme nos aproximamos da base do volume. O aspecto dos blocos de alterita são os mesmos descritos no horizonte C1, apresentando, no interior dos blocos, nódulos de óxido de ferro, no entorno dos quais observamos, possivelmente, o processo de formação do plasma (**Figura 26/B**), aparecendo como uma zona avermelhada no entorno do grão mais escuro. A pedalidade é fortemente desenvolvida, semelhante à encontrada no horizonte Bni. A acomodação entre os blocos indica um processo de compactação, provavelmente causada pela ação de maquinário agrícola ao longo dos anos.

Os blocos ocupam cerca de 10% da lâmina. No fundo matricial, a distribuição aproximada é de 5-10% de esqueleto, 10-20% de poros e 70-85% de plasma.

Os pedis se encontram bem acomodados, conforme se observa na **Figura 26/C** com formato subangular com rugosidade alisada/mamilada no contato com os blocos e ondulada/mamilada nos contatos interagregados.

A trama é porfírica aberta, semelhante à encontrada no horizonte Bni e Bni/Bw. A **Figura 26/D** revela, porém, um aspecto diferente daquele encontrado em Bni: apesar do alto grau de compactação, há uma mistura de materiais: plasma e fragmentos de rocha alterada, que aparecem como pequenos fragmentos de coloração amarelada ou avermelhada.

A porosidade é a mais complexa do perfil: apresenta distribuição aleatória, com juntas, rachaduras frequentes, cavidades, câmaras e canais. Essa variedade de tipos de porosidade deve-se, provavelmente à ação biológica, presença de raízes, compactação mecânica e ainda aos processos de contração/expansão.

O esqueleto é semelhante ao descrito nos outros volumes, sem distribuição referida e distribuição de base aleatória.

Figura 26: Fotomicrografias da lâmina do horizonte Ap do Perfil 1. **A:** lâmina; **B:** aspecto do interior de um bloco de alterita, semelhante ao observado no horizonte C1 (aumento de 200X); **C:** aspecto geral dos pedes, apresentando formato subangular a angular e alto grau de acomodação (aumento de 200X); **D:** presença de pequenos fragmentos de alterita no interior dos agregados (aumento de 100X).

Fotografia: Nakashima, M. R., 2013

Perfil 2: NITOSSOLO VERMELHO Férrico
(Ap-Bni-C1-C2)

Figura 27: Perfil 2, NITOSSOLO VERMELHO Férrico típico.
Fotografia: Nakashima, M. R., 2012

Aspectos gerais: Este perfil (**Figura 27**) se localiza à montante do Perfil 1. Apresenta-se como um perfil de transições progressivas, com características semelhantes ao perfil anterior, porém, mais raso (120cm) e com limites mais paralelos.

Os horizontes C2 e C1 apresentam material intersticial com características nitossólicas: estrutura poliédrica, maior adensamento e presença abundante de cerosidade. O horizonte Bni apresenta estrutura poliédrica mais forte que no perfil 1, e aqui, não há indícios da destruição dos agregados do horizonte Bni em Bw. O horizonte superficial é mais raso, com cerca de 20cm de profundidade e coloração ligeiramente mais escura que no restante do perfil.

Observamos também o aspecto de rachaduras verticais e estruturas que se desprendiam da parede com aspecto de “escamas de peixe”, mais alongadas no sentido vertical. Essas rachaduras se estendem por todo o perfil, do topo à base e, por vezes, tem continuidade dentro do horizonte C1.

C2 (83-160cm+): Volume semelhante ao C2 do perfil 1, com a maior proporção de blocos de material alteroplasmado (blocos de alterita) de toda a trincheira (cerca de 82% do volume) separados por material pedoplasmado (cerca de 18%).

Os blocos de material alteroplasmado são maiores que os encontrados no volume imediatamente acima, de ordem variando de 10 a 15 cm, com coloração heterogênea (10R6/3; 10R6/6, 10R5/8), revestidos por filmes de óxido de manganês (5YR2,5/2; 5GY7/1). Esse material apresenta significativa redução de peso quando seco, indicando alta porosidade.

O material intersticial apresenta coloração homogênea (2,5YR4/6), estrutura semelhante à do volume C1 e textura argilo-siltosa, presença de cerosidade e material pouco plástico e pegajoso e estabilidade de agregados em água baixa.

Não foi observada qualquer atividade biológica. Reação de efervescência abundante quando em contato com água oxigenada, provavelmente devido à alta concentração de óxidos de manganês.

A transição para o horizonte superior é progressiva, tanto em cor quanto em textura.

C1 (75-83cm): Volume composto de associação de blocos de material alteroplasmado (cerca de 72%) separados por material pedoplasmado (cerca de 28%).

Os blocos de material alteroplasmado são de ordem centimétrica (até 5cm), menores, portanto, que os encontrados em C2, com coloração heterogênea (10R5/6; 10R6/3, 10R4/6 e pequenas manchas 10R5/3 E 10R6/2), revestidos por filmes de óxido de manganês (5YR2,5/2; 5GY7/1). Material muito friável, apresenta significativa redução de peso quando seco, indicando perda de água e alta porosidade. O material intersticial apresenta coloração homogênea (2,5YR4/6), estrutura semelhante àquela dos horizontes superiores, apresentando cerosidade e textura argilo-siltosa, plástica e pegajosa. Estabilidade de agregados em água baixa.

Não foi observada qualquer atividade biológica. Reação de efervescência abundante quando em contato com água oxigenada, provavelmente devido à alta concentração de óxidos de manganês.

A macrofotografia deste volume (**Figura 28**) mostra novamente o contato entre a película de óxido de manganês e o material alteroplasmado, nesse caso, fotografado em perfil. Observamos nesta imagem, no canto superior direito, o aspecto de “estacas”, onde a solução desses óxidos infiltrou no bloco de rocha alterada.

A transição para o horizonte Bni é progressiva, a textura se mantém a mesma e a cor do material intersticial é a mesma do horizonte superior.

Figura 28: macrofotografia de torrão do horizonte C1
Fotografia: Nakashima, M. R., 2012

A lâmina delgada deste horizonte (**Figura 29/A**) foi coletada na transição entre o horizonte C1 e o Bni. Apresenta fantasmas de alterita, que se apresentam, na foto, como pequenos blocos arredondados de coloração amarela clara, distribuídos de forma mais ou menos homogênea ao longo de toda a superfície da lâmina.

A distribuição dos elementos do fundo matricial é aproximadamente a seguinte: 10% esqueleto, 5-10% poros, 80-85% plasma.

A estrutura poliédrica pode ser observada já na foto da lâmina, bem marcada por uma pedalidade fortemente desenvolvida, com pedes angulares e com alto grau de acomodação (**Figura 29/B**), rugosidade superficial ondulada/mamilada e alisada/mamilada. A trama é porfírica aberta, com plasma mais homogêneo que os encontrados no perfil 1, não apresentando o aspecto de estrutura microagregada compactada.

A porosidade é predominantemente fissural, apresentando juntas e rachaduras, sugerindo a presença de processos de expansão e contração.

O esqueleto é similar ao encontrado no perfil 1, constituído de nódulos ferruginosos e grãos de quartzo recobertos ou parcialmente recobertos por estes óxidos.

Há nesta lâmina a presença de cutãs de poros, típicos e crescentes.

Na **Figura 29/C**, observa-se um grande poro, à direita da foto, no sentido vertical, preenchido por plasma, indicando processo de iluviação, o que explica também a menor porosidade interna dos pedes em comparação com o horizonte Bni do perfil 1. Nesta foto também encontramos um nódulo de óxido de ferro, com revestimento plásmico e conectado a um poro (ao lado esquerdo) também preenchido por plasma.

Na **Figura 29/D**, observamos uma região da lâmina em que um “fantasma” de bloco de alterita, localizado pouco acima do centro da foto, se apresenta em processo de transformação para material pedoplasmado – já organizado em pedes com limites bastante claros, ou seja, com estrutura em blocos poliédricos bem definidos, ao contrário do que ocorre no horizonte C1 do perfil 1, no qual observamos o material em transformação para uma estrutura microagregada.

Figura 29: Fotomicrografias da lâmina do horizonte C1 do Perfil 2. A: lâmina; B: aspecto geral, mostrando a pedalidade fortemente desenvolvida, pedes angulares (aumento de 100X); C: detalhe de poros preenchidos por plasma (aumento de 200X); D: “fantasmas” de blocos de alterita em transformação - pedalidade bem desenvolvida (aumento de 25X).

Fotografia: Nakashima, M. R., 2013

Bni (20-75cm): Volume com coloração homogênea (2,5YR4/6), cerosidade abundante e estrutura poliédrica em blocos angulares, com torrões variando entre 5 e 10cm. A porosidade é fissural, e quando os torrões são quebrados fora dos planos preferenciais, tem-se a sensação de estruturas microagregadas e coloração levemente mais avermelhada (2,5YR5/8). Textura muito argilosa e muito pegajosa, torrões pouco friáveis.

A atividade biológica é praticamente ausente, foram observados restos de raízes muito finas. Presença de raras concreções ferruginosas (semelhantes a chumbinhos de caça), com no máximo 2mm de diâmetro, com presença de cerosidade e estabilidade de agregados em água baixa.

Reação de efervescência quando em contato com água oxigenada, provavelmente devido à alta concentração de óxidos de manganês.

A macrofotografia deste volume (**Figura 30**) mostra os mesmos aspectos observados no horizonte Bni do perfil 1: porosidade fissural bem definida e presença de cerosidade.

A transição para o horizonte superficial é progressiva no que tange à estrutura e à cor.

Figura 30: macrofotografia de torrão do horizonte Bni
Fotografia: Nakashima, M. R., 2012

A lâmina delgada deste horizonte (**Figura 30/A**) apresenta características semelhantes àsquelas encontradas no horizonte Bni do perfil 1, com pedalidade ainda mais

fortemente desenvolvida, pedes bem acomodados e maiores que os encontrados no perfil anterior, com formato angular a subangular e rugosidade superficial ondulada/mamilada.

A trama é porfírica aberta, a distribuição do fundo matricial é de cerca de 5-10% de esqueleto, 10-20% de poros e 70-85% de plasma.

A porosidade é constituída predominantemente de rachaduras, câmaras e alvéolos, além de alguns canais e cavidades.

O esqueleto apresenta constituição semelhante aos demais horizontes descritos, com uma frequência maior de grãos de quartzo sem recobrimento por óxidos de ferro, de exoscopia alisada a ondulada e morfologia subesférica a esférica. Há ainda a presença de pequenos fragmentos de alterita, como pode ser observado na **Figura 31/B**, indicando que este horizonte ainda guarda resquícios do horizonte inferior.

Verificamos a presença de cutãs de poros e também de agregados, em sua maioria de contraste mediano, indicando processos de compressão, e alguns de contraste mais evidente, resultado provável de processos de iluviação. Neste horizonte encontramos ainda cutãs pendentes, ou seja, recobrimdo a superfície inferior dos agregados, como é mostrado na **Figura 31/C**. Há uma grande quantidade de poros completamente preenchidos por plasma.

A **Figura 31/D** mostra, em detalhe, a possível alteração de um nódulo ferruginoso, ao redor do qual se observa uma porosidade fissural radial, com alguns pequenos poros preenchidos por plasma.

Figura 31: Fotomicrografias da lâmina do horizonte Bni do Perfil 2. **A:** lâmina; **B:** aspecto geral, mostrando a pedalidade fortemente desenvolvida, porosidade fissural uma série de câmaras e alvéolos ligados por rachaduras, além da presença de fragmentos de alterita. (aumento de 100X); **C:** detalhe de cutã pendente (aumento de 200X); **D:** nódulo de óxido de ferro arredondado, com formação de plasma em suas bordas (aumento de 200X).

Fotografia: Nakashima, M. R., 2013

Ap (0-20cm): Esse volume superficial apresenta coloração homogênea (2,5YR3/4 passando a 2,5YR3/6 abaixo de 5cm), além de fragmentos de rocha, talvez provenientes do corte da estrada (semelhantes ao material encontrado nos horizontes C1 e C2). As cores desses fragmentos são variadas: 2,5Y7/6; 10R6/8; 10YR8/3, 10YR7/6.

O volume apresenta porosidade fissural e tubular (pouca), estrutura poliédrica angular a subangular, com torrões variando entre 5 e 10 cm, material de textura muito

argilosa, muito plástico e muito pegajoso. A atividade biológica é baixa, com raras raízes (muito finas) e pedotúbulos – abaixo de 5cm, a atividade biológica praticamente cessa. Os poros maiores se encontram preenchidos por raízes em decomposição. Poucos traços de cerosidade, presentes apenas nos agregados maiores, estabilidade de agregados em água mediana (abaixo da esperada para horizontes A desenvolvidos sobre basaltos, possivelmente relacionada à baixa atividade biológica).

Apresenta reação de efervescência quando em contato com água oxigenada, provavelmente devido à alta concentração de óxidos de manganês.

Observações adicionais

As macrofotografias se mostraram de grande ajuda para o trabalho, uma vez que facilita a observação de aspectos morfológicos dos torrões, possibilitando um trabalho de identificação em uma escala intermediária entre aquela do campo e a das microfotografias.

A análise das lâminas delgadas permitiu confirmar que no perfil 1 há um processo de formação direta da estrutura microagregada a partir da alteração da rocha. O material intersticial deste volume se apresenta com porosidade intergranular, que vai se adensando conforme subimos no perfil. A estrutura poliédrica forte que encontramos no horizonte Bni se degrada em estruturas microagregadas, mas ainda recebe um aporte de argila eluviada dos horizontes superiores e posterior processo de expansão/contração, confirmado pela presença de cutãs de compressão.

O perfil 2, Nitossolo típico, apresenta características ligeiramente diferentes: não notamos, neste perfil, a mesma heterogeneidade no plasma que notamos no perfil 1, de aspecto microagregado adensado. Aqui, o aspecto é de um plasma “mais liso”. Isso pode significar que o horizonte Bni vem sendo degradado em um processo de latossolização, que

atuaria de forma remontante nesta vertente. Dessa forma, a conclusão aqui é de que o perfil 1 se encontra em um processo de transformação que provavelmente resultará, futuramente, em um Latossolo formado em detrimento da cobertura nitossólica atual.

4.2. Análises físicas

4.2.1. Granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado segundo o método da pipetagem forneceu os seguintes resultados contidos na **Tabela 1**.

É importante ressaltar que os valores de P1V5 e P2V3, ou seja, os horizontes C1 dos dois perfis, são os valores do material intersticial, ou seja, do material que se encontrava entre os blocos de alterita. Conforme consta da descrição morfológica, notamos uma diferença considerável entre os materiais intersticiais dos dois perfis: o material intersticial do horizonte C1 do perfil 1 apresentava características morfológicas semelhantes às encontradas no horizonte superior, no caso, o horizonte latossólico (**Figura 32a**).

No perfil 2 o material intersticial de C1, apresenta superfícies brilhantes e textura mais argilosa que o do perfil 1 (**Figura 32b**). O material intersticial é constituído de partículas menores que 2mm. No perfil 1, 34,55% do peso total da amostra consistia desse tipo de material, enquanto no perfil 2, só 28,06% era menor que 2mm.

No perfil 1 observamos um acréscimo brusco do teor de argila entre os volumes A e Bni e diminuição das areias e silte.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de granulometria

Perfil 1				
Horizonte	Prof. (m)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)
A	0,00 - 0,45	256,6	300,5	442,9
Bni	0,45 - 0,66	121,3	218,6	660,1
Bni/Bw	0,66 - 0,72	138,7	237,8	623,5
Bw	0,72 - 1,05	146,1	263,4	590,5
C1	1,05 - 1,22	219,1	305,4	475,5

Perfil 2				
Horizonte	Prof. (m)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)
Bni	0,20 - 0,75	121,6	214,6	663,8
C1	0,75 - 0,83	154,7	226,2	619,1

Ainda no perfil 1, temos o teor mais elevado de argila no horizonte Bni, entre 45 e 66 cm de profundidade. Conforme avançamos em profundidade, passamos por uma diminuição gradual até chegarmos ao horizonte C1, entre 105 e 122cm, onde atingimos valores semelhantes àqueles encontrados no horizonte superficial.

Figura 32: (a) Horizonte C1 do perfil 1; (b) Horizonte C1 do perfil 2. O material preto corresponde às películas de óxido de manganês. Na foto (a), observa-se a estrutura microagregada.

Fotografia: Marcelo Reis Nakashima

No perfil 2, foram coletadas amostras apenas dos horizontes Bni e C. O teor de argila de Bni (P2V2) é compatível com aqueles encontrados no horizonte equivalente do perfil 1, cerca de 66%. Já na transição para o horizonte C, não encontramos a diminuição do teor de argila no material intersticial.

Com relação ao gradiente textural, o perfil 1 (único em que foi coletada amostra do horizonte superficial) é de 1,49 - limítrofe para ser classificado como B textural ($B/A > 1,5$). Este resultado foi influenciado por contaminação do horizonte superficial com rocha alterada proveniente do corte da estrada e pela presença de matéria orgânica.

É importante ainda ressaltar que na hipótese inicial do trabalho, lançamos a premissa que se os Nitossolos estão relacionados às declividades entre 12 e 20%, logo, deveria existir um limiar que separasse a condição de evolução de Nitossolos típicos e Nitossolos latossólicos. A declividade média da vertente estudada é de 12%, e a declividade do setor em que abrimos a trincheira e encontramos a transição entre os dois sistemas é de 16% - ponto

médio do limite proposto. A declividade deve ser importante para compreender a distribuição dos solos na paisagem, pois determina os fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais, controlando aspectos como infiltração vertical, escoamento superficial e fluxos laterais em subsuperfície.

4.2.2. Argila dispersa x argila floclulada

Os ensaios para determinação da argila dispersa em água forneceram os resultados que constam da **Tabela 2**:

Tabela 2: Argila dispersa x argila floclulada

Perfil 1				
Horizonte	Prof. (m)	Argila (%)	Argila dispersa em água (%)	Grau de floclulação (%)
A	0,00 - 0,45	44,29	23,45	47,05
Bni	0,45 - 0,66	66,01	36,25	45,08
Bni/Bw	0,66 - 0,72	62,35	1,10	98,24
Bw	0,72 - 1,05	59,05	0,60	98,98
C1	1,05 - 1,22	47,55	2,20	95,37
Perfil 2				
Volume	Prof. (m)	Argila dispersa em água (%)		Grau de floclulação (%)
Bni	0,20 - 0,75	66,38	8,70	86,89
C1	0,75 - 0,83	61,91	0,65	98,95

Tais resultados estão dentro do esperado para os solos estudados. Segundo Embrapa (1984), os Nitossolos típicos (antigas Terras roxas estruturadas e Terras roxas estruturadas latossólicas) costumam apresentar argila dispersa nos horizontes A e argila totalmente floclulada nos horizontes B. No caso do levantamento de solos do estado do Paraná, o perfil mais próximo da área de estudos com dados de grau de floclulação foi levantado no município

de Mandaguari (perfil 48 deste levantamento), classificado como Terra Roxa Estruturada eutrófica apresenta graus de floculação de 25% e 5% respectivamente, para os horizontes Ap e B1t (atual Bni).

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem concluir que há argila dispersa suficiente nos horizontes A e Bni para justificar os processos de eluviação/iluviação nestes volumes, o que poderia provocar a colmatação dos microporos, conforme observamos nas lâminas delgadas, levando a um processo de acumulação de argila a partir deste nível.

4.2.3. Porosidade e densidade

Os resultados obtidos neste ensaio constam da **Tabela 3**. Os dados dos perfis 1 e 2 são coerentes entre si. Os valores de densidade aparente para o horizonte Bni são similares nos dois perfis (1,27 e 1,24), bem como a porosidade total e a relação entre macroporos e microporos.

O perfil 1 mostra uma diminuição dos valores de densidade aparente de A para Bw e, como seria de se esperar, uma relação inversamente proporcional na porosidade total. Isso implica na afirmação de que a estrutura microagregada do horizonte latossólico é ligeiramente maior do que aquela encontrada nos horizontes níticos, apesar da porosidade fissural entre os torrões.

Tabela 3: Resultados de densidade e porosidade

Perfil 1					proporção	
	dens. Aparente (g/cm ³)	total de poros (%)	microporos (%)	macroporos (%)	MICRO	MACRO
A	1,49	43,80	37,62	6,17	85,90	14,10
Bni	1,27	52,09	41,88	10,21	80,40	19,60
Bni/Bw	1,22	54,03	41,19	12,84	76,23	23,77
Bw	1,19	55,20	45,12	10,08	81,74	18,26

Perfil 2					proporção	
	dens. Aparente (g/cm ³)	total de poros (%)	microporos (%)	macroporos (%)	MICRO	MACRO
Bni	1,24	53,32	43,71	9,61	81,98	18,02
Bni/C1	1,17	55,97	41,55	14,43	74,22	25,78

A proporção entre macro e microporos, com exceção do horizonte superficial mantém-se razoavelmente constante, com uma alteração em Bni/Bw, que pode ser talvez atribuída a um erro analítico – os dados foram obtidos em triplicata, e um dos valores deste horizonte se apresentou bastante diferente dos demais. A menor porosidade do horizonte superficial se deve, provavelmente, à ação de compactação mecânica por maquinário agrícola.

Os dados obtidos em laboratório são coerentes com a descrição dos perfis no campo, ou seja, não fogem do esperado para os tipos de horizontes observados. São ainda concordantes com os dados descritos no levantamento de solos do estado do Paraná (Embrapa, 1984), que traz dados de densidade aparente deste tipo de solo variando entre 1,20 e 1,26g/cm³ para os horizontes Bni e porosidade total entre 56 e 58% (Perfil 44, Londrina-PR) e 1,15 a 1,16 g/cm³ e porosidade entre 55 e 58% (Perfil 46, Paraíso do Norte-PR).

Os horizontes Bni são os que apresentam os maiores valores de densidade nos perfis. Apresentam menor porosidade do que os horizontes subjacentes (Bni/Bw e Bw) Dessa forma, estes dados corroboram as observações morfológicas de campo e a análise das lâminas delgadas, que mostra uma maior compacidade interna dos torrões neste horizonte.

4.2.4. Análise integrada dos dados das análises físicas

Observando o conjunto dos dados apresentados, podemos concluir que os resultados são coerentes com a hipótese de que os horizontes Bni tenham se formado mediante processos de expansão/contração e que há sinais de processos de eluviação/iluviação.

Os dados da granulometria mostram uma maior concentração de argila nos horizontes Bni, que são também os mais densos e com menor porosidade.

O grau de flocculação das argilas no horizonte A do perfil 1 (47,05%) e no horizonte Bni do perfil 1 (45,08%) mostra que há argila dispersa em quantidade suficiente para o transporte dentro do perfil. Abaixo deste nível, já no horizonte Bni/Bw, as argilas se encontram quase que totalmente flocculadas. No perfil 2, o grau de flocculação no horizonte Bni é significativamente maior (86,89%). A falta de dados do horizonte superficial neste perfil não permite uma análise mais aprofundada, porém, chama a atenção o fato de que estes solos podem ser considerados relativamente atípicos – há perfis descritos no levantamento de solos do Estado do Paraná com as mesmas características, porém, a maioria dos casos apresenta argila 100% flocculada já no horizonte Bni.

A análise destes dados é, porém, compatível com as observações de campo e também das lâminas delgadas, que revelaram uma grande quantidade de poros colmatados nos horizontes Bni, indicando que há transporte de argila nos perfis.

4.3. Análises químicas

Foram realizadas duas análises químicas diferentes nesta pesquisa: a primeira, de fertilidade, permitiu identificar os principais cátions trocáveis e calcular os valores de saturação em bases e a CTC (capacidade de troca catiônica) dos horizontes estudados. A

segunda, o ataque sulfúrico, permitiu identificar e quantificar os principais óxidos presentes na amostra, teores de sílica e alumina e calcular os valores ki e kr. Os dados destas duas análises constam da **Tabela 4**:

Tabela 4: resultados das análises químicas

Horizonte		pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	SB	CTC	V (%)
		(CaCl)	(mg/dm ³)	(mmolc.dm ³)						
Perfil 1	A	5,5	11	4,7	73	15	34	91,8	126,0	73
	Bni	5,5	13	1,5	68	12	28	81,7	109,4	75
	Bni/Bw	5,7	16	1,3	58	9	28	68,2	95,9	71
	Bw	5,6	11	0,8	48	8	28	57,0	84,7	67
	C1	5,7	12	1,3	49	12	28	61,8	89,9	69
Perfil 2	Bni	5,6	13	1,5	65	9	28	75,5	103,2	73
	C1	5,6	14	1,5	63	8	31	72,9	103,6	70

Ataque sulfúrico									
Horizonte		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Ki		Kr
		(%)							
Perfil 1	A	18,50	16,00	31,31	8,32	0,4051	1,97		0,87
	Bni	28,60	21,18	24,52	5,31	0,2256	2,30		1,32
	Bni/Bw	26,30	20,93	26,20	6,40	0,2227	2,14		1,19
	Bw	22,30	20,48	26,31	5,31	0,2195	1,85		1,02
	C1	26,90	20,38	25,00	5,49	0,2182	2,24		1,26
Perfil 2	Bni	25,60	22,28	23,61	4,86	0,2005	1,95		1,16
	C1	25,10	21,48	23,29	5,23	0,2082	1,99		1,17

Observamos que o pH é constante ao longo dos dois perfis. Os teores de K, Ca e Mg são mais elevados no horizonte A e decrescem conforme nos aprofundamos nos perfis, o que implica no mesmo efeito para a soma de bases (SB) e saturação em bases (V).

A saturação em bases elevada, acima de 50% e quantidade de óxidos de ferro (entre 18 e 36%) permite classificar estes solos como eutróféricos, de forma que, para efeitos de classificação, o perfil 1 seria denominado NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico latossólico; e o perfil 2 NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico.

Os dados obtidos a partir do ataque sulfúrico também apresentam uma variação vertical pequena, porém, com decréscimo discreto de SiO_2 , Al_2O_3 e MnO de Bni para Bni/Bw; Fe_2O_3 apresenta, ao contrário, um incremento nesse mesmo sentido, enquanto os teores de titânio apresentam pico de concentração em Bni/Bw.

A variação nos valores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 justificam a redução no índice k_i no sentido Bni/Bw, indicando maior grau de intemperismo no horizonte latossólico, com decréscimo similar no índice k_r . Uma vez que os índices de Al_2O_3 variam muito pouco (de 21,18% para 20,48% de Bni para Bw), é a redução de sílica e o aumento nos teores de óxidos de ferro que justificam as variações de k_i e k_r .

Os teores mais elevados de Fe_2O_3 , TiO_2 e MnO no horizonte superficial se justificam pela contaminação deste horizonte pelos fragmentos de alterita, ou seja, são herdados da rocha e podem ser explicados pela proximidade da trincheira com o afloramento de basalto que encontramos poucos metros acima desta.

Há ainda um contraste entre os horizontes C1 dos dois perfis: o horizonte C1 do perfil 1 apresenta uma variação significativa de SiO_2 quando comparamos com o horizonte Bw, logo acima (22,30% em Bw e 26,90% em C1); enquanto no perfil 2, esta variação é muito menos, da ordem de 0,50% (25,60% em Bni e 25,10 em C1). Podemos pensar em duas possíveis explicações para tal fato: primeiro, a própria heterogeneidade da rocha; segundo, o fato de que no perfil 1 encontramos o horizonte C1 em processo de transformação direta para um horizonte latossólico, enquanto no perfil 2, o processo se inicia com uma transformação para horizonte nitossólico. Assim, a passagem direta de Bni para C, com a conformação da porosidade já reduzida, mantém um processo de restrição à perda de argila e soluções, ao contrário do que ocorre no perfil 1. Podemos dizer que o processo de alteração de C para Bni é um processo “conservacionista”, quando comparamos com o que observamos na transição de C para Bw, onde o processo de transformação parece ser mais intenso.

4.4. Análises mineralógicas

4.4.1. Caracterização mineralógica da fração argila

A análise mineralógica por Difratoimetria de raios-X pouco revelou no sentido de apontar diferenças significativas entre os dois perfis estudados.

Apresentamos, nas **Figuras 33 e 34**, os difratogramas do horizonte Bni do Perfil 1.

Figura 33: Difratoograma do horizonte Bni, Perfil 1.

Diagramação: Nakashima, M. R., 2013.

Figura 34: Difratoograma do horizonte C1, Perfil 1.

Diagramação: Nakashima, M. R., 2013.

De forma geral, nos difratogramas dos horizontes pedológicos do perfil 1, foi possível identificar picos de caulinita em 7,2 Å, 3,5 Å e 2,5 Å confirmados pelo desaparecimento após o aquecimento a 500°C.

Identificamos ainda quartzo a 4,2 Å e 3,3 Å; sinal fraco de gibbsita em 4,8 Å e ombro a 4,4 Å. Há ainda outros picos menos importantes de caulinita em 4,3 Å, 3,7 Å, 2,1 Å e 1,9 Å.

Os minerais identificados em todos esses horizontes são os mesmos, e o aspecto que chama a atenção é a aparente diminuição na cristalinidade da caulinita conforme aumenta a profundidade no perfil: as caulinitas no material pedoplasmado do horizonte C apresentam cristalinidade mais pobre, o que é comum em solos tropicais.

No perfil 2, temos as mesmas características, porém, não foi possível identificar gibbsita.

O pico em 4,0 Å, corresponde possivelmente, a um sinal fraco de cristobalita.

4.4.2. Caracterização mineralógica da fração areia

Não havia, inicialmente, uma preocupação em caracterizar mineralologicamente a fração areia dos solos estudados. Observamos na lupa binocular que praticamente não havia grãos de quartzo na fração areia, o que nos levou a fazer uma análise morfoscópica visual. Para tanto, trabalhamos com a fração mais representativa das areias: 0,125-0,250mm, trabalhando com uma amostra de 100 grãos.

Tabela 5: Classificação dos minerais da fração areia

Horizonte	Perfil 1					Perfil 2	
	A	Bni	Bni/Bw	Bw	C1	Bni	C1
Quartzo	19%	5%	5%	3%	3%	6%	5%
Feldspato	14%	4%	5%	2%	5%	2%	5%
Sesquióxidos de ferro	67%	91%	90%	95%	92%	92%	90%

Os óxidos de ferro encontrados nessa amostra são de três tipos principais: magnetitas, maghemitas e titanomagnetitas. A baixíssima presença de quartzo nas amostras, com exceção da amostra do horizonte A do Perfil 1 foi questionada na banca de qualificação, quando houve a sugestão de que muitos dos grãos classificados como óxidos de ferro fossem, de fato, grãos de quartzo revestidos por material ferruginoso. A questão nos levou a proceder com a análise mineralógica por dRx. Foi confeccionada uma lâmina da fração areia do horizonte Bni do Perfil 1. Os resultados obtidos nesta análise foram muito diferentes:

Tabela 6: classificação mineralógica da lâmina da fração areia, dRx

Horizonte	Bni
Quartzo	41,1%
Magnetita	21,1%
Maghemita	20,3%
Titanomagnetita	17,5%

A difratometria por raios-X não é considerada um método muito preciso para quantificação de minerais. Todavia, a discrepância dos dois dados é muito grande 5% na primeira análise contra 41% na difratometria.

Visando sanar a dúvida que essa discordância levantou, optamos por submeter uma amostra de areias do mesmo amostra submetida à dRx a um tratamento com HCl a 50%, que teve por objetivo desestabilizar os óxidos de ferro na amostra.

A amostra foi submetida a 10 banhos ácidos de cerca de uma hora, em solução aquecida a 100°C. Após este período e a decantação dos sólidos, procedemos com a pipetagem da solução, e substituição da solução ácida. A cada ciclo de ataque ácido notamos que a solução se tornava mais clara (**Figura 35**). Ao fim destes ciclos, retiramos toda a solução, as areias foram lavadas e pesadas.

De uma amostra total de 300g de amostra de TFSA, obtivemos 34,31g de areia (114,3g/kg, resultado compatível com a granulometria). Após este tratamento, o peso do material restante era de 13,25g, ou 38,62% da quantidade inicial de areia.

Este resultado se aproxima bastante dos 41,1% de quartzo obtidos na quantificação por dRx. O aspecto das areias também mudou muito (**Figura 36**): os minerais escuros, antes predominantes na amostra foram muito reduzidos. O teste com o imã também revelou que os minerais magnéticos foram completamente removidos da amostra.

Figura 35: Aspecto da solução ao final do primeiro ataque ácido (esquerda) e ao final do 7º ciclo (direita)
Fotografia: Nakashima, M. R.

Figura 36: Aspecto das areias antes do ataque ácido (A) e ao final do 7º ciclo (B)
Fotografia: Nakashima, M. R.

4.5. Mapeamento morfopedológico

Na carta morfopedológica do córrego Miringuava (**Figura 39**) buscamos identificar as relações entre estrutura litológica, relevo e cobertura pedológica. Utilizamos, como apoio, as cartas hipsométrica (**Figura 37**) e de declividade (**Figura 7**). A análise da morfologia da área de estudo através da fotointerpretação se mostrou fundamental, uma vez que permitiu relacionar a distribuição de determinadas feições às estruturas litológicas e identificar feições até então não reconhecidas no campo. A correlação dos elementos cartografados com os dados de solos mostra uma distribuição lógica entre elementos morfológicos e classes de solo.

CARTA HIPSONÉTICA DA BACIA DO CÓRREGO MIRINGUAVA, DISTRITO DE FLORIANO, MARINGÁ - PR

Figura 37: Carta hipsométrica da bacia do córrego Miringuava

CARTA DE DECLIVIDADE DA BACIA DO CÓRREGO MIRINGUAVA, DISTRITO DE FLORIANO, MARINGÁ - PR

Figura 38: Carta de declividade do córrego Miringuava

Nesse sentido, a interpretação de fotografias aéreas se mostra fundamental - o reconhecimento das formas ligadas à estrutura litológica e a associação dessas formas às declividades e à distribuição dos solos na área de estudos contribuiu tanto para a confecção da carta de solos quanto para responder se havia, de fato, uma associação entre estrutura, forma e tipo de solo que permita afirmar se existe algum limiar de declividade dividindo os sistemas pedológicos estudados.

Topografia, Litologia, Estrutura

A bacia do Miringuava apresenta características que refletem as principais feições do relevo regional. Os principais interflúvios da bacia seguem, grosso modo, a orientação dos diques de diabásio (SE-NW). O divisor da margem esquerda da bacia apresenta não apenas esta direção NW-SE, mas ainda um alinhamento de cornijas e afloramentos rochosos no mesmo sentido.

Nessa área, os diques de diabásio não se apresentam de forma tão íntegra quanto à limite leste do Terceiro Planalto Paranaense, porém as formas residuais são testemunho dessas estruturas.

A bacia do Miringuava apresenta uma assimetria bem marcada: as vertentes da margem direita não apresentam afluentes de maior importância - registramos apenas um canal temporário no alto curso. As vertentes são predominantemente retilíneas, e visualmente chegam a passar a impressão de ser um grande plano com relativa continuidade espacial, marcada apenas por topos alongados com breves discontinuidades, marcadas por colos. Mesmo com o exagero vertical do estereoscópio de bolso foi difícil perceber algumas concavidades de grande raio de curvatura. Os topos se destacam como protuberâncias, e apresentam, em sua base, afloramentos basálticos.

O critério utilizado para a identificação dos afloramentos foi um padrão de cor (clara) e textura (lisa). Estruturalmente, estão provavelmente relacionados aos patamares de derrames basálticos, que podem marcar tanto limites entre dois derrames diferentes ou fácies diferentes de um mesmo derrame, como as estruturas maciças e amigdaloidal (Fernandes et al, 2010).

No lado oposto, a situação é bastante diferente: encontramos vertentes mais longas, mais íngremes e com uma série de cornijas que marcam o divisor da margem esquerda da bacia. O divisor deste lado e na cabeceira da bacia atinge altitudes que ultrapassam os 500 metros, enquanto na margem direita, as altitudes ficam na faixa dos 430-450 metros.

As cornijas estão situadas em um setor com declividades fortes, que podem chegar a 40%, dando a impressão, em estereoscópio, de uma área quase escarpada. Na base dessas cornijas bem como ao longo das curvas de nível de cultivo no limite norte da bacia, encontramos diversos afloramentos basálticos. Na fotointerpretação, relacionamos esse fato ao corte para curvas de nível em áreas de solos rasos ou mesmo de afloramentos de rocha já em processo de alteração. Esses afloramentos em cornija podem também marcar os patamares estruturais de derrame, já mencionados.

Solos

Foram identificados, na bacia do córrego Miringuava, quatro classes de solos: Neossolos litólicos, Nitossolos típicos, Nitossolos latossólicos e solos hidromórficos, incluindo nessa classe Colúvios hidromorfizados e Gleissolos.

Os Neossolos litólicos e eventualmente Cambissolos constituem a classe mais representativa na bacia, ocupando 51,74% da área da bacia. São predominantes na margem esquerda do Miringuava, e estão associados às maiores declividades, estando associados, preferencialmente às classes de declividade acima de 12% e à presença de afloramentos de

basalto. Na margem direita ocorrem sobre o interflúvio principal, onde encontramos declividades baixas, mas que corresponde a um dique de diabásio onde há alguns afloramentos rochosos.

Os Nitossolos típicos, segunda classe mais representativa de solos nesta bacia ocupam 29,78% da área. Apresentam uma grande mancha na margem esquerda do córrego Miringuava e também ocupam boa parte do divisor da margem direita da bacia, aparecendo abaixo dos Neossolos litólicos. Estão relacionados à classe de 12 a 16% de declividade.

Os Nitossolos latossólicos ocorrem abaixo dos Nitossolos típicos, e se limitam à margem direita do córrego Miringuava, ocupando 14,91% da área da bacia. De forma geral, estão associados às declividades entre 6 a 12%.

Por fim, os solos hidromórficos ocupam os fundos de vale, sendo responsáveis por 3,57% da cobertura pedológica da bacia.

Formas ligadas à hidrografia

A rede de drenagem apresenta também, a assimetria da bacia. Segundo o critério adotado por Soares e Fiori (1976), trata-se de uma assimetria fraca, caracterizada por diferença no tamanho dos elementos e, no caso específico, da quase ausência de afluentes na margem direita.

A análise dos elementos de textura de drenagem revelou densidade baixa, canais com tropia tridirecional e segmentos retilíneos e curvos. O Miringuava apresenta um curso bastante linear, e seu principal afluente apresenta uma série de pequenos meandros e o um pequeno cotovelo. Somente este afluente do Miringuava é perene, apresenta fundo de vale em “V”, bem como o próprio Miringuava em quase toda a sua extensão. No alto curso do Miringuava, à jusante de um represamento, há um estrangulamento do vale devido à uma soleira basáltica, onde encontramos o único trecho de vale de fundo chato.

Ademais, todos os outros tributários são canais temporários, apresentando vales em berço. Como encontramos muitos sinais de processos de erosão linear e a análise da foto mostra mais marcas de erosão que encontramos atualmente no campo (devido, provavelmente a um programa de controle de erosão do estado do Paraná), acreditamos que possivelmente alguns dos outros tributários da margem esquerda teriam regime perene e vales em V, agora assoreados e, portanto, atenuados.

Formas ligadas aos processos erosivos

A textura do relevo se faz novamente presente aqui: a grande ocorrência de feições diferenciadas na margem esquerda também parece ter relação com os processos de erosão linear. Boa parte dos sulcos e ravinamentos, processos de erosão linear, estão associados aos tributários da margem esquerda do Miringuava – as zonas de maior concentração desses processos correspondem a dois anfiteatros.

Na margem direita, foram mapeadas algumas pequenas ravinas, não percebidas nos trabalhos de campo.

Formas e formações de vertente

Percebemos, durante a restituição, uma pequena ocorrência de movimentos de massa - pequenas cicatrizes de escorregamento em duas áreas distintas, ambas na margem esquerda, algumas próximas ao distrito de Floriano e também no maior dos anfiteatros.

De forma ainda mais restrita, encontramos depósitos em leque, todos ocorrendo ao longo do principal tributário do Miringuava, provavelmente relacionados às declividades mais fortes.

Nakashima *et al* (2008) assinalaram a presença de depósitos coluvionares. Estes se encontram principalmente em áreas próximas ao curso do Miringuava, e estão em áreas cobertas por vegetação, dependendo também de verificação em campo.

Ações Antrópicas

Praticamente a totalidade da área da bacia foi desmatada para o plantio do café, cultura dominante na região até meados da década de 1970. Esse fato talvez responda pelos processos erosivos lineares, que se concentram, principalmente, nas proximidades do divisor da margem esquerda da bacia. Na década de 1980, com o programa Paraná Rural, implementado pelo governo do estado, os problemas de erosão foram bastante minimizados.

Um possível indício de que a baixa presença de canais perenes nessa bacia pode estar relacionada com impactos antrópicos está no fato de que o único tributário perene do Miringuava manteve sua cobertura vegetal, ainda que mínima. Talvez isso signifique, como mencionamos anteriormente, que houvesse outros canais perenes, agora entulhados de sedimento.

Ademais, mapeamos duas áreas de pastagem, ambas com presença de terracetes de pisoteio de gado.

A área toda é bastante alterada por manejo, o que dificulta a leitura e a distinção dos processos naturais e antrópicos.

Análise da relação solo x relevo

Consideramos que o trabalho de fotointerpretação atendeu aos objetivos: foi possível mapear feições ligadas à estrutura litológica (as cornijas e afloramentos) e relacioná-las, à distribuição da cobertura pedológica da área de estudos.

Em princípio, a interpretação desta carta permite concluir que existe um limite de declividade que separe os Nitossolos típicos dos Nitossolos latossólicos, estando os primeiros relacionados às classes 12-16% e os últimos às classes 6-12%. As classes de declividade em que estes solos ocorrem são mais baixas do que aquelas verificadas em Reis Nakashima (1999).

Encontramos uma relação de sucessão entre estas classes de solo. Os Nitossolos típicos ocorrem em sucessão aos Neossolos litólicos, em contato com as zonas mais declivosas, e os Nitossolos latossólicos sucedem estes. Há, portanto uma sequência de solos que parte de trechos mais íngremes das vertentes e tendem à latossolização. Com isso, podemos pensar na topossequência estudada também como uma cronossequência de solos, na qual os Nitossolos típicos representam um sistema mais antigo do que os Nitossolos latossólicos, que estariam se desenvolvendo atualmente.

No caso particular da bacia do córrego Miringuava, os Nitossolos, como um todo, ocupam preferencialmente declividades que variam entre 6 a 16%, classe de declividade na qual, em condições consideradas mais comuns na região, esperaríamos encontrar uma transição entre cobertura latossólica e nitossólica, uma vez que observando a carta de solos da bacia do ribeirão Pinguim (**Figura 7**), encontramos os Latossolos recobrimdo colinas amplas de baixas declividades.

As áreas mais planas, com declividades entre 0 e 6%, correspondem normalmente aos topos estreitos, apresentando cobertura de solos rasos. Há, portanto, uma distinção entre as zonas planas de fundo de vale, onde, na mesma classe de declividade, ocorrem Nitossolos latossólicos.

A presença destes solos em declividades ligeiramente abaixo das esperadas e daquelas encontradas em Nakashima (1999) provavelmente têm relação com o fato de que a área de estudos se encontra em uma zona de intensa dissecação do relevo, conforme

constatado por Paiva e Nóbrega (2007); a presença de estruturas mais resistentes, como os diques de diabásio poderiam estar sustentando solos rasos e comandando a circulação hídrica nas vertentes.

Os diques de diabásio podem ser descritos como uma intromissão de magma, em uma rocha encaixante. Em um processo de derrame de lavas, a princípio, os diques estariam mais ou menos na mesma cota que suas rochas encaixantes, no caso específico, os basaltos da Formação Serra Geral. O fato de que hoje estes diques estão ressaltados no relevo mostra que são rochas mais resistentes aos processos de intemperismo e erosão do que os basaltos, de forma que sua forma alongada e estreita se preserva em relação às rochas do seu entorno. Dessa forma, as vertentes com topos marcados por essas estruturas podem apresentar, como é o caso da vertente estudada, um perfil marcado por uma protusão no topo, seguida por uma ruptura de declive no contato diabásio/basalto e um segmento mais regularizado em sequência. A maior resistência da seção sobre o dique de diabásio pode explicar a maior resistência aos processos pedogenéticos, e a maior vulnerabilidade dos basaltos aos mesmos processos seria responsável pelo desenvolvimento de solos mais profundos. Assim, os topos destas vertentes, apesar de planos, são estreitos e apresentam uma diferença litológica em relação ao restante da vertente, que pode justificar a presença de solos rasos em declividades baixas.

5. Considerações finais

Este trabalho teve, como principal motivação, responder a uma questão que surgiu a partir das observações feitas em campo desde a graduação em Geografia: como se explica a presença de horizontes latossólicos, menos argilosos, abaixo de horizontes níticos se a intuição nos leva a crer que o transporte de argila deve ocorrer nos perfis de solo verticalmente, de cima pra baixo, em função da força gravitacional da Terra?

Em segundo lugar, a constatação, em campo, de que os Nitossolos típicos ocorrem em zonas de maior declividade e os Nitossolos latossólicos em trechos menos declivosos nos levou a indagar se haveria um limiar de declividade que pudesse delimitar estes dois tipos de solo, a exemplo do limite estabelecido por Nakashima (1999) para os Nitossolos, pensou-se, em princípio, no limite entre 12 e 20% de declividade para separar ambas as categorias de Nitossolo.

Por fim, buscamos, com os dados levantados, explicar a relação entre a cobertura pedológica e a evolução do relevo regional, na bacia do ribeirão Pinguim. Essa relação se insinuava no trabalho de Paiva e Nóbrega (2007), e o cruzamento dos dados do mapa de solos desta bacia com os compartimentos delimitados por estes autores sugere que há uma relação que pode ser explorada mediante o estudo dos compartimentos intermediários desta bacia, onde encontramos uma zona de transição entre os Latossolos distróficos da porção alta da bacia e os Latossolos Vermelhos eutróficos encontrados nos setores mais próximos ao rio Ivaí.

Em relação ao primeiro ponto, podemos concluir o seguinte:

Que a topossequência levantada mostra a sucessão de solos esperada: os Nitossolos latossólicos são encontrados nos dois terços inferiores da vertente, segmento de menor

declividade, e transiciona para Nitossolo típico no terço superior da vertente, no setor em que esta apresenta declividades mais acentuadas (16%). Os afloramentos rochosos que correspondem ao dique de diabásio que marca o topo da vertente, divisor principal da margem direita do córrego Miringuava.

A descrição morfológica dos horizontes nos dois perfis e a análise das lâminas delgadas revelam uma série de características que devem ser ressaltadas: os horizontes níticos apresentam todas as características típicas, como textura argilosa e presença de cerosidade, que pode ser explicada tanto por processos de transporte vertical de argila como por contração/expansão dos agregados (superfícies de pressão). Estes processos de expansão e contração são responsáveis pela reorganização interna dos agregados, conforme demonstrado por Pedro *et al.* (1976). Uma vez que, no estado inicial a porosidade interagregados é muito reduzida, a expansão das argilas implica num rearranjo interno destas; a retração dá origem ao fissuramento e, em parte, ao aspecto de superfícies brilhantes nas superfícies dos agregados, já que as argilas estariam reorganizadas. A argiluviação é responsável pela migração de argila dentro do perfil, colmatção dos poros e acumulação ascendente a partir do nível de entupimento.

A análise morfológica revelou uma diferença entre os horizontes níticos nos dois perfis: no perfil 1, os torrões do horizonte Bni, quando quebrados, revelavam uma estrutura interna semelhante àquela observada no horizonte Bw, ainda que mais adensada. No perfil 2, percebemos uma massa mais adensada. Este fato foi corroborado na análise das lâminas delgadas, onde observamos que a estrutura dos horizontes Bni no perfil 1 se apresenta, morfológicamente, como uma massa compactada constituída por microagregados adensados, com os limites entre os agregados apresentando revestimento por plasma, enquanto no perfil 2, o plasma é mais homogêneo, com aspecto “liso”.

Estes fatos indicam que há um processo de latossolização atuando na vertente, onde provavelmente existia uma cobertura nitossólica que vem sendo degradada em um horizonte latossólico. O processo de colmatção da porosidade deste horizonte representaria uma barreira a dificultar a infiltração vertical da água. E à circulação hídrica subsuperficial lateral em um nível abaixo do horizonte Bni. O contato entre o afloramento rochoso, próximo ao corte da estrada, pode atuar como “zona de recarga” para este sistema, no qual a água poderia percolar através do fissuramento entre os blocos de rocha alterada, onde há uma macroporosidade importante, conforme observado nas lâminas delgadas. Dessa forma, haveria um processo de degradação da base do horizonte Bni, que corresponde ao horizonte Bni/Bw, e ainda a alteração do horizonte C1 em Bw – este horizonte Bw estaria, portanto, evoluindo no sentido descendente. A presença do horizonte Bni do perfil 2, ou seja, diretamente sobre o horizonte C1 seria decorrente de sua posição na vertente, em um setor de declividade mais acentuada.

Outra característica observada em campo que vai no mesmo sentido é o aspecto do material entre os fragmentos de rocha alterada nos horizontes C1; enquanto no perfil 2 este material apresenta características semelhantes às do horizonte Bni, imediatamente acima, no perfil 1 a rocha aparenta estar se alterando diretamente em material latossólico, já com estrutura microagregada e maior porosidade. Novamente, a observação das lâminas delgadas foi importante para comprovar a observação de campo: observamos uma porosidade intergranular no material intersticial do horizonte C1 do perfil 1 e características diferentes no horizonte equivalente no perfil 2: pedalidade fortemente desenvolvida, com pedes bem acomodados, porosidade fissural e presença de cutãs revestindo os agregados.

Os dados das análises físicas também apontam na mesma direção: os horizontes Bni são os que apresentam maior concentração de argila, maior densidade aparente e menor porosidade. Os dados de argila dispersa em água apontam para valores relativamente

elevados nos horizontes A e Bni do perfil 1 e ainda algum grau de dispersão no horizonte Bni do perfil 2, o que indica que há argila livre para ser transportada ao longo do perfil.

O entupimento dos poros observado nas lâminas delgadas dos horizontes Bni de ambos os perfis indicam que o processo postulado por Espíndola (1979), de colmatção dos poros e acumulação de argila acima deste nível de fato ocorre nestes solos. Trata-se, portanto, de um processo ativo.

As análises químicas mostraram que há um contraste entre os horizontes C1 dos perfis 1 e 2: enquanto observamos, no perfil 2, uma permanência das bases, óxidos, sílica e alumina, estes dados se alteram na transição Bw/C no perfil 1, revelando que o processo de alteração direta em Bw acelera a transformação deste horizonte. A alteração direta de C em Bni, representa um processo mais moroso, uma vez que a estrutura poliédrica, mais adensada e com porosidade entupida oferece maior resistência aos processos de transformação.

Dessa forma, podemos concluir, finalmente, que o horizonte latossólico “ataca” a base do horizonte nitossólico e também evolui no sentido descendente, aprofundando o perfil e alterando mesmo o material intersticial do horizonte C1. A vertente, portanto, tende a evoluir para um sistema com tendência a um equilíbrio dominado pelos Nitossolos latossólicos, a priori, e num futuro mais distante, provavelmente se transformará em uma vertente com cobertura latossólica.

Em relação à segunda questão colocada, a existência de um limiar de declividade entre Nitossolos típicos e Nitossolos latossólicos, a análise das cartas de declividade e morfopedológica revela que os Nitossolos, de forma geral, estão situados em zonas com declividades que variam entre 6 a 16%, pouco abaixo, portanto, dos valores de 12 a 20% encontrados na área estudada por Nakashima (1999).

Notamos, porém, que a sequência de solos nas vertentes respeita a seguinte ordem, das zonas de maior declividade para as mais planas: Neossolos litólicos – Nitossolos típicos –

Nitossolos latossólicos. O limite entre os dois tipos de Nitossolo não é fixo, mas varia em função das particularidades de cada vertente, em especial da presença de afloramentos rochosos e proximidade de estruturas geológicas, como os diques de diabásio.

A vertente estudada apresenta uma coincidência com a declividade média de 12%, e a transição entre os Nitossolos típicos e os latossólicos ocorre em um segmento cuja declividade é de 16%, justamente o ponto médio do intervalo 12 a 20%, fato que a princípio pareceu animador no sentido de que talvez fosse possível estabelecer, para o compartimento de paisagem estudado, um limiar que permitisse mapear os dois tipos.

Porém, a natureza é muito mais interessante e imprevisível do que a nossa intuição permite inferir de maneira simples. Fica a importante evidência de que trabalhar com médias representa um grande risco: apesar de a declividade média da vertente ser, de fato, 12%, observando o perfil da vertente (**Figura 12**) percebemos que as declividades dominantes são as menores do que 12%. Do total dos 318,36m de extensão da vertente, 210,494 metros apresentam declividades menores que 12%, ou 66% da extensão total; 86,26m metros apresentam declividades entre 12 e 20%, ou 27% da extensão da vertente e apenas 21,60m apresentam declividades superiores a 20% (7% do total). Se a média é 12%, a moda (classe mais frequente) certamente é a classe 0 a 12%.

Por fim, com respeito às relações entre evolução do relevo regional (bacia do ribeirão Pinguim) e cobertura pedológica, a análise da carta de solos mostra uma progressão, da alta bacia para as adjacências da planície do rio Ivaí: nos setores mais elevados, ao norte da bacia, predominam os LATOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos; em seguida, com o início da zona de relevo mais dissecado, temos predomínio dos NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroférricos, seguidos por NEOSSOLOS LITÓLICOS, novamente NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroférricos e finalmente LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroférricos.

Essa sequência também reflete uma ordem cronológica, na qual passamos, no sentido norte-sul dos sistemas mais antigos para os mais novos, no sentido norte-sul.

Além disso, o fato de encontrarmos alteração direta de C para Bw põe em xeque um dos mitos mais difundidos no meio da Pedologia: o de que Latossolos representam o estágio final da evolução dos solos e que Neossolos litólicos são necessariamente os sistemas mais recentes: a bacia do córrego Miringuava está localizada em um setor da bacia do ribeirão Pinguim em que o processo geral da cronosequência descrita acima estaria em seu ponto médio: domínio dos Neossolos litólicos, que nesta bacia representam os solos mais antigos, com materiais removidos por erosão, seguidos pelos Nitossolos típicos e finalmente pelos Nitossolos latossólicos. A análise da carta de solos da bacia do Pinguim conduz à interpretação de que temos Latossolos antigos no alto curso e “Neolatosolos” no sul da bacia. Os Neossolos litólicos representam, portanto, o ponto médio da evolução do sistema, e os LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos, o ponto final do processo de evolução, até o presente momento.

A mesma lógica que nos levou a optar por estudar uma vertente na qual encontramos os Nitossolos típicos e latossólico, a abrir uma única trincheira longa na transição entre esses dois sistemas e coletar amostras que representassem a transição entre os horizontes, com especial atenção para a transformação da rocha em solo, no material intersticial dos horizontes C, pode ser utilizada para justificar a escolha do compartimento intermediário da bacia, zona dominada pelos Neossolos litólicos, para o estudo: apenas observando as zonas de transformação é que é possível entender a evolução dos sistemas, sejam estes quais forem. Obviamente, os estudos internos às zonas homogêneas revelaram muita coisa ao meio científico: a compreensão precisa dos objetos de estudos científicos é de fundamental importância, porém, só permitem caracterizar os objetos, dizer o que são, e não um olhar

sobre o passado e o futuro destes. Para este fim, é necessário observar os intermediários, os objetos em transformação.

Os passos dados no decorrer desta pesquisa são todos, individualmente muito simples: é nessa acumulação de simplicidades que o conhecimento é construído. Há um ditado popular norte americano que é utilizado para explicar que as coisas são tão difíceis quanto parecem: “it’s not rocket Science” – não é ciência de foguetes. É importante lembrar que mesmo “ciência de foguetes” pode ser derivada em uma série de passos simples, que começam com aritmética básica.

Estamos cientes de que este trabalho não oferece qualquer conclusão definitiva para a Ciência, mas acreditamos que as questões levantadas aqui merecem ser objeto de trabalhos futuros. Certamente foi uma jornada prazerosa, instigante e divertida. Esperamos que essa pequena contribuição colabore para a construção de um conhecimento cada vez mais sólido e completo nos campos da Pedologia e da Geografia, e que as dúvidas e pontos mal resolvidos ou subutilizados neste trabalho venham a ser mais bem explorados por nós ou por outros pesquisadores.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. Estudo Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo: IGUSP, vol. 16 (4), p. 325-349, 1986.

ALVES, G. B. **O estado atual dos sistemas pedológicos no município de Maracaí/SP**. Dissertação de Mestrado em Geografia - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

BARROS, O. N. F.. **Formação de horizontes pedológicos em solos sobre basalto (Londrina – PR – Brasil) e ação biológica no intemperismo**. Tese de Doutorado em Geografia Física - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BELLIENI G., COMIN-CHIARAMONTI P., MARQUES L.S., MELFI A..J., NARDY, A.J.R., PAPATRECHASC., PICCIRILLO E.M., ROISENBERG A., STOLFA D. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): mineralogical and petrochemical relationships. **J Petrol**. 27:915-944. 1986.

BOCQUIER, G. **Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad : interprétation biogeodynamique**. Paris : ORSTOM, 1973 350 P.

BOULET, R. **Uma evolução recente da pedologia e suas implicações no conhecimento da gênese do relevo**. Belo Horizonte: Anais do III Congresso da Abequa, 1992. p. 43-58.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X. ; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en Pédologie. I – Prise en compte de l’organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique : les études de toposéquences et leurs principaux apport à la connaissance des sols. **Cah. ORSTOM Série Pédologie**, vol. XIX, n° 4, p. 309-322, 1982 a.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X. ; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en Pédologie. II – Une méthode d’analyse prenant en compte l’organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cah. ORSTOM Série Pédologie**, vol. XIX, n° 4, p. 323-340, 1982 b.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en Pédologie. III – Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. **Cah. ORSTOM Série Pédologie**, vol. XIX, n° 4, p. 341-352, 1982 c.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; LUCAS, Y. Os sistemas de transformação em pedologia **Boletim de Geografia Teorética**, n° 20 (39), p. 45-63, 1990.

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

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. **Método de análise química, mineralógica e física de solo do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).

CASTRO, S. S. **Sistemas de transformação pedológica em Marília, SP: B latossólicos e B texturais**. Tese de Doutorado em Geografia Física - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989. 274p.

CASTRO, S. S. **Micromorfologia de solos: bases e aplicações em lâminas delgadas**. Minicurso ministrado no IV SINAGEO. São Luís, MA. 2002. Publicado em meio digital. http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/micromorfologia/Cursos/Micromorfologia%20e%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20em%20Geomorfologia_CASTRO,S.S2002/Micromorfologia%20e%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20em%20Geomorfologia.pdf Acesso em: 10/05/2013

CASTRO, S. S. **Micromorfologia de solos: bases para descrição de lâminas delgada**. Campinas/Goiânia: Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal de Goiás, 2008.

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.). **Legende pour la Carte Geomorphologique de la France au 1:50.000**. França: C.N.R.S, 1970.

CHAUVEL, A.; PÉDRO, G. Sur l'importance de l'extrême dessiccation des sols (ultra-dessiccation) dans l'évolution pédologique des zones tropicales à saisons contrastées. **C. R. Acad. Sc. Paris**. Paris, t.286, n.4, p. 1581-1584, 1978.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blücher, Editora da Universidade de São Paulo, 1974.

COLTRINARI, L. Z. D., COUTARD, J. P., NAKASHIMA, P. Itinerário de excursão ao Vale do Parateí. In : **FFLCH-USP, Colóquio interdisciplinar Franco-Brasileiro « Estudo e cartografia de formações superficiais e suas aplicações em regiões tropicais**. São Paulo, Guia de Excursões, n. 2 , p. 11-28, 1978.

COOPER, M. , VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, vol. 29, n.4, p. 581-595, 2005.

COUTARD, J. P. et al. **Carta do Modelado e das Formações Superficiais do Médio Vale do Parateí – SP: Memorial Explicativo**. São Paulo: Sedimentologia e Pedologia, IGEOG-USP, n. 9, p. 1-18, 1978. Escala 1 : 25.000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná** Londrina-PR. IAPAR, tomos I e II, 1984. 791 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. CNPS. 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa produção de informação, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Mapa de Solos do Estado do Paraná – legenda atualizada**. Rio de Janeiro: EMBRAPA FLORESTA; EMBRAPA SOLOS; IAPAR, 2008.

ESPÍNDOLA, C. A. **Pedogênese em áreas basálticas de reverso de cuevas no médio curso do Tietê**. Tese (Livre docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, SP, 1979.

ESPÍNDOLA, C. A. A Pedologia e a evolução das paisagens. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo: vol.31 (1/2), p. 67-92, 2010.

FERNANDES, A. J.; MALDANER, C. H.; AZEVEDO SOBRINHO, J. M.; PRESSINOTTI, M. M. N.; WAHNFRIED, I. Estratigrafia dos derrames de basalto da Formação Serra Geral

(Ribeirão Preto – SP) baseada na geologia física, petrografia e geoquímica. **Revista do Instituto de Geociências – USP, Série científica**. São Paulo: vol. 10, n.2, p. 73-99, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO).

Lecture notes on the major soils of the world. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, (World Soil Resource Report, 94). 2001. 337p.

FUMIYA, M. H. **Levantamento de uma topossequência na bacia do ribeirão Água do Sete em Marumbi - PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

GÔNGORA, I. B., NÓBREGA, M. T. Degradação de algumas propriedades de um Nitossolo Vermelho em função do tipo de uso na região de Maringá-PR. **Boletim de Geografia**. Maringá: UEM, vol. 20(2), p. 59-68, 2002.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha Ivatuba, SF-22-Y-D-IV-2**. São Paulo, IBGE, 1990. Escala 1:50.000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha Maringá, SF-22-Y-D-II-3**. São Paulo, IBGE, 1972. Escala 1:50.000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha Mandaguaçu, SF-22-Y-D-IV-2**. São Paulo, IBGE, 1990. Escala 1:50.000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha Bom Sucesso, SF-22-Y-D-IV-2**. São Paulo, IBGE, 1992. Escala 1:50.000.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw Hill Book Company, 1941.

KARACHEVSKY, L. O. Porosity of particulate elements in the soil of Karamchatka. **Soviet Soil Science**. vol. 3, p. 364-366, 1967.

LADEIRA, F. S. B.. **Estudo micromorfológico de um LATOSSOLO ROXO no município de Guaíra-SP**. Dissertação de Mestrado em Geografia Física - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

LEPSCH, I. F. Soil landscape relations in basaltic soils at Innisfail, North Queensland. **CSIRO Divisional Report**. Queensland, Austrália: CSIRO Division of Soils, n. 103, p. 1-39, 1989.

MARQUES, L. S., ERNESTO, M. *O Magmatismo toleítico da bacia do Paraná*. In: **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Beca, São Paulo, 2004.

MELFI, A. J. **Intemperismo de granitos e diabásios no município de Campinas e arredores, estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MELFI, A. J.; PÉDRO, G.. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo: IGUSP, vol. 7, p. 271-286, 1977.

MONIZ, A. C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1972.

NAKASHIMA, M. R. ; BARREIROS, A. M. ; UGATTIS, A. K. L ; NASCIMENTO, J. S. ; CORREA, M. G. G. **Análise de Zonas de Risco de Capacidade de Uso do Solo na Bacia do Ribeirão Miringuava, Distrito de Floriano, Maringá-PR**. Anais I do Simpósio sobre pequenas cidades e desenvolvimento local e XVII Semana da Geografia da Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2008.

PAIVA, R. G. ; NÓBREGA, M. T. Compartimentação da paisagem na bacia do ribeirão Pinguim, Estado do Paraná: subsídios para o zoneamento geoecológico. In: **XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2007, Natal. Natureza, Geotecnologias, Ética e Gestão do Território. Natal : UFRN, 2007. p. 602-614.

PÉDRO, G. ; CHAUVEL, A. ; MELFI, J. A. Recherches sur la constitution et la genèse des Terra Roxa Estruturada du Brésil: introduction a une étude de la pédogenèse ferralitique. Centre National de Recherches Agronomiques, INRA : **Annales Agronomiques** vol.27 (3), p. 265-294, 1976.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARINGÁ. **Levantamento aerofotogramétrico do município de Maringá, 1:8.000**. 1989.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARINGÁ. **Carta topográfica do município de Maringá, 1:10.000, Folha** 1995.

QUEIROZ NETO, J. P. Pedologia: Conceito, método e aplicações. São Paulo: **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: FFLCH, USP, n. 3, p. 95-101, 1984.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil. In: **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: A responsabilidade social da ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 415-429, 1988.

QUEIROZ NETO, J. P. O estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, v. 22 (1/2), p. 65-78, 2001.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: FFLCH, USP, n. 15, p. 77-90, 2002.

QUEIROZ NETO, J. P. Relações entre as vertentes e os solos: uma revisão. In: **Anais do VII SINAGEO**. Belo Horizonte: UFMG, 2008.

REIS NAKASHIMA, M. S. **Análise dos processos erosivos e da fragilidade ambiental na bacia do Rio Keller/PR**. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros** – 2ª. edição. Lavras: Editora da Universidade Federal de Lavras, 2011.

SANTOS, E. L., ORLANDI FILHO, V., ROISENBERG, A, *et. al.* Os escudos sul Rio-grandenses e Catarinenses e a Bacia do Paraná. In: **Geologia do Brasil**. DNMP, Brasília, 1984.

SOARES, P. C., FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas: 16(32) pág. 71-104, 1976.

STEVAUX, J. C. **O rio Paraná: geomorfogênese, sedimentologia e evolução quaternária de seu curso superior**. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

STEVAUX, J. C. *Climatic events during the late Pleistocene and Holocene in the Upper Parana River: correlation with NE Argentina and South-Central Brazil*. **Quaternary International**, vol. 72, issue 1, pp. 73-85, 2000.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos de Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, vol. IV, n.4, p. 145-192, 2005.