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

ANDRÉ MATEUS BARREIROS

**ESTUDO SOBRE A PEDOGÊNESE NA TRANSIÇÃO ARENITOS-BASALTOS NA
BACIA DO CÓRREGO GURUPÁ (FLORAÍ/PR)**

(Versão corrigida, o exemplar original se encontra disponível no Centro de Apoio à
Pesquisa Histórica (CAPH) da FFLCH/USP)

**São Paulo
2013**

ANDRÉ MATEUS BARREIROS

**ESTUDO SOBRE A PEDOGÊNESE NA TRANSIÇÃO ARENITOS-BASALTOS NA
BACIA DO CÓRREGO GURUPÁ (FLORAÍ/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 Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Déborah de Oliveira

(Versão corrigida, o exemplar original se encontra disponível no Centro de Apoio à Pesquisa Histórica (CAPH) da FFLCH/USP)

**São Paulo
2013**

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

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

Barreiros, André Mateus
BB2717 e Estudo sobre a pedogênese na transição arenitos-
basaltos na bacia do córrego Gurupá (Florai-PR) /
André Mateus Barreiros ; orientador Déborah de
Oliveira. - São Paulo, 2013.
131 f.

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

1. Gênese do Solo. 2. Geografia. 3. Florai (PR).
4. Horizontes do Solo. I. Oliveira, Déborah de ,
orient. II. Título.

TÍTULO: Estudo sobre a pedogênese na transição arenitos-basaltos na bacia do córrego Gurupá (Floraí/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 Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Déborah de Oliveira.

Aprovado em:

Banca examinadora

Titulares:

Profa. Dra. Déborah de Oliveira

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento:_____

Assinatura:_____

Prof. Dr. Paulo Nakashima

Instituição: Universidade Estadual de Maringá

Julgamento:_____

Assinatura:_____

Prof. Dr. Adilson Avansi de Abreu

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento:_____

Assinatura:_____

Suplentes:

Prof. Dr. Carlos Roberto Espindola

Instituição: Universidade Estadual de Campinas

Julgamento:_____

Assinatura:_____

Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento:_____

Assinatura:_____

Profa. Dra. Rosely Pacheco Dias Ferreira

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento:_____

Assinatura:_____

Dedico à família, à companheira e a todos os queridos professores e amigos envolvidos neste trabalho, afinal, esta pesquisa pertence a todos nós.

Agradecimentos

Agradeço,

A minha família, meus primeiros mestres, agradeço pelo auxílio e confiança desde sempre, amo todos vocês.

A Profa. Dra. Déborah de Oliveira pela atenção, auxílio, ideias e orientação ao longo desta história; pela força, literalmente, nas sondagens em Floraí.

Ao Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto, homem de grande coração e sabedoria (e sobranceiras também), mestre de inúmeras gerações que me deu atenção e auxílio em todas as etapas da pesquisa, sob suas sugestões constantes este trabalho se estruturou da forma como apresentamos.

Ao Prof. Dr. Paulo Nakashima, primeiro orientador e amigo querido, pessoa com quem tive a honra de aprender a arte dos estudos do solo; agradeço o auxílio nos trabalhos de campo e a orientação ao longo de toda minha formação.

Ao Marcelo Reis Nakashima, filho do mestre Paulo, amigo/irmão de alguma data a quem devo muita coisa (inclusive dinheiro, sempre!)... ele participou ativamente de todas as etapas do trabalho (gabinete, campo e laboratório), deu a ideia inicial que perseguimos ao longo da história desta pesquisa e me acolheu em sua residência quando necessitava, eventualmente, vir à cidade de São Paulo, muito obrigado velhinho.

Ao Msc. José Antonio de Andrade, sua esposa Rosângela e seus filhos pela hospedagem e imenso auxílio nos trabalhos de campo. Realmente palavras não poderão demonstrar meu agradecimento. Agradeço a toda equipe da EMATER (Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural) do município de Floraí, instituição que nos deu total apoio e suporte e, especialmente, local onde tomávamos um café a tarde durante as reuniões, muito obrigado a vocês.

A Profa. Dra. Sidineide Manfredini, pelo carinho, atenção e as sucessivas revisões da dissertação, sou grato por tudo, inclusive os almoços e jantares que foram sempre deliciosos.

Ao Msc. Marcos Roberto Pinheiro, querido técnico do Laboratório de Pedologia (LABOPED), pela intensa ajuda nas etapas laboratoriais da pesquisa e pelo enorme auxílio no mapeamento morfolitológico, você tem um coração enorme meu caro.

Ao Prof. Dr. Fernando Villela, querido amigo, pela revisão minuciosa da dissertação e sábios comentários ao longo do texto. A Profa. Dra. Myriam da Silveira Reis Nakashima, pelo

auxílio no mapeamento morfolitológico e levantamento de campo. A Profa. Dra. Rosely Pacheco Dias Ferreira, pelo auxílio na fundamentação teórica do trabalho de fotointerpretação.

A Dra. Juliana de Paula Silva, pela ajuda na elaboração dos mapas na escala 1:250.000 e pelos divertidos momentos na querida república Canarinho. Ao Rogério Fernandes de Oliveira Reis, amigo/irmão, pela força, literalmente, nos trabalhos de campo e pela hospitalidade em sua antiga residência em Maringá/PR. Ao Luiz da Silva, senhor que ajudou nos levantamentos de campo através de sondagens.

Aos queridos companheiros de colóquio, Prof. Queiroz, Marcos, Grace, Otávio, João, Marcelo e Fernando Villela, que contribuíram ativamente na evolução do trabalho, eles sempre buscaram apontar as pontas soltas da pesquisa e auxiliaram em diversas etapas dos estudos.

A Vaniza pelo empréstimo da câmera para tomada das fotografias das pranchas de micromorfologia. Ao Márcio pelas dicas e convivência longa, aprendi muito com você caro amigo.

Ao Pablo Nepomuceno, querido técnico do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Aerofotogeografia (LASERE), pelo auxílio com o estereoscópio. A Ana e todo pessoal da Copiadora Aquário, pelo grande auxílio na impressão e montagem da dissertação.

Aos professores da graduação, Profa. Dra. Maria Teresa, Prof. Dr. Hélio da Silveira, Profa. Msc. Margarida, Profa. Dra. Ângela e Profa. Dra. Maria Eugênia que me mostraram a estrada de tijolos amarelos da geografia. (a Profa. Dra. Maria Teresa agradeço, ainda, a minuciosa revisão das descrições micromorfológicas após a defesa desta dissertação)

Ao caro amigo/irmão Kengy, pela hospedagem e amizade neste período dentro da USP, pelo auxílio nas mais diversas coisas sou muito grato. A Karen, Lígia e Alarcon (pessoa que não conheço) pela hospedagem no Crusp, algo essencial para o término do trabalho.

Ao senhor Antonio Oswaldo Damico, proprietário da Chácara Califórnia, local onde foi realizada esta pesquisa. Sem sua bondade e confiança este trabalho seria impossível.

Aos laboratórios de Análises Químicas e Micromorfologia do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) pela confecção das lâminas delgadas de solo e análises químicas das amostras. Ao Instituto Ambiental do Paraná (IAP), escritório regional de Maringá/PR, pela disponibilização das fotografias aéreas utilizadas nesta pesquisa. A Susan, companheira querida, agradeço seu carinho, atenção e paciência ao longo de nossa história juntos... sempre ao meu lado, na alegria ou na tristeza, me dando forças para seguir em frente, eu te amo.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo fomento da pesquisa, através de uma bolsa de mestrado (MS), nº. do processo 2010/03397-0.

*O primeiro pecado da humanidade foi a
fé; a primeira virtude foi a dúvida.*

Carl E. Sagan

RESUMO

A presente pesquisa teve por objetivo demonstrar quais processos pedogenéticos ocorrem na gênese e evolução de solos no setor noroeste do Estado do Paraná, mais especificamente a evolução de horizontes B níticos sobre B latossólicos em uma área de basaltos inseridos na faixa de transição litológica arenitos-basaltos deste setor do estado. A área de estudos é a bacia hidrográfica do córrego Gurupá, no município de Florai/PR. Utilizamos técnicas e procedimentos de fotointerpretação para levantamento geológico com o objetivo de elucidar a distribuição do substrato, formas de relevo e solos associados, elaborando como produto final um Mapa Morfolitológico. Para a análise multiescalar da organização e dinâmica da cobertura pedológica utilizamos procedimentos propostos pela Análise Estrutural da Cobertura Pedológica. O sistema pedológico estudado apresenta um volume superficial arenoso e volumes subsuperficiais mais argilosos, com organizações em blocos poliédricos ou microagregados, bem distinguíveis em campo; a análise dos parâmetros físicos e químicos demonstrou uma diferenciação morfológica dos grãos de quartzo em profundidade e concentração heterogênea de elementos e óxidos nos perfis estudados. Com o auxílio de conceitos, técnicas e procedimentos da micromorfologia de solos, demonstramos que na área de estudos ocorre uma intensa dissolução geoquímica de grãos de quartzo, sob a forma de golfos de dissolução, separações plásmicas mais abundantes no contato entre os volumes arenoso e argiloso, com evolução em profundidade, e intensa acumulação de argila iluviada em subsuperfície, provocando reorganizações de núcleos microagregados em blocos poliédricos, com evolução ascendente. Em síntese, este sistema evolui em decorrência do transporte de matéria que promove reorganizações no interior da cobertura pedológica (processo de eluviação-iluviação), indicando que a área passa por um período de desequilíbrio pedobioclimático.

Palavras-chave: Transição Litológica, Pedogênese, Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, Florai/PR, horizontes B níticos e B latossólicos.

ABSTRACT

The goal of the present research is to show which pedogenetic processes take place in the genesis and evolution of soils in the northwest of the state of Paraná, aiming specifically on the formation of nitic horizons on top of latosolic horizons in a basaltic area, inserted in a lithological transition zone, between basalts and sandstones. The study area is the Gurupá Creek hydrographical basin, located in Floraí - PR. In this process, photointerpretation techniques and procedures were used for the geological survey, in order to elucidate the substratum's distribution, landforms and associated soils. The final cartographic product is a Morpholithological Map. The Structural Analysis of the Pedological Coverage supplied us with the procedures which allowed the multi-scalar analysis of the organization and dynamics of the soil coverage. The pedological system studied in this research presents a sandy superficial volume, and an increase in clay content in the subsuperficial volumes, organized in polyhedral blocks or microaggregated structure, clearly distinguishable during the field work; the analysis of the physical and chemical parameters revealed a morphological difference between the quartz grains in depth and heterogeneous concentration of elements and oxides in the studied profiles. With the support of different concepts, techniques and procedures of soil micromorphology, we demonstrated that an intense geochemical dissolution of the quartz grains is currently taking place, in the form of dissolution gulfs, abundant plasmic separations in the contact of the sandy and argilic volumes, with an evolution in depth and intense illuviated clay accumulation in the subsurface, causing the reorganization of the microaggregated structure in polyhedral blocks, with an ascending evolution. In synthesis, this system evolves through the transportation of matter, which promotes reorganizations within the pedological coverage (elluviation/illuviation), indicating that the area is going through a period of pedobioclimatic imbalance.

Key-words: Lithological transition, Pedogenesis, Structural Analysis of the Pedological Coverage, Floraí-PR, Nitic horizons, Latosolic horizons.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	14
LISTA DE TABELAS	16
LISTA DE GRÁFICOS	18
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO	19
1.1 Meio Físico e Pedogênese no Noroeste do Paraná	21
1.2 Revisão Bibliográfica	34
<i>1.2.1 Análise Estrutural da Cobertura Pedológica</i>	34
<i>1.2.2 Micromorfologia</i>	37
<i>1.2.3 Gênese de Horizontes B níticos e B latossólicos Associados</i>	38
<i>1.2.4 Fotointerpretação e Levantamento Geológico</i>	41
2. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS	43
2.1 Análise Estrutural da Cobertura Pedológica	44
2.2 Análises Morfológicas	46
<i>2.2.1 Análise Macromorfológica</i>	46
<i>2.2.2 Análise Mesomorfológica – Macrofotografias</i>	47
<i>2.2.3 Análise Micromorfológica</i>	48
2.3 Análises Físicas	49
<i>2.3.1 Análise Granulométrica</i>	49
<i>2.3.2 Argila Dispersa em Água</i>	51
<i>2.3.3 Morfoscopia da Fração Areia</i>	51
<i>2.3.4 Densidade do Solo, Porosidade Total, Macroporos e Microporos</i>	52
2.4 Análises Químicas	52
2.5 Elaboração das Cartas Temáticas na Escala 1:250.000 e 1:50.000	53
3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	56
3.1 Compartimentação Morfolitológica da Área	57

3.2 Pedotopossequência Chácara Califórnia	62
3.3 Trincheira – Transição entre Domínios	68
3.3.1 <i>Domínio Arenítico</i>	70
3.3.1.1 Macromorfologia e Mesomorfologia	70
3.3.1.2 Características Analíticas	73
3.3.1.3 Micromorfologia	80
3.3.1.4 Conclusões sobre o Domínio Arenítico	85
3.3.2 <i>Transição</i>	87
3.3.2.1 Características Analíticas	87
3.3.2.2 Micromorfologia	91
3.3.2.3 Conclusões sobre a Transição	95
3.3.3 <i>Domínio Basáltico</i>	96
3.3.3.1 Macromorfologia e Mesomorfologia	96
3.3.3.2 Características Analíticas	98
3.3.3.3 Micromorfologia	108
3.3.3.4 Conclusões sobre o Domínio Basáltico	111
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
5. REFERÊNCIAS	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização do município de Florai/PR.	22
Figura 2: Carta Geológica do Município de Florai/PR e Entorno.	23
Figura 3: Carta Hipsométrica do Município de Florai/PR e Entorno.	25
Figura 4: Carta Clinográfica do Município de Florai/PR e Entorno.	28
Figura 5: Mapa de Solos do Município de Florai/PR.	30
Figura 6: Carta de Uso da Terra do Município de Florai/PR e Entorno (1989-1990).	31
Figura 7: Mapa das Unidades de Paisagem do Município de Florai/PR.	33
Figura 8: Modelo de implantação de sondagens ao longo da vertente.	45
Figura 9: Carta Morfolitológica da Bacia do Córrego Gurupá e Entorno.	58
Figura 10: Carta Hipsométrica da Bacia do Córrego Gurupá e Entorno.	60
Figura 11: Carta Clinográfica da Bacia do Córrego Gurupá e Entorno.	61
Figura 12: Croqui da distribuição dos volumes pedológicos ao longo da topossequência.	63
Figura 13: Pedotoposequência Chácara Califórnia.	65
Figura 14: Fotografias de amostras recolhidas no domínio arenítico - a) volume A/E; b) Bt; c) Bw1; d) C1.	66
Figura 15: Fotografias de amostras recolhidas no domínio basáltico - a) volume A/E; b) Bni; c) C2.	67
Figura 17: Macrofotografia da estrutura do volume A/E.	70
Figura 18: Macrofotografia da estrutura do volume Bt.	71
Figura 19: Macrofotografia da estrutura do volume Bt/Bw1.	72
Figura 20: Macrofotografia da estrutura do volume Bw1.	73
Figura 21: Distribuição granulométrica em profundidade no domínio arenítico.	74
Figura 22: Densidade, total de poros, macroporos, microporos e proporção entre poros no domínio arenítico.	75
Figura 23: Prancha com croquis, fotos gerais e de detalhe das lâminas delgadas do domínio arenítico.	81
Figura 24: Distribuição granulométrica em profundidade na transição entre os domínios.	88
Figura 25: Prancha com croquis, fotos gerais e de detalhe das lâminas delgadas da transição.	92
Figura 26: Macrofotografia da estrutura do volume Bni.	97
Figura 27: Macrofotografia da estrutura do volume Bw2.	98

Figura 28: Distribuição da granulometria dos materiais no domínio basáltico.....	99
Figura 29: Densidade, total de poros, macroporos, microporos e proporção entre poros no domínio basáltico.....	100
Figura 30: Distribuição dos elementos químicos ao longo da trincheira.	106
Figura 31: Distribuição dos elementos químicos e relação K_i e K_r a partir de ataque de ácido sulfúrico.	107
Figura 32: Prancha com croquis, fotos gerais e de detalhe das lâminas delgadas do domínio basáltico.	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de partículas de solo por diâmetro.	50
Tabela 2: Aspectos, características e elementos analisados na etapa de foto-leitura.	55
Tabela 3: Fatores controladores das propriedades da textura e estrutura das fotos aéreas.	55
Tabela 4: Frações granulométricas nos volumes do domínio arenítico.	74
Tabela 5: Atividade da fração argila no domínio arenítico: Ta – atividade alta; Tb – atividade baixa.	76
Tabela 6: Síntese da morfologia e mineralogia dos grãos de areia no domínio arenítico.	77
Tabela 7: Resultados dos parâmetros químicos do domínio arenítico: pH em água (H ₂ O) e KCL, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), acidez potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação em bases (V) e saturação em alumínio (m).	78
Tabela 8: Resultados dos parâmetros químicos do domínio arenítico: óxidos de sílica (SiO ₂), alumínio (Al ₂ O ₃), ferro (Fe ₂ O ₃), titânio (TiO ₂) e manganês (MnO) e relações Ki e Kr.	79
Tabela 9: Frações granulométricas na transição entre os domínios.	87
Tabela 10: Atividade da fração argila na transição: Ta – atividade alta; Tb – atividade baixa.	89
Tabela 11: Síntese da morfologia e mineralogia dos grãos de areia na transição.	89
Tabela 12: Resultados dos parâmetros químicos na transição: pH em água (H ₂ O) e KCL, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), acidez potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação em bases (V) e saturação em alumínio (m).	90
Tabela 13: Resultados dos parâmetros químicos na transição: óxidos de sílica (SiO ₂), alumínio (Al ₂ O ₃), ferro (Fe ₂ O ₃), titânio (TiO ₂) e manganês (MnO) e relações Ki e Kr.	91
Tabela 14: Frações granulométricas nos volumes do domínio basáltico.	98
Tabela 15: Atividade da fração argila no domínio basáltico: Ta – atividade alta; Tb – atividade baixa.	101
Tabela 16: Síntese da morfologia e mineralogia dos grãos de areia no domínio basáltico. ...	102
Tabela 17: Resultados dos parâmetros químicos do domínio basáltico: pH em água (H ₂ O) e KCL, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), acidez potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação em bases (V) e saturação em alumínio (m).	103

Tabela 18: Resultados dos parâmetros químicos do domínio basáltico: óxidos de sílica (SiO₂), alumínio (Al₂O₃), ferro (Fe₂O₃), titânio (TiO₂) e manganês (MnO) e relações Ki e Kr.

..... 104

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Grau de floculação e dispersão da fração argila no domínio arenítico.	76
Gráfico 2: Grau de floculação e dispersão da fração argila na transição.....	88
Gráfico 3: Grau de floculação e dispersão da fração argila no domínio basáltico.	101

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas.

Carl E. Sagan

No setor noroeste do Estado do Paraná ocorrem litologias do período Mesozóico com origens e características distintas: as rochas do Grupo São Bento (Formação Serra Geral) são efusivas básicas de fissuras continentais; as do Grupo Bauru (Formação Caiuá) são arenitos finos à médios com estratificação cruzada, típicas de paleoambiente desértico. Nesta área de transição litológica, formam-se solos com aspectos e características semelhantes, porém, com propriedades distintas devido aos materiais de origem.

A espacialização dos diferentes tipos de solos originados nesta região foi observada ao longo de três anos, período que compreendeu parte do bacharelado em Geografia na Universidade Estadual de Maringá (UEM), pelo autor e companheiros de pesquisa. Ao longo deste período, foram realizados trabalhos de campo em áreas sobre domínio dos arenitos, basaltos e de transição (arenitos–basaltos), o que possibilitou perceber a repetição de sistemas pedológicos ao longo da paisagem.

Entre os sistemas observados, os da área de transição suscitou uma curiosidade maior na equipe, devido ao fato de que ao longo das vertentes ocorrem dois tipos de material de origem, resultando em solos díspares. Esta observação levou um dos membros (Marcelo Reis Nakashima) a levantar algumas questões de interesse para o grupo como um todo, das quais a principal é: a translocação de diferentes materiais no interior do sistema pedológico, pelo fluxo vertical e lateral da água e das soluções do solo, acarretaria em um processo pedogenético específico para a formação destes solos, de modo diferente do que ocorre em áreas que apresentam somente arenitos ou basaltos?

Neste contexto, foi observado que, dentro do domínio basáltico, os volumes B níticos aparecem sobrepostos aos volumes B latossólicos e no domínio arenoso ocorrem B texturais sobrepostos a B latossólicos.

A partir deste fato, a relação entre o material de origem e os processos pedogenéticos na evolução de solos no noroeste do Paraná é o cerne desta pesquisa: o objetivo do trabalho é compreender a gênese e evolução dos horizontes B níticos sobre B latossólicos, em uma área de basaltos inseridos no setor de transição litológica (arenitos-basaltos).

A área de estudos é a bacia hidrográfica do córrego Gurupá, no município de Florai/PR¹. Esta bacia foi escolhida, pois, contém todos os elementos de interesse para esta pesquisa: transição litológica e horizontes B níticos sobrepostos a B latossólicos. É importante

¹ Partes apresentadas ao longo desta dissertação foram publicadas, preliminarmente e com menor detalhamento, nos seguintes anais de eventos: Barreiros (2012a, b); Barreiros, Nakashima e Oliveira (2011); Barreiros e Oliveira (2011).

salientar que se trata de uma área de fácil acesso por via terrestre e que recebemos total apoio do Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), no que tange ao acesso as propriedades rurais e finalização da pesquisa.

1.1 Meio Físico e Pedogênese no Noroeste do Paraná

O município de Floraí localiza-se no setor noroeste do Estado do Paraná, região Sul do Brasil, e sua sede está nas coordenadas 23°19'00'' S e 52°17'0'' W (**Figura 1**). A área possui clima Subtropical Mesotérmico (Cfa), com verões quentes e chuvosos e temperatura média superior a 22°C, os invernos apresentam temperaturas médias inferiores a 18°C, não existindo estação seca definida (KÖPPEN, 1948); a precipitação média anual é de 1566,94mm anuais (ANDRADE, 2005), caracterizando a área como uma zona de alteração ferralítica (AFES, 2008).

Figura 1: Mapa de localização do município de Florai/PR.

As unidades litoestratigráficas presentes na região são compostas por formações do período Mesozóico, Serra Geral e Caiuá (**Figura 2**), pertencentes a Bacia Sedimentar do Paraná (MINEROPAR, 2006a).

Figura 2: Carta Geológica do Município de Florai/PR e Entorno.

A Formação Serra Geral é oriunda do extravasamento magmático que marca a abertura do Atlântico Sul e que deu origem a Província Magmática do Paraná: é composta por derrames basálticos, rochas vulcânicas intermediárias e ígneas intrusivas (*sills* e diques), todas de caráter toleítico, além de efusivas ácidas (MARQUES e ERNESTO, 2004).

Na área de estudos ocorrem basaltos toleíticos, com formação maciça ou amigdaloidal, afaníticos, cinzentos a pretos e, raramente, andesíticos (JUSTUS, 1985; MINEROPAR, 2006a). Sua constituição apresenta “[...] plagioclásios e augitas, além de olivinas e acessórios onde se incluem a magnetita, ilmenita e apatita disposta em corpos tabulares, recobertos por espesso manto de alteração.” (ZAPAROLI, 2009, p. 74).

A Formação Caiuá é uma cobertura arenosa suprabasáltica, que possui estratificação cruzada de grande porte, cor arroxeada (devido ao cimento argiloso) e textura média a fina, correspondendo a depósitos de paleoambiente desértico (eólico e aluvial) (MINEROPAR, *op. cit.*); ocorrem, também, areias com tom marrom-avermelhado, decorrentes da presença de óxidos de ferro (FERNANDES, 1992).

Alguns autores argumentam que esta formação possui duas fácies distintas:

Fácies Porto rico, inferior, é composto por arenitos finos com possantes estruturas cruzadas planares de alto ângulo de mergulho, características evidentes de deposição eólica.

Fácies Mamborê, superior é constituído por arenitos finos com estrutura plano-paralelas, cruzadas, de pequeno a médio porte e, ainda de corte e preenchimento, com evidências de sedimentação sob condições flúvio-lacustres. (JABUR e SANTOS, 1984, p. 91)

Segundo estes autores, a contemporaneidade destas fácies com os corpos intrusivos básicos, na região NNW do Paraná, justificaria sua inclusão como último evento sedimentar no Grupo São Bento.

Outros autores argumentam que a unidade Caiuá deve ser elevada à categoria de Grupo, devido a suas características estratigráficas, litológicas e distribuição geográfica (FERNANDES, 1992); este grupo estaria relacionado, exclusivamente, a um contexto deposicional eólico (MILANI, 2004).

Os arenitos desta formação, na área estudada, apresentam “[...] areia fina a média, com pouca matriz argilosa, de cor marrom-arroxeada a avermelhada. Constitui-se essencialmente de quartzo, feldspatos e calcedônia. Os grãos são em geral sub-arredondados a arredondados, foscos e encobertos por películas de óxido de ferro.” (ZAPAROLI, 2009, p. 74). Estes arenitos são encontrados em amplitudes altimétricas a partir de 400 ou 460m (**Figura 3**).

Figura 3: Carta Hipsométrica do Município de Florai/PR e Entorno.

A rede hidrográfica regional é constituída pelas bacias hidrográficas do Rio Ivaí e Rio Pirapó, pertencentes à grande Bacia Hidrográfica do Rio Paraná. São drenagens consequentes com afluentes subseqüentes, subordinadas às regiões monoclinais da Bacia Sedimentar do Paraná, e se dirigem para o Rio Paraná, nível de base regional; o padrão de drenagem é dendrítico retangular, denso e com vales encaixados (NAKASHIMA, 1999).

O Rio Pirapó, situado ao norte da área, segue direção sul-norte e suas cabeceiras “[...] situam-se nas proximidades da região de Apucarana, estando constituídas pelo basalto da Formação Serra Geral. Seu médio e baixo curso vinculam-se aos patamares e vertentes do arenito Caiuá. O assoalho do vale atinge novamente o basalto” (*ibidem*, p. 26).

O Rio Ivaí, situado ao sul, segue direção SE-NW e, após uma inflexão, ESSE – WNW. Na região do município de Paiçandu/PR seu substrato litológico é basáltico e em Peabirú/PR e Araruna/PR atravessa a zona de contato entre arenitos e basaltos (*ibidem*). Seus afluentes, subseqüentes, apresentam direção preferencial S-N, N-S e NE-SW, dentre eles o ribeirão da Esperança.

Este curso d’água configura-se como o nível de base local da área de estudos, a bacia hidrográfica do córrego Gurupá. Esta drenagem, de segunda ordem de grandeza, possui 3,04km de extensão e sentido SE-NW, percorrendo a região sobre os arenitos da Formação Caiuá e basaltos da Formação Serra Geral.

A área total desta bacia é de 4,057km², sendo que, aproximadamente, 3,596km² correspondem à cobertura arenítica (topos e terços superiores das vertentes) e 0,461km² aos basaltos, que ocorrem nos terços finais das vertentes e fundo de vale, próximo à confluência com o ribeirão da Esperança.

No que tange à Geomorfologia regional, Floraí insere-se na Unidade Morfoescultural Terceiro Planalto Paranaense, ou planalto do *Trapp* paranaense, com duas subunidades morfoesculturais neste setor: o Planalto de Campo Mourão, ao sul do município, e o Planalto de Umuarama, ao norte. Estas, por sua vez, fazem parte da grande Unidade Morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná (MINEROPAR, 2006b).

A subunidade Campo Mourão apresenta dissecação baixa, declividades predominantes menores que 6% e amplitude altimétrica de 340m (variando entre 260 e 600 metros); o modelado caracteriza-se por topos aplainados, vertentes retilíneas e côncavas na base e vales encaixados, onde aflora o substrato basáltico (MINEROPAR e UFPR, 2006).

A subunidade Umuarama apresenta dissecação média, declividades predominantes entre 6-12% e amplitude altimétrica de 320m (variando entre 280 e 600 metros); o modelado

caracteriza-se por topos alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em “V”, com domínio do arenito Caiuá (MINEROPAR e UFPR, 2006).

Na área de estudos, as declividades variam entre 6 a 20% nos topos e terços superiores e médios das vertentes; nos fundos de vale e terço inferior, área onde predominam as rochas básicas, ocorre um aumento da declividade, ultrapassando 30% (**Figura 4**).

Figura 4: Carta Clinográfica do Município de Florai/PR e Entorno.

A cobertura vegetal original da região era composta pela Floresta Estacional Semidecidual Submontana e Aluvial, com duas variações distintas condicionadas pelo substrato litológico: uma sobre o domínio arenoso, com formações vegetais de menor porte (20-30m de altura); outra sobre o domínio argiloso, com cobertura vegetal de maior porte (30-40m) (MAACK, 1968).

As diferenças no meio físico propiciam um mosaico de solos ao longo da paisagem, ocorrendo

[...] solos espessos nos interflúvios, nos espigões longos e aplainados e vertentes de baixa declividade. Nesses locais predominam os solos com horizonte B latossólico. Com o aumento da declividade das vertentes, passam a predominar os solos com horizonte B textural. Nas vertentes de declividades mais acentuadas, desenvolvem-se cambissolos e litólicos. (NAKASHIMA, 1999, p. 35)

Nakashima (1999) identificou e detalhou seis sistemas pedológicos na região, separados pelas características das vertentes (forma, comprimento e declividade), feições erosivas e sistemas de transformação pedológica. O município de Floraí insere-se na área do sistema número V, que apresenta a sequência de

[...] (Latossolo Vermelho Escuro, textura argilosa Podzólico Vermelho Amarelo (abrupto), textura média; Terra Roxa Estruturada, textura argilosa-Gley pouco húmico) aparece em todo setor leste da área, desde o rio Paranapanema, a nordeste até Peabiru a sudeste da carta; este sistema representa a área de contato, onde ocorre o sistema Latossolo Roxo-Terra Roxa Estruturada-Gley, em área de basalto. (*ibidem*, p 55)

Segundo o memorial descritivo do Mapa de Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA e IAPAR, 2008), nesta área os arenitos do Grupo Bauru (Formação Caiuá) originam coberturas arenosas, menos férteis e mais susceptíveis aos processos erosivos, apresentando LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos e Distroféricos típicos e ARGISSOLOS VERMELHOS Distróficos e Eutróficos típicos e abruptos. As rochas efusivas básicas (Formação Serra Geral) originam coberturas argilosas, mais férteis e estáveis, apresentando LATOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos e NITOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos (**Figura 5**).

Nakashima (1999) ao estudar e caracterizar este sistema pedológico argumenta que há um desequilíbrio pedobioclimático atual, com moderada transformação lateral, ou seja, os sistemas de transformação pedológica estão em um estado evolutivo intermediário entre os mais transformados (sistemas III e IV) e os menos modificados (I e II). Os resultados apresentados por Manosso (2006), Zaparoli (2009) e Zaparoli e Gaspareto (2010), em estudos realizados no município de Floraí, corroboram com esta argumentação.

Figura 5: Mapa de Solos do Município de Florai/PR.

Fonte: Reproduzido de Andrade (2005).

O uso da terra nesta área, nos moldes capitalistas de produção, teve início com a retirada da vegetação florestal no início do século XX (mais ou menos 1940), por empresas de colonização. O objetivo era a expansão de vastas plantações de café, nos férteis solos sobre basalto, e pastagens, sobre os solos do arenito (**Figura 6**). Este modelo agrícola, de lavouras permanentes ou anuais sobre o domínio argiloso e pastagem sobre o domínio arenoso, manteve-se até meados da década de 1990, quando as pastagens começaram a ser substituídas por cana-de-açúcar e cultivos permanentes (ANDRADE, 2005).

Figura 6: Carta de Uso da Terra do Município de Florai/PR e Entorno (1989-1990).

O uso da terra em Florai apresenta, para o ano de 2005, a seguinte distribuição: “[...] 64,5% com atividades de lavouras anuais, 9% lavouras permanentes, 15,7% de pastagens, 0,3% de área urbana, estando o restante da área (8,9%) ocupada pelas rodovias, estradas vicinais, infra-estrutura de propriedades e cursos d’água” (ANDRADE, 2005, p. 51).

Esta diversidade no quadro natural da região, associada a diferentes usos da terra, possibilitaram a Andrade (*op. cit.*) compartimentar o município de Florai em três unidades de paisagem (**Figura 7**), diferenciadas pelas condicionantes do meio físico (substrato, cobertura pedológica, formas do relevo, entre outras) sob as relações econômicas e sociais:

- Platô Elevado de Florai: setor nordeste do município, com ocorrência dos arenitos da Formação Caiuá e basaltos da Formação Serra Geral e uma morfologia complexa, com vertentes desdobradas em patamares com segmentos de baixa declividade (3 a 8%) e alta (8 a 20%); ocorrem LATOSSOLOS, ARGISSOLOS E NITOSSOLOS. Esta unidade é caracterizada por pequenas propriedades com mão de obra familiar, que estão sendo suprimidas por grandes proprietários, modificando o uso da terra para amplas áreas de monocultura, principalmente para o plantio de soja e milho.
- Platô Elevado de Nova Bilac: setor norte de Florai, com ocorrência de ambas as litologias e maior grau de dissecação da área (maior densidade de drenagem), com patamares de maior extensão ao longo das vertentes e morfologia, predominantemente, convexa nos topos e côncavo-convexo na base; ocorrem, de modo similar ao Platô Elevado de Florai, LATOSSOLOS, ARGISSOLOS e NITOSSOLOS, além de NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS. Em relação ao uso da terra, os setores dominados pelos arenitos estão sendo invadidos pelo cultivo de cana-de-açúcar e as baixas vertentes (ocorrência dos basaltos) são ocupadas pelo binômio soja/milho.
- Baixo Patamar da Genúncia: setor sudoeste do município, com domínio absoluto dos basaltos, onde ocorrem colinas amplas (2600m) com declividades suaves e cobertura pedológica constituída por LATOSSOLOS VERMELHOS e NITOSSOLOS VERMELHOS (há a ocorrência de NEOSSOLOS LITÓLICOS junto aos fundos de vale); o uso da terra é, quase predominantemente, de lavouras anuais (soja/milho) em grandes propriedades.

Figura 7: Mapa das Unidades de Paisagem do Município de Florai/PR.
Fonte: Reproduzido de Andrade (2005).

A área escolhida para esta pesquisa, bacia do córrego Gurupá, localiza-se na unidade do Platô Elevado de Florai, que corresponde a

[...] um setor do interflúvio entre os riberões Esperança e Paranhos, alinhado na direção NE-SW. No topo do interflúvio as altitudes variam geralmente entre 460 e 560m, chegando entre 340 e 380m nos fundos dos vales dos principais cursos d'água [...] domina como substrato geológico a Formação Caiuá registrando-se, contudo, a ocorrência do basalto da Formação Serra Geral nos setores de baixa vertente e fundos de vale. Essa composição e distribuição do substrato geológico aparece marcada tanto na morfologia das vertentes, acentuadas por rupturas nas zonas de contato arenito/basalto (entorno de 400m de altitude), quanto nos tipos de solos que ocorrem ao longo das vertentes [...] as vertentes voltadas para o Ribeirão Esperança (quadrante norte) apresentam um comprimento médio em torno de 2500 metros. Apresentam-se desdobradas em pequenos patamares em função do entalhe dos tributários de primeira e segunda ordem do ribeirão Esperança.

Na maior parte desse setor [...] está presente uma associação de solos caracterizada pela ocorrência do Latossolo Vermelho de textura média no topo e alta vertente, seguido do Argissolo Vermelho-amarelo de textura média nos segmentos de média alta até a baixa vertente, derivados do arenito Caiuá. Na baixa vertente aparecem os Nitossolos Vermelhos associados à ocorrência do basalto. (ANDRADE, p. 63)

Estas unidades de paisagem, como um todo, estão inseridas em uma larga faixa de transição entre duas áreas bem marcadas por suas características: áreas com predomínio absoluto dos basaltos da Formação Serra Geral ou dos arenitos da Formação Caiuá. Nesta faixa ocorrem transições entre unidades litológicas, morfológicas, florísticas e pedológicas de dimensão subregional (setor noroeste do Paraná).

A característica intrínseca de transição no município de Florai nos fez optar por procedimentos de trabalho que considerassem este fato. Utilizamos a abordagem da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica para a investigação da organização, funcionamento e dinâmica da cobertura pedológica, e em técnicas e procedimentos de fotointerpretação para elucidar a distribuição do substrato e cobertura associada.

1.2 Revisão Bibliográfica

1.2.1 Análise Estrutural da Cobertura Pedológica

O estudo do solo se estrutura como um ramo da Ciência, a Pedologia, a partir das observações de V. V. Doukuchaev, que demonstrou que este é um corpo natural, com organização e dinâmica diferenciadas. Seu estudo vertical, através de perfis de solos, demonstrava uma diferenciação de características que podiam ser separadas em horizontes, mais ou menos paralelos à superfície, indicando modificações morfológicas verticais (BOULET, 1992; QUEIROZ NETO, 2003).

Estas observações foram realizadas em diferentes localidades da Rússia, o que possibilitou ao pesquisador perceber que os aspectos dos horizontes mudavam em função da localização; Doukuchaev atribui estas diferenciações aos fatores do meio, como vegetação e substrato, mas, sobretudo, o clima, por ele considerado o principal fator de formação dos solos. (BOULET, *op. cit.*; LEPSCH, 2002). Através destas observações, Doukuchaev sistematiza uma Lei de Zonalidades Pedogenéticas (ESPINDOLA, 2008).

Parcos anos após a defesa de sua tese de doutoramento (1883), onde expôs suas constatações sobre a formação dos *Chernozem's*, as ideias de Doukuchaev se disseminam pelo mundo, principalmente após a Exposição Internacional de Paris, em 1889, e a Revolução

Russa de 1918 (que acarretou na expulsão de alguns discípulos e difusão dos conhecimentos pelo globo). Os trabalhos que se seguiram visavam, principalmente, a classificação dos solos de cada localidade e sua espacialização em mapas temáticos, que se prestariam, sobretudo, ao planejamento das atividades agrícolas (*ibidem*).

Estes trabalhos atentavam para a caracterização do perfil vertical de solo, sua tipificação e espacialização, algo que fica claro com os trabalhos do pedólogo inglês Milne (1935 e 1936). Este pesquisador, em trabalhos realizados no continente africano, estudou a distribuição vertical e lateral dos perfis de solo na paisagem, observando que estes apresentavam características diferentes ao longo da vertente acarretadas principalmente pela erosão (QUEIROZ NETO, 2002).

Esta percepção de diferentes tipos de solos ao longo das vertentes origina o conceito de catena, preconizando que os solos, estudados em perfis verticais isolados, estariam interligados geneticamente como “os elos de uma corrente”, onde um influenciaria o outro em uma sequência catenária. Estas sequências poderiam se repetir em outros territórios, o que possibilitaria o mapeamento de unidades que relacionam a topografia e a distribuição dos solos (BOULET *et. al.*, 1990; QUEIROZ NETO, 2002; ESPINDOLA, 2008).

Anos mais tarde, os trabalhos de Delvigne (1965), Bocquier (1973), Chauvel (1977) e Boulet (1978), entre outros, permitiram um avanço na compreensão das relações verticais e laterais dos solos, demonstrando que eles são um *continuum* espacial na paisagem, constituindo-se como uma cobertura. A tese de doutoramento de Boulet (1978) fechou os “elos da corrente” de Milne, pois demonstrou como ocorria a sucessão de solos ao longo da vertente (ESPINDOLA, 2008). Esta demonstração reafirma a declaração de Nikiforoff, que argumenta que todos os tipos de solos “[...] não seriam mais do que estágios temporários, estando eles em estado de equilíbrio dinâmico” (NIKIFOROFF, 1941 *apud*. ESPINDOLA, 2008, p. 71)².

A cobertura pedológica apresenta volumes pedológicos (horizontes) diferenciados em seu interior, com distribuição tridimensional na paisagem; os volumes possuem modificações verticais e laterais, demonstrando a descontinuidade progressiva de certas características (BOULET *et. al.*, 1990). Com estas observações, pesquisadores franceses propuseram um procedimento de trabalho para o estudo deste objeto (BOULET *et. al.*, 1982a, b, c).

Essa abordagem, a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, possibilita a correlação entre a distribuição dos volumes, as características de seus materiais e as organizações e

² NIKIFOROFF C. C. Fundamental formula of soil formation. **Amer. Jour. Sci.**, vol. 240, p. 847-66, 1942.

dinâmicas de suas estruturas, acarretando na compreensão de sua gênese e estágios de evolução, caracterizando uma quarta dimensão à cobertura: a dimensão histórica (ESPINDOLA, 2008).

A Análise Estrutural aborda a cobertura pedológica de modo multiescalar: são iniciadas as observações das organizações na paisagem, perpassam pelos sistemas pedológicos, horizontes e assembleias, chegando às organizações elementares de seus constituintes (PELLERIN e HELLUIN, 1988; RUELLAN *et. al.*, 1989; CASTRO, 2008). Com o aumento da escala de observação é possível demonstrar a relação dos fatores ambientais, processos pedogenéticos e mecanismos físico-químicos que configuram a cobertura pedológica, possibilitando estabelecer hipóteses de sua gênese e evolução a partir da organização atual de seus volumes pedológicos.

A bacia hidrográfica de primeira ordem é um universo importante para os estudos de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, pois

[...] pressupõe também níveis de organização (observáveis em diferentes escalas), desde o elemento químico, depois suas associações e combinações, formando constituintes progressivamente, como minerais de argila, seu conjunto plasma, suas relações com o esqueleto, seus arranjos estruturais, criando agregados elementares, incluindo poros e suas associações formando estruturas maiores, passando a horizontes ou volumes e suas associações por superposição, justaposição etc., até a arquitetura de uma cobertura pedológica completa. (CASTRO, 1989, p. 15)

Este procedimento demonstrou que a cobertura pedológica apresenta, em alguns casos, sistemas de transformação pedológica, na qual uma cobertura inicial transforma-se em outra muito diferente (BOULET, 1988). Tais sistemas seriam descontinuidades oblíquas na geometria dos volumes pedológicos, o que indica transformações estruturais entre eles, ou seja, o volume localizado à montante modifica-se devido às reorganizações morfológicas iniciadas no final da vertente (CASTRO, 1989; BOULET *et. al.*, 1990; VIDAL-TORRADO *et. al.*, 2005).

A Análise Estrutural é realizada através da

[...] reconstituição da organização vertical da cobertura pedológica segundo transectos geralmente orientados segundo a linha de maior declividade. 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 de mapa de curvas de isodiferenciação [...]. (BOULET, 1992, p. 44-45)

Em busca da análise espacial multiescalar das estruturas pedológicas, este procedimento preconiza o uso de inúmeras ferramentas, técnicas e análises, dentro das quais

destacamos o ramo da micromorfologia do solo, que possui como objetivo o estudo das micro-organizações pedológicas.

1.2.2 Micromorfologia

O estudo das microestruturas dos solos teve início com as observações de Lagatu e Dalage, no ano de 1904, que utilizaram técnicas petrográficas para descrição de lâminas de solos (PEDRO, 1987). Foi com a obra de Kubiena (1938) que os estudos de seções delgadas avançam nas pesquisas pedológicas. Vários autores, dentro e fora do Brasil, difundiram esta técnica de análise, dos quais destacamos Brewer (1964), FitzPatrick (1980), Bullock *et. al.* (1985), Castro (1989, 2008), Delvigne (1998), e Castro *et. al.* (2003).

O estudo de seções de lâminas delgadas, ou Micromorfologia, é uma técnica auxiliar importante dentro da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, que tem por objetivos: identificação e caracterização dos constituintes dos solos nas diferentes frações, os tipos de organização, hierarquia e cronologia das organizações entre os constituintes e a formulação de hipóteses e demonstrações da gênese e evolução dos solos a partir de observações na escala micrométrica ou nanométrica (CASTRO, 2008, p. 8).

Esta técnica contempla

[...] o estudo detalhado dos constituintes dos horizontes de solo e de suas relações, seu grau de preservação em face das adições ou perdas, contribuindo para importantes deduções a respeito dos processos pedológicos envolvidos, sejam eles naturais ou induzidos pelos usos e, ou, manejos. (CASTRO *et. al.*, 2003, p. 113-114)

A aplicação da Micromorfologia é de amplo espectro e abrange várias disciplinas do conhecimento científico (CASTRO, 2008):

- Pedologia: gênese, morfologia e classificação; comportamento e funcionamento (físico e geoquímico) do solo; uso, manejo e conservação; paleopedologia.
- Geomorfologia: processos de vertentes; depósitos correlativos; cronoestratigrafia.
- Geologia: relações entre rochas e suas alterações; depósitos supérgeos; geologia aplicada, geologia de engenharia ou geotecnia.
- Geografia Física: distribuição de solos relacionada a fatores de formação; biogeografia; paleogeografia; impactos do uso e ocupação.
- Pré-história e Arqueologia: detecção de fragmentos nos depósitos; cronologia e hierarquia de depósitos; relações entre depósitos e características paleoambientais. (p. 9)

Inúmeros foram os trabalhos que utilizaram esta técnica para estudos da dinâmica genética e evolutiva de solos em território brasileiro: Lucas (1989) estudou a gênese e evolução de coberturas arenosas em sistemas em desequilíbrio pedobioclimático na Amazônia; Castro (1989) demonstrou a modificação estrutural de B latossólicos e B texturais e a gênese de bandas onduladas no Planalto Ocidental Paulista; Filizola (1993) observou a evolução da cobertura pedológica e a gênese de depressões fechadas na bacia sedimentar de Taubaté/SP; Oliveira (1997) e Dias Ferreira (1997) estudaram a transformação lateral de Neossolos Quartzarênicos em Argissolos, devido à coalescência de bandas onduladas, em São Pedro/SP; Miklos (1995) observou a ação da fauna do solo na reorganização das estruturas de agregados em Botucatu/SP; Ladeira (1995) estudou a formação de solos e couraças ferruginosas em Guaira/SP; Cooper (1999) analisou as transformações estruturais de horizontes B latossólicos em B níticos em Piracicaba/SP; Zaparoli (2009) identificou os diferentes tipos de transformações pedológicas de uma topossequência em Florai/PR, entre outros.

Na publicação clássica para estudos micromorfológicos Bullock *et. al.* (1985) argumentam que a descrição e a interpretação das lâminas devem se manter as mais separadas possíveis, pois, isto possibilita uma interpretação dos processos pedogenéticos envolvidos na dinâmica genética e evolutiva dos solos de forma menos subjetiva, principalmente se apoiada em bases morfográficas de um sistema descritivo.

Os procedimentos preconizados na Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, juntamente com as possibilidades de análise da micromorfologia, foram utilizados na tentativa de demonstrar os processos envolvidos na gênese dos horizontes B níticos e B latossólicos associados.

1.2.3 Gênese de Horizontes B níticos e B latossólicos Associados

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS – EMBRAPA, 2006), os solos que apresentam volumes B níticos sobre B latossólicos são denominados NITOSSOLOS Latossólicos, que seriam “[...] solos intermediários para Latossolos, ou seja, com horizonte B latossólico abaixo do horizonte B nítico, dentro de 150cm da superfície” (p. 198), apresentando “[...] 350g/Kg ou mais de argila, inclusive no horizonte A, constituídos

por material mineral que apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A. O horizonte nítico apresenta argila de atividade baixa ou caráter alítico na maior parte do horizonte B, dentro de 150cm da superfície [...]” (p. 193).

Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), os NITOSSOLOS são tipicamente tropicais, profundos, bem drenados, vermelhos e com a transição entre horizontes difusa (FAO, 2006, p. 87). Três processos pedogenéticos são responsáveis pela gênese destes solos e horizontes B latossólicos associados:

1. ‘ferralitization’, i.e. intensive hydrolysis of weathering minerals combined with leaching of silica and bases, and relative accumulation of (meta) halloysite, kaolinite and sesquioxides. The process is the same as described for Ferralsols but it is still in an early stage.
2. ‘nitidization’, i.e. formation of strongly angular, shiny peds in the nitic subsurface horizon. Nitidization is probably the result of alternating micro-swelling and shrinking and produces well-defined structural elements with strong, shiny pressure faces.
3. ‘homogenization’ of the soil by termites, ants, worms and other soil fauna (‘biological pedoturbation’). This process is particularly prominent in the top 100-cm soil layer where it results in a crumb and/or subangular blocky soil structure and gradual or diffuse soil horizon boundaries. (FAO, 2001, p. 173)

O *Référentiel Pédologique*, da *Association Française pour L’étude Du Sol* (AFES), afirma que os NITOSSOLOS são observados em regiões de clima tropical ou subtropical com curta estação seca; a precipitação pluviométrica média anual está entre 1500 e 3500mm. Segundo a AFES

Les nitosols correspondent à une première étape de la pédogenèse «ferrallitique» en climat tropical et subtropical, d’âge plio-pléistocène (de 10000 ans à trois millions d’années au maximum), particulièrement par altération de roches volcaniques (riches en verres) ou de roches métamorphiques basiques. Ils évoluent ensuite, par transformation de l’halloysite en kaolinite et gibbsite, soit sur place dans le solum, soit latéralement en toposéquence. Cette transformation se fait par l’individualisation et la relocalisation des oxyhydroxydes de fer et des hydroxydes d’aluminium (concrétions, carapaces, cuirasses, etc.) ou par altération des argiles sous l’effet de phénomènes d’oxydoréduction et d’individualisation de la silice pouvant donner des indurations siliciques et pétrosiliciques. (AFES, 2008, p. 234)

Em conclusão sobre a pedogênese ferralítica na formação deste solo, autores argumentam que ela se divide em dois elementos principais:

- 1° La ferrallitisation constitue un processus *continu* dans le temps que semble résulter du développement de 2 sortes de phénomènes: l’un correspond à l’«altération ferrallitique» avec néoformation d’un matériau ferrokaolinique et l’autre à l’«évolution ferrallitique», qui se manifeste sous l’angle pédoplasmiq ue et qui aboutit in *fine* à l’individualisation d’un horizon oxide bien caractérisé (type Roterde de Kubiena).
- 2° Le développement complet d’un sol ferrallitique *typique* (c’est-à-dire présentant un horizon oxique) nécessite, non seulement la réalisation de processus fondamentaux, tels la disparition complète des minéraux primaires de la roche et l’individualisation d’un complexe d’altération essentiellement kaolinogibbsitique, mais *aussi* de phénomènes secondaires, comme la désaturation et la ferrisation du

complexe argileux d'une part et la cristallisation progressive des composés ferri-fères indépendants d'autre part. (PEDRO *et. al.*, 1976, p. 290)

Trabalhos realizados no Brasil investigaram a origem dos horizontes B níticos sobre B latossólicos, demonstrando que a diferenciação destes se dá pelo grau de desenvolvimento da estrutura e pela abundância e desenvolvimento de cerosidade (COOPER, 1999; COOPER e VIDAL-TORRADO, 2000 e 2005; COOPER *et. al.*, 2010). A gênese dos volumes B níticos estaria ligada a um processo de

[...] adensamento gradual no sentido vertical ascendente, propiciado principalmente pela coalescência de microagregados e pelo entupimento da porosidade por argila iluviada. Este adensamento vertical traduz-se numa mudança de estrutura e porosidade nesse mesmo sentido, transformando uma estrutura granular em uma estrutura em blocos subangulares. (COOPER e VIDAL-TORRADO, 2005, p. 593)

Este adensamento da estrutura intensifica o processo de expansão e contração provocado pelo umedecimento e ressecamento do solo, promovendo a reorientação do fundo matricial e reorganização da estrutura granular em blocos subangulares.

Considerando-se o processo inverso, onde há uma degradação do horizonte nítico e evolução de uma organização latossólica, ocorre através da

[...] degradation of the argillic horizon (Stoops, 1968; Bennema et al., 1970). In the typical case, the upper part of the argillic horizon loses most of the argillan. In general argillans are retained in some areas and fragments of argillans are incorporated in the s-matrix. Pedoturbation processes are largely responsible for the homogenization of the soil material; presence of pedo-, agro-, and biotubules in the upper part of the argillic horizon points to this. This physical degradation may be accompanied by mineralogical alteration (Chauvel, 1977). Weathering breaks up the alumino-silicate clays, the silica is leached away or many crystallize in the lower part of the soil (Eswaran, 1972). The alumina moves and forms coatings of gibbsite on void walls (Eswaran et al, 1977a). Other complex forms of gibbsite may result. Also, a concomitant build-up of Fe oxides masks the plasmic fabric that becomes isotic (Buol and Eswaran, 1977). (FEDOROFF e ESWARAN, 1985, p. 157)

Com o intuito de compreender a espacialização das diferentes litologias e sistemas pedológicos associados na área de estudos, utilizamos procedimentos e técnicas de fotointerpretação para levantamento geológico.

1.2.4 Fotointerpretação e Levantamento Geológico

Vários autores trataram das técnicas aerofotogramétricas e de interpretação de fotografias aéreas para diferentes áreas do conhecimento, dentre os quais podemos citar Ricci e Petri (1965), Ceron e Diniz (1966), Amaral e Audi (1972), Strandberg (1975), Coltrinari (1975, 2011), Soares e Fiori (1976), Dias Ferreira (1979), Cruz (1981), Anderson (1982) e Demattê (2008).

Os processos de fotogrametria e fotointerpretação envolvem uma série de etapas, variáveis de acordo com o autor, escala de análise, escala de mapas e fotos disponíveis e objeto/objetivo da pesquisa. Segundo Cruz (1981, p. 6), fotogrametria “[...] é definida por Avery (1977) como a ciência da obtenção de medidas de objetos por meio das fotografias aéreas, enquanto fotointerpretação é a identificação de objetos nas fotografias e determinação de sua significância”.

É válido ressaltar que a compreensão da geometria das fotos aéreas (informações a respeito da câmera utiliza, linha e altura do voo, entre outras) é imprescindível para a fotointerpretação, pois, as fotos apresentam inúmeras distorções geométricas oriundas de sua projeção (SOARES e FIORI, 1976).

Após os processos de fotogrametria e fotointerpretação, auxiliados por trabalhos de campo que servem para comprovar ou refutar hipóteses e informações levantadas na leitura das fotos, ocorre a elaboração de um mapa final, voltado para o objeto/objetivo da pesquisa; este mapeamento expressará “[...] a soma das atividades e o produto da sequência lógica em uma escala espacial-temporal” (CRUZ, 1981, p. 10). Os mapas fotointerpretativos aplicados ao levantamento geológico seguem este raciocínio: eles não são mapas geológicos, porém, apresentam uma sequência lógica de leitura e interpretação de aspectos e características das fotos, constituindo um documento-base, rico em informações geológicas interpretadas através de deduções e induções (SOARES e FIORI, *op. cit.*).

Dentre os autores que buscaram sistematizar a leitura e interpretação de fotos aéreas voltadas para esta temática, podemos citar Ricci e Petri (1965). Estes pesquisadores propõem chaves de interpretação, a partir de aspectos e características das fotos, visando deduções a respeito do substrato litológico.

Estas chaves interpretativas estão apoiadas nas diferentes tonalidades (variações no matiz de cinza) e texturas (variações nos agregados de feições unitárias) que a foto apresenta;

considera-se, ainda, a disposição das formas do relevo, modelado das vertentes e padrões da rede de drenagem.

Outros autores, como Soares e Fiori (1976), consideram que a criação de chaves de interpretação não seria a melhor alternativa para leitura e interpretação de fotos aéreas; eles argumentam que sua análise deve ser feita de forma sistemática, codificada e lógica. Para tais autores, o processo de fotointerpretação exige três etapas:

- fotoleitura: reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com os objetos correspondentes e sua repartição;
- foto-análise: estudo das relações entre as imagens, associação e ordenação das partes de imagens;
- fotointerpretação: estudo da imagem fotográfica visando à descoberta e avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos do significado, função e relação dos objetos correspondentes às imagens. (SOARES e FIORI, 1976, p. 72)

Este procedimento prioriza os aspectos e características relativos ao relevo e drenagem, que corresponderiam a objetos centrais para obtenção de informações geológicas; a vegetação, quando em seu estado primário, constituiria um critério auxiliar³.

³ Este procedimento, por considerarmos mais adequado para o objetivo da pesquisa, foi o adotado e detalhado ao longo do trabalho.

2. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS

Para esta pesquisa, utilizamos procedimentos e técnicas que possibilitaram caracterizar a organização e os constituintes do sistema pedológico analisado. Buscamos demonstrar quais arranjos, organizações e transições das macro e microestruturas dos volumes pedológicos, as frações granulométricas e constituintes químicos presentes.

Como principal procedimento de trabalho adotamos a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, preconizada por Boulet *et. al.* (1982a, b, c). Este procedimento direcionou os trabalhos de campo, o levantamento do sistema pedológico, as descrições morfológicas, a escolha de local para estudo de perfis de solo e a coleta de material para análises laboratoriais.

Para as descrições da organização das microestruturas pedológicas (micromorfologia), foram seguidos encaminhamentos contidos em Bullock *et. al.* (1985) e Castro (1989, 2008), com o objetivo de caracterizar, de forma multiescalar, os constituintes e suas organizações no interior da cobertura pedológica.

Visando a espacialização das feições do relevo e o substrato litológico associado na área, seguimos encaminhamentos contidos em Soares e Fiori (1976). Estes e outros procedimentos, além dos materiais utilizados, serão detalhados a seguir.

2.1 Análise Estrutural da Cobertura Pedológica

A Análise Estrutural é um procedimento operacional para estudo da Cobertura Pedológica que “[...] representa a preocupação dos Pedólogos em compreender a distribuição dos solos nas vertentes e nas paisagens, suas causas e fatores condicionantes, isto é, procura interpretar os fatores ambientais responsáveis por essa distribuição” (QUEIROZ NETO, 2002, p. 77).

Seu modo de operação foi sistematizado e publicado por René Boulet e colaboradores, que demonstraram que sua execução se faz nas seguintes etapas:

- caracterização da organização bidimensional da cobertura pedológica: estudo da distribuição espacial dos volumes pedológicos morfologicamente diferenciados, por meio de sondagens, ao longo da vertente através de uma topossequência; nesta etapa há observações a respeito dos aspectos e características que os diferenciam ao longo do sistema pedológico (BOULET *et. al.*, 1982a);

- caracterização morfológica detalhada, em trincheiras, dos diferentes volumes, com ênfase nas transições verticais e laterais, de forma a se estabelecer hipóteses sobre a gênese e funcionamento da cobertura pedológica. A partir da análise de características morfológicas como cor, textura, estrutura, feições pedológicas, da atividade biológica e condições de circulação da água, pode-se fazer inferências sobre o ambiente que condicionou a gênese de cada volume bem como da interação genética e funcional entre os diferentes volumes (BOULET *et. al.*, 1982a);
- estudo da tridimensionalidade da cobertura por um método analítico: estudo da distribuição espacial dos volumes pedológicos ao longo da paisagem através de pedotopossequências e transectos de controle; nesta etapa há a elaboração de um mapa com curvas de isodiferenciação, que delimitam o início e fim de cada volume (BOULET *et. al.*, 1982b);
- passagem da fase analítica à cartografia geral sintética: passagem de cartas em escala grande para pequena, por meio de estágios de agrupamento das informações sobre a cobertura pedológica. Nesta etapa há a caracterização de unidades elementares da mesma família de ordem morfológica, dinâmica e genética (BOULET *et. al.*, 1982c; BOULET, 1988).

Este procedimento foi aplicado no levantamento de um sistema pedológico na área de estudos; as sondagens foram distribuídas ao longo da vertente adaptando os preceitos de Boulet (1988) (**Figura 8**) e a topografia foi levantada através de procedimento preconizado por Marques *et. al.* (2000).

Figura 8: Modelo de implantação de sondagens ao longo da vertente.
Fonte: Reproduzido de Fontana (2009).

Para o levantamento topográfico da vertente foram utilizados materiais como: trena, metro, clinômetro e GPS. Para o levantamento da distribuição dos volumes ao longo da topossequência, foram utilizados: trado holandês, metro, imã⁴, tabela de cores *Munsell* (MUNSELL, 1975), lupa de bolso e água.

Visando facilitar a identificação dos volumes pedológicos descritos, procuramos sua correlação com os horizontes diagnósticos definidos pelo SiBCS (EMBRAPA, 2006).

2.2 Análises Morfológicas

A análise morfológica é a descrição de propriedades “[...] detectadas pelos sentidos da visão e do tato (manuseio) [...]” (SANTOS *et. al.*, 2005, p. 3). Este procedimento é realizado em campo, gabinete e laboratório, contribuindo para a descrição e caracterização dos constituintes do solo.

Visando a abordagem multiescalar das organizações e dos constituintes da cobertura pedológica, esta análise foi realizada em diversas escalas: macroscópica, mesoscópica e microscópica. Estes níveis de observação, bem como os materiais utilizados, serão descritos a seguir.

2.2.1 Análise Macromorfológica

As análises macromorfológicas foram realizadas durante o levantamento de campo, com o intuito de descrever os aspectos e características visíveis a olho nu dos volumes pedológicos encontrados na pedotoposequência e trincheira.

Nas descrições foram observados os seguintes parâmetros: cor, tipo de estrutura, grau de desenvolvimento da estrutura, tipo de porosidade, grau de abundância, ou ausência, de cerosidade, presença e estado de raízes, textura expedita, presença e distribuição de atividade

⁴ O imã foi utilizado para separar os materiais oriundos da alteração dos basaltos, que são magnéticos, dos oriundos do arenito.

biológica, plasticidade e pegajosidade dos materiais, estabilidade das estruturas e forma da transição entre os volumes.

Este procedimento contribui para: delimitação geométrica dos volumes, devido à separação de zonas com os mesmos aspectos e características, escolha de local para coleta de amostras para análises laboratoriais e parâmetro de averiguação dos valores de laboratório.

Para as descrições e coleta de amostras foram utilizados os seguintes materiais: metro, água, imã, faca, tabela de cores *Munsell* (MUNSELL, 1975), anéis volumétricos, batedouros, caderneta de anotações e sacos plásticos.

2.2.2 *Análise Mesomorfológica – Macrofotografias*⁵

As análises mesomorfológicas foram efetuadas em gabinete, com o intuito de descrever e caracterizar os constituintes do solo, seu arranjo espacial (estrutura) e a transição entre os diferentes volumes pedológicos estudados.

Esta análise foi realizada por meio do estudo dos agregados de solo via macrofotografias coloridas; o procedimento se deu da seguinte forma:

1. inicialmente montamos um pequeno estúdio fotográfico, com os seguintes elementos: fundo branco infinito (feito com papel sulfite), duas fontes de luz branca (uma na horizontal e outra na vertical), para evitar sombra na amostra, e uma câmera fotográfica digital, fixada em um tripé, mais um rebatedor de papel branco, para amenizar as sombras “duras” oriundas da iluminação direta;
2. ajustamos na câmera os atributos de abertura da objetiva, balanço de branco, tempo de exposição de forma fixa para todas as amostras;
3. posicionamos a amostra, sempre a mesma distância, em frente a câmera e tomamos a macrofotografia – as amostras eram agregados de solo, o mais preservada possível, coletadas em trabalhos de campo;
4. por fim, utilizamos programas de edição gráfica para recortar uma área da imagem e coloca-lá em um quadro explicativo.

⁵ A elaboração/execução deste procedimento, em seus pormenores, será sistematizada por Nakashima, M. R. e Barreiros, A. M., em trabalho a ser publicado no ano de 2013.

Nas descrições foram observados os seguintes itens: textura, tipo de estrutura, grau de desenvolvimento da estrutura, tipo de porosidade, grau de abundância, feições pedológicas e tipo/aspecto do material constituinte.

Para a coleta das amostras foram utilizados os seguintes materiais: faca, martelo pedológico, vanga e enxada; para a tomada das macrofotografias os materiais foram descritos anteriormente.

2.2.3 Análise Micromorfológica

A análise micromorfológica é realizada em laboratório e possui o intuito de descrever os aspectos, características e propriedades dos constituintes do solo em nível microscópico. Ela é dividida em três etapas:

1. coleta de amostras indeformadas: etapa realizada em campo, segundo parâmetros preconizados por Bullock *et. al.* (1985) e Castro (1989, 2008). Foram coletadas amostras em todos os volumes pedológicos e suas transições;
2. impregnação com resinas adequadas e confecção das lâminas delgadas: realizada no Laboratório de Micromorfologia do Solo, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), pertencente à Universidade de São Paulo (USP), com procedimento e materiais próprios;
3. descrição dos aspectos micromorfológicos: realizada no Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia, pertencente à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP; ocorreu através da análise das lâminas delgadas em microscópio óptico petrográfico, seguindo critérios e terminologia preconizados por Bullock *et. al.* (*op. cit.*) e Castro (*op. cit.*).

Nas descrições foram observados os atributos (cristalinidade, pedalidade e trama) e as unidades de organização (agregados, fundo matricial e feições pedológicas) das amostras.

Para coleta e armazenamento das amostras em campo, foram utilizados os seguintes materiais: faca, caixa de papelão, plástico “Bolha” e “PVC”, espuma e uma caixa de isopor; para a descrição das micro-organizações, em laboratório, foi utilizado um microscópio óptico petrográfico Carl Zeiss.

2.3 Análises Físicas

As análises físicas, realizadas em laboratório, possuem por objetivo a determinação da distribuição (%) das partículas primárias da fase sólida do solo (granulometria); para isto se faz necessário à coleta de material, desagregação mecânica, dispersão dos elementos floculados e/ou cimentantes e avaliação das proporções de partículas sedimentadas em meio aquoso (CAMARGO *et. al.*, 2009).

A quantificação dos diferentes constituintes possibilita compreender a distribuição da textura dos diferentes volumes pedológicos e inferir sobre a natureza mineralógica dos constituintes do solo.

Para as análises dos volumes foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, com o intuito de caracterizar: a granulometria e a argila dispersa em água (deformadas), porosidade total do solo, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo (indeformadas).

As amostras deformadas foram secas ao ar livre, destorroadas e passadas por uma peneira de 2mm de abertura, obtendo-se a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras indeformadas foram coletadas em cilindros de aço, com diâmetro e altura conhecidos, e secas ao ar.

2.3.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica seguiu procedimentos preconizados por Camargo *et. al.* (*op. cit.*), com adaptações para solos do noroeste do Paraná propostas por Gôngora e Nóbrega (2002). As classes de partículas analisadas encontram-se na **Tabela 1**.

Tabela 1: Classes de partículas de solo por diâmetro.

Fração	Diâmetro da Partícula (mm)
Areia Muito Grossa	2 – 1
Areia Grossa	1 – 0,500
Areia Média	0,500 – 0,250
Areia Fina	0,250 – 0,125
Areia Fina	0,125 – 0,063
Areia Muito Fina	0,063 – 0,053
Silte Grosso	0,053 – 0,020
Silte Fino	0,020 – 0,002
Argila	< 0,002

Fonte: Adaptado de Moniz (1972).

O procedimento ocorreu da seguinte forma:

1. inicialmente foram pesadas 20g de TFSA em beakers de 250ml, adicionando-se 20ml de solução dispersante (Sódio Hexametáfosfato 44,6g/L) e completando, o volume total de material, até 100ml com água destilada;
2. após repouso de 16 horas, no mínimo, as amostras foram transferidas para copos metálicos de agitadores mecânicos, onde acrescentamos 200ml de água destilada e agitamos mecanicamente por 10 minutos;
3. após a agitação, elas foram transferidas para provetas graduadas de 1000ml; os volumes nas provetas foram completados com água destilada até a marca de 1000ml, e uma amostra “em branco” (água e solução dispersante) foi preparada, para posterior mensuração da quantidade de solução dispersante; as amostras foram agitadas por um minuto e postas em repouso;
4. as amostras foram pipetadas seguindo intervalos de tempo preconizados pela Lei de Stokes (Camargo *et. al.*, 2009), para a coleta de silte + argila e argila; as quantidades de 10ml foram transferidas para recipientes (cápsulas de porcelana) com peso conhecido e levados à estufa, em temperatura de 105°C, por oito horas para evaporação da água;
5. as cápsulas com o material seco foram realocadas em dessecadores para esfriarem (sem absorver umidade) e pesadas em balança de precisão;
6. posteriormente, realizaram-se os cálculos para determinação de argila e silte fino; a quantidade de silte grosso é calculada pela diferença.
7. a quantidade de amostra restante nas provetas foi passada por um peneira de 0,053mm de abertura, ocorrendo a lavagem dos materiais finos; o material grosseiro (classe areia) foi alocado em beakers e secos em banho de areia;

8. após a secagem, houve sua separação em classes, através de peneiras de diferentes diâmetros de abertura (1, 0,500, 0,250, 0,125 e 0,063mm).
9. posteriormente, realizaram-se os cálculos para determinação das diferentes classes de areia.

2.3.2 Argila Dispersa em Água

O cálculo da quantidade de material da fração argila dispersa em água permite obter o grau de floculação, ou seja, “[...] quanto da fração argila se encontra floculada naturalmente” (CAMARGO *et. al.*, 2009, p. 53). Esta análise possibilita avaliar “[...] o teor de argila que pode ser mobilizado pela água” (MANOSSO, 2006, p. 62).

O procedimento ocorreu de modo idêntico ao cálculo de granulometria, porém, sem o uso da solução dispersante (Sódio Hexametáfosfato 44,6g/L). Ao final do processo foram calculados:

1. Grau de Floculação = $100 (\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}) / (\text{argila total})$;
2. Grau de Dispersão = $100 - \text{grau de floculação}$.

2.3.3 Morfoscopia da Fração Areia

A morfoscopia das partículas da fração areia “[...] compreende a medida da forma (ou esfericidade) e arredondamento das partículas sedimentares detríticas que fornecem informação sobre os agentes e/ou ambientes deposicionais” (SUGUIO, 2003, p. 64).

Esta análise é importante, pois traz informações “[...] relativas a uma filiação ou não da cobertura pedológica à rocha, o deslocamento das frações finas do solo (argilas e soluções) por lessivagem no perfil ou ao longo de uma vertente e suas relações com a circulação hídrica deduzida na topossequência.” (NAKASHIMA, 1999, p. 52).

Para esta análise foram observados 100 grãos da fração areia compreendidos entre 0,250 e 0,125mm de diâmetro (fração predominante), separados durante o processo de granulometria. A descrição dos aspectos e características dos grãos seguiram indicações

contidas em Krumbein (1941) e foram realizadas em lupa binocular (Carl Zeiss) com aumento de até 50x.

2.3.4 Densidade do Solo, Porosidade Total, Macroporos e Microporos

A densidade do solo é a relação massa de solo pelo volume total, inclusive a porosidade; por meio desta análise é possível obter informações a respeito de variações da porosidade total do solo (CAMARGO *et. al.*, 2009).

A porosidade total é “[...] o volume total de poros do solo ocupado por água e/ou ar e pode ser dividida em macroporosidade, poros com diâmetro maior que 0,05mm, e microporosidade, poros com diâmetro menor ou igual a 0,05mm.” (FONTANA, 2009, p. 39).

Estas informações são importantes, pois definem a disponibilidade de espaço para a armazenagem e circulação de água, responsável pelos processos de lixiviação e eluviação. O comportamento hidrodinâmico, definido pela geometria dos espaços vazios, também condicionará a renovação da atmosfera do solo, definindo o potencial *redox*.

O procedimento para obtenção destes valores seguiu indicações de Manfredini *et. al.* (1984) e Camargo *et. al.* (*op. cit.*).

2.4 Análises Químicas

Estas análises determinam o ambiente/elementos químicos que constituem os volumes no interior da cobertura pedológica, permitindo uma caracterização em termos de fertilidade, aptidão agrícola, levantamento/classificação de solos, entre outros (NAKASHIMA, 1999).

As análises foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas da ESALQ/USP, segundo os procedimentos contidos no manual da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999). Os parâmetros analisados foram: pH (H₂O), pH (KCl 1 mol L⁻¹), P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC, V%, m%, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, MnO e os cálculos Ki e Kr. A partir destes valores, podemos deduzir a atividade e tipos de argila presentes nos volumes estudados, segundo parâmetros da EMBRAPA (2006).

2.5 Elaboração das Cartas Temáticas na Escala 1:250.000 e 1:50.000

Os mapas, ou cartas, temáticos são a representação das propriedades conhecidas dos objetos e espacializam aspectos e características da paisagem; permitem fazer associações e deduções a respeito das interações entre os elementos do meio, fundamentando o conhecimento sobre a estrutura natural, social, econômica, entre outras, de uma região em diferentes escalas (MARTINELLI, 2003).

As cartas na escala 1:250.000 foram elaboradas com o objetivo de caracterizar regionalmente a geologia, hipsometria, clinografia e o uso da terra.

As cartas 1:50.000 tiveram o objetivo de caracterizar a amplitude altimétrica, as variações clinográficas do terreno, as feições do relevo e a litologia local. Foram elaboradas as seguintes cartas: Hipsométrica, Clinográfica e Morfolitológica.

Foram utilizados bancos de dados disponíveis nos seguintes órgãos/institutos:

- ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geociências): informações sobre a rede hidrográfica e geologia regional;
- IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social): uso da terra;
- TOPODATA/INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais): altitude e declividade;
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística): altitude e rede hidrográfica a partir da Carta Topográfica de São Jorge do Ivaí, Folha SF-22-Y-D-I-3;
- NASA: SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) - imagem de radar da área.

Para a compilação das informações, elaboração das cartas na escala 1:250.000, finalização gráfica e adequação dos elementos estéticos, foi utilizado o *software* ArcGIS 9.3.

Para a elaboração da carta Morfolitológica foram adaptados procedimentos e legendas da publicação R.C.P 77, do *Centre National de La Recherche Scientifique* (CNRS, 1970), e está organizada da seguinte forma:

1. rede de drenagem: está representada na cor azul, através de linhas contínuas (drenagem perene) ou tracejada (drenagem intermitente), classificadas segundo a ordem de grandeza proposta por Strahler (1952);
2. polígonos em tons de verde representam área dominada pelos basaltos da Formação Serra Geral e em amarelo, domínio dos arenitos da Formação Caiuá;

3. cornija: representada por linha dentada na cor marrom;
4. feições lineares do modelado: estão indicadas por linhas contínuas (rupturas convexas) ou tracejadas delimitando uma área com hachuras (rupturas côncavas associadas a várzeas) na cor verde;
5. tipos de fundo de vale: estão representados por símbolos na cor verde, sobre a rede de drenagem; os símbolos utilizados correspondem ao tipo de vale, por exemplo, vale encaixado “V”, vale dissimétrico “V”, vale em forma de berço “U” e de fundo plano “└┐”;
6. padrões de interflúvios e feições associadas: estão indicados por linhas tracejadas (interflúvio principal) ou tracejadas com pontos (interflúvios secundários) na cor preta; o símbolo “)” (“ foi utilizado para demarcar áreas rebaixadas nos interflúvios (colos);
7. ravina: símbolo na cor preta em forma de “pé de galinha”;
8. área urbana: está representada por um polígono hachurado na cor roxa.

As cores utilizadas na legenda foram escolhidas para diferenciar os aspectos e características lidos na foto aérea. Estas cores não possuem o intuito de caracterizar a gênese de dada forma, ou seja, não possui o caráter interpretativo, apenas o descritivo.

O procedimento que norteia o levantamento da litologia é o da fotointerpretação para levantamento geológico (SOARES e FIORI, 1976), que possui três etapas:

- **Fotoleitura**

Contempla a identificação dos elementos da imagem, e exige conhecimentos de fotogrametria e de informações a respeito do processo de obtenção da fotografia; tais informações são imprescindíveis para os passos seguintes.

- **Foto-análise**

Durante a foto-análise buscam-se as relações entre os elementos da imagem, onde se estabelece conceitos com relação aos objetos, permitindo compor: associações, formas, zonas homogêneas e tipos de limites entre zonas. Nesta etapa, alguns aspectos e características são amplamente explorados, como os apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2: Aspectos, características e elementos analisados na etapa de foto-leitura.

Aspectos e características	elementos observados na leitura das fotos	
Textura e estrutura da imagem		elemento textural, textura, estrutura e forma
Zonas homólogas e limites		zonas homólogas e tipos de limites
Rede de drenagem		densidade e textura da rede de drenagem, sinuosidade, angularidade, tropia, assimetrias, lineações e formas anômalas
Formas do relevo		rupturas de declive (convexas ou côncavas), densidade de textura de relevo, assimetrias de vertentes, lineações do relevo e tipos de segmentos de vertente

- **Fotointerpretação**

Nesta etapa é apresentada uma síntese lógica da leitura das fotos aéreas baseada em deduções, induções e comparações dos diferentes aspectos e características dos elementos lidos. Tais propriedades são controladas por fatores relativos à textura e estrutura da imagem (**Tabela 3**).

Tabela 3: Fatores controladores das propriedades da textura e estrutura das fotos aéreas.

Fatores	Relações com:
Morfogenéticos	clima, tectônica, nível de base, descarga de água e sedimentos e o tempo
Litológicos	resistência à erosão, permeabilidade dos materiais, plasticidade e ruptibilidade, solubilidade e tropia
Deformacionais	atitudes das camadas, fraturas, falhamentos e dobras

Estes procedimentos foram aplicados na restituição de fotos aéreas, para elaboração de *overlays*, pertencentes ao Projeto Paraná, faixa A-23 II, quadrícula SF-22-Y-D-I, fotos n. 09667, 09666, 09665, 09664, 04553, 04552, 04551 e 04550, na escala aproximada de 1:25.000, ano de 1980, executada por ESTEIO S.A. Estas fotos apresentam as seguintes características fotogramétricas: câmera Zeiss RMK-A, distância focal de 152,88mm, e altitude média do terreno de 400m.

Os materiais utilizados para a restituição e elaboração dos *overlays* foram: fotografias aéreas pancromáticas do ITCG (1980), estereoscópio de espelho e de bolso, papel *Ultrapham*, e lápis de cor; para a compilação das informações, vetorização dos *overlays*, finalização gráfica e adequação dos elementos estéticos, foi utilizado o *software* ArcGIS 9.3. Foram realizados trabalhos de campo para averiguações e correções dos mapas.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

*Só existem os átomos e o espaço vazio.
Tudo o mais é opinião*

Demócrito de Abdera

3.1 Compartimentação Morfolitológica da Área

Na **Figura 9** apresentamos o mapeamento morfolitológico da área, onde é possível observar duas drenagens principais, ribeirão da Esperança ao Norte e ribeirão Paranhos ao Sul, com sentido NE-SW e 3º e 2º ordem de grandeza. Estas drenagens estão separadas pelo interflúvio principal, com sentido W-E e algumas inflexões. Este interflúvio é estreito (125 a 250m de largura) e com zonas rebaixadas (colos) no setor NE do mapa, e no setor W torna-se amplo (500 a 600m) e suavemente convexizado.

As drenagens de 1º ou 2º ordem desembocam quase perpendicularmente nos rios principais e possuem sentido SE-NW. As drenagens intermitentes que neles chegam possuem sentido, grosso modo, SW-NE; os interflúvios secundários são estreitos e apresentam colos (setor N) ou amplos com suave convexização (setor S) e sua direção acompanha a rede de drenagem (SE-NW).

As rupturas convexas ocorrem por todos os setores do mapa, sendo mais abundantes no setor Norte, área mais dissecada pela rede de drenagem. Os segmentos de vertente entre as rupturas apresentam, preferencialmente, formas convexas ou retilíneas e próximo aos fundos de vale, em alguns casos, ocorrem perfis côncavos.

As drenagens intermitentes apresentam, obrigatoriamente, vales em forma de berço “U” e as drenagens perenes, de 1º e 2º ordem, apresentam vales encaixados, com vertentes simétricas ou dissimétricas. Os rios principais apresentam, em seus setores mais retilíneos, vale com fundo plano “[_]” e, em áreas mais sinuosas, vales em “V”.

No mapa observamos duas zonas de elementos texturais, separadas por um limite bem marcado (interflúvio principal): i) setor N e NE, que apresenta maior densidade de drenagem e textura de relevo, além de maior dissecção; ii) setor S e W, com menor densidade de drenagem e textura de relevo.

Figura 9: Carta Morfolitológica da Bacia do Córrego Gurupá e Entorno.

A partir destas informações dividimos a área em dois compartimentos morfolitológicos (**I** e **II** na **Figura 9**), os quais contêm litologias e solos diferentes, resultando em padrões de formas do relevo e drenagens distintos. As características de cada compartimento são as seguintes:

I. Longos interflúvios, topos de colinas e terços superior e médio das vertentes: área de dominância dos arenitos da Formação Caiuá associados a uma cobertura pedológica espessa, arenosa e muito friável; ocorrem a partir de 400 ou 460m de altitude (**Figura 10**). Em áreas dissecadas esses materiais ocorrem no terço superior das vertentes, enquanto nas zonas pouco dissecadas, se estendem ao longo de toda a rampa. O relevo é composto por amplos interflúvios com topos suaves limitados por rupturas que marcam a transição para vertentes levemente convexas, onde se estabelece uma rede de drenagem composta basicamente de canais intermitentes e de primeira ordem. Nos canais perenes a incisão linear é mais pronunciada e os vales associados às principais drenagens, ribeirão da Esperança e Paranhos, são de fundo plano com planícies fluviais restritas onde são encontrados barras arenosas e pequenos terraços.

II. Setor inferior das vertentes e fundos de vale: área dominada por basaltos da Formação Serra Geral associados a uma cobertura pedológica menos espessa, argilosa e pouco friável. O modelado é composto de vertentes mais íngremes, com declividades superiores a 20% (**Figura 11**) e segmentos retilíneos entremeados por rupturas convexas escalonadas, formando degraus na paisagem. Estas formas são limitadas pela principal ruptura convexa, que marca a passagem dos arenitos, presente no compartimento superior, para os basaltos. Esse padrão de forma se estende até, em alguns casos, às rupturas côncavas que marcam a passagem da vertente para vales de fundo plano. Estes apresentam banhados e depósitos arenosos, porém sua ocorrência é descontínua, uma vez que são sucessivamente interrompidos por zonas em que os vales se estreitam (vales em "V").

Figura 10: Carta Hipsométrica da Bacia do Córrego Gurupá e Entorno.

Figura 11: Carta Clinográfica da Bacia do Córrego Gurupá e Entorno.

Quando se observa a área como um todo, verifica-se que a rede de drenagem apresenta densidade de textura alta (dissecação elevada) nos setores N e NE e baixa nos setores S e W, sinuosidade de elementos mistos, angularidade alta (as drenagens de 1º ou 2º ordem desembocam quase perpendicularmente nos rios principais), tropia bidirecional, assimetria forte e formas anômalas em cotovelo.

Estes aspectos são coerentes com as características das formas do relevo, que apresentam uma densidade de textura baixa (fraca dissecação) nos setores S e W e alta nos setores N e NE, assimetria moderada e lineações e alinhamentos do relevo fortemente estruturados (as rupturas encontram-se escalonadas ao longo da vertente e os interflúvios estão alinhados com a rede de drenagem).

Devido à reduzida extensão da área, este quadro não possibilita estabelecer um panorama da estrutura geológica regional, porém sugerem um forte controle estrutural e tectônico no relevo da área: possivelmente as camadas apresentam estruturas sub-horizontais (mergulhos menores que 3º), pois, o relevo apresenta-se assimétrico e a rede de drenagem bidirecional (SE-NW e NE-SW), com confluências ortogonais dos canais fluviais e angularidade alta e elementos curvos e retilíneos, segundo preconizado por Soares e Fiori (1976).

Visando compreender os processos pedogenéticos que atuam na formação e evolução da cobertura pedológica ao longo desta faixa de transição litológica, realizamos o levantamento de uma topossequência de solos ao longo de uma vertente que apresenta ambos os compartimentos morfolitológicos identificados.

3.2 Pedotoposequência Chácara Califórnia

Para o estudo da distribuição geométrica dos volumes pedológicos no interior da cobertura pedológica, foram realizadas 14 sondagens a trado (S) distribuídas em intervalos regulares ao longo da vertente, visando a identificação do início e fim de um dado volume (topossequência de solos).

A pedotoposequência Chácara Califórnia localiza-se na margem direita do córrego Gurupá, na transição entre os compartimentos morfolitológicos supra identificados. Possui sentido E – W, 607,20m de extensão e uma amplitude altimétrica de 70m. Nos trabalhos de

campo iniciais, após poucas sondagens ao longo da vertente, esboçamos um “perfil ideal” da distribuição dos volumes e litologias correlacionadas (**Figura 12**).

Figura 12: Croqui da distribuição dos volumes pedológicos ao longo da topossequência.

Esta vertente é plana no topo, bem delimitada por uma ruptura convexa e suavemente convexa no terço superior e médio (6 a 12% de declividade). Neste setor dominam os arenitos da Formação Caiuá (domínio arenítico). A transição deste setor para o a jusante ocorre, a primeira vista, de forma progressiva em uma faixa de 5 a 9m (transição).

No terço final da vertente, após uma ruptura convexa no modelado bem marcada na paisagem, e fundo de vale, predominam os basaltos da Formação Serra Geral. O modelado deste setor altera-se para retilíneo, com suave ruptura côncava no final da vertente (domínio basáltico).

Foram identificados, ao longo do volume superficial, bolsões onde há um acúmulo maior de grãos de quartzo misturados a uma massa argilosa (?), indicando que, possivelmente, este material foi transportado e incorporado ao volume superficial deste setor da vertente.

Através das sondagens foi possível verificar uma grande quantidade de geodos e fragmentos de quartzo nas alterações do basalto em profundidade (letra C na figura), o que caracteriza este nível de derrame como amigdaloidal. O córrego Gurupá está encaixado no fundo de vale, correndo diretamente sobre a rocha, e as declividades em todo este setor (terço final) são maiores que 20%.

Em gabinete, ao esboçarmos a pedotoposequência nas devidas escalas elaboramos a **Figura 13**, que representa a distribuição bidimensional de uma fração da cobertura pedológica nesta bacia.

Os volumes neste sistema pedológico dividem-se da seguinte forma:

Domínio arenítico (Figura 14)

- volume superficial (A/E)⁶: este volume recobre a totalidade da vertente, sendo comum as duas litologias, e, em decorrência deste fato, apresenta características e aspectos heterogêneos, como textura arenosa e cor 5YR 4/4 (topo e terço superior e médio da rampa) variando para argilosa a argilo-arenosa e cor 2,5YR 3/4 (terço final da vertente, com significativo aporte de grãos de quartzo morfológicamente similares aos encontrados no topo – colúvio?); a estrutura é granular ao longo de toda sua extensão;
- B textural (Bt) com textura areno-argilosa a argilo-arenosa, cor 2,5YR 3/4, estrutura em blocos angulares e dois níveis internos de carvão que acompanham a morfologia deste volume;
- B latossólico (Bw1) com textura arenosa à areno-argilosa, cor 2,5YR 4/6 e estrutura microagregada – este volume apresenta uma subdivisão interna, referente à granulometria da fração areia, que se configura como uma descontinuidade na vertente;
- Alterita (C1) com textura silto-arenosa para siltosa e cores 2,5YR 3/6 (matriz), 10R 4/8 (manchas), 10R 5/8 (manchas) e uma cor roxa, não presente na tabela de cores Munsell (1975).

Figura 14: Fotografias de amostras recolhidas no domínio arenítico - a) volume A/E; b) Bt; c) Bw1; d) C1.

⁶ Mesmo considerando o volume superficial comum a toda vertente optamos, em decorrência das observações de campo, por alocar sua caracterização no “bloco” de resultados do domínio arenítico.

Domínio basáltico (Figura 15):

- B nítico (Bni) com textura argilosa, cor 2,5YR 3/6 e estrutura em blocos angulares;
- volume transicional (Bni/Bw2) com textura argilosa e cor 2,5YR 3/6;
- B latossólico (Bw2) com textura argilosa, cor 2,5YR 3/4 e estrutura microagregada;
- Alterita (C2) com textura argilo-siltosa e cores 2,5YR 3/4 a 3/6 (matriz), 7,5YR 3/4-7/8-6/6-6/8 (manchas) e 10R 5/8 (manchas);
- dois bolsões arenosos (1 e 2), com textura arenosa a areno-argilosa e cor 2,5YR 3/4 e 5YR 4/4.

Figura 15: Fotografias de amostras recolhidas no domínio basáltico - a) volume A/E; b) Bni; c) C2.

No domínio arenítico os volumes A/E e Bt acompanham a morfologia da vertente; o volume Bw1 apresenta uma subdivisão interna, com ocorrência de uma fração arenosa morfologicamente diferenciada em profundidade.

No domínio basáltico os volumes Bni, Bni/Bw2, 1 e 2 são concordantes com a morfologia da vertente, porém, são cortados pela elevação do nível do substrato (na sondagem 09 a alterita é encontrada a 5cm de profundidade, servindo como uma barreira subsuperficial no interior da paisagem, modificando, possivelmente, os fluxos de matéria na cobertura pedológica). O volume Bw2 ocorre isolado antes da elevação da alterita, apresentando uma descontinuidade oblíqua, passando lateralmente para o volume Bni.

Com as observações realizadas nas paredes da trincheira, foi possível separar um volume não diferenciado nas sondagens (Bt/Bw1). Posteriormente à separação dos volumes

realizamos a descrição dos aspectos e características de cada unidade, tais como cor, textura, estrutura, porosidade, entre outras.

3.3 Trincheira – Transição entre Domínios

A trincheira estudada (**Tr** na **Figura 13**) foi aberta no sentido E (montante) – W (jusante), seguindo a distribuição geométrica dos volumes, possui 250cm de largura por 200cm de profundidade e seis volumes distintos (**Figura 16**).

Figura 16: Croqui da distribuição dos volumes encontrados na transição.

Os volumes do domínio arenítico localizam-se no lado esquerdo da trincheira, formando um perfil bem marcado com as seguintes distribuições: horizonte superficial comum à toda trincheira (A/E), horizontes subsuperficiais bem marcados pelo tipo de estrutura (Bt e Bw1) e uma ampla faixa de transição (Bt/Bw1).

A transição para o domínio basáltico é composta pela justaposição de horizontes análogos (Bt e Bni) e pelo contato da faixa de transição Bt/Bw1 e os volumes Bni e Bw2. O domínio basáltico (setor direito) possui um perfil vertical composto pelo volume superficial comum e dois horizontes subsuperficiais bem distintos em campo: horizontes Bni e Bw2.

A distribuição geométrica destes volumes é um fato curioso: a faixa de transição Bt/Bw1 envolve o volume Bw1, o horizonte Bni avança a montante, cavalgando (?) o volume

Bt e o volume superficial é comum às duas litologias, dando indícios de uma possível remobilização deste material.

3.3.1 Domínio Arenítico

3.3.1.1 Macromorfologia e Mesomorfologia

O volume superficial (A/E) apresenta cor 5YR 4/3, estrutura granular, porosidade tubular (abundante) e entre-agregados, há presença de óxido de manganês, as raízes (2 a 6mm de diâmetro) e atividade biológica são abundantes, a textura é arenosa (areia grossa), não é plástico e pegajoso e apresenta-se estável ao ser mergulhado uma amostra em água.

A **Figura 17** é uma macrofotografia do volume A/E, onde podemos observar em detalhe a estrutura granular e a grande concentração de minerais de quartzo com brilho vítreo ou fosco.

Figura 17: Macrofotografia da estrutura do volume A/E.

A passagem do volume A/E para o Bt ocorre de forma progressiva, com interdigitações bem marcadas na zona de transição. O volume pedológico Bt apresenta cor 5YR 4/4⁷, estrutura poliédrica (angular forte), porosidade fissural e tubular (nos poros maiores há presença de material do volume superficial), as raízes são esparsas (2 a 4mm de diâmetro), há presença de cerosidade de forma abundante, a textura é argilo-arenosa (presença de areia muito fina), pouca plasticidade e pegajosidade, atividade biológica abundante, nódulos de carvão em dois níveis e é instável ao ser mergulhada em água.

Na **Figura 18** podemos observar: a diminuição do diâmetro das partículas na fração areia, um aspecto mais coeso, em comparação ao volume A/E, e uma porosidade tubular e fissural.

Figura 18: Macrofotografia da estrutura do volume Bt.

A passagem entre os volumes Bt e Bw1 ocorre de forma progressiva, em uma ampla faixa de transição, podendo ser delimitada em um volume próprio (Bt/Bw1).

Este volume possui coloração 2,5YR 3/4, apresenta estrutura poliédrica (subangular fraca) a microagregada (desfazendo-se à mais leve pressão dos dedos), porosidade fissural, inter-agregados e tubular, há presença de cerosidade entre as estruturas (fendas), as raízes são

⁷ Ao ser aberta a trincheira o volume Bt apresentava coloração 2,5YR 3/4, porém, com o caminhar do dia e a exposição da parede analisada ao sol, sua cor se alterou para 5YR 4/4, fato não averiguado nos demais volumes.

esparças ao longo do perfil (2 a 4mm de diâmetro), a textura é argilo-arenosa (presença de areia muito fina), atividade biológica é “média” (canais esparços no volume), caracteriza-se por ser pouco plástico e pegajoso e apresenta-se estável ao ser mergulhado em água.

Na **Figura 19** podemos observar um aumento da porosidade tubular e inter-agregados, as arestas são mais suaves (subangulares) e o agregado começa a apresentar um aspecto “esponjoso”, mais claro no volume Bw1.

Figura 19: Macrofotografia da estrutura do volume Bt/Bw1.

O último volume dentro do domínio arenítico é o Bw1, que apresenta coloração 2,5YR 4/6, estrutura poliédrica (angular fraca) a microagregada (desfazendo-se à mais leve pressão dos dedos), porosidade fissural, inter-agregados e tubular, as raízes são esparças ao longo do volume (2 a 4mm de diâmetro), a textura é arenosa (presença de areia muito fina), a atividade biológica é baixa (poucos vermes ao longo do volume), caracteriza-se por ser pouco plástico e pegajoso e apresenta-se instável ao ser mergulhado em água.

Na **Figura 20** observamos uma diminuição no tamanho das partículas, em relação ao volume superficial, e uma heterogeneidade dos minerais. O aspecto “esponjoso” iniciado no volume anterior se consolida, mesmo a estrutura sendo, inicialmente, poliédrica, passa a microagregada facilmente, e na fotografia a impressão que temos é que a estrutura já é microagregada.

Figura 20: Macrofotografia da estrutura do volume Bw1.

3.3.1.2 Características Analíticas⁸

A distribuição granulométrica deste perfil apresenta uma grande quantidade de partículas na fração areia no volume superficial e zona de transição para os volumes subsuperficiais (67 a 64%). Em profundidade ocorre um aumento da fração argilosa, atingindo um máximo de 42% no volume Bt/Bw1 (**Tabela 4**).

⁸ Neste item, ao longo das descrições em todos os setores da trincheira, marcamos com polígonos pretos e letras brancas os maiores valores encontrados; os polígonos cinza com letras pretas correspondem aos menores valores na trincheira. As setas indicam as direções preferenciais de aumento ou diminuição de concentração de um dado elemento analisado.

Tabela 4: Frações granulométricas nos volumes do domínio arenítico.

Amostra	Profundidade (cm)	Porcentagem de Material (%)			Relação Silte/Argila
		Areia	Silte	Argila	
A/E	0 – 13	67	17	16	1,06
A/E – Bt	13	64	18	18	1,00
Bt	13 – 76	49	13	39	0,33
Bt/Bw1	76 – 119	45	12	42	0,29
Bw1	119 – 200	51	12	38	0,32

A partir de 20cm de profundidade ocorre um aumento na fração argilosa frente à diminuição brusca da fração arenosa, até 100cm, marcando uma relação textural abrupta entre o volume superficial (A/E) e subsuperficial (Bt): relação B/A (gradiente textural) é de 2,43 (**Figura 21**). Esta informação, juntamente com as superfícies brilhantes observadas em campo (cerosidade), são um indicativo de um possível transporte descendente das partículas finas (argilas).

Figura 21: Distribuição granulométrica em profundidade no domínio arenítico.

Este súbito aumento na fração argilosa é acompanhada de um aumento da densidade e microporosidade dos volumes, demonstrando que há uma relação diretamente proporcional entre a quantidade de argila e a densidade/porosidade (**Figura 22**). A microporosidade é predominante, tanto no total quanto em proporção entre poros, atingido o ápice no volume Bt, mais denso, com 86,97% de microporos.

Figura 22: Densidade, total de poros, macroporos, microporos e proporção entre poros no domínio arenítico.

A fração argila possui alto grau de floculação, acima de 90%, aumentando paulatinamente em profundidade, atingindo seu máximo no volume Bw1, com 97,05% das partículas floculadas (maior valor entre todos os volumes) e apenas 2,95% dispersa (**Gráfico 1**).

Gráfico 1: Grau de floculação e dispersão da fração argila no domínio arenítico.

A partir do valor de Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e da quantidade total de argila, podemos calcular a atividade destas (**Tabela 5**)⁹. No volume superficial A/E ocorre uma atividade alta das argilas (28,12cmol Kg⁻¹), havendo paulatinamente uma diminuição em profundidade, atingindo um mínimo no volume Bw1 (12,73cmol Kg⁻¹).

Os valores do domínio arenoso são, ao mesmo tempo, os maiores (A/E) e menores (Bw1) de todos os volumes analisados na trincheira. O horizonte A/E é o que contém a menor quantidade de argila entre todos, porém, é o que apresenta a maior atividade, fato curioso, que pode decorrer de erros nas análises laboratoriais ou pela maior proporção de argilas dispersas (6,82%) e elementos químicos específicos.

Tabela 5: Atividade da fração argila no domínio arenítico: Ta – atividade alta; Tb – atividade baixa.

Volume	Profundidade (cm)	CTC (mmolc Kg ⁻¹)	Argila (g Kg ⁻¹)	Atividade da argila (cmol Kg ⁻¹)
A/E	0 – 13	45,0	160	28,12 (Ta)
A/E – Bt	13	47,4	180	26,33 (Tb)
Bt	13 – 76	53,1	390	13,61 (Tb)
Bt/Bw1	76 – 119	55,9	420	13,30 (Tb)
Bw1	119 – 200	48,4	380	12,73 (Tb)

Em relação à fração arenosa, há uma predominância das partículas entre 0,125 a 0,250mm de diâmetro (areia fina). No que tange a mineralogia destes grãos, são

⁹ Segundo parâmetros da EMBRAPA (1999).

predominantemente quartzos (acima de 90%) com pequenas quantidades de magnetita (inferior a 2%).

Estes quartzos são, preferencialmente, rugosos (89%), com brilho vítreo (99%) e subangulares picotados a subarredondados fraturados/picotados no volume superficial e transição (A/E e A/E – Bt). Em profundidade, há um aumento no número de grãos lisos (20%) e foscos (40%), o grau de arredondamento passa para subarredondado/arredondado a angular fraturado nos volumes Bt/Bw1 e Bw1 (**Tabela 6**).

Estas diferenças de grau de arredondamento e de brilho poderiam corresponder a possíveis processos distintos que atuaram no paleoambiente deposicional destes grãos: os quartzos angulares e brilhantes estariam associados a uma deposição flúvio-lacustre e os subarredondados e foscos a uma condição desértica.

Este material varia entre muito ferruginizado em superfície e, em profundidade, pouco a sem sinais, o que indica que há uma maior deposição de óxidos e hidróxidos de ferro no volume superficial (A/E); vários grãos possuem concavidades em forma de crateras, com pontos vermelhos em seu interior, um indicativo de uma possível dissolução geoquímica deste material e posterior impregnação por ferro.

Tabela 6: Síntese da morfologia e mineralogia dos grãos de areia no domínio arenítico.

Volume	Profundidade (cm)	Grau de Arredondamento * (%)									Textura Superficial (%)		Grau de Transparência (%)			Mineralogia (%)						
													Translúcido		Opaco							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Lisa	Rugosa	Brilho Vítreo	Fosco	Leitoso- Branco	Escuro	Quartzo	Mica	Feldspato	Magnetita	Biotita	Outros
A/E	0 – 13	11	0	34	12	14	21	4	3	1	11	89	99	0	0	1	99	0	0	1	0	0
A/E – Bt	13	14	4	15	8	26	32	1	0	0	12	88	92	6	0	2	98	0	0	2	0	0
Bt	13 – 76	29	6	17	4	24	10	8	1	1	14	86	96	1	1	2	98	0	0	2	0	0
Bt/B w1	76 – 119	11	3	14	7	14	26	16	7	2	16	84	76	16	6	2	98	0	0	2	0	0
Bw1 (arenito)	119 – 200	24	7	5	11	22	10	11	7	3	20	80	57	40	1	2	98	0	0	2	0	0

* O grau de arredondamento corresponde a: 1 e 2 – angular; 3 e 4 – subangular; 5 e 6 – subarredondado; 7 e 8 arredondado; 9 – muito arredondado.

Os resultados sobre o ambiente químico deste domínio demonstram uma heterogeneidade da distribuição de certos elementos e, em contra partida, o aumento progressivo de outros em profundidade (**Tabela 7**).

Tabela 7: Resultados dos parâmetros químicos do domínio arenítico: pH em água (H₂O) e KCL, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), acidez potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação em bases (V) e saturação em alumínio (m).

Volume	Profundidade (cm)	Análises											
		pH		P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	CTC	V	m
		(H ₂ O)	(KCL)	(mg Kg ⁻¹)	(mmolc Kg ⁻¹)							(%)	
A/E	0 – 13	6,0	5,1	1,0	0,5	31,0	6,0	< 1	7,0	38,1	45,0	85,0	0,0
A/E – Bt	13	5,8	5,1	1,0	0,8	34,0	7,0	< 1	6,0	41,3	47,4	87,0	0,0
Bt	13 – 76	6,1	5,1	1,0	0,3	42,0	7,0	< 1	< 5	48,7	53,1	92,0	0,0
Bt/Bw1	76 – 119	6,1	5,3	4,0	0,5	39,0	11,0	< 1	5,0	50,7	55,9	91,0	0,0
Bw1	119 – 200	6,0	5,3	3,0	0,7	33,0	10,0	< 1	5,0	43,2	48,4	89,0	0,0

Os valores de pH em água se mantêm homogêneos ao longo do perfil, ocorrendo um ligeiro aumento nos volumes Bt (6,1) e Bt/Bw1 (6,1); o pH em KCL aumenta progressivamente em profundidade, atingindo um máximo no volume Bt/Bw1 (5,3). A partir destes valores, podemos caracterizar este perfil como fracamente ácido.

Os elementos P e Mg e a SB e CTC aumentam de concentração em profundidade, atingindo o máximo sempre no volume Bt/Bw1, diminuindo posteriormente. Este volume contém os maiores valores de P e Mg dentre os analisados, e o volume superficial A/E possui os menores de Ca, Mg, SB, CTC e V para toda a trincheira.

Os valores de K apresentam uma distribuição irregular ao longo do perfil, com maior concentração na transição A/E – Bt e menor no volume Bt (valor mais baixo encontrado na trincheira). Os valores de Ca apresentam, igualmente, uma distribuição irregular; mas a maior concentração está no volume Bt.

A acidez potencial (H + Al) possui um pico máximo no volume superficial (A/E) e uma diminuição paulatina em profundidade, contrariando os outros elementos, que tendem a aumentar sua concentração até um dado limite (volume Bt/Bw1) e depois diminuem.

O valor V aumenta progressivamente em profundidade até o volume Bt (92%), sofrendo uma diminuição progressiva após este horizonte. A saturação em alumínio (valor m) é nula ao longo de todo perfil, um indício de que esta área passa por um processo de calagem, que como um dos objetivos anular a saturação por alumínio no solo.

Os valores sobre os óxidos e as relações Ki e Kr demonstram uma heterogeneidade da distribuição de alguns óxidos e o aumento progressivo de outros em profundidade (**Tabela 8**).

Tabela 8: Resultados dos parâmetros químicos do domínio arenítico: óxidos de sílica (SiO_2), alumínio (Al_2O_3), ferro (Fe_2O_3), titânio (TiO_2) e manganês (MnO) e relações Ki e Kr.

Volume	Profundidade (cm)	Análises						
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	Ki	Kr
		(%)					(adimensional)	
A/E	0 – 13	8,80	6,00	7,15	2,38	0,0746	2,49	1,41
A/E – Bt	13	9,60	7,20	8,01	2,43	0,0726	2,27	1,32
Bt	13 – 76	17,10	12,69	9,26	2,33	0,0452	2,29	1,56
Bt/Bw1	76 – 119	16,50	13,49	9,11	2,14	0,0316	2,08	1,45
Bw1	119 – 200	13,90	12,99	9,29	2,42	0,0355	1,82	1,25

Os valores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 no volume A/E são os menores para toda a trincheira, aumentando lentamente em profundidade, atingindo porcentagens máximas nos volumes Bt e Bt/Bw1. A partir dos valores de ferro, podemos caracterizar este perfil como mesoférico.

A concentração de TiO_2 apresenta uma distribuição irregular ao longo o perfil: o valor máximo encontra-se na transição A/E – Bt (2,43%) e o mínimo no volume Bt/Bw1 (2,14%, o valor mais baixo encontrado na trincheira). A concentração de MnO diminui em subsuperfície, com maior porcentagem no volume superficial A/E e a menor no volume Bt/Bw1 (para toda a trincheira); esta diminuição é inversa a de alguns óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3), indicando que, possivelmente, este valor elevado no horizonte superficial é oriundo de uma acumulação relativa.

A relação sílica-alumínio (valor Ki) sofre uma diminuição gradual em subsuperfície: o volume A/E contém o valor mais elevado entre todos os analisados (2,49) e o Bw1 o menor (1,82). A partir destes dados podemos inferir quais os tipos de argila presentes neste domínio: A/E possui associação de argilas 1:1 e 2:1, A/E – Bt, Bt e Bt/Bw1 possuem valores que inserem estes volumes e transição no domínio caulinítico, já o volume Bw1 está encaminhando-se para uma condição gibbsítica.

A relação sílica-alumínio-ferro (valor Kr) apresenta um aumento variável até o volume Bt (1,56), que contém o maior valor para a trincheira, e uma posterior diminuição até o Bw1 (1,25), com o menor valor entre todos (o que demonstra, segundo este valor, que predomina um domínio caulinítico neste perfil).

3.3.1.3 Micromorfologia

A seguir apresentaremos informações relacionadas às microestruturas pedológicas observadas no domínio arenítico, porém, de forma diferente dos demais resultados aqui discutidos. Até o momento analisamos e discutimos os aspectos e características morfológicas e a distribuição dos constituintes do perfil de forma descendente, buscando demonstrar a translocação dos materiais e a possível reorganização das estruturas pedológicas em profundidade.

Neste item apresentaremos os resultados das análises e sua discussão de forma ascendente (do volume mais subsuperficial para o superficial), onde buscaremos demonstrar a reorganização estrutural dos volumes pedológicos. As informações serão apresentadas de forma multiescalar seguindo a lógica interna do trabalho: iniciamos as discussões sobre as características e os constituintes dos agregados (*peds*), posteriormente, a constituição interna e o arranjo interno destes *peds*, ou seja, seu fundo matricial, versando sobre os tipos e distribuição dos poros, sobre aspectos do esqueleto e plasma associado e, por fim, sobre as feições pedológicas observadas nas lâminas delgadas.

Aspecto geral dos agregados (*peds*)

As lâminas do domínio arenítico apresentam componentes e características semelhantes: todas são compostas por grãos de quartzo, nódulos de Fe/Mn e argilas; possuem núcleos de separação plásmica próximo a fendas, poros e raízes (**Figura 23**). A partir do volume Bt/Bw1, em direção à superfície, começam a aparecer pequenos carvões e raízes (que aumentam de concentração, atingindo um máximo de raízes no volume superficial); os materiais são bem selecionados, com 5 a 10% de constituintes diferentes de quartzo, e as formas predominantes são equidimensionais (microagregadas, blocos e grumos).

Em inúmeros grãos do esqueleto (principalmente nos de quartzo) ocorrem golfos de dissolução (as crateras observadas na morfoscopia), o que demonstra um ataque geoquímico intenso neste material, com processo de *plasma infusion* em seu interior (processo que se dá pela penetração de plasma em fissuras, gerando assim a desintegração mecânica dos grãos pela expansão e contração do plasma).

Figura 23: Prancha com croquis, fotos gerais e de detalhe das lâminas delgadas do domínio arenítico.

Este quadro poderia explicar a razão do volume superficial apresentar argilas de atividade alta, mesmo possuindo a menor fração desta para toda a trincheira. A sílica dissolvida pode ser transportada, de forma vertical ou lateral pela água, havendo a possibilidade de reorganizações deste elemento, gerando assim neoformações de argila – o valor K_i no volume A/E é 2,49, o que o coloca na faixa de associação entre argilas 1:1 e 2:1.

Os volumes Bw1, Bt/Bw1, Bt e a transição A/E – Bt possuem zonas com diferentes tonalidades (denominadas “escura”, cor preta, ou “vermelha”), onde é possível observar uma mudança na relação/distribuição¹⁰ do esqueleto e plasma/poros. As zonas escuras destes volumes possuem uma relação/distribuição levemente heterogênea, com 20 a 40% de esqueleto e 60 a 80% de plasma/poros; os núcleos vermelhos são “homogêneos”, possuem 10% de esqueleto e 90% de plasma/poros.

O volume superficial A/E não possui zonas com diferentes tonalidades, apresentado uma cor “escura” em sua totalidade, um indício do acúmulo residual de manganês (a lâmina deste volume é a mais preta entre todas as analisadas). A relação/distribuição dos constituintes é: 30% de esqueleto e 70% de plasma/poros.

O desenvolvimento dos agregados nos volumes Bw1, Bt/Bw1, Bt e transição A/E – Bt é fraco nas zonas escuras e moderado nas zonas vermelhas, seu grau de acomodação está entre não acomodado à parcialmente em ambos locais; o volume superficial A/E possui agregados com moderado à forte desenvolvimento, não acomodados à parcialmente acomodados. A forma destes *peds* muda gradualmente de subsuperfície para superfície: os agregados estão subangulares a subarredondados no volume Bw1 (blocos pouco desenvolvidos) e atingem um máximo de angularidade no Bt (blocos coesos), reorganizando-se em grumos em superfície (formas arredondadas a subarredondadas).

A rugosidade superficial dos *peds* é ondulada no geral e crenulada em detalhe, seus limites são difusos a claros nos blocos mal desenvolvidos e nítido a claro nos blocos do volume Bt e grumos do volume superficial. No que tange à distribuição relativa neste perfil (posição de indivíduos semelhantes em relação a indivíduos diferentes), as zonas escuras possuem uma distribuição porfírica fechada, ou seja, inúmeros grãos do esqueleto estão cimentados pelo plasma; as zonas vermelhas possuem distribuição porfírica aberta, com menor porcentagem do esqueleto ligado ao plasma.

¹⁰ Todas as porcentagens de distribuição e averiguação de limites apresentados nas análises micromorfológicas foram inferidas, ou seja, não realizamos cálculos matemáticos para chegarmos a estes valores (CASTRO, 208, p 126).

Fundo matricial (poros, esqueleto e plasma)

A distribuição relativa no interior dos agregados ocorre de forma diferente da organização entre-agregados: as zonas mais escuras nos volumes Bw1, Bt/Bw1 e Bt possuem distribuição porfírica fechada e as zonas mais vermelhas porfírica aberta; a transição A/E – Bt possui distribuição porfírica aberta: os grãos do esqueleto localizam-se, em maior quantidade, no exterior dos *peds*. O volume superficial A/E possui distribuição enáulica, com núcleos onde a separação plásmica é mais intensa, reorganizando-se em uma distribuição com aspecto “escorrido”, onde os grãos do esqueleto estão ligados por pontes de plasma (possível reorganização para uma distribuição gefúrica?). (**Figura23**)

A porcentagem de poros ao longo do perfil é heterogênea, ela diminui de forma ascendente atingindo um mínimo no volume Bt, voltando a aumentar e chegando a um máximo no volume superficial (maior concentração no domínio arenítico). As zonas escuras possuem 30 a 40% de poros no volume Bw e 5 a 10% de poros no Bt (mais coeso), nas zonas vermelhas ocorrem 30% de poros. O volume superficial possui 30 a 40% de poros em sua totalidade.

No volume Bw predominam poros originados pelos processos pedológicos (pedoporos), com forma de câmaras, rachaduras e cavidades sem separações plásmicas (orto). A partir do volume Bt/Bw1 até o A/E há uma mescla entre pedoporos e poros de origem biológica (bioporos), ocorrendo canais, câmaras, fissuras planares, rachaduras (estas diminuem de quantidade em direção à superfície), câmaras, vesículas e cavidades orto e meta (com separações plásmicas); a partir do volume Bt percebemos que as fissuras estão, preferencialmente, orientadas na vertical ou de forma oblíqua.

O esqueleto é constituído de grãos de quartzo (que aumentam de diâmetro em direção à superfície) e nódulos de Fe/Mn (estes diminuem de concentração em direção ao volume superficial). A distribuição de base do esqueleto é, predominantemente, aleatória com poucas áreas que apresentam uma distribuição bandada, principalmente na terminação de raízes (fato explicado, possivelmente, pela ação mecânica do crescimento das raízes que “empurram” o fundo matricial ao crescerem); predominam distribuições não referidas, salvo em poucos casos onde ocorrem lineações do esqueleto entorno de poros (distribuição referida linear).

As áreas de separações plásmicas concentram-se, predominantemente, no entorno de paredes de fenda e poros e entorno de grãos; as feições de anisotropia do plasma (tramas birrefringentes) são, basicamente, poroestriadas, granoestriadas e crescentes nos volumes Bt e Bt/Bw1 e poroestriada e granoestriada nos demais volumes.

A organização funcional entre esqueleto e plasma é predominantemente de junção/cimentação (distribuição porfírica) nos volumes Bw1, Bt/Bw1, Bt e transição A/E – Bt, indicando que esta organização tem sua gênese ligada à litodependência, iluviação ou alteroplasmação. O volume superficial possui uma organização de disjunção (enáulica) a, possivelmente, junção/associação (gefúrica), marcada pelo aspecto “escorrido” da lâmina e pelas pontes e películas de plasma que ligam os grãos; estas organizações indicam processos de acumulação iluvial ou vestígios de plasma de antiga cimentação.

Feições pedológicas

Todas as lâminas possuem feições de depleção (separações plásmicas nas bordas de fendas e raízes), texturais (recobrimento de grãos do esqueleto por plasma) e amorfas típicas/puras (**Figura 23**) – o volume Bt/Bw1 possui um nódulo nucleico com estrutura porfírica preservada, composta por grãos de quartzo do esqueleto, única feição deste tipo observada em todas as lâminas. Os pedotúbulos estão preenchidos de forma solta contínua ou descontínua e de forma densa completa à incompleta ao longo de todo o perfil, com grãos do esqueleto e plasma em seu interior.

O volume Bw1 não apresenta feições de iluviação de plasma (cutãs) ao longo de toda a lâmina e, a partir do volume Bt/Bw1, iniciam-se feições de cutãs (típicos, crescentes e hipocutãs) que aumentam de concentração de forma ascendente chegando a um máximo no volume Bt (maior concentração destas feições em todos os volumes analisados); muitos destes cutãs apresentam uma microfissuração interna que secciona a morfologia destes depósitos, um indício de que este solo passa por esforços mecânicos ao longo de sua evolução (umedecimento e ressecamento?).

Em direção à superfície os cutãs diminuem de quantidade, passando a uma morfologia de capeamento, pendente e típico, indicando que este material está sendo transportado de forma descendente. Estes cutãs ocorrem, unicamente, nas zonas escuras da lâmina e são compostos de ferro e argila (ferri-argilãs – informação inferida a partir das cores dos cutãs), com orientação das partículas de argila difusa a ausente (extinções dos cutãs).

A partir das observações e descrições micromorfológicas, apoiadas nas características analíticas e, principalmente, nas descrições macromorfológicas de campo, podemos argumentar que o aumento gradual de argila em profundidade decorre do processo de eluviação-iluviação da argila, que se expressa na cerosidade observada em campo. Esta migração promove a coalescência dos agregados reorganizando suas estruturas

microagregadas (típicas de volumes B latossólicos) em blocos poliédricos. Em superfície a estrutura dos blocos poliédricos se reorganiza em agregados com aspecto de grumos.

3.3.1.4 Conclusões sobre o Domínio Arenítico

A partir dos resultados apresentados, podemos argumentar que este perfil, em sua totalidade, evolui dentro de um quadro de intensa pedogênese, que promove a dissolução dos grãos de quartzo (golfos de dissolução) e separações plásmicas abundantes no volume superficial.

Seu aspecto global não remete a um equilíbrio dinâmico, devido a translocação de matéria no interior do sistema pedológico, mas sim a um “equilíbrio geométrico”, pois, não ocorrem reorganizações pedológicas oblíquas nos interior dos volumes, mas sim frentes verticais de reorganizações bem marcadas:

1. o volume superficial e transição para o volume Bt estão passando por um processo de reorganização descendente, com intensa separação plásmica e reorganização da distribuição relativa se alterando de enáulica para, possivelmente, gefúrica, o que demonstra a destruição do plasma neste setor do perfil;
2. a segunda frente evolui de forma ascendente, a partir da acumulação de argila iluviada em profundidade (a partir do volume Bt/Bw1), que promove a colmatação dos poros e adensamento generalizado dos agregados;
3. a partir deste adensamento global é possível que o processo de expansão e retração dos agregados, provocado pelo umedecimento e ressecamento do perfil, intensifique a reorganização das estruturas pedológicas.

Este perfil possui uma evolução global em “equilíbrio geométrico”, pois, ao mesmo tempo em que a destruição do plasma avança em profundidade, as reorganizações promovidas pela iluviação da argila também avançam neste sentido, porém com reorganizações em direção ascendente, mantendo assim um equilíbrio na distribuição geométrica dos volumes.

Em decorrência do aumento de argila e diminuição da porosidade em profundidade, podemos inferir que, em função da intensidade das precipitações atmosféricas, poderão ocorrer acumulações de água no horizonte superficial que tenderiam a escoar lateral e

subsuperficialmente, intensificando os processos de lixiviação e lessivagem, e aumentando o potencial erosivo do perfil neste setor.

Esta hipótese eventualmente explicaria o fato de o volume A/E ser comum à vertente, em outros termos, este volume no domínio basáltico seria um colúvio (material alóctone) que, após atuação dos agentes pedogenéticos, organizou-se em um volume pedológico bem definido. (fazemos aqui um adendo sobre a uniformidade do volume superficial na vertente: outra hipótese é que esta camada esta *in situ*, ou seja, não foi remobilizada, constituindo-se um capeamento herdado do arenito Caiuá sobre o basalto, sendo destruída de forma descendente pelo ataque geoquímico dos materiais, vindo a desaparecer um dia por este motivo e não pela translocação física destes materiais)

De acordo com o SiBCS, podemos denominar este perfil como sendo de um ARGISSOLO VERMELHO Latossólico, ou seja, um perfil de transição entre LATOSSOLOS e ARGISSOLOS típicos.

3.3.2 Transição

A transição entre o domínio arenítico e o domínio basáltico ocorre de forma abrupta e oblíqua, não sendo possível observar, no nível macroscópico, interdigitações entre um lado e outro. Um fato que chama a atenção é a geometria do volume Bt/Bw1, que “envolve” o volume Bw1 e passa lateralmente ao horizonte latossólico do basalto (**Figura 16**).

3.3.2.1 Características Analíticas

As amostras coletadas nesta transição apresentam uma distribuição granulométrica similar à encontrada no domínio arenítico: possui, na média, 47% de constituintes na fração areia e 42% na argila (**Tabela 9**).

Tabela 9: Frações granulométricas na transição entre os domínios.

Volume Superficial e Transições	Profundidade (cm)	Porcentagem de Material (%)			Relação Silte/Argila
		Areia	Silte	Argila	
A/E	0 – 13	67	17	16	1,06
Bt – Bni	40	48	12	41	0,29
Bt/Bw1 – Bni	75	46	10	44	0,23
Bt/Bw1 – Bw2	160	48	10	42	0,24

Como observado nos valores anteriores, esta transição também apresenta uma relação textural abrupta entre o volume superficial (67% de areias) e transições subsuperficiais (46%). Analisando os valores de A/E e Bt – Bni, verifica-se uma relação B/A de 2,56, (**Figura 24**).

Figura 24: Distribuição granulométrica em profundidade na transição entre os domínios.

A fração argila encontra-se bastante floculada, acima de 90%, com aumento gradual em profundidade, atingindo seu máximo na transição Bt/Bw1 – Bw2, com 96,28% das partículas floculadas e apenas 2,95% dispersas (**Gráfico 2**).

Gráfico 2: Grau de floculação e dispersão da fração argila na transição.

A atividade destas argilas é baixa ao longo de toda a transição e sua distribuição é heterogênea em profundidade. A transição Bt/Bw1 contém o menor valor ($13,09 \text{ cmol Kg}^{-1}$) e Bt – Bni o maior, com $14,07 \text{ cmol Kg}^{-1}$ (**Tabela 10**).

Tabela 10: Atividade da fração argila na transição: Ta – atividade alta; Tb – atividade baixa.

Volume	Profundidade (cm)	CTC (mmolc Kg ⁻¹)	Argila (g Kg ⁻¹)	Atividade da argila (cmol Kg ⁻¹)
A/E	0 – 13	45,0	160	28,12 (Ta)
Bt – Bni	40	57,7	410	14,07 (Tb)
Bt/Bw1 – Bni	75	57,6	440	13,09 (Tb)
Bt/Bw1 – Bw2	160	57,0	420	13,57 (Tb)

Em relação à fração arenosa, há uma predominância das partículas entre 0,125 a 0,250mm de diâmetro (areia fina). No que tange à mineralogia, são predominantemente quartzos (acima de 90%) com pequenas quantidades de magnetita (inferior a 2%).

Na transição Bt – Bni estes quartzos são preferencialmente rugosos (79%), com brilho vítreo e fosco (48%), subarredondados a angulares fraturados. Em profundidade, há um aumento no número de grãos rugosos (82%) e foscos (59%), o grau de arredondamento se mantém igual (Bt/Bw1 – Bw2).

Este material está pouco ferruginizado ao longo de todo o perfil; vários grãos possuem as mesmas concavidades em forma de crateras, com pontos vermelhos em seu interior, encontradas no domínio arenítico (**Tabela 11**).

Tabela 11: Síntese da morfologia e mineralogia dos grãos de areia na transição.

Volume	Profundidade (cm)	Grau de Arredondamento* (%)									Textura Superficial (%)		Grau de Transparência (%)			Mineralogia (%)						
													Translúcido		Opaco							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Lisa	Rugosa	Brilho Vítreo	Fosco	Leitoso-Branco	Escuro	Quartzo	Mica	Feldspato	Magnetita	Biotita	Outros
A/E	0 – 13	11	0	34	12	14	21	4	3	1	11	89	99	0	0	1	99	0	0	1	0	0
Bt – Bni												79	48	48								
	40	17	7	13	7	28	18	8	1	1	21	↓			3	1	99	0	0	1	0	0
Bt/Bw1 – Bni																						
	75	15	7	12	8	29	16	10	3	0	23	77	41	56	2	1	99	0	0	1	0	0
Bt/Bw1 – Bw2																						
	160	14	12	16	5	22	19	7	4	1	18	82	40	59	1	0	100	0	0	0	0	0

* O grau de arredondamento corresponde a: 1 e 2 – angular; 3 e 4 – subangular; 5 e 6 – subarredondado; 7 e 8 arredondado; 9 – muito arredondado.

Os resultado sobre o ambiente químico desta transição demonstram uma heterogeneidade da distribuição de certos elementos e o aumento progressivo de outros em profundidade (**Tabela 12**).

Tabela 12: Resultados dos parâmetros químicos na transição: pH em água (H₂O) e KCL, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), acidez potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação em bases (V) e saturação em alumínio (m).

Volume	Profundidade (cm)	Análises											
		pH		P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	CTC	V	m
		(H ₂ O)	(KCL)	(mg Kg ⁻¹)	(mmolc Kg ⁻¹)							(%)	
A/E	0 – 13	6,0	5,1	1,0	0,5	31,0	6,0	< 1	7,0	38,1	45,0	85,0	0,0
Bt – Bni	40	6,0	5,0	1,0	0,9	45,0	8,0	< 1	< 5	53,4	57,7	93,0	0,0
Bt/Bw1 – Bni	75	6,1	5,3	3,0	0,4	43,0	9,0	< 1	5,0	52,4	57,6	91,0	0,0
Bt/Bw1 – Bw2	160	6,3	5,5	3,0	0,7	42,0	10,0	< 1	5,0	51,8	57,0	91,0	0,0

Os valores de pH em água e em KCL apresentam um aumento gradual em profundidade, chegando a valores máximos na transição Bt/Bw1 – Bw2 (6,3 e 5,5 respectivamente), com as maiores concentrações para toda a trincheira. O volume superficial A/E contém as menores concentrações da transição (6,0 e 5,1). A partir destes valores, podemos caracterizar esta transição como fracamente ácida.

As concentrações de P e Mg aumentam gradativamente em profundidade, atingindo valores máximos na transição Bt/Bw1 – Bw2 (3mg Kg⁻¹ e 10mmolc Kg⁻¹, respectivamente). A acidez potencial (H + Al) diminui bruscamente após o volume superficial A/E (7mmolc Kg⁻¹) e volta a subir em profundidade, atingindo valor máximo de 5mmolc Kg⁻¹.

Os valores de Ca, SB, CTC e V diminuem paulatinamente em profundidade, ocorrendo valores máximos na transição Bt – Bni e mínimos em Bt/Bw1 – Bw2. A concentração de V na transição Bt – Bni (93%) é a maior encontrada em toda a trincheira.

Os valores de K apresentam uma distribuição irregular ao longo do perfil, com maior concentração na transição Bt – Bni (0,9mmolc Kg⁻¹) e menor em Bt/Bw1 – Bni (0,4mmolc Kg⁻¹). A saturação em alumínio (valor m) é nula ao longo de toda transição.

Os valores sobre os óxidos e as relações Ki e Kr demonstram uma total heterogeneidade de distribuição ao longo da transição (**Tabela 13**).

Tabela 13: Resultados dos parâmetros químicos na transição: óxidos de sílica (SiO_2), alumínio (Al_2O_3), ferro (Fe_2O_3), titânio (TiO_2) e manganês (MnO) e relações Ki e Kr.

Volume	Profundidade (cm)	Análises						
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	Ki	Kr
		(%)					(adimensional)	
A/E	0 – 13	8,80	6,00	7,15	2,38	0,0746	2,49	1,41
Bt – Bni	40	15,00	13,09	8,97	2,50	0,0423	1,95	1,35
Bt/Bw1 – Bni	75	14,80	13,59	9,72	2,45	0,0326	1,85	1,27
Bt/Bw1 – Bw2	160	16,10	12,99	9,47	2,46	0,0323	2,11	1,44

As concentrações de Al_2O_3 e Fe_2O_3 (maiores concentrações na trincheira) possuem seu máximo na transição Bt/Bw1 – Bni e mínimo em Bt/Bw1 – Bw2 e Bt – Bni, respectivamente. Os valores de SiO_2 são heterogêneos ao longo da transição, seu máximo encontra-se em Bt/Bw1 – Bw2 e mínimo em Bt/Bw1 – Bni. A partir dos valores de ferro, podemos caracterizar este perfil como mesoférrico.

A transição Bt – Bni contém as maiores concentrações de TiO_2 (2,50%) para toda trincheira e os valores de MnO são os únicos que apresentam um sentido preferencial: sua concentração diminui em profundidade a partir do volume A/E (0,0746%, maior valor de todos) até a transição Bt/Bw1 – Bw2 (0,0323%) - porque se trata de uma acumulação relativa. As relações Ki e Kr possuem distribuição irregular em profundidade, atingindo valores máximos na transição Bt/Bw1 – Bw2 e mínimos em Bt/Bw1 – Bni.

3.3.2.2 Micromorfologia

Aspecto geral dos agregados (*peds*)

As lâminas da transição apresentam componentes e características semelhantes: todas são compostas por grãos de quartzo, nódulos de Fe/Mn e argilas; possuem núcleos de separação plásmica próximo a fendas, poros e raízes (**Figura 25**). A partir da transição Bt/Bw1 – Bni começam a aparecer pequenas quantidades de carvão e a transição Bt/Bw1 – Bw2 possui menos raízes que os demais. Os materiais são bem selecionados, com 5 a 10% de constituintes diferentes de quartzo, e as formas predominantes são relativamente equidimensionais (microagregados e blocos).

Figura 25: Prancha com croquis, fotos gerais e de detalhe das lâminas delgadas da transição.

Em inúmeros grãos do esqueleto (principalmente nos de quartzo) ocorrem golfos de dissolução, o que demonstra um ataque geoquímico neste material, com processo de *plasma infusion* em seu interior.

Todas as transições possuem as mesmas zonas com diferentes tonalidades (“escura” ou “vermelha”), onde é possível observar uma mudança na relação/distribuição do esqueleto e plasma/poros. As zonas escuras destas transições possuem uma relação/distribuição levemente heterogênea, com 20 a 30% de esqueleto e 70 a 80% de plasma/poros; os núcleos vermelhos possuem 2 a 10% de esqueleto e 90 a 98% de plasma/poros.

Os agregados dividem-se em dois grupos em ambas as zonas: núcleos em blocos e em microagregados. O grau de desenvolvimento nos blocos é forte a moderado na transição Bt/Bw1 – Bw2, com acomodação parcial a total, e fraco a moderado com acomodação parcial a não acomodados nas demais transições. Os microagregados possuem fraco a moderado desenvolvimento e são não acomodados a acomodados (sua maior concentração está nas zonas vermelhas).

A forma destes *peds* muda gradativamente de subsuperfície para superfície: os blocos são subangulares (Bt/Bw1 – Bw2) a subarredondados com núcleos microagregados arredondados (Bt/Bw1 – Bni) em maior profundidade, e subangulares a angulares na transição Bt – Bni; os microagregados são bem arredondados a subarredondados ao longo de toda a transição.

A rugosidade superficial dos blocos é, preferencialmente, alisada a ondulada no geral e lisa a crenulada em detalhe e os microagregados são ondulados, seus limites são nítidos a claros entre os blocos e difusa entre os microagregados (a transição entre blocos e microagregados varia de difusa a nítida).

No que tange a distribuição relativa neste perfil, os núcleos em blocos poliédricos apresentam uma distribuição porfírica fechada (zona escura) ou aberta (zona vermelha); os núcleos microagregados possuem distribuição enáulica em ambas as zonas.

Fundo matricial (poros, esqueleto e plasma)

A distribuição relativa no interior dos agregados ocorre de forma diferente da organização entre-agregados: os núcleos em blocos, nas zonas mais escuras, possuem distribuição porfírica aberta, ou fechada à aberta (Bt/Bw1 – Bw2), com uma maior quantidade do esqueleto no exterior dos *peds*; os núcleos microagregados, nas zonas vermelhas, tem uma

distribuição enáulica à, possivelmente, gefúrica (principalmente no topo da transição Bt – Bni). **(Figura 25)**

A porcentagem de poros ao longo das diferentes zonas é heterogênea: as zonas escuras possuem de 20 a 40% de poros e as vermelhas 30 a 40% na transição Bt/Bw1 – Bw2 e 40 a 60% na transição Bt – Bni. Predominam pedoporos e bioporos, com forma de canais, câmaras, fissuras planares, rachaduras e cavidades orto e meta (as fissuras planares estão, preferencialmente, orientadas na vertical e, subsidiariamente, na horizontal); os núcleos vermelhos com distribuição tendendo a gefúrica apresentam poros de empilhamento complexo (topo da transição Bt – Bni).

O esqueleto é constituído de grãos de quartzo (com diâmetro heterogêneo, chegando a microcristais nos núcleos microagregados), nódulos de Fe/Mn e geodos. A distribuição de base do esqueleto é, predominantemente, aleatória com poucas áreas que apresentam uma distribuição linear (ao longo de pedotúbulos); predominam distribuições não referidas, salvo em poucos casos onde ocorrem lineações do esqueleto entorno de poros (distribuição referida cutânica a subcutânica).

As áreas de separações plásmicas localizam-se, predominantemente, no entorno de paredes de fenda e poros e entorno de grãos; as feições de anisotropia do plasma são de diversos tipos: monoestriada, granoestriada, poroestriada, concentríca e crescente.

A organização funcional entre esqueleto e plasma é predominantemente de junção/cimentação (distribuição porfírica) nos núcleos em blocos. Os núcleos microagregados possuem organização de empilhamento (enáulica); em setores da zona vermelha, parece ocorrer uma organização de junção/associação (gefúrica), marcada pelo aspecto “escorrido” da lâmina e pelas pontes e películas de plasma que ligam os grãos.

Feições pedológicas

Todas as lâminas possuem feições de depleção (separações plásmicas nas bordas de fendas e raízes), texturais (recobrimento de grãos do esqueleto por plasma) e amorfas típicas/puras (nódulos Fe/Mn) que variam pouco de quantidade ao longo do perfil (a transição Bt/Bw1 – Bw2 é a única que não apresenta feições cristalinas – geodos). Os pedotúbulos estão preenchidos de forma solta contínua ou descontínua ao longo de fissuras e poros. **(Figura 25)**

Todas as transições apresentam feições de iluviação de plasma (cutãs) e as transições Bt/Bw1 – Bw2 e Bt/Bw1 – Bni possuem cutãs típicos e crescentes com microfissuração

interna que secciona a morfologia destes depósitos; a transição Bt – Bni apresenta cutãs pendentes, típicos e crescentes – nesta transição percebemos que lineações escuras nas bordas de fendas e poros poderiam corresponder a hipocutãs de poros, constituídos pelo acúmulo de Mn (mangãs?). Estes cutãs são compostos de ferro e argila (ferri-argilãs), com orientação das partículas de argila difusa a ausente (extinções dos cutãs).

3.3.2.3 Conclusões sobre a Transição

Esta transição, de modo similar ao setor esquerdo da trincheira, evolui dentro de um quadro de intensa pedogênese, com dissolução dos grãos de quartzo e separações plásmicas, indicando que os processos pedológicos que promovem as reorganizações estruturais são os mesmos para ambas litologias.

Através das análises das lâminas não conseguimos perceber um limite (transição) abrupta entre um litologia e outra, observamos apenas pequenos aspectos mais concentrados de um lado ou de outro da lâmina.

Os cutãs ocorrem, preferencialmente, do lado esquerdo da transição, no centro/topo da lâmina Bt – Bni e pequenos fragmentos de carvão estão distribuídos ao longo de todo perfil (em campo percebemos estes fragmentos somente no domínio arenítico). Núcleos microagregados se tornam abundantes, formando zonas com separações plásmicas intensas e reorganização da distribuição relativa; ocorrem poucos geodos, característica intrínseca aos basaltos amigdaloidais.

Em nossa opinião, tentar correlacionar este perfil a alguma chave de classificação do SiBCS é inútil, visto que os valores analíticos e características micromorfológicas são, praticamente, aleatórios (sem mencionar o fato da mudança de litologia).

3.3.3 Domínio Basáltico

3.3.3.1 Macromorfologia e Mesomorfologia

A transição do volume superficial, muito arenoso, para o horizonte subsuperficial Bni, do domínio basáltico, ocorre de forma abrupta sem sinais macroscópicos de interdigitações.

O volume pedológico Bni apresenta cor 2,5YR 3/6, estrutura poliédrica (angular forte), cerosidade abundante, porosidade fissural e tubular, as raízes (2 a 6mm de diâmetro) são esparsas ao longo do perfil (preferencialmente ao longo das fissuras entres os blocos poliédricos), a atividade biológica é “média” (canais esparsos ao longo do volume), a textura é argilosa, há presença de óxido de manganês, é pouco plástico e pegajoso e estável ao ser mergulhado em água.

Na **Figura 26** podemos observar uma coloração mais avermelhada, em comparação com o horizonte Bt, ângulos mais proeminentes entre os agregados (estrutura angular), fissuras mais pronunciadas e um variedade mineralógica. Esta foto é, a nosso ver, a que apresenta a maior coesão dos elementos, corroborando com a observação de campo onde percebemos que estes agregados são os mais duros e de difícil cisão.

Figura 26: Macrofotografia da estrutura do volume Bni.

A passagem do volume Bni para o Bw2 ocorre de forma progressiva, com interdigitações bem marcadas na zona de transição. Este volume, Bw2, apresenta cor 2,5YR 3/4, estrutura poliédrica (subangular fraca) a microagregada (desfazendo-se à mais leve pressão dos dedos), porosidade fissural, inter-agregados e tubular (presença de cerosidade ao longo das fissuras dos blocos poliédricos), as raízes são esparsas ao longo do perfil (2 a 4mm de diâmetro) e a atividade biológica é “média” (canais esparsos ao longo do volume), a textura é argilosa, apresenta óxido de manganês e grãos de quartzo, é pouco plástico e pegajoso e instável ao ser mergulhado em água.

Na **Figura 27** podemos observar uma grande quantidade de poros tubulares, uma heterogeneidade mineralógica e o aspecto “esponjoso” observado no horizonte Bw1.

Figura 27: Macrofotografia da estrutura do volume Bw2.

3.3.3.2 Características Analíticas

No domínio basáltico as proporções de areia e argila são discrepantes nos centímetros iniciais (volume A/E) e pouco diferentes em profundidade, atingindo um máximo de 7% (**Tabela 14**).

Tabela 14: Frações granulométricas nos volumes do domínio basáltico.

Volume	Profundidade (cm)	Porcentagem de Material (%)			Relação Silte/Argila
		Areia	Silte	Argila	
A/E	0 – 13	67	17	16	1,06
A/E – Bni	11	51	13	36	0,36
Bni	30 – 70	46	13	41	0,32
Bni – Bw2	70	44	14	42	0,33
Bw2	70 – 200	47	13	40	0,33

Em profundidade há um incremento da fração argila, preferencialmente nos primeiros 100cm a partir da superfície, domínio do volume B nítico (Bni) (**Figura 28**). Este horizonte apresenta o mesmo aspecto de relação textural de seu análogo no domínio arenítico (Bt), com uma relação B/A de 2,56, considerando o volume superficial A/E.

Figura 28: Distribuição da granulometria dos materiais no domínio basáltico.

Segundo o SiBCS (EMBRAPA, 2006), os horizontes B níticos devem apresentar, obrigatoriamente, uma relação textural inferior a 1,5, fato não encontrado no perfil estudado; esta incongruência, da ordem de 1,06, possivelmente ocorre devido à translocação de materiais do topo e terço superior da vertente para sua base. Aspectos e características descritos em campo contemplam as exigências do SiBCS para denominação B nítico, porém, como foi observado, o volume superficial estava muito modificado e com um grande acúmulo de grãos de quartzo, que possuíam características morfológicas similares aos encontrados no topo da vertente, indicando o possível transporte destas partículas (colúvio).

O aumento na fração argilosa é acompanhado do aumento da densidade e microporosidade dos volumes, de forma análoga à encontrada no domínio arenítico, demonstrando a relação: maior quantidade de argila resulta em maior densidade (**Figura 29**). A microporosidade é predominante, tanto no total quanto em proporção entre poros, atingido o ápice no volume Bni, com 94,49% de microporos (maior valor entre todos os volumes analisados).

Figura 29: Densidade, total de poros, macroporos, microporos e proporção entre poros no domínio basáltico.

A fração argila encontra-se bastante floclulada, acima de 90%, com aumento gradual em profundidade, atingindo seu máximo no volume Bw2(96,73%) (**Gráfico 3**).

Gráfico 3: Grau de floculação e dispersão da fração argila no domínio basáltico.

A atividade destas argilas é baixa ao longo de todo o perfil e sua distribuição é heterogênea em profundidade. O volume Bw2 contém o menor valor (14cmol Kg^{-1}) e Bni o maior, com $15,43\text{cmol Kg}^{-1}$ (**Tabela 15**).

Tabela 15: Atividade da fração argila no domínio basáltico: Ta – atividade alta; Tb – atividade baixa.

Volume	Profundidade (cm)	CTC (mmolc Kg^{-1})	Argila (g Kg^{-1})	Atividade da argila (cmol Kg^{-1})
A/E	0 – 13	45,0	160	28,12 (Ta)
A/E – Bni	11	54,5	360	15,17 (Tb)
Bni	30 – 70	63,3	410	15,43 (Tb)
Bni – Bw2	70	61,8	420	14,71 (Tb)
Bw2	70 – 200	56,0	400	14,00 (Tb)

A transição Bni – Bw2 e os volumes Bni e Bw2 apresentam atividade superior aos volumes análogos do domínio arenítico, com valores significativamente maiores: a maior discrepância é entre os volumes Bt e Bni, com uma diferença de $18,24\text{cmol Kg}^{-1}$, e a menor entre Bw1 e Bw2 (diferença de $12,64\text{cmol Kg}^{-1}$).

Em relação à fração arenosa, há uma predominância das partículas entre 0,125 a 0,250mm de diâmetro (areia fina); no que tange a mineralogia, são predominantemente quartzos (acima de 90%) com pequenas quantidades de magnetita (máximo de 4%).

Estes quartzos são, preferencialmente, rugosos (75%), com brilho vítreo e fosco (53 e 45%), subarredondados a subangular fraturados na transição A/E – Bni. Em profundidade, há

um aumento no número de grãos foscos (60%) e rugosos, chegando a 90% no volume Bni; o grau de arredondamento predominante é o subarredondado fraturado (Bw2).

Este material varia de pouco ferruginizado à sem sinais no topo do perfil, havendo um pequeno aumento de grãos com ferrugem em profundidade, situação inversa ao domínio arenítico, e vários grãos possuem as mesmas concavidades em forma de crateras encontradas no domínio arenítico (**Tabela 16**).

Tabela 16: Síntese da morfologia e mineralogia dos grãos de areia no domínio basáltico.

Volume	Profundidade (cm)	Grau de Arredondamento* (%)									Textura Superficial (%)		Grau de Transparência (%)			Mineralogia (%)						
													Translúcido		Opaco							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Lisa	Rugosa	Brilho Vítreo	Fosco	Leitoso-Branco	Escuro	Quartzo	Mica	Feldspato	Magnetita	Biotita	Outros
A/E	0 – 13	11	0	34	12	14	21	4	3	1	11	89	99	0	0	1	99	0	0	1	0	0
A/E – Bni	11	6	11	15	7	21	25	9	5	1	25	75	53	45	0	2	98	0	0	2	0	0
Bni	30 – 70	13	5	17	8	27	21	7	1	1	10	90	54	42	2	2	98	0	0	2	0	0
Bni – Bw2	70	16	9	9	10	21	22	9	5	0	10	90	42	50	4	4	96	0	0	4	0	0
Bw2	70 – 200	8	9	15	5	32	20	9	2	0	21	79	36	60	3	1	98	0	0	1	0	1

* O grau de arredondamento corresponde a: 1 e 2 – angular; 3 e 4 – subangular; 5 e 6 – subarredondado; 7 e 8 arredondado; 9 – muito arredondado.

De modo diferente do domínio arenítico, que contém grãos subangulares picotados a subarredondados fraturados/picotados nos volumes mais superficiais (A/E e A/E – Bt), o domínio basáltico já apresenta grãos subarredondados a subangulares na transição do volume superficial para os subsuperficiais (A/E – Bni), e se mantém assim até o volume Bw2. No que tange ao brilho destes minerais, este perfil contém maior concentração de grãos foscos e lisos.

Os valores sobre o ambiente químico deste domínio demonstram uma heterogeneidade da distribuição de certos elementos e, em contra partida, o aumento progressivo de outros em profundidade (**Tabela 17**).

Tabela 17: Resultados dos parâmetros químicos do domínio basáltico: pH em água (H₂O) e KCL, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), acidez potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação em bases (V) e saturação em alumínio (m).

Volume	Profundidade (cm)	Análises											
		pH		P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	CTC	V	m
		(H ₂ O)	(KCL)	(mg Kg ⁻¹)	(mmolc Kg ⁻¹)							(%)	
A/E	0 – 13	6,0	5,1	1,0	0,5	31,0	6,0	< 1	7,0	38,1	45,0	85,0	0,0
A/E – Bni	11	5,8	5,0	1,0	1,7	40,0	7,0	< 1	6,0	48,4	54,5	89,0	0,0
Bni	30 – 70	6,1	5,3	2,0	0,4	48,0	9,0	< 1	6,0	57,2	63,3	90,0	0,0
Bni – Bw2	70	5,9	5,0	2,0	2,5	44,0	9,0	< 1	6,0	55,7	61,8	90,0	0,0
Bw2	70 – 200	6,0	5,2	3,0	1,6	38,0	9,0	< 1	7,0	49,0	56,0	88,0	0,0

Os valores de pH em água em KCL apresentam uma distribuição variável ao longo do perfil, com valores máximos contidos no volume Bni (6,1 e 5,3) e mínimos na transição A/E – Bni (5,8 e 5). Este perfil é caracterizado como fracamente ácido.

Os elementos P, Mg e H + Al aumentam de concentração em profundidade: as menores porcentagens estão contidas na transição A/E – Bni; no caso do P e do H + Al as maiores concentrações estão no volume Bw2.

Os valores de K apresentam uma distribuição irregular ao longo do perfil, com maior concentração na transição Bni – Bw2 (2,5cmol Kg⁻¹ - maior valor na trincheira) e menor no volume Bni (0,4). Os valores de Ca também apresentam distribuição irregular: a concentração aumenta até Bni (48,0cmol Kg⁻¹ - maior valor na trincheira) e volta a diminuir, chegando ao mínimo de 38,0mmolc Kg⁻¹ no volume Bw2.

Os valores de SB e CTC apresentam a mesma característica: a concentração aumenta até o volume Bni (57,2 e 63,3cmol Kg⁻¹ - maiores valores na trincheira) e volta a diminuir; os valores mínimos de 38,1 e 45mmolc Kg⁻¹ ocorrem no volume superficial. Os valores de V são heterogêneos e as maiores concentrações estão em uma zona entre Bni e Bw2. A saturação em alumínio (valor m) é nula ao longo de todo perfil.

Os valores dos óxidos e as relações Ki e Kr demonstram uma heterogeneidade da distribuição de alguns óxidos e o aumento progressivo de outros em profundidade (**Tabela 18**).

Tabela 18: Resultados dos parâmetros químicos do domínio basáltico: óxidos de sílica (SiO₂), alumínio (Al₂O₃), ferro (Fe₂O₃), titânio (TiO₂) e manganês (MnO) e relações Ki e Kr.

Volume	Profundidade (cm)	Análises						
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Ki	Kr
		(%)					(adimensional)	
A/E	0 – 13	8,80	6,00	7,15	2,38	0,0746	2,49	1,41
A/E – Bni	11	15,40	12,09	9,69	2,32	0,0497	2,16	1,43
Bni	30 – 70	17,50	13,79	9,44	2,35	0,0371	2,16	1,50
Bni – Bw2	70	17,20	13,99	9,58	2,40	0,0362	2,09	1,45
Bw2	70 – 200	15,90	12,99	9,08	2,17	0,0355	2,08	1,44

O volume A/E contém os menores valores de SiO₂ e Al₂O₃, que aumentam de forma gradativa em profundidade. O volume Bni contém a maior concentração de SiO₂ em toda a trincheira (17,50%) e a transição Bni – Bw2 o maior valor de Al₂O₃ (13,99%).

Os valores de Fe₂O₃ e MnO diminuem em profundidade: as maiores concentrações estão na transição A/E – Bni (Fe₂O₃) e volume A/E (MnO); as menores em Bw2. O TiO₂ aumenta gradualmente até Bni – Bw2 (2,40%) e volta a diminuir, chegando a 2,17% no volume Bw2. A partir dos valores de ferro, podemos caracterizar este perfil como mesoférico, o que nos proíbe de enquadrá-lo na chave dos NITOSSOLOS segundo o SiBCS.

A relação Ki diminui em profundidade, atingindo o menor valor em Bw2 (2,08); o valor Kr é heterogêneo ao longo do perfil, com o maior valor contido em Bni (1,50) e menor no volume superficial (1,41).

A partir da análise dos parâmetros químicos, fica evidente que cada domínio estudado contém maior concentração de elementos e óxidos específicos, resultado da descontinuidade litológica. O domínio arenítico contém: os maiores valores de P, Mg, MnO, Ki e Kr; os menores de K, Ca, Mg, SB, CTC, V, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, MnO, Ki e Kr. O domínio basáltico contém os maiores valores para K, Ca, SB, SiO₂ e Al₂O₃; não ocorre nenhum valor mínimo neste perfil em relação a trincheira (**Figuras 30 e 31**).

Os maiores valores de V, no domínio arenoso (Bt), e SB, CTC e V, no domínio argiloso (Bni), estão associados, obrigatoriamente, as maiores concentrações de Ca. Alguns elementos e óxidos que possuem uma diminuição, ou aumento, de concentração em profundidade são iguais em ambos os perfis, a exemplo do P, Mg e MnO. O Fe₂O₃ e a relação Ki são discordantes no perfil do basalto: ambos diminuem em profundidade e no perfil do arenito o Fe₂O₃ aumenta e a relação Ki diminui.

Ao analisarmos as transições do volume superficial para o subsuperficial (A/E – Bt e A/E – Bni) fica evidente a diferença de concentração de elementos e óxidos, assim como a quantidade de argila (**Tabelas 4 e 14**). Este é um fato que demonstra a descontinuidade

litológica e, principalmente, que o volume superficial A/E é comum a toda a vertente, ocorrendo sobreposto às duas litologias.

Figura 30: Distribuição dos elementos químicos ao longo da trincheira.

Figura 31: Distribuição dos elementos químicos e relação Ki e Kr a partir de ataque de ácido sulfúrico.

3.3.3.3 Micromorfologia

Aspecto geral dos agregados (*peds*)

As lâminas do domínio basáltico apresentam componentes e características semelhantes: ocorrem grãos de quartzo, nódulos de Fe/Mn e argilas; possuem núcleos de separação plásmica próximo a fendas, poros e raízes (**Figura 32**). A partir da transição Bni – Bw2 começam a aparecer pequenos fragmentos de carvão e raízes (que aumentam de concentração, atingindo um máximo de raízes na transição para o volume superficial A/E); os materiais são bem selecionados no volume Bw1 e moderadamente a partir da transição Bni – Bw2 até a superfície, com 10 a 30% de constituintes diferentes de quartzo, e as formas predominantes são equidimensionais (microagregados e blocos).

Em inúmeros grãos do esqueleto (principalmente nos de quartzo) ocorrem golfos de dissolução, o que demonstra, novamente, o ataque geoquímico neste material, com processo de *plasma infusion* em seu interior.

Todos os volumes e transições deste perfil possuem zonas com diferentes tonalidades (“escura”, “vermelha” e “laranja”), onde é possível observar uma mudança na relação/distribuição do esqueleto e plasma/poros. As zonas escuras destes volumes possuem uma relação/distribuição levemente heterogênea, com 20% (Bw2 e Bni) a 50% (A/E – Bni) de esqueleto e 50 a 80% de plasma/poros; os núcleos vermelhos possuem 5 (Bw2) a 30% (Bni) de esqueleto e 70 a 95% de plasma/poros.

Os agregados dividem-se em dois grupos dentro destas zonas: núcleos em blocos (alguns com aspecto microagregado no interior) e em microagregados. O grau de desenvolvimento nos blocos é moderado a fraco, com acomodação a não acomodados nas zonas escuras; nas zonas vermelhas o desenvolvimento é forte com acomodação total a parcial (Bni), ou fraco não acomodado (A/E – Bni). Os microagregados possuem fraco desenvolvimento e não estão acomodados e alguns núcleos na zona laranja não apresentam agregados (apédicas).

A forma destes *peds* muda gradualmente de subsuperfície para superfície: os blocos estão angulares a subangulares (Bw2) e subangulares a subarredondados com núcleos microagregados bem arredondados (A/E – Bni); os microagregados são bem arredondados a subarredondados ao longo de todo o perfil.

Figura 32: Prancha com croquis, fotos gerais e de detalhe das lâminas delgadas do domínio basáltico.

A rugosidade superficial dos blocos é, preferencialmente, alisada a ondulada no geral e lisa a crenulada em detalhe e os microagregados são ondulados, seus limites são nítidos a claros entre os blocos e difusa entre os microagregados (a transição entre blocos e microagregados varia de difusa à nítida).

No que tange a distribuição relativa neste perfil os núcleos em blocos possuem distribuição porfírica fechada à aberta, os núcleos microagregados tem distribuição enáulica e pontos das zonas laranja apresentam, a nosso ver, uma distribuição tendendo a gefúrica (?).

Fundo matricial (poros, esqueleto e plasma)

A distribuição relativa no interior dos agregados ocorre de forma idêntica à organização entre-agregados, algo não observado no domínio arenítico e transição. A porcentagem de poros ao longo das diferentes zonas é heterogênea: as zonas escuras possuem de 10 a 30% de poros e as vermelhas 10 (Bni) a 80% no volume Bw2, os núcleos laranja chegam a ter 80% de poros (A/E – Bni). Predominam pedoporos e bioporos, com forma de canais, câmaras, fissuras planares, rachaduras, juntas (microfissurações de cutãs) e cavidades orto e meta (as fissuras planares estão, preferencialmente, orientadas na vertical e oblíqua); os núcleos laranja com distribuição tendendo a gefúrica apresentam poros de empilhamento complexo. (**Figura 32**)

O esqueleto é constituído de grãos de quartzo (com diâmetro heterogêneo, chegando a microcristais nos núcleos microagregados, e suave variação ascendente no diâmetro), nódulos de Fe/Mn e geodos. A distribuição de base do esqueleto é, predominantemente, aleatória com poucas áreas que apresentam uma distribuição bandada (ao redor de pedotúbulos preenchidos); predominam distribuições não referidas.

As áreas de separações plásmicas são, predominantemente, no entorno de paredes de fenda e poros e entorno de grãos (este perfil possui as maiores áreas de separações plásmicas observadas, principalmente na transição A/E – Bni); as feições de anisotropia do plasma são de diversos tipos: monoestriada, granoestriada, poroestriada, concentríca e crescente (o volume Bw2 não apresenta birrefringência).

A organização funcional entre esqueleto e plasma é predominantemente de conjunção/cimentação (distribuição porfírica) nos núcleos em blocos, os núcleos microagregados formam uma organização de disjunção (enáulica) e as zonas laranja possuem organização tendendo a conjunção/associação (gefúrica), marcada pelo aspecto “escorrido” da lâmina e pelas pontes e películas de plasma que ligam os grãos.

Feições pedológicas

Todas as lâminas possuem feições de depleção (separações plásmicas nas bordas de fendas e raízes), texturais (recobrimento de grãos do esqueleto por plasma) e amorfas típicas/puras (nódulos Fe/Mn) que variam pouco de quantidade ao longo do perfil (as lâminas do volume Bni e transição A/E – Bni apresentam feições cristalinas – geodos). Os pedotúbulos estão preenchidos de forma solta contínua ou descontínua (principalmente nos núcleos de separações plásmicas ao longo de fissuras e poros). (**Figura 32**)

A partir da transição Bni – Bw2 todas as lâminas apresentam feições de iluviação de plasma (cutãs), porém, sempre em menor quantidade do que observado no domínio arenítico. Os tipos de cutãs são: típicos e crescentes com microfissuração interna (Bni – Bw2 e Bni) e pendentes e de capeamento (A/E – Bni) – foram percebidas lineações escuras nas bordas de fendas e poros que poderiam corresponder a hipocutãs de poros, constituídos pelo acúmulo de Mn (mangãs?). Estes cutãs são compostos de ferro e argila (ferri-argilãs), com orientação das partículas de argila ausente, difusa ou nítida (extinções dos cutãs).

A partir das observações de campo, dos valores analíticos e descrições micromofológicas, podemos argumentar que o aumento gradual de argila em profundidade ocorre pelo mesmo processo observado no domínio arenítico: é provocado pela migração descendente da argila. Esta migração promove a coalescência dos agregados reorganizando suas estruturas microagregadas (típicas de volumes B latossólicos) em blocos poliédricos. Na transição A/E – Bni a estrutura dos blocos poliédricos, ao nosso entender, não se reorganiza como observado no domínio arenítico, mas temos a impressão que, devido a intensa separação plásmica, ela simplesmente se desmantela não originando outra estrutura.

3.3.3.4 Conclusões sobre o Domínio Basáltico

Este perfil, de mesmo modo que a transição e o setor a montante da trincheira, evolui dentro de um quadro de intensa pedogênese, que promove a dissolução dos grãos de quartzo e separações plásmicas nos volumes superficiais. Ocorrem duas frentes verticais de reorganizações pedológicas bem definidas:

1. a transição A/E – Bni está passando por um processo de reorganização descendente, com separações plásmicas (a maior concentração encontrada na trincheira) e reorganização da distribuição relativa, que se altera de porfírica ou enáulica à enáulica com tendência à gefúrica, demonstrando a destruição do plasma neste setor do perfil;
2. a segunda frente evolui de forma ascendente, a partir da acumulação de argila iluviada em profundidade (a partir da transição Bni – Bw2), que promove a colmatção dos poros e adensamento generalizado dos microagregados, promovendo uma reorganização em blocos.

Este perfil apresenta uma quantidade de cutãs inferior à encontrada no domínio arenítico e uma maior quantidade de grãos do esqueleto na estrutura externa dos *peds*, o que nos leva a pensar que o processo de iluviação na gênese das estruturas em bloco é subsidiário ao processo de contração e expansão das estruturas, ocasionado pelo umedecimento e ressecamento do solo. Para sustentarmos esta argumentação deveríamos, *a priori*, ter observado cutãs de *stress* nas paredes de fendas, o que demonstraria que as estruturas estão se reorganizando por esforço físico, aspecto que não foi observado.

De forma análoga ao domínio arenítico, este perfil evolui por meio da destruição do plasma, que avança em profundidade, e pelas reorganizações promovidas pela iluviação da argila em profundidade, porém com reorganização ascendente.

Neste setor da trincheira ocorrem grãos de quartzo de diversos tamanhos (inclusive microcristais), com um aumento progressivo de diâmetro em direção à superfície. As zonas microagregadas são mais abundantes que no domínio arenítico e as estruturas em blocos possuem este aspecto em seu interior, o que nos leva a pensar que o processo de reorganização das estruturas é mais recente, ou mais lento, em comparação com o setor a montante da trincheira.

Visando a correlação das informações apresentadas com o SiBCS, não podemos denominar este perfil como sendo de um NITOSSOLO VERMELHO Latossólico, pois, como exposto na análise dos parâmetros analíticos, a relação textural e a quantidade de Fe_2O_3 não atendem as exigências deste sistema – se levássemos em conta os parâmetros propostos, teríamos que denominar este perfil como ARGISSOLO. Frente a esta dificuldade de enquadrar a realidade em simplificações convencionadas, não conseguimos encaixar este perfil de forma a atender os requisitos da família dos Nitossolos no sistema de classificação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após três anos de estudos consideramos que, em síntese, o sistema pedológico analisado evolui em decorrência do transporte de matéria que promove reorganizações no interior da cobertura pedológica (processos de eluviação-iluviação), indicando que a área passa por um período de desequilíbrio pedobioclimático. A pedogênese promove a dissolução geoquímica de grãos de quartzo (golfos de dissolução), separações plásmicas abundantes no contato entre os volumes superficial (arenoso) e subsuperficial (argiloso) com evolução em profundidade; intensa acumulação de argila iluviada em subsuperfície, provocando reorganizações de núcleos microagregados em blocos poliédricos (com evolução ascendente).

No que tange a organização e dinâmica dos volumes estudados, consideramos que demonstramos, em parte, os processos que comandam sua gênese e evolução, porém, algumas dúvidas persistem: qual a razão da geometria tão particular dos volumes identificados na trincheira, principalmente da faixa de transição Bt/Bw1 (que envolve o volume Bw1) e do volume Bni (cujo topo avança à montante, cavalcando sobre o volume Bt)? A partir das informações apresentadas não conseguimos elucubrar uma hipótese para tal fato.

Consideramos que o modelado das vertentes, que se modifica de convexo, no topo e terço superior e médio para retilíneo, no terço final, decorre dos processos pedogenéticos observados. Em outros termos, o volume superficial, após perder os elementos floculantes/cimentantes do solo devido às separações plásmicas (pedogênese), fica mais suscetível aos processos erosivos (morfogênese), sendo assim, remobilizado de forma areolar preenchendo as irregularidades do modelado no terço inferior das vertentes (similar à formação de *bajadas* em regiões desérticas ou semiáridas).

A nosso ver, o modelado retilíneo avança de forma remontante ao longo da vertente, constituindo-se como uma rampa embutida em um modelado pré-existente, algo que se repete algures na área de estudos (compartimento **II** na **Figura 9**), indicando um caráter areolar para esta feição retilínea do modelado, algumas vezes entremeadas por rupturas convexas decorrentes dos diferentes níveis dos derrames de lavas – os derrames maciços, mais resistentes, correspondem a soleiras subsuperficiais na paisagem.

Se levarmos em conta a modificação do uso da terra nesta região do Estado do Paraná, podemos argumentar que na transição entre um uso e outro – período em que os solos ficam expostos às intempéries climáticas, devido a falta de cobertura vegetal – os processos de erosão areolar são mais intensos, remobilizando uma maior quantidade de material em direção a rede de drenagem, o que poderia explicar, eventualmente, a formação das várzeas e cordões arenosos observados junto aos fundos de vale.

Estas e outras suposições, eventualmente, podem ser explicadas com a ampliação da área mapeada juntamente com a aplicação da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica em demais bacias hidrográficas ao longo da faixa de transição litológica deste setor do Estado, objetivando assim uma passagem da cartografia analítica à sintética, onde poderíamos demonstrar de forma quantitativa e qualitativa a evolução do modelado e, conseqüentemente, da paisagem.

Finalizando, gostaríamos de ressaltar a importância de um trabalho de levantamento detalhado em campo, quando o assunto é gênese de solos, visto que tudo o que foi observado em campo conseguimos “enxergar” em laboratório (com maior ou menor detalhe), o que nos faz lembrar uma grande frase do mestre José Pereira de Queiroz Neto: “o campo é o máximo, tudo o que você vê em campo você observa em laboratório, o que não foi registrado em campo está perdido” – citamos esta frase de memória, não sabemos se foram estas exatas palavras, mas este é o espírito.

5. REFERÊNCIAS

AMARAL, A. Z. do.; AUDI, R. Fotopedologia. In: MONIZ, A. C. (org.). **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Ed. Polígono, EDUSP, 1972. 459 p.

ANDERSON, P. S. (ed.). **Fundamentos para Fotointerpretação**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1982. 136 p.

ANDRADE, J. A. de. **As unidades de paisagens e os sistemas de produção agrícolas no município de Florai-PR**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Geografia, 2005. (Dissertação de Mestrado)

ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE DU SOL (AFES). **Référentiel Pédologique 2008**. Versailles: Éditions Quae, 2008. 433 p.

BARREIROS, A. M. Gênese de um nitossolo latossólico em área de contato litológico no município de Florai/PR. In: **Anais do V Seminário de Pesquisa em Geografia Física**, 2012, São Paulo/SP.

_____. Identificação de diferentes substratos litológicos a partir da morfografia de vertentes: o exemplo do córrego Gurupá (Floraí/PR) In: **Anais do VII Encontro de Pós-graduandos da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo**, 2012, São Paulo/SP.

BARREIROS, A. M.; NAKASHIMA, Marcelo R.; OLIVEIRA, Déborah de. Morfologia, Organização e Gênese de um Sistema Pedológico em uma área de Contato Litológico: Estudo da Sucessão de Horizontes em Floraí-PR. In: **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: Dinâmicas Socioambientais, das Inter-relações as Interdependências**, 2011, Dourados/MS.

BARREIROS, A. M.; OLIVEIRA, Déborah de. Study of the genesis of a Red Ferric Latosolic Nitisol in an area of lithological interface, in the Municipality of Floraí, state of Paraná, Brazil. In: **Anais do IAG/AIG Regional Conference Geomorphology for Human Adaptation to Changing Tropical Environments**, 2011, Addis Ababa - Etiópia.

BOQUIER, G. Génèse et evolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad: interprétation biogéogynamique. **Mém. ORSTOM**, v. 62, 1973. 351 p.

BOULET, R. Toposéquences de sols tropicaux en Haute Volta: équilibres et déséquilibres pédobioclimatiques. **Mém. ORSTOM**, v. 85, 1978. 272 p.

_____. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e Cartografia. 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. 79-90, 1988.

_____. Uma evolução recente da pedologia e suas implicações no conhecimento da gênese do relevo. In: **Anais do III Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. Belo Horizonte: ABEQUA, 1992.

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

BOULET, R.; 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.

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.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; LUCAS, Y. Os sistemas de transformação em Pedologia. Trad. Carlos Roberto Espindola. **Boletim de Geografia Teórica**, n. 20, v. 39, p. 5-20, 1990.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York: John Wiley & Sons, 1964. 482 p.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil thin section description**. Albrington: Waine Research, 1985. 152 p.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106, edição revista e atualizada)

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

_____. **Micromorfologia de solos: bases para descrição de lâminas delgadas**. Goiânia/Campinas: UFG-IESA, UNICAMP-IG-DGEO, 2008. Disponível em: <<http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/micromorfologia/Index.html>>. Acesso em: 30 de outubro de 2011.

CASTRO, S. S.; COOPER, M.; SANOS, M. C.; VIDAL-TORRADO, P.. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, vol. 3, p. 107-164, 2003.

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.

CERON, A. O.; DINIZ, J. A. F. O uso de Fotografias Aéreas na identificação das formas de utilização agrícola da terra. **Revista brasileira de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 161-173, 1966.

CHAUVEL, A. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. **Mém. ORSTOM**, n°. 62, 1976. 532 p.

COLTRINARI, L. Contribuição à Geomorfologia da região de Guaratinguetá-Aparecida. São Paulo: **IGEOG/USP**, Série Teses e Monografias, n. 17, 1975. 156 p.

_____. Cartografia Geomorfológica detalhada: a representação gráfica do relevo entre 1950-1970. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 3, p. 121-130, 2011.

COOPER, M. **Influência das condições físico-hídricas nas transformações estruturais entre horizontes B latossólicos e B texturais sobre diabásio**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1999. 132 p. (Tese de Doutorado)

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Gênese de Ferri-argilãs em horizontes B texturais de uma sequência de solos sobre diabásios em Piracicaba (SP). **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 745-750, out/dez, 2000.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 20, n°. 4, julho/agosto, 2005.

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

CRUZ, O. Alguns conhecimentos básicos para Fotointerpretação. São Paulo: IGEOG/USP, **Aerofotogeografia**, n. 25, 1981. 13 p.

DELVIGNE, J. E. Pédogenèse en zone tropicale : la formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. **Mém. ORSTOM**, v. 13, 1965. 117 p.

DELVIGNE, J. E. **Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering**. Ottawa, Ontario: Mineralogical Association of Canada, 1998. 439 p.

DEMATTÊ, J. A. M. **Capítulo 2 - Fotointerpretação e Fotopedologia**. Piracicaba: ESALQ/USP, Departamento de Ciência do Solo, p. 63-111, 2008. Disponível em: http://moodle.stoa.usp.br/file.php/234/Aula2/MC_apos_cap2_foto_2008.pdf. Acesso em: 26/06/2012.

DIAS FERREIRA, R. P. **Geomorfologia da Região da Serra do Limoeiro, SP**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letra e Ciências Humanas, 1979. 152 p. (Dissertação de Mestrado)

_____. **Solos e morfogênese em São Pedro, SP**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 1997. (Tese de Doutorado)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes**. editor técnico, Fábio Cesar da Silva. Brasília/DF: Embrapa Informação Tecnológica, 1999.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

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

ESPINDOLA, C. R. **Retrospectiva crítica sobre Pedologia**: um repasse bibliográfico. Campinas: UNICAMP, 2008.

FEDOROFF, N.; ESWARAN, H. Micromorphology of Ultisols. In: Soil Science Society of America (SSSA). **Soil Micromorphology and Soil Classification**. Madison: SSSA, 1985. (Special Publication Number 15)

FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP)**: os Grupos Bauru e Caiuá. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 1992. (Dissertação de Mestrado)

FILIZOLA, H. **O papel da erosão geoquímica na evolução do modelado da bacia de Taubaté**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 2 v., 1993. (Tese de Doutorado)

FITZPATRICK, E. A. **The micromorphology of soils**. Aberdeen: University of Aberdeen, 1980.

FONTANA, A. A. **A cobertura pedológica e suas relações com a gênese das depressões no terraço Taquarussu, MS, Brasil**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Geografia, 2009. (Dissertação de Mestrado)

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, 2001. 307 p. (World Soil Resource Report, 94)

_____. **World reference base for soil resources 2006**: a framework for international classification, correlation and communication. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006. 143 p. (World Soil Resource Report, 103)

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**, vol. 20(2), p. 59-68, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Carta Topográfica de São Jorge do Ivaí**, Folha SF-22-Y-D-I-3, escala 1:50.000, 1972.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS (ITCG). **Coordenadoria de Cartografia do Instituto de Terras e Cartografia – ITC- DENGÉ**. Projeto: Paraná, faixa A-23 II, quadrícula SF.22-Y-D-I, escala aproximada 1:25.000, 1980.

_____. **Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Estado do Paraná - Produtos Cartográficos**. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em: 08/05/2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TOPODATA** – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: 08/05/2011.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Mapas - Base Ambiental**. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=26>. Acesso em: 08/05/2011.

JABUR, I. C.; SANTOS, M. L. dos. Revisão Estratigráfica da Formação Caiuá. **Boletim de Geografia**, ano 2, n. 2, jan., 1984.

JUSTUS, J. de O. **Subsídios para interpretação morfogenética através da utilização de imagens de radar**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 1985. 204 p. (Dissertação de Mestrado)

KÖPPEN, W. **Climatologia**: com un estudio de los climas de la tierra. México. Ed. Fondo de Cultura Económica. 1948.

Krumbein, W. C. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. **Jour. Sed. Petrology**, vol. 11, p. 64-72, 1941.

KUBIENA, W. L. **Micropedology**. Iowa: Collegiate Press, 1938. 243 p.

LADEIRA, F. S. B. **Estudo micromorfológico de um Latossolo Roxo no município de Guaira**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 1995. (Dissertação de Mestrado)

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação de Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LUCAS, Y. **Systèmes pédologiques em Amazonie brésilienne**: equilibre, déséquilibre et transformations. Thèse Sci., Univ. de Poitier, 1989. 157 p.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: Banco do Desenvolvimento do Paraná, 1968.

MANFREDINI, S.; PADOVESE, P. P.; OLIVEIRA, J. B. de. Efeito da composição granulométrica da fração areia no comportamento hídrico de Latossolos de textura média e Areias Quartzosas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 8, p. 13-16, 1984.

MANOSSO, D. C. C. **A degradação das propriedades físicas dos Latossolos Vermelhos Distróficos em decorrência dos diferentes usos agrícolas em Floraí – PR**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Geografia, 2006. 120 p. (Dissertação de Mestrado)

MARQUES, A. J.; SANTIL, F. L. de P.; CUNHA, J. E da. O uso do clinômetro no levantamento topográfico, estudo de caso: levantamento pedológico. **Boletim de Geografia**, n. 18, p. 135-141, 2000.

MARQUES, L. S.; ERNESTO, M. O Magmatismo Toleítico da Bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B de. **Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. 647p.

MARTINELLI, M. **Mapas de Geografia e Cartografia Temática**. São Paulo: Contexto, 2003.

MIKLOS, A. A. W. **Biodynamique d'une couverture pédologique de la region de Botucatu (São Paulo, Brésil)**. Rennes: École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 1 v., 1995. (Tese Doutorado)

MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B de. **Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. 647p.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. **Soil Research**, Londres, v. 4, nº. 2, p. 183-198, 1935.

_____. Normal erosion as a factor in soil profile development. *Nature*, Londres, set. 26, p. 548-549, 1936.

MINERAIS DO PARANÁ S.A. (MINEROPAR). **Carta Geológica**. Folha de Londrina, SF-22-Y-D, escala 1:250.000, 2006.

_____. **Carta Geomorfológica**. Folha de Londrina, SF-22-Y-D, escala 1:250.000, 2006.

MINERAIS DO PARANÁ S.A. (MINEROPAR); UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR). **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**: escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.000. Curitiba, 2006. 63 p.

MUNSELL, Color Company. **Munsell soil color charts**. Baltimore, 1975.

NAKASHIMA, P. **Sistemas Pedológicos da região Noroeste do Paraná**: distribuição e subsídios para o controle da erosão. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, 1999. (Tese de Doutorado)

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Shuttle Radar Topography Mission - Jet Propulsion Laboratory**. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 08/05/2011.

OLIVEIRA, D. de. **Estudo macro e micromorfológico de uma topossequência na bacia do córrego do Retiro em São Pedro – SP**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 1997. (Dissertação de Mestrado)

PEDRO, G. Soil Science and Micromorphology. In: **International Working Meeting on Soil Micromorphology**, 7. Paris, 1987.

PEDRO, G.; CHAUVEL, A.; MELFI, A. J. Recherche sur la constitution et la génèse des Terra roxa estruturada du Brésil. **Annales Agronomiques**, nº 27(3), p. 265-294, 1976.

PELLERIN, J.; HELLUIN, M.. Análise estrutural e organização das paisagens: as pesquisas visando a generalização cartográfica. 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. 455-463, 1988.

QUEIROZ NETO, J. P. de. 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.

_____. Geomorfologia e Pedologia. **Geosp – Espaço e Tempo**. São Paulo: FFLCH/USP, n. 13, p. 9-20, 2003.

RICCI, M.; PETRI, S. **Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1965. 226 p.

RUELLAN, A. Contribuição das pesquisas em Zona Tropical ao desenvolvimento da Ciência do Solo. 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. 405-414, 1988.

RUELLAN, A.; DOSSO, M.; FRITSH, E. L'analyse structurale de couverture pédologique. **Science du Sol**. V. 27(4), p. 319-344. 1989.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Paris: Éditions Foucher-AUPELF, Collection Universités francophones, 1993. 192 p.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 5ª ed. revista e ampliada, 2005. 92 p.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e Sistemática na Análise de Fotografias Aéreas em Geologia. Campinas: **Notícias Geomorfológicas**, n. 16, p.71-104, 1976.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of Geomorphology. **Geol. Soc. America Bulletin**, n. 63, p. 923-938, 1952.

STRANDBERG, C. H. **Manual de Fotografia Aérea**. Barcelona: Omega, 1975.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Editora Blucher, 2003.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. de. Conceitos e aplicações das relações Pedologia-Geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 4, p. 142-192, 2005.

ZAPAROLI, F. C. M. **As transformações pedológicas identificadas na topossequência Sítio São José na bacia do córrego Aratu, Floraí – PR**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Geografia, 2009. (Dissertação de Mestrado)

ZAPAROLI, F. C. M.; GASPARETO, N. V. L. Distribuição de solos e sua relação com o relevo em uma vertente no município de Floraí-PR. **Boletim de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 49-63, 2010.

Manifesto da Ciência Tropical: um novo paradigma para o uso democrático da ciência como agente efetivo de transformação social e econômica no Brasil

É hora da ciência brasileira assumir definitivamente um compromisso mais central perante toda a sociedade e oferecer o seu poder criativo e capacidade de inovação para erradicar a miséria, revolucionar a educação e construir uma sociedade justa e verdadeiramente inclusiva.

É hora de agarrar com todas as forças a oportunidade de contribuir para a construção da nação que sonhamos um dia ter, mas que por muitas décadas pareceu escapar pelos vãos dos nossos dedos.

É hora de aproveitar este momento histórico e transformar o Brasil, por meio da prática cotidiana do sonho, da democracia e da criação científica, num exemplo de nação e sociedade capaz de prover a felicidade de todos os seus cidadãos e contribuir para o futuro da humanidade.

No intuito de contribuir para o início desse processo de libertação da energia potencial de criação e inovação acumulada há séculos no capital humano do genoma brasileiro, eu gostaria de propor 15 metas centrais para a capacitação do Programa Brasileiro de Ciência Tropical. A implementação delas nos permitirá acelerar exponencialmente o processo de inclusão social e crescimento econômico que culminará, na próxima década, com o banimento da miséria, a maior revolução educacional e ambiental da nossa história e a decolagem irrevogável e irrestrita da indústria brasileira do conhecimento. Estas 15 metas visam a desencadear a massificação e a democratização dos meios e mecanismos de geração, disseminação, consumo e comercialização de conhecimento de ponta por todo o Brasil.

1) Massificação da educação científica infanto-juvenil por todo o território nacional

O objetivo é proporcionar que, nos próximos 4 anos, 1 milhão de crianças tenham acesso a um programa de educação científica pública, protagonista e cidadã de alto nível. Esse programa utilizará o método científico como ferramenta pedagógica essencial, combinando a filosofia de vida de dois grandes brasileiros: Paulo Freire e Alberto Santos Dumont. Ao unir a educação como forma de alcançar a cidadania plena com a visão de que ciência se aprende e se faz “pondo a mão na massa”, sugiro a criação do Programa Educação para Toda a Vida, do qual faria parte o Programa Nacional de Educação Científica Alberto Santos Dumont (veja abaixo). A porta de entrada se daria nos serviços de pré-natal para as mães dos

futuros alunos do programa. Após o nascimento, essas crianças seriam atendidas no berçário e creche, depois na escola de educação científica que os serviria dos 4-17 anos, para que esses brasileiros e brasileiras possam desenvolver toda a sua potencialidade intelectual e criativa nas duas próximas décadas de suas vidas. O programa de educação científica seria implementado no turno oposto ao da escola pública regular, criando um regime de educação em tempo integral para crianças de 4-17 anos, por meio de parceria do governo federal com governos estaduais e municipais. Cada unidade da rede de universidades federais poderia ser responsável pela gestão de um núcleo do Programa Educação para Toda Vida, voltado para a população do entorno de cada campus. O governo federal poderia ainda incentivar a participação da iniciativa privada, oferecendo estímulos fiscais e tributários para as empresas que estabelecessem unidades de educação científica infanto-juvenil ao longo do território nacional. Por exemplo, o novo centro de pesquisas da Petrobras poderia criar uma das maiores unidades do Educação para Toda Vida.

2) Criação de centros nacionais de formação de professores de Ciência

A implementação do Programa Educação para Toda Vida geraria uma demanda inédita para professores especializados no ensino de ciência e tecnologia. Para supri-la, o governo federal poderia estabelecer o Programa Nacional de Educação Científica Alberto Santos Dumont, que seria o responsável pela gestão dos centros nacionais de formação de professores de ciências, espalhados por todo território nacional. As universidades federais, os Institutos Federais de Tecnologia (antigos CEFETs) e uma futura cadeia de Institutos Brasileiros de Tecnologia (veja abaixo) poderiam estabelecer programas de formação de professores de ciências e tecnologia em todo o país. Esses novos programas capacitariam uma nova geração de professores a ensinar conceitos fundamentais da ciência, através de aulas práticas em laboratórios especializados, tecnologia da informação e utilização de métodos, processos e novas ferramentas para investigação científica. Os alunos que se formassem no programa Educação para Toda Vida teriam capacitação, antes mesmo do ingresso na universidade, para se integrar ao trabalho de laboratórios de pesquisa profissionais, tanto públicos como privados, através do Programa Nacional de Iniciação Científica e do Bolsa Ciência (veja abaixo).

3) Criação da carreira de pesquisador científico em tempo integral nas universidades federais

Seria em paralelo à tradicional carreira de docente. Ela nos permitiria recrutar uma nova

geração de cientistas que se dedicaria exclusivamente à pesquisa científica, com carga horária de aulas correspondente a 10% do seu esforço total. Sem essa mudança não há como esperar que pesquisadores das universidades federais possam dar o salto científico qualitativo necessário para o desenvolvimento da ciência de ponta do país.

4) Criação de 16 Institutos Brasileiros de Tecnologia espalhados pelo país

Eles serviriam para suprir a demanda de engenheiros, tecnólogos e cientistas de alto nível e promover a inclusão social por meio do desenvolvimento da indústria brasileira do conhecimento. Atualmente o Brasil apresenta um déficit imenso desses profissionais. Para sanar essa situação, o Brasil poderia reproduzir o modelo criado pela Índia que, desde a década de 1950, construiu uma das melhores redes de formação de engenheiros e cientistas do mundo, constituída pela cadeia de Institutos Indianos de Tecnologia. Para tanto, o governo federal deveria criar nos próximos oito anos uma rede de 16 Institutos Brasileiros de Tecnologia (IBT) e espalhá-los em bolsões de miséria do território nacional, especialmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Cada IBT poderia admitir até 5.000 alunos por ano.

5) Criação de 16 Cidades da Ciência

Localizadas nas regiões com baixo índice de desenvolvimento humano, como o Vale do Ribeira, Jequitinhonha, interior do Nordeste, Amazônia, as Cidades da Ciência ficariam no entorno dos novos IBTs. As Cidades da Ciência seriam, na prática, o componente final da nova cadeia de produção do conhecimento de ponta no Brasil. Acopladas aos novos IBTs e à rede de universidades federais, criariam o ambiente necessário para a transformação do conhecimento de ponta, gerados por cientistas brasileiros, em tecnologias e produtos de alto valor agregado que dariam sustentação à indústria brasileira do conhecimento. Nas Cidades da Ciência seriam criadas e estabelecidas as grandes empresas do conhecimento nacional, onde o potencial científico do povo brasileiro poderia se transformar em novas fontes de riqueza a serem aplicadas na gênese de um sistema nacional auto-sustentável. Tal iniciativa permitiria a inserção do Brasil na era da economia do conhecimento que dominará o século XXI.

6) Criação de um arco contínuo de Unidades de Conservação e Pesquisa da Biosfera da Amazônia

Esse verdadeiro cinturão de defesa, formado por um arco contínuo de Unidades de

Conservação e Pesquisa da Biosfera da Amazônia, seriam dispostas em paralelo ao chamado “Arco de Fogo”, formado em decorrência do agronegócio predatório e da indústria madeireira ilegal, responsáveis pelo desmatamento da região. Essa iniciativa visa fincar uma linha de defesa permanente contra o avanço do desmatamento ilegal, modificando a estratégia das unidades de conservação a fim de colocá-las a serviço de um Programa Nacional de Mapeamento dos Biomas Brasileiros.

Uma série de unidades de conservação poderia ser transformada em unidades híbridas. Assim, além da conservação, poderiam incluir grandes projetos de pesquisa que possibilitem ao Brasil mapear a riqueza e a magnitude dos serviços ecológicos e climáticos encontrados nos diversos biomas nacionais.

Para incentivar a participação de populações autóctones nesse esforço, o governo federal poderia criar o programa Bolsa Ciência Cidadã. Homens, mulheres e adolescentes que vivem na floresta amazônica e conhecem seus segredos melhor do que qualquer professor doutor, receberiam uma bolsa, similar ao bolsa família, para integrarem as equipes de pesquisadores e responsáveis pela implementação das leis ambientais na região. Esse exército de cidadãos, devotado à investigação científica e à proteção da Amazônia, mostraria ao mundo o quão determinado o Brasil está em preservar uma das maiores maravilhas biológicas do planeta. Evidentemente tal iniciativa poderia ser replicada em outras áreas críticas, também ameaçadas pela indústria predatória, como o Pantanal, a Caatinga, o Cerrado, a Mata Atlântica e os Pampas.

7) Criação de oito “Cidades Marítimas” ao longo da costa brasileira

A descoberta do pré-sal demonstra claramente que uma das maiores fontes potenciais de riqueza futura da sociedade brasileira reside no vasto e diverso bioma marítimo da nossa costa.

Apesar disso, os esforços nacionais para estudo científico desse vasto ambiente são muito incipientes. Aqui também o Brasil pode inovar de forma revolucionária. Em parceria com a Petrobras, o governo federal poderia estabelecer, no limite das 350 milhas marinhas, oito plataformas voltadas para a pesquisa oceanográfica e climática, visando o mapeamento das riquezas no mar tropical brasileiro.

Essas verdadeiras “Cidades Marítimas”, dispostas a cada mil quilômetros da costa brasileira, seriam interligadas por serviço de transporte marítimo e aéreo (helicópteros) e se valeriam de incentivos à renascente indústria naval brasileira, para o desenvolvimento, por exemplo, de veículos de exploração a grandes profundidades.

Cada “Cidade Marítima” seria auto-suficiente, contando com laboratórios, equipamentos e equipe própria de pesquisadores. Tais edificações serviriam também como postos mais avançados de observação dos limites marítimos do Brasil. Com o crescente desenvolvimento da exploração do pré-sal, essa rede de “Cidades Marítimas” poderia assumir papel fundamental na defesa da nossa soberania marítima dentro das águas territoriais.

8) Retomada e Expansão do Programa Espacial Brasileiro

Embora subestimado pela sociedade e a mídia brasileiras, o fortalecimento do programa espacial brasileiro oferece outro exemplo emblemático de como o futuro do desenvolvimento científico no Brasil é questão de soberania nacional. Dos países pertencentes ao BRIC, o Brasil é o que possui o mais tímido e subdesenvolvido programa espacial. Apesar da sua situação geográfica altamente favorável, a Base de Alcântara não tem correspondido às altas expectativas geradas com a sua construção. Essa situação é inaceitável, uma vez que, a longo prazo, pode levar o Brasil a uma dependência irreversível no que tange a novas tecnologias e novas formas de comunicação, colocando a nossa soberania em risco. Dessa forma, urge reativar os investimentos nessa área vital, definir novas e ambiciosas metas para o programa espacial brasileiro e esclarecer o papel da sociedade civil na operação dos programas da Base de Alcântara, cujo controle deveria estar nas mãos de uma equipe civil de pesquisadores e não das forças armadas.

9) Criação de um Programa Nacional de Iniciação Científica

Com a criação do programa Educação para Toda Vida, seria necessário implementar novas ferramentas para que os adolescentes egressos desses programas pudessem dar vazão a seus anseios de criação, invenção e inovação através da continuidade do processo de educação científica, mesmo antes do ingresso na universidade e depois dele. Na realidade, é extremamente factível que grande número desses jovens possa começar a contribuir efetivamente para o processo de geração de conhecimento de ponta antes do ingresso na universidade.

O governo federal poderia criar um Programa Nacional de Iniciação Científica que leve ao estabelecimento de 1 milhão de Bolsas Ciência. Uma experiência preliminar desse programa já existe no CNPQ, através do recém-criado programa dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia. Bastaria ampliá-lo e remover certas amarras burocráticas que dificultam a sua implementação neste momento. Esse programa poderia também ser usado pelo governo federal para eliminar uma porcentagem significativa (30%) da evasão do ensino médio,

decorrente da necessidade dos alunos em contribuir para a renda familiar. Jovens de talento científico reconhecido deveriam também ter a opção de seguir carreira de inventor ou pesquisador sem necessitar de doutorado ou outro curso de pós-graduação. Tal alternativa contribuiria decisivamente para a diminuição do período de treinamento necessário para que talentos científicos pudessem participar efetivamente do desenvolvimento científico do Brasil.

10) Investimento de 4-5% do PIB em ações de ciência e tecnologia na próxima década

Tendo proposto novas ações, é fundamental que essas sejam devidamente financiadas. Para tanto e, ainda, para assegurar a ascensão da ciência brasileira aos patamares de excelência dos países líderes mundiais, o governo brasileiro teria de tomar a decisão estratégica de destinar, nas próximas décadas, algo em torno de 4-5% do PIB nacional para a ciência e tecnologia. Em vários países, como os EUA, essa conta é dividida em partes iguais entre o poder público e privado. No Brasil, todavia, não existem condições para que isso ocorra de imediato. Dessa forma, não restaria alternativa ao governo federal senão assumir a responsabilidade desse investimento estratégico, usando novas fontes de receita, como a gerada pela exploração do pré-sal.

11) Reorganização das agências federais de fomento à pesquisa

Reformulação de normas de procedimento e processo para agilizar a distribuição eficiente de recursos ao pesquisador e empreendedor científico, bem como criar um novo modelo de gestão e prestação de contas.

A ciência e o cientista brasileiro não podem mais ser regidos pelas mesmas normas de 30-40 anos atrás, utilizadas na prestação de contas de recursos públicos para construção de rodovias e hidrelétricas.

Urge, portanto, reformular completamente todos os protocolos de cooperação do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) com outros ministérios estratégicos para execução de projetos multiministeriais.

Na lista de cooperação estratégica do MCT, incluem-se os ministérios da Educação, Saúde, Meio Ambiente, Minas e Energia, Indústria e Comércio, Agricultura, Defesa e Relações Exteriores. Normas comuns de operação dos departamentos jurídicos e dos processos de prestação de contas devem ser produzidas entre o MCT e esses ministérios, de tal sorte a incentivar a realização de projetos estratégicos interministeriais, como o Educação para Toda Vida.

O cenário atual cria inúmeros empecilhos para ratificação de projetos estratégicos aprovados no mérito científico (o principal quesito), mas que, via de regra, passam meses e até anos prisioneiros dos desconhecidos meandros e procedimentos conflitantes com que operam os diferentes departamentos jurídicos dos diferentes ministérios. Urge eliminar tal barreira kafkaniana e transferir o poder de decisão, atualmente nas catacumbas jurídicas dos ministérios onde, volta e meia, processos desaparecem, para as mãos dos gestores de ciência treinados para implementar uma visão estratégica do projeto nacional de ciência e tecnologia.

12) Criação de “joint ventures” para produção de insumos e materiais de consumo para prática científica dentro do Brasil

É fundamental investir numa redução verdadeira dos trâmites burocráticos “medievais” que ainda existem para aquisição de materiais de consumo e equipamentos de pesquisa importados. Para tanto, é importante definir políticas de incentivo ao estabelecimento de empresas nacionais dispostas a suprir o mercado nacional com insumos e equipamentos científicos.

13) Criação do Banco do Cérebro

Um dos maiores gargalos para o crescimento da área de ciência e tecnologia no Brasil é a dificuldade que cientistas e empreendedores científicos enfrentam para ter acesso ao capital necessário para desenvolver novas empresas baseadas na sua propriedade intelectual. Na maioria das vezes, esses inventores e micro-empreendedores científicos ficam à mercê da ação de “venture capitalists” que oferecem capital em troca de boa parte do controle acionário da empresa em que desejam investir. Para reverter esse cenário, o governo federal poderia criar o Banco do Cérebro, uma instituição financeira destinada a implementar vários mecanismos financeiros para fomento do empreendedorismo científico nacional. Essas ferramentas financeiras incluiriam desde programa de microcrédito científico até formas de financiamento de novas empresas nacionais voltadas para produtos de alto valor agregado, fundamentais ao desenvolvimento da ciência brasileira e da economia do conhecimento.

Para isso, o governo federal deverá exigir que esses novos empreendimentos científicos sejam localizados numa das novas Cidades da Ciência. “Joint ventures” entre empreendedores

brasileiros e estrangeiros também deverão ser estimuladas pelo Banco do Cérebro, seguindo o mesmo critério social.

14) Ampliação e incentivo a Bolsas de Doutorado e Pós-Doutorado dentro e fora do Brasil

À primeira vista pode parecer contraditório propor metas para o desenvolvimento da Ciência Tropical e, ao mesmo tempo, reivindicar aumento significativo de bolsas de doutorado e pós-doutorado para alunos brasileiros no exterior. Novamente, a proposta da Ciência Tropical é, antes de tudo, uma nova proposta para o desenvolvimento de excelência na prática da pesquisa e educação científica. Dessa forma, ela tem de incentivar todas as formas que permitam aos melhores e mais promissores cientistas brasileiros complementarem sua formação fora do território nacional. Como bem disse a presidente-eleita Dilma Rousseff durante a campanha: “O Brasil precisa de seus cientistas porque eles iluminam o nosso país”. Pois que os futuros jovens cientistas brasileiros tenham a oportunidade de se transformar em genuínos embaixadores da ciência brasileira e complementar seus estudos em universidades e institutos de pesquisa estrangeiros, líderes em suas respectivas áreas. Esse processo de intercâmbio e “oxigenação” de idéias é essencial à prática da ciência de alto nível. Mesmo os cientistas brasileiros que optarem por ficar no exterior depois desse treinamento poderão trazer dividendos fundamentais para o desenvolvimento da Ciência Tropical.

15) Recrutamento de pesquisadores e professores estrangeiros dispostos a se radicar no Brasil

Com a crise financeira, verdadeiros exércitos de cientistas americanos e europeus estarão procurando novas posições nos próximos anos. Cabe ao Brasil tirar vantagem dessa situação e passar a ser um importador de cérebros e não um exportador de talentos. Historicamente, a academia brasileira tem inúmeros exemplos excepcionais de pesquisadores estrangeiros de alto nível que alavancaram grandes avanços científicos no Brasil. O Programa Brasileiro de Ciência Tropical só teria a ganhar com uma política mais abrangente, audaciosa e sistêmica de importação de talentos.

Miguel A. L. Nicolelis
23 de novembro de 2010