

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

Funcionamento atual de solos submetidos ao manejo afeto à cultura da cana-de-açúcar: caracterização para fins de irrigação com efluente de esgoto tratado. Área experimental da Usina Cosan, Piracicaba/SP.

Aline de Aquino

Orientadora: Profa. Dra. Nádia Regina do Nascimento

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Organização do Espaço, para a obtenção do título de mestre em Geografia.

RIO CLARO (SP)
2008

551.41 Aquino, Aline de
A657f Funcionamento atual de solos submetidos ao
manejo afeto à cultura da cana-de-açúcar:
caracterização para fins de irrigação com efluente de
esgoto tratado. Área experimental da Usina Cosan,
Piracicaba/SP / Aline de Aquino. - Rio Claro :
[s.n.], 2008
190 f. : il., figs., gráfs., quadros, fots., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual
Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Nádia Regina do Nascimento

1. Ciência do solo. 2. Pedologia. 3. Argissolo. 4.
Fertilidade. 5. Cobertura pedológica. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Nádia Regina do Nascimento (IGCE/UNESP/Rio Claro)

Profa. Dra. Célia Regina Montes (CENA/ESALQ/USP/Piracicaba)

Profa. Dra. Sônia Maria Furian Dias (FFLCH/USP/São Paulo)

Aline de Aquino
Aluno (a)

Rio Claro, 17 de Outubro de 2007.

Resultado: APROVADO (A)

Dedico à minha família

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida;

Aos meus pais, Aparecido e Terezinha, pelo estímulo, pelos conselhos e por compreenderem minhas ausências;

Ao meu irmão, José Mario, pela ajuda na etapa final do trabalho;

As minhas tias, Haydée e Acássia, pela ajuda e conselhos;

A Fernando, meu amor, pelo apoio, conselhos, paciência com minhas ausências e incentivo constante;

A Profa. Dra. Nádia Regina do Nascimento, pela ajuda, amizade, apoio e por me ensinar o verdadeiro significado da palavra “orientador”;

Ao Prof. Dr. Adolpho José Melfi e a Profa. Dra. Célia Regina Montes, do NUPEGEL, ESALQ/USP, pela oportunidade e pela confiança no decorrer do trabalho;

A Suely Martins, técnica do Laboratório LAFS, da UNESP, campus de Rio Claro, pelo auxílio nas análises e pela amizade;

Ao Sérgio, técnico do NUPEGEL, pela ajuda nas análises de raios-X e pelos conselhos;

Ao Paulo e Clotilde, funcionários do NUPEGEL, ESALQ/USP, pela ajuda no decorrer do trabalho;

Ao Prof. Dr. Miguel Cooper, pela disponibilidade do Laboratório de Microscopia, do Departamento de Solos, ESALQ/USP.

Ao Prof. Marcos Antônio Anganuzzi, do Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio, CEUNSP, pela disponibilidade do laboratório de Biologia;

A Beth, secretária do DEPLAN/IGCE/UNESP campus de Rio Claro, pelo auxílio no decorrer do trabalho e amizade.

A Débora, pela amizade, convivência e apoio no decorrer do trabalho;

Ao Osvaldo, pela ajuda na etapa final do trabalho;

A Dante Ximenes pela revisão de texto;

Muito Obrigada a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Trata-se do estudo macro, micromorfológico, mineralógico, físico e químico da cobertura de solos de uma área experimental para fins de irrigação com efluente de esgoto tratado. A área localiza-se na cidade de Piracicaba, na Fazenda Taquaral, arrendada à Usina Cosan, para cultivo da cana-de-açúcar. A área cedida pela Usina, unidade Santa Helena, para o experimento foi dividida em 10 parcelas e, tanto essas, quanto o efluente, receberão um determinado tipo de tratamento. Os objetivos deste trabalho foram compreender o funcionamento atual dos solos da área experimental e verificar a possibilidade de influência e/ou modificações da cobertura de solos com a utilização do efluente. A metodologia adaptada para a pesquisa foi a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET, 1982 a, b). A caracterização dos solos foi feita em uma seqüência de solos e por meio de doze sondagens em cada parcela, de 0 a 100 cm de profundidade. As análises realizadas foram morfológica, física, química e mineralógica, tanto para a seqüência quanto para as sondagens. A análise micromorfológica foi realizada apenas para os solos da seqüência. As características do efluente foram cedidas pelo Departamento de Água e Esgoto de Piracicaba. As análises permitiram classificar o solo da área como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico, caracterizar e entender o funcionamento atual dos solos, antes da irrigação com o efluente e deduzir as possíveis mudanças do sistema solo a partir do início da irrigação.

Palavras Chave: Cobertura Pedológica, Efluente de Esgoto Tratado, Argissolo.

ABSTRACT

The present work is a macro, micromorphological, mineralogical, physical and chemical study in an experimental area with the purpose of irrigation with treated sewage effluent. The area is located in the city of Piracicaba, at Taquaral Farm and leased to Cosan factory for sugar cane cultivation. The area was ceded by the factory for the experiment and divided in 10 parts, in accordance with the kind of treatment to be used with the effluent. This work had the purpose to analyze the soils of the experimental area, to understand its dynamics and to check the possibility of influence and change on the soils' covering by the usage of effluents. The soil study was based on the methodology of the Structural Analysis of the Pedological Cover (BOULET, et al. 1982. a, b), with adapt. The soil characterization was made in a sequence of soil and through twelve investigations in each part, until 100cm depth. The analysis made were morphological, physical, chemical and mineralogical, for the sequence as well as for the investigations. The micromorphological analysis was made only in the sequence of soil. The effluent characteristics were provided by the Piracicaba Water and Sewage Department. The soil was classified into Typic Hapludults and the analyses were important to characterize and understand the soil' dynamic before irrigation with treated sewage effluent and deduce the changes in the soil system with the effluent irrigation.

Key words: pedological cover, treated sewage effluent, Ultisols.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho acopla-se ao projeto temático *Uso de efluentes de esgotos tratados por processos biológicos (Lagoas de Estabilização e reatores UASB/Lodos Ativados) em solos agrícolas*, coordenado pelo Prof. Dr. Adolpho José Melfi e pela Profa. Dra. Célia Regina Montes. Este projeto está sendo desenvolvido no Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP) e fomentado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). A orientadora deste trabalho é a Profa. Dra. Nádia Regina do Nascimento, da UNESP, campus de Rio Claro. A Profa. Dra. Célia Regina Montes auxiliou na orientação em todas as etapas deste trabalho. Ressalta-se que todas as análises foram realizadas na Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, no Departamento de Solos e no NUPEGEL. Entretanto, as análises físicas foram feitas na UNESP, campus de Rio Claro, no Laboratório de Análises Superficiais (LAFS), cuja coordenadora é a Profa. Dra. Nádia Regina do Nascimento. A descrição micromorfológica foi realizada no Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio (CEUNSP), campus de Itu.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1- Localização da Área de Estudos.....	36
Figura 2 - Mapa Geomorfológico	37
Figura 3- Mapa Pedológico	37
Figura 4- Mapa Geológico	38
Figura 5- Mapa Hipsométrico da área experimental.....	38
Figura 6 - Sequência dos horizontes dos solos.....	55
Figura 7 - Microfotografias, ao microscópio óptico, dos dois Fundos Matriciais: Bruno-Avermelhado-Escuro e Vermelho (Horizonte Bt1 do perfil Tr1).....	58
Figura 8 – Microfotografias, ao microscópio óptico, dos dois fundos matriciais: Bruno-Avermelhado-Escuro e Vermelho do horizonte Bt1 do perfil Tr1 ((A) e (C)) e do perfil Tr2 ((B) e (D)).....	59
Figura 9 – Microfotografias, ao microscópio óptico, dos cutãs de separações plásmicas (Horizonte Bt1 do perfil Tr1)	60
Figura 10 – Microfotografias, ao microscópio óptico, da discordância entre poros e reorientação do plasma através da formação de cutãs do tipo separações plásmicas	61
Figura 11 – Microfotografias, ao microscópio óptico, da porosidade do tipo canais e câmaras sobre os dois fundos matriciais (Horizonte Bt1 do perfil Tr2)	62
Figura 12 - Microfotografias, ao microscópio óptico, de preenchimento de poros por eluviação (Horizonte Bt2 do perfil Tr1)	63
Figura 13 – Microfotografias, ao microscópio óptico, do fundo matricial Amarelo-Avermelhado progredindo sobre os outros fundos matriciais na jusante (Horizonte Bt2 do perfil Tr2).....	67
Figura 14 – Microfotografias, ao microscópio óptico, do fundo matricial amarelo-avermelhado (Horizonte Bt2 do perfil Tr2)	68
Figura 15 - Microfotografias, ao microscópio óptico, dos cutãs do tipo separações plásmicas no fundo matricial Amarelo-avermelhado (Horizonte Bt1 do perfil Tr2)	70
Figura 16 – Microfotografias, ao microscópio óptico, dos nódulos encontrados nos dois fundos matriciais (Horizonte Bt1 do perfil Tr1).....	71

Figura 17 – Microfotografias, ao microscópio óptico, do horizonte A do perfil Tr1 ((A) e (B)) e do perfil Tr2 (C).	72
Figura 18- Evolução da seqüência de solos.....	73
Figura 19- Distribuição das Frações Granulométricas, de acordo com a profundidade e lateralmente, para a seqüência.	78
Figura 20- Distribuição de Argila Dispersa em Água (ADA), Grau de Floculação (GF) e Grau de Dispersão (GD), de acordo com a profundidade e lateralmente, para a seqüência de solos.....	79
Figura 21- Distribuição dos valores de pH, soma de bases, capacidade de troca de cátions e dos teores das Bases Trocáveis, de acordo com a profundidade, para a seqüência de solos.....	85
Figura 22 - Distribuição dos teores de Alumínio e dos valores de H + Al e Saturação por Bases, de acordo com a profundidade, para a seqüência de solos.	86
Figura 23 - Distribuição da Matéria Orgânica, Fósforo, Enxofre e Boro, de acordo com a profundidade, para a seqüência de solos.	90
Figura 24 - Distribuição dos elementos Cobre, Zinco, Manganês e Ferro, de acordo com a profundidade, para a seqüência de solos.	91
Figura 25 - Distribuição dos teores de Argila nas parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm	95
Figura 26 - Distribuição dos teores de Silte nas parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100cm	96
Figura 27 - Distribuição dos teores de Areia Fina nas parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm	97
Figura 28 - Distribuição dos teores de Areia Grossa nas parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm.....	98
Figura 29 - Distribuição dos teores de Argila Dispersa em Água na área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm.....	99
Figura 30 - Distribuição do pH para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm	103
Figura 31 - Distribuição da Soma de Bases para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm	104
Figura 32 - Distribuição da Capacidade de Troca de Cátions para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm.....	105

Figura 33 - Distribuição de H + Al para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm	106
Figura 34 - Distribuição da Saturação por Bases para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm.....	107
Figura 35 - Distribuição da Matéria Orgânica para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm	108
Figura 36 - Relação entre os elementos cálcio e magnésio, dos perfis Tr1, P3 e Tr2, de acordo com a profundidade, para a seqüência.	113
Figura 37 - Relação entre cálcio e matéria orgânica, para os perfis Tr1, P3 e Tr2 respectivamente, da seqüência.	114
Figura 38 - Relação entre magnésio e matéria orgânica, para os perfis Tr1, P3 e Tr2, respectivamente, para a seqüência.....	115
Figura 39 - Relação entre cálcio e sódio, para os pontos Tr1, P5 e Tr2, para a seqüência.	117
Figura 40 - Relação entre cálcio e alumínio, para os pontos Tr1 e Tr2, para a seqüência.	118
Figura 41 - Relação entre cálcio e soma de bases dos perfis Tr1, P5 e Tr2 para a seqüência.	120
Figura 42 – Relação entre magnésio e soma de bases para os perfis Tr1, P5 e Tr2 para a seqüência de solos.....	121
Figura 43 - Relação entre pH e Soma e Saturação por bases para os pontos Tr1 e Tr2 para a seqüência de solos.	123
Figura 44 - Relação entre Al e CTC para os pontos Tr1 e Tr2 da seqüência de solos.	124
Figura 45 - Relação entre Fósforo e Matéria Orgânica nos pontos Tr1, P5 e Tr2 para a seqüência de solos.....	125
Figura 46 - Relação entre os teores de Enxofre e Argila para a seqüência de solos	126
Figura 47 - Relação entre boro e matéria orgânica para os pontos Tr1, P5 e Tr2 para a seqüência de solos.....	127
Figura 48 - Relação entre cobre e matéria orgânica para os pontos Tr1 e Tr2, para a seqüência de solos.....	128
Figura 49 - Relação entre cobre e pH para os pontos Tr1, P5 e Tr2 para a seqüência de solos	129

Figura 50 - Relação entre zinco e matéria orgânica para os pontos Tr1, P6 e Tr2 para a seqüência de solos.....	130
Figura 51 - Relação entre os valores de pH e os teores de Zinco para os perfis Tr1 e Tr2 para a seqüência de solos	131
Figura 52 - Relação entre os teores de Zn e Argila para os perfis Tr1 e Tr2 para a seqüência de solos.....	131
Figura 53 - Relação entre os teores de Manganês e de Argila para os perfis Tr1 e Tr2 para a seqüência	132
Figura 54 - Distribuição dos teores de Ferro e de Argila para os pontos Tr1 e Tr2 para a seqüência de solos.....	132
Figura 55 – Estação de Tratamento de Esgoto Cecap.....	136
Figura 56 - Croqui do experimento com cana-de-açúcar, indicando a distribuição dos tratamentos nas parcelas experimentais	137

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 - Caracterização da Vinhaça (Estado de São Paulo)	27
Tabela 2 - Distribuição das frações granulométricas, argila dispersa em água, grau de floculação e dispersão para a seqüência de Argissolos	80
Tabela 3 - Parâmetros Químicos do Efluente de Esgoto tratado na ETE Cecap	138

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OS SOLOS E O USO DE EFLUENTES DE ESGOTO: UMA PEQUENA REVISÃO	23
2.1	Fertilidade	23
2.2	Influência do uso da adubação e efluente de esgoto sobre a fertilidade	25
2.2.1	Adubação.....	25
2.2.2	Efluente de esgoto tratado.....	27
3	CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDOS.....	34
4	METODOLOGIAS EMPREGADAS.....	39
4.1	Análise estrutural da cobertura pedológica	39
4.2	Procedimentos analíticos de laboratório	40
4.2.1	Análises físicas	40
	As análises físicas realizadas foram Granulometria e Argila Dispersa em Água.....	40
4.2.1.1	Análise granulométrica	41
4.2.1.2	Argila dispersa em água	42
4.2.2	Análises químicas	42
4.2.2.1	Determinação do pH.....	42
4.2.2.2	Determinação da acidez total com solução-tampão SMP (H + Al)	43
4.2.2.3	Determinação da matéria orgânica.....	43
4.2.2.4	Determinação do alumínio trocável	44
4.2.2.5	Determinação de potássio e sódio.....	44
4.2.2.6	Determinação de boro	44
4.2.2.7	Determinação de enxofre.....	45

4.2.2.8	Determinação de cálcio, magnésio e fósforo	45
4.2.2.9	Determinação de cobre, zinco, manganês e ferro	46
4.2.3	Análise mineralógica	46
4.2.3.1	Extração de argila e preparação das amostras para difratometria de raios-X.....	46
4.2.3.2	Difratometria de raios-X.....	48
4.2.4	Micromorfologia	49
4.2.4.1	Impregnação das amostras	49
4.2.4.2	Elaboração e descrição das lâminas delgadas.....	49
4.2.5	Caracterização dos horizontes superficiais a partir do conjunto de pontos por parcela	49
4.2.5.1	Uso do interpolador krigagem universal para a espacialização das propriedades físicas e químicas dos solos na área experimental.....	50
5	RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES.....	52
5.1	Morfologia dos solos da seqüência de solos.....	52
5.1.1	Morfologia de campo	52
5.1.2	Interpretações	53
5.2	Micromorfologia dos solos da seqüência de Argissolos.....	56
5.2.1	Descrição dos fundos matriciais	56
5.2.2	Interpretações	65
5.3	Análises físicas das amostras da seqüência de solos	74
5.3.1	Distribuição das frações granulométricas	74
5.3.1.1	Interpretações.....	75
5.3.2	Distribuição de argila dispersa em água, grau de dispersão e grau de floculação.....	76
5.3.2.1	Interpretações.....	76
5.4	Análises químicas do complexo sortivo dos horizontes da seqüência de solos.....	81

5.4.1	pH, bases trocáveis, soma de bases e capacidade de troca catiônica (CTC).....	81
5.4.1.1	Interpretações	83
5.4.2	Al trocável, H + Al e saturação por bases.	83
5.4.2.1	Interpretações	84
5.4.3	Matéria orgânica, fósforo, enxofre e oligoelementos.	86
5.4.3.1	Interpretações	88
5.5	Análises físicas dos solos nas parcelas da área experimental através de tradagem	92
5.5.1	Distribuição espacial das frações granulométricas	92
5.5.2	Distribuição de argila dispersa em água, grau de dispersão e grau de floculação	93
5.5.3	Interpretações	93
5.6	Análises químicas do complexo sortivo nas parcelas da área experimental	100
5.6.1	Parâmetros físico-químicos: pH, soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC)	100
5.6.2	Parâmetros físico-químicos: H + Al e saturação por bases	101
5.6.3	Matéria orgânica	101
5.6.4	Interpretações	102
6	CONSIDERAÇÕES SOBRE A INTERAÇÃO DA ADUBAÇÃO, CALAGEM, VINHAÇA E TORTA DE FILTRO COM A FÍSICA, QUÍMICA E MINERALOGIA DOS SOLOS: FUNCIONAMENTO ATUAL	109
6.1	A influência do sódio sobre a argila dispersa em água: o risco de erosão superficial	109
6.2	Mudanças na distribuição dos elementos e nas propriedades químicas dos solos	111
6.2.1	As Bases	111
6.2.2	O Alumínio e as bases: o comportamento do pH	115

6.2.3	Saturação do complexo sortivo por alumínio e o papel da matéria orgânica na capacidade de troca catiônica	118
6.2.4	A dinâmica do fósforo e do enxofre	119
6.2.5	Os micronutrientes	122
6.3	Mineralogia de argila e o papel do sódio vindo do manejo atual (vinhaça e torta de filtro) sobre a mobilidade da argila	133
6.3.1	Os minerais da fração argila	133
6.3.2	O papel do sódio sobre a mobilidade da argila	133
7	O EFLUENTE DE ESGOTO E INTERAÇÕES ENTRE SOLO E MANEJO ATUAL	135
7.1	Parâmetros químicos do efluente de esgoto a ser utilizado na Irrigação. .	135
7.2	Interações entre solo e manejo atual	139
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	140
9	REFERÊNCIAS	142
10	ANEXOS	148
10.1	Anexo A – Descrições de Campo	149
10.2	Anexo B – Descrição Técnica Micromorfológica	155
10.3	Anexo C - Resultado das Análises Químicas do Complexo Sortivo para a seqüência de solos.	160
10.4	Anexo D - Resultado das Análises Físicas para as parcelas da área experimental.	163
10.5	Anexo E - Resultado das Análises Químicas do Complexo Sortivo para as parcelas da área experimental.	166
10.6	Anexo F - Resultado das Análises Mineralógicas por meio de Difrátogramas de raios-X	170

1 INTRODUÇÃO

O reconhecimento do solo como um corpo natural organizado ocorreu com Dokuchaiev, em 1883, quando comprovou que os solos são produtos de interações complexas do clima, planta e animais, material de origem, topografia e idade da superfície. Nesse sentido, os fatores de formação do solo e a importância de suas interações foram reconhecidos, além dos conceitos de horizonte e perfil de solo.

A contribuição de Dokuchaiev estimulou o desenvolvimento de pesquisas em ciência do solo no mundo todo, tanto no que se refere à definição do recurso solo, quanto ao desenvolvimento de um sistema de classificação (SIMONSON, 1968; BUOL, 1997;). Em relação aos fatores de formação, Jenny (1941), procurou, através da quantificação, demonstrar que os solos formam-se e, progressivamente, desenvolvem-se sob a influência dos fatores do meio (JOHNSON; WATSON-STENGER, 1987).

Segundo os mesmos autores, ainda considerando os fatores de formação, os solos progridem de simples a complexos e, fundamentalmente, em direção a um estado de equilíbrio por um determinado período. O reconhecimento do desenvolvimento progressivo, a formação e transformação do solo, a tridimensionalidade, a organização e estruturação dos solos (BOULET, *et al.*, 1982 a, b; JOHNSON; WATSON-STENGER, 1987), permitem conceituá-los como um meio contínuo tridimensional e, daí poder chamá-lo de cobertura pedológica, que vem da alteração de um dado material de origem (uma rocha ou depósitos recentes), constituído por sólidos minerais e orgânicos, líquidos e gases e por seres vivos ou mortos.

Meio organizado e estruturado, os constituintes do solo estão dispostos de tal maneira a manter uma relação entre si, o que resulta em sua morfologia, ou seja, em uma anatomia, em uma estrutura. A ordenação e a estruturação dão-se do nível microscópico ao da paisagem. É um meio dinâmico, em perpétua evolução e transformação e apresenta diferentes funções (suporte para as plantas e organismos vivos, inclusive o homem, função de filtro, etc.). Essa definição encerra os princípios de especificidade, constituição, estruturação, ordenação e função do solo (FALCONI,

2004).

A especificidade do solo está estreitamente ligada à sua origem e é o que o distingue de uma rocha, de uma planta. O solo não é, pois, um objeto estático e isolado no ecossistema e, por essa razão, é possível dizer que os solos formam-se e depois passam por um processo de transformação (FANNING; FANNING, 1989).

Esse meio dinâmico recebe e “processa” dejetos, como o lixo das cidades e águas residuárias, como o efluente de esgoto. É o solo o suporte para várias ações e, como tal, e por ser um meio organizado, estruturado e dinâmico pode ser transformado, tanto no que tange à sua fertilidade, como também no que se refere à sua formação e evolução.

A pedogênese (formação do solo) ocorre, quando as modificações (físicas, químicas e mineralógicas) causadas nas rochas pelo intemperismo tornam-se, sobretudo, estruturais, com importante reorganização e transferência dos minerais formadores do solo – principalmente argilominerais e oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio – entre os níveis superiores do manto de alteração. A fauna e a flora desempenham papel fundamental, pois ao realizarem suas funções vitais, modificam e movimentam enormes quantidades de material, mantendo o solo aerado e renovado em sua parte mais superficial.

O efluente de esgoto, ao ser utilizado, juntar-se-á à água e funcionará como solução de ataque para a decomposição dos minerais? A depender da composição do efluente, poderá tornar as soluções de ataque ácidas ou básicas, acelerando o processo de decomposição dos minerais e influenciando na formação de novos minerais e, conseqüentemente, sobre a pedogênese?

O principal agente do intemperismo químico é a água da chuva que infiltra e percola as rochas. Essa água, rica em oxigênio, em interação com o CO₂ da atmosfera, adquire caráter ácido. Quando a degradação da matéria orgânica não é completa, vários tipos de ácidos orgânicos são formados e incorporados às águas percolantes, tornando-as muito ácidas e, conseqüentemente, aumentando seu poder de ataque em relação aos minerais, intensificando o intemperismo químico (TOLEDO, 2000).

O ambiente onde as rochas se formaram é bem diferente do ambiente da superfície da Terra (rico em água e oxigênio). Assim, quando as rochas afloram na superfície, seus minerais entram em desequilíbrio e, através de reações químicas, formam novos minerais, mais estáveis no novo ambiente (TOLEDO, 2000).

O efluente de esgoto e outros resíduos orgânicos no solo, em substituição aos fertilizantes, poderiam influenciar os processos de intemperismo? Quais seriam as escalas de tempo, volume e espaço, para que isso ocorra? Efluentes ricos em sódio podem favorecer a concentração de sais em determinado tipo de solo e, conseqüentemente, ocasionar novos processos de intemperismo?

Os fatores de formação do solo (tempo, clima, topografia, material de origem e organismos) possuem uma forte interação e exercem controle sobre o intemperismo. A influência do clima sobre os solos ocorre pela variação de temperatura e distribuição das chuvas; o relevo influi na infiltração e escoamento da água da chuva. A fauna e a flora são fornecedoras de matéria orgânica que auxilia as reações químicas e a remobilização de materiais. Esses fatores, também, influenciam os processos pedogenéticos, que envolvem o intemperismo do material originário, a incorporação e decomposição da matéria orgânica e o movimento de solutos e sólidos na cobertura de solo.

Os estudos sobre os solos são numerosos e têm trazido um vasto conhecimento sobre a sua fertilidade, gênese e funcionamento. Entretanto, os estudos das interações ocorridas nos solos e o que é jogado sobre eles são ainda insuficientes. Mas a demanda cada vez maior de recursos naturais, a pressão e a necessidade de preservação desses recursos têm estimulado pesquisas sobre novas formas de utilização de resíduos e dejetos vindos da atividade humana e, conseqüentemente, pode-se esperar que os estudos ampliem os conhecimentos sobre a interação desses resíduos e dejetos com o seu suporte físico.

No caso dos solos, o uso de efluentes de esgoto como agente de modificação da fertilidade tem sido incrementado e já existem importantes trabalhos a esse respeito (BOUWER; CHANEY, 1974; FEIGIN, 1977; SMITH, 1991; BALKS, 1998; BOND, 1998; SPARLING, 2006). Entretanto, são poucos os trabalhos que têm se preocupado em distinguir os efeitos dos efluentes de esgoto sobre a formação,

evolução e transformação dos solos (ABU-SHARAR, 1993; CAMERON; DI; McLAREN, 1997). Esses autores reportam transformações na estrutura dos solos.

O problema científico de que se trata nesta pesquisa é se, de fato o efluente de esgoto tratado pode interferir na fertilidade e na transformação dos solos. Do ponto de vista prático, os nutrientes que o efluente de esgoto contém são uma opção viável economicamente? Os gastos com fertilizantes artificiais poderiam ser poupados e utilizados de outra forma? Mas será que os recursos solo e hídrico estariam sendo “conservados”? Desta maneira, o objetivo deste trabalho é estudar os solos de uma área experimental por meio de uma seqüência de solos e doze sondagens feitas em cada parcela, em um total de 10 parcelas, sob diferentes manejos ligados à cultura da cana. Priorizou-se fazer caracterização macro e micromorfológica, análises físicas, químicas e mineralógicas dos solos da seqüência e das parcelas, para verificar o funcionamento atual dos solos antes da colocação do efluente. Usou-se como parâmetro, para detectar as transformações, um perfil de solo localizado no interior de uma mata secundária, localizado na seqüência de solos.

Assim, dado o objetivo, esta dissertação tem a seguinte estrutura: no Capítulo 2 apresenta-se uma revisão de literatura sobre solos e uso de efluentes de esgoto. No Capítulo 3, apresentam-se as características geoambientais da área experimental e de seu entorno, contextualizando a área de trabalho frente à dinâmica geoambiental geral. No Capítulo 4, são tratadas as metodologias utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa. A organização dos solos da área experimental e os resultados obtidos com as análises morfológicas, micromorfológica, física, química e mineralógica são discutidos no Capítulo 5. No Capítulo 6 apresenta-se o funcionamento dos solos atuais. No Capítulo 7 apresentam-se as características principais do efluente e sua interação com o solo e o manejo atual e, no Capítulo 8, apresentam-se as considerações finais.

2 OS SOLOS E O USO DE EFLUENTES DE ESGOTO: UMA PEQUENA REVISÃO

2.1 Fertilidade

A fertilidade dos solos pode ser analisada de duas formas: através do potencial e da disponibilidade de nutrientes para as plantas e das propriedades físicas dos solos. Ambas são herdadas do material originário, que envolve diferentes fatores, e do desenvolvimento progressivo dos solos, que encerra, além dos diferentes fatores, as interações nas diferentes fases (sólida, líquida e gasosa) do solo entre si e com as plantas.

Os nutrientes, em sua maioria, originam-se de minerais que constituem a rocha e os solos. As rochas sofrem desagregação e decomposição, quando afloram à superfície, liberando os minerais que, por sua vez, também sofrem decomposição, liberando nutrientes que estarão disponíveis para as plantas. Este processo é denominado intemperismo e refere-se ao conjunto de modificações de ordem física (desagregação) e química (decomposição) que as rochas sofrem ao aflorar na superfície da Terra. O intemperismo causa inúmeras modificações no aspecto físico e mineralógico, via decomposição dos minerais primários das rochas, transformando-os em secundários (CHEWORTH, 1992; TOLEDO, 2000). Nesse processo, os constituintes são afinados, dando aos horizontes de alteração e dos solos uma textura característica. Dos componentes texturais, o mais importante, do ponto de vista das interações químicas dentro dos solos, é a argila.

As partículas de argila são pequenas (menores que 0,002 mm), com área superficial específica elevada, daí sua grande reatividade. Ao redor delas, alguns elementos são adsorvidos com intensidades diferentes, um em relação ao outro. Cálcio, magnésio e potássio, por exemplo, têm maior afinidade pela argila do que o sódio, ou seja, os três primeiros elementos são fortemente retidos pelas partículas de argila em comparação ao sódio; além disso, os cátions divalentes são mais efetivos do que os cátions monovalentes no que se refere à estabilidade de

agregados, devido à sua maior densidade de carga e habilidade de ligar colóides (PICCOLO; MBAGWU, 1989; HALLIWELL; BARLOW; NASH, 2001).

Nesse suporte físico, as argilas (fase sólida) e a matéria orgânica regulam com a solução do solo (fase líquida) o estoque de nutrientes, através das reações de troca. É assim que, além de consumirem água, oxigênio e gás carbônico, as plantas retiram desse estoque de nutrientes quinze elementos essenciais à vida: os macronutrientes, absorvidos em grande quantidade e que compreendem nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre e, os micronutrientes, usados em pequena quantidade e que são boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel, cobalto e zinco.

Segundo Lepsch (2002), a idéia de que o crescimento das plantas é controlado pelo nutriente existente em menor quantidade vem desde o tempo do químico Justus Von Liebig (1840), e é conhecida como a Lei do Mínimo. A importância da Lei do Mínimo para a aplicação de adubos na agricultura é bastante grande, e a habilidade de um solo reagir à adição de determinado fertilizante às plantas tem merecido grande atenção nos estudos da ciência do solo.

Para que os vegetais tenham um crescimento adequado, é necessário que todos os nutrientes estejam presentes e em quantidades suficientes, balanceadas e disponíveis; além disso, os padrões de temperatura, umidade e aeração, ou seja, os padrões do ambiente devem estar favoráveis à disponibilidade de nutrientes e absorção pelas plantas. Quando isso ocorre, diz-se que o solo é fértil. Ao contrário, se um dos elementos estiver ausente, haverá limitação para o crescimento da planta. A presença exagerada de um elemento em detrimento de outros, também, limita o crescimento das plantas de forma satisfatória.

Entretanto, a capacidade dos solos em produzir não depende, exclusivamente, da disponibilidade de nutrientes. Algumas propriedades físicas como argila dispersa e gradiente textural têm se tornado fatores limitantes da capacidade produtiva de um solo. Solos arenosos com horizonte B pouco desenvolvido, ou sem a presença desse horizonte, podem apresentar carência de umidade em períodos de seca e, em períodos úmidos, carência de nutrientes devido à forte lixiviação. Além disso, solos arenosos possuem em sua assembléia

mineralógica quartzo, predominantemente. Entretanto, esses solos apresentam importante função de suporte para as plantas e suas raízes. A utilização de fertilizantes nesse tipo de solo deve ser fracionada, aplicando-o sempre na superfície e, constantemente, para que não haja forte lixiviação e as plantas consigam absorver os nutrientes (TISDALE, 1985). Por outro lado, solos com elevada quantidade de argila apresentam melhores condições agrícolas se comparados aos solos arenosos. Isso se deve à forte interação das argilas com cátions trocáveis e à sua elevada superfície específica, ou seja, muitas reações físicas, químicas e físico-químicas ocorrem na superfície dos minerais da fração argila. Entretanto, solos argilosos podem apresentar características físicas ruins, como argila dispersa em água. A dispersão da argila pode ocorrer pelo manejo constante da superfície, ou pode estar relacionada ao sódio e ao potássio. Além disso, a argila dispersa pode ocasionar entupimento dos poros, diminuindo a infiltração e a permeabilidade dos solos, causando o processo de erosão.

A utilização de fertilizantes e/ou adubos, a fim de diminuir as deficiências de nutrientes, deve ser realizada após um estudo detalhado dos solos, pois cada tipo de solo apresenta especificidade e características naturais próprias. É a partir de um diagnóstico das características de cada solo que se poderá dizer o tipo e a quantidade de fertilizantes a ser utilizado.

2.2 Influência do uso da adubação e efluente de esgoto sobre a fertilidade

2.2.1 Adubação

Alguns solos, dependendo de sua fertilidade química, carecem de alguns nutrientes, pois, quando cultivados, as plantas não terão o crescimento adequado em decorrência da sua ausência. Tal situação pode ser revertida. Diversas formas de corrigir essa ausência foram criadas, tais como aplicação de insumos e fertilização, que possibilitam o fornecimento de nutrientes e, calagem que permite a correção do pH, para o desenvolvimento das plantas.

Fertilizantes, pesticidas e herbicidas são os mais práticos para a utilização na agricultura, mas podem contaminar o meio natural como o solo; a água subterrânea e os cursos de água próximos à área cultivada, por infiltração ou pelas enxurradas nos períodos de chuva e, o ar, pelos ventos, que podem carregar elementos a quilômetros de distância, podendo chegar às áreas urbanizadas.

A indústria canavieira, além de fertilizantes e calagem, utiliza resíduos como a vinhaça e torta de filtro como adubos. A vinhaça e a torta de filtro, dependendo das etapas de fermentação, do sistema de destilação utilizado, das condições industriais e do clima, podem apresentar composição química diferente (PRADA, 1998; NARDIN, 2007). Prada (1998) salienta que a vinhaça tem elevado teor de cálcio, magnésio, potássio, fósforo e matéria orgânica. O sódio não é citado nos parâmetros físico-químicos analisados pelo autor. Os resultados de análises de torta de filtro apresentadas por Nardin (2007), também não apresentam sódio em sua composição. Este autor concluiu que a aplicação da torta de filtro aumentou os teores de cálcio e fósforo no solo; no entanto, não houve aumento significativo na produtividade da cana-de-açúcar. Entretanto, Brito e Rolim (2005), analisando Espodossolo Cárbico Órtico duripânico arênico em colunas de PVC e irrigados com vinhaça, verificaram que a mesma apresenta sódio em sua composição. Esses autores concluíram que a irrigação com a vinhaça aumentou o teor das bases cálcio, magnésio, potássio e sódio. Este último teve um grande aumento, mas não ultrapassou os teores de potássio. No entanto, à medida em que houve aumento na dose de aplicação da vinhaça, os elementos Ca, Mg, K e Na também aumentaram. Penatti (2007), apresentando os parâmetros físico-químicos da vinhaça, no Estado de São Paulo, mostrou que esta possui sódio em sua composição. A tabela 1 apresenta as características da vinhaça obtidas por Penatti (2007). Portanto, o manejo praticado nas áreas agrícolas, independentemente do local, pode influenciar no funcionamento dos solos, principalmente em relação à sua fertilidade.

Tabela 1 - Caracterização da Vinhaça (Estado de São Paulo)

Parâmetros	Unidade	Mínimo	Média	Máximo
Nitrogênio	mg/l	90	357	885
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	1	11	65
Fósforo Total	mg/l	18	60	188
Potássio Total	mg/l	814	2.035	3852
Cálcio	mg/l	71	515	1096
Magnésio	mg/l	97	226	456
Manganês	mg/l	1	5	12
Ferro	mg/l	2	25	200
Sódio	mg/l	8	52	220
Cloreto	mg/l	480	1219	2300
Sulfato	mg/l	790	1538	2800
Sulfito	mg/l	5	36	153

Fonte: Penatti, 2007

2.2.2 Efluente de esgoto tratado

Em substituição total ou parcial aos fertilizantes surge a utilização de efluente de esgoto tratado, que consiste em um tipo de água residuária, rica em nutrientes e matéria orgânica. Em países como a Austrália e Estados Unidos, a utilização do efluente em substituição aos fertilizantes convencionais tem tido resultados positivos (CAMERON; DI; McLAREN, 1997).

A utilização do efluente de esgoto ganhou destaque a partir do século XX, pois houve um aumento na demanda por recursos hídricos de boa qualidade devido ao crescimento populacional. Além disso, a distribuição desigual desse recurso no mundo, as secas em algumas regiões do globo e a poluição da água, exigem a disponibilidade da mesma com boa qualidade. Desse modo, diversos estudos vêm sendo realizados para que o efluente deixe de ser disposto nos cursos de água. O melhoramento da sua qualidade, a partir do tratamento, facilita a sua utilização em diversas atividades (BOUWER; CHANEY, 1974; FONSECA, 2001; SPARLING, *et al.*, 2006).

Atualmente, no Brasil, vem aumentando o número de cidades que implantam sistemas de tratamento de esgoto, principalmente no interior do estado de São Paulo, cujas cidades são, em sua maioria, de porte médio. O tratamento do esgoto dá-se através de diferentes técnicas, destacando-se a de lagoas de estabilização que geram dois subprodutos: 1) o lodo de esgoto (também denominado biossólido)

resíduo semi-sólido, geralmente disposto em aterros sanitários ou incinerado e 2) o efluente de esgoto tratado, resíduo líquido que consiste em um tipo de água residuária, cujo destino final tem sido os corpos de água (FONSECA, 2001).

Para descarte e/ou deposição dos resíduos são várias as opções. Dentre elas destacam-se os aterros, meio mais comum de deposição, principalmente, do lodo de esgoto e de outros resíduos. São produtos que além de exigir grandes áreas para a deposição dos resíduos, devem estar localizadas sobre solos argilosos, que devem estar revestidos com material sintético. Além disso, as áreas para deposição devem ser monitoradas por causa da produção de chorume e gás metano. O chorume, por lixiviação, pode atingir o lençol subterrâneo e contaminá-lo e, o metano contribui para aumentar a contaminação da atmosfera. A atração para a utilização dos aterros é o baixo custo.

Outra opção de descarte é a incineração dos resíduos, pois há uma diminuição do volume destes. Embora a incineração seja um método versátil para a destruição de muitos tipos de resíduos, o processo cria problemas ambientais, principalmente em relação à emissão de gases e partículas na atmosfera (partículas sólidas, metais pesados, gases e elementos orgânicos), além de ser de alto custo (CAMERON; DI; McLAREN, 1997; BOND, 1998).

Por fim, o descarte de resíduos, destacando-se o efluente de esgoto tratado, nos corpos de água (rios, lagos, oceano) é realizado em muitos países devido à praticidade e maior facilidade, uma vez que as estações de tratamento, geralmente, estão localizadas próximas aos cursos de água. Entretanto, problemas ambientais, tais como redução do oxigênio na água, toxicidade e salinidade da água, são de elevado grau e podem atingir até o ecossistema marinho e o próprio ser humano.

Durante o processo de tratamento, as concentrações de matéria orgânica e nutrientes são reduzidas, mas, geralmente os efluentes, após os tratamentos, apresentam, ainda, concentrações de nitrogênio e fósforo acima do permitido pela Resolução CONAMA nº357 17/03/2005. Desse modo, quando dispostos nos cursos de água, os efluentes promovem a eutrofização da água, causando sérios problemas ao meio ambiente. Um exemplo importante é apresentado por Haskins e Pty (1991) *apud* Bond (1998). Esses autores concluíram que o efluente de esgoto

contribuiu com mais de 25% do total de nutrientes presentes no sistema do rio Murray Darling, Austrália, durante vários anos; e que nos períodos mais secos, a porcentagem de contribuição aumentou para quase 50%, auxiliando também na proliferação de algas. Quando depositado nos oceanos, o efluente causa desequilíbrio dos nutrientes, afetando a vida marinha e, caso o efluente tenha recebido o tratamento mínimo, pode causar problemas à saúde humana, e estéticos às praias (BOND, 1998).

Entretanto, a qualidade do efluente depende da fonte geradora, do modo de tratamento, bem como da operação dos sistemas de distribuição, ou seja, para utilizá-lo de forma a não prejudicar o meio, seu monitoramento e qualidade são necessários. Além disso, cada tipo de resíduo tem propriedades físicas, químicas e biológicas específicas, o que dificulta na formulação de um sistema estratégico de manejo (HALLIWELL; BARLOW; NASH, 2001).

A utilização do efluente de esgoto tratado na irrigação de culturas é viável econômica e ambientalmente (FONSECA, 2001), pois o gasto com fertilizantes artificiais seria reduzido e o efluente não seria descartado nos corpos de água, evitando, assim, a contaminação. Além disso, a importância crescente da agricultura, ou melhor, do agronegócio no país e o aumento da pressão de ambientalistas e da sociedade acadêmica para evitar o descarte de efluentes nos cursos de água faz com que esse tenha grande potencial de utilização na agricultura. Segundo Feigin, *et al.* (1977), o sucesso do efluente de esgoto na irrigação depende de seu manejo, levando em consideração as diferenças em relação à qualidade do efluente em comparação com a água doce.

Uma das características que possibilitam a utilização de efluente na irrigação de culturas é o fato de esse conter grande quantidade de nitrogênio e fósforo, nutrientes que podem ser adicionados como fertilizantes para obtenção do crescimento satisfatório das plantas (ELLIS; MELLOR, 1995). Entretanto, a aplicação do efluente pode gerar problemas ao solo, como acumulação excessiva de nitrogênio, fósforo e sais, modificando propriedades físicas, químicas e biológicas (HALLIWELL; BARLOW; NASH, 2001) e, até mesmo impossibilitando a atuação de processos pedogenéticos e sua dinâmica (CAMERON; DI; McLAREN, 1997). Assim, surgem as perguntas: o solo seria realmente um “depósito” apropriado para nossos

resíduos (CAMERON; DI; McLAREN, 1997), ou, apenas, estar-se-ia transferindo o risco de acumulação/contaminação por determinados elementos de um recurso natural para o outro? Por outro lado, o uso do efluente de esgoto é uma solução para as deficiências de nutrientes dos solos ou seria uma solução para o ecológico? O uso do efluente nos solos seria de fato “ecologicamente correto”?

Alguns estudos têm sido realizados para verificar se o solo seria realmente um meio apropriado para deposição de resíduos, ou melhor, se suas propriedades físicas, químicas e biológicas seriam afetadas pela irrigação com efluente de esgoto tratado. Segundo Cameron, Di, e McLaren, (1997), os principais elementos e/ou propriedades do solo que sofreriam mudanças, sejam positivas ou negativas, com aplicação do efluente de esgoto seriam carbono, nitrogênio, sódio e outros sais, pH e a capacidade de troca catiônica (CTC), além da influência sobre a fauna do solo.

✦ Carbono: resíduos orgânicos estimulam a população microbiana pela adição de nutrientes e carbono, e esta tem uma grande capacidade para degradar a matéria orgânica. A taxa de degradação depende do tipo de resíduo (humano, industrial, agrícola), do tipo de tratamento (primário, aeróbico, anaeróbico), do método e da taxa de aplicação, bem como das características do solo e dos fatores do meio (umidade e temperatura). A aplicação do efluente de esgoto tem aumentado o teor de carbono orgânico sintetizado pelos microorganismos do solo. Staldelmann e Furrer (1985) verificaram aumento do conteúdo de carbono de um solo areno-argiloso de 1,5% para 2,6% após sete anos de aplicação de efluente de esgoto a uma taxa de 5t/ha/ano. A aplicação de resíduos orgânicos na superfície pode estimular a estabilidade dos agregados dos solos. Solos arenosos com baixa estabilidade reagem mais do que solos argilosos com alta estabilidade. Por exemplo, resíduos de porcos, de gado e efluente de esgoto aumentaram a estabilidade dos agregados em solos areno-argilosos, enquanto que em solos argilosos não houve mudanças significativas (CAMERON; DI; McLAREN, 1997). Entretanto, nem todos os resíduos aumentam a estabilidade dos agregados. Lieffering e McLay (1996) *apud* Cameron, Di, e McLaren, (1997) revelam que a estabilidade pode ser reduzida com a aplicação de soluções de hidróxidos, presentes em resíduos industriais com alto pH. Essa redução na estabilidade foi atribuída à dissolução da matéria orgânica, pelo alto pH da solução, que resultou em

uma perda de ligação entre partículas.

✦ Nitrogênio: a aplicação de resíduos orgânicos, na superfície, pode produzir aumento significativo de N no solo: Mbagwu e Piccolo (1990) apontaram aumento de 57% após aplicação com efluente de esgoto. Bitzer e Sims (1988) observaram que 69% do nitrogênio orgânico presente em resíduos de aves, depositado no solo, foi mineralizado em 140 dias. Em relação à lixiviação do nitrogênio, estudos com lisímetros (CAMERON, 1996) confirmaram a perda de nitrato por lixiviação em pequena quantidade, quando o resíduo é aplicado a taxas relativamente baixas, mas, a perda aumenta com altas taxas de aplicação. Além disso, as condições do solo, temperatura e o tempo entre os eventos de irrigação podem favorecer ou não a mineralização do N e/ou a denitrificação (CAMERON; DI; McLAREN, 1997).

Estudando os efeitos do nitrogênio na cultura de beterraba e algodão irrigada com efluente de esgoto tratado sob vertissolos de textura argilosa (50%) e pH 8.0, em Israel, Feigin (1977), concluiu que nas plantações de beterraba, quando as aplicações de Nitrogênio juntamente com efluente não eram controladas, havia grande disponibilidade deste para as plantas. Tal situação resultou em baixa porcentagem de produção de açúcar. Ao contrário, quando houve controle nos tratamentos, a porcentagem de produção de açúcar não sofreu mudanças negativas. Em relação à concentração de nitrato, foi verificada alta concentração em superfície e baixa em profundidade. A cultura do algodão, sob condições controladas, apresentou boa produtividade e, a lixiviação de nitrato e a denitrificação foram consideradas baixas (FEIGIN, 1977).

✦ Fósforo: os resíduos orgânicos geralmente são fontes de fósforo, os quais podem ser usados para aumentar a quantidade deste no solo. White e Sharpley (1996) *apud* Cameron, Di, e McLaren, (1997) verificaram que a aplicação de resíduos orgânicos aumenta a concentração de fósforo dissolvido na água de escoamento superficial e depende do período de aplicação no solo. Quando há um evento de precipitação ou irrigação, logo após a aplicação do resíduo, a concentração de fósforo na água é maior, mas pode ser reduzida quando há tempo suficiente para que o resíduo e, conseqüentemente, o elemento fósforo infiltrem e incorporem no solo (CAMERON; DI; McLAREN, 1997).

✦ Sódio e outros sais: a alta concentração de sódio no solo é preocupante,

pois pode reduzir a estabilidade dos agregados, causando diminuição na taxa de infiltração e aumento no risco de escoamento. Segundo Menner, McLay, e Lee (2001), e Sparling, *et al.* (2006), o aumento no conteúdo de sódio trocável causa defloculação de argila e diminuição da condutividade hidráulica do solo. A alta concentração de sais na solução do solo, também, pode reduzir o potencial de água osmótica e diminuir-lhe a disponibilidade para as plantas. Gonçalves, *et al.* (2007), estudando os efeitos de efluente de esgoto em solos em Lins, São Paulo, chegaram a essa mesma conclusão e acrescentam que a condutividade hidráulica pode conduzir à contaminação superficial pelos efluentes e à erosão do solo, principalmente em áreas tropicais, devido ao aumento de escoamento superficial. Os mesmos autores concluíram que em longo prazo há necessidade de práticas complementares, como controle da sodicidade por meio de correção com cálcio (GONÇALVES, *et al.*, 2007). Resultados similares foram obtidos por Dawes e Goonetilleke, (2006). Balks, Bond e Smith, (1998) analisaram os efeitos da acumulação de sódio sobre as propriedades físicas de solos irrigados com efluente e verificaram um aumento na porcentagem de sódio trocável, o que pode ocasionar risco de deterioração das propriedades físicas do solo. Esses pesquisadores concluíram que houve aumento do índice de dispersão de argila, diminuindo a permeabilidade do solo com diferentes texturas (arenoso, argiloso, siltoso). Balks, Bond e Smith (1998) ressaltam, ainda, que no estudo realizado, o aumento de sodicidade não pode ser atribuído, apenas, à irrigação com efluente em um curto período de tempo, mas aos diferentes usos e manejos da cobertura de solos, como por exemplo, o cultivo, que pode causar perturbações físicas ao sistema solo.

✚ pH do solo: resíduos ricos em hidróxido de sódio, muito utilizado como agente de limpeza em muitas indústrias, possuem um pH alcalino (10-13) e, quando dispostos no solo podem aumentar-lhe o pH. Estudando a lixiviação de nutrientes e mudanças nas características de quatro solos irrigados com efluente de esgoto, Sparling, *et al.* (2006), verificaram aumento do pH do solo em uma unidade. O aumento foi maior nos horizontes superficiais.

✚ Capacidade de Troca Catiônica (CTC): aumento no conteúdo de matéria orgânica no solo resultante da aplicação de resíduos orgânicos pode produzir aumento na CTC. Por outro lado, quando os resíduos contêm quantidades significativas de cátions trocáveis, a saturação por bases do solo também pode

aumentar. Dawes e Goonetilleke (2006), acreditam que o aumento está na dependência do tipo de argila, que pode determinar quais cátions trocáveis serão adsorvidos ou lixiviados. Endo, *et al.* (2002), verificaram que a ilita tinha uma afinidade com o sódio, mas diminuía com o aumento do conteúdo de argila. Entretanto Heng, *et al.* (1999) demonstraram que a taxa de movimento de água pode influenciar as reações de troca de cátions, determinando como a CTC do solo interage com a solução de percolação.

3 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudos situa-se a sudeste da cidade de Piracicaba entre as coordenadas 47°36'W e 22°46'S, próximo ao bairro Cecap, na fazenda Taquaral e é utilizada para cultivo da cana-de-açúcar pela usina COSAN S.A. Indústria e Comércio, unidade Santa Helena, que cedeu uma parcela de sua área para o experimento de uso de efluente de esgoto nos solos. No local, há também, a estação de tratamento de esgoto Cecap, da qual provém o efluente a ser utilizado para irrigação. A Figura 1 ilustra a localização da área de estudos e o local de implantação da seqüência de solos.

Essa área possui precipitações médias anuais de 1200 mm aproximadamente. O período de abril a setembro apresenta menor pluviosidade. A temperatura média anual é de 22°C, a umidade relativa do ar é de aproximadamente 74% e insolação média mensal de 201,5h (2.418lux/ano). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwa (mesotérmico úmido subtropical de inverno seco). A altitude é de 546 m.

As características climáticas, segundo Rodrigues, (1999), possibilitaram o desenvolvimento de tipos de vegetação de porte médio, como o cerrado, a floresta latifoliada semidecídua tropical e as matas ciliares. Atualmente, verifica-se uma acelerada degradação das formações florestais, mostradas por Troppmair (1969) e Consema (1985), cuja causa principal foi a expansão da fronteira agrícola, no início e no fim do século XX, com a cultura cafeeira e canavieira, respectivamente. Hoje, restam apenas pequenos fragmentos de vegetação natural que, geralmente, apresentam-se perturbados por ações antrópicas como fogo, cortes e extrativismo coletivo (RODRIGUES, 1999).

A ação do intemperismo químico sobre as rochas originou solos profundos com forte influência sobre o modelado do relevo. Há predomínio de colinas amplas com interflúvios com área superior a 42 km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos (Figura 2). A drenagem é de baixa a média densidade, com padrão subdendrítrico, presença de vales abertos, planícies

interiores restritas e eventual presença de lagoas perenes ou intermitentes. Segundo o levantamento semidetalhado de solos do estado de São Paulo, quadrícula de Piracicaba (OLIVEIRA; PRADO, 1989), os solos predominantes na região são o Latossolo Vermelho-Escuro, unidade Hortolândia e unidade Limeira; Argissolo Vermelho-Amarelo, unidade Santa Cruz e Glei pouco húmico (Figura 3). A área de estudos se encontra sob a Formação Irati, de idade Permiana, constituída basicamente de folhelhos síltico-argilosos e seixos de sílex (AMARAL, 1967). Os seixos de sílex variam de angulosos a subarredondados e podem exhibir contato entre si ou não. O tamanho dos seixos varia de 1 a 2 cm (Figura 4). Portanto, verifica-se que a diversidade de rochas, auxiliada pelo tipo de clima, proporciona uma diferenciação dos solos, na área, em um espaço relativamente pequeno.

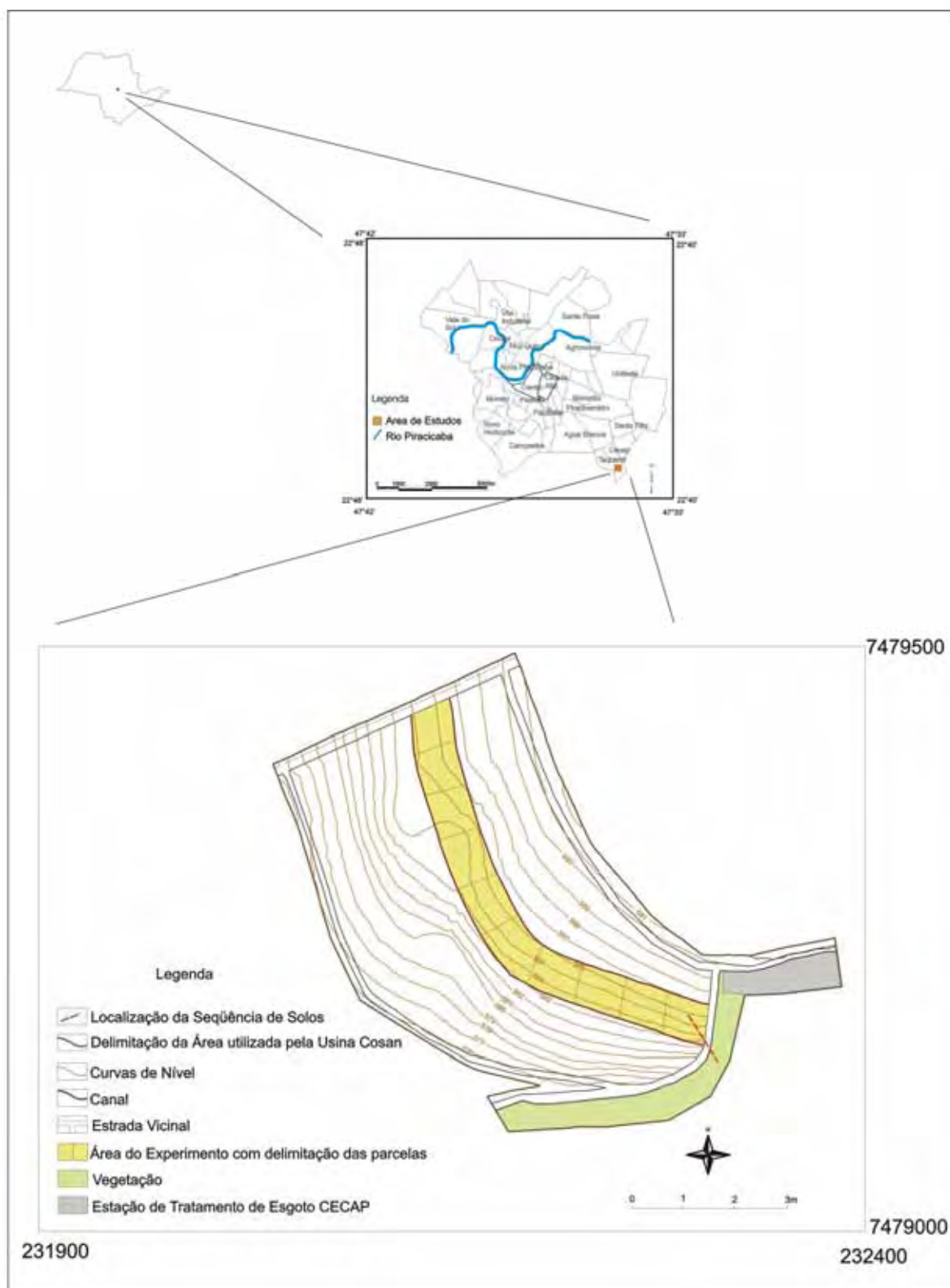


Figura 1- Localização da Área de Estudos



Figura 2 - Mapa Geomorfológico

O mapa hipsométrico da área (Figura 5) mostra variações altimétricas entre 544 a 614 m. As áreas de menores altitudes aparecem ao longo das margens de um pequeno córrego, que se encontra próximo a área de estudo. O experimento está localizado em uma área com altitude que varia entre 573 a 588m.

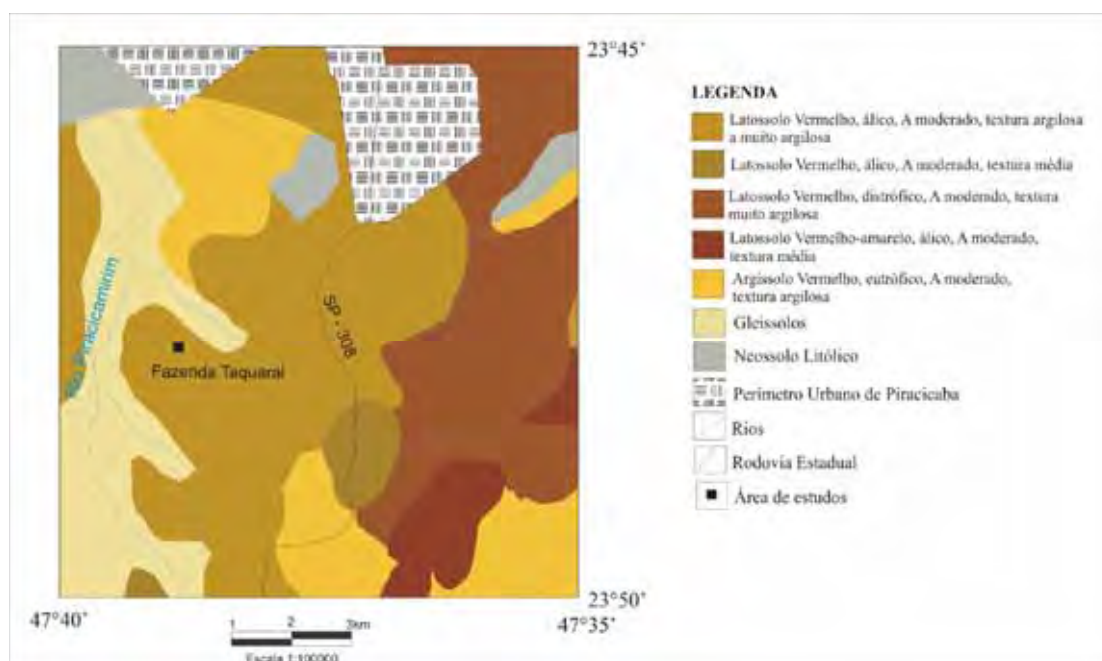


Figura 3- Mapa Pedológico

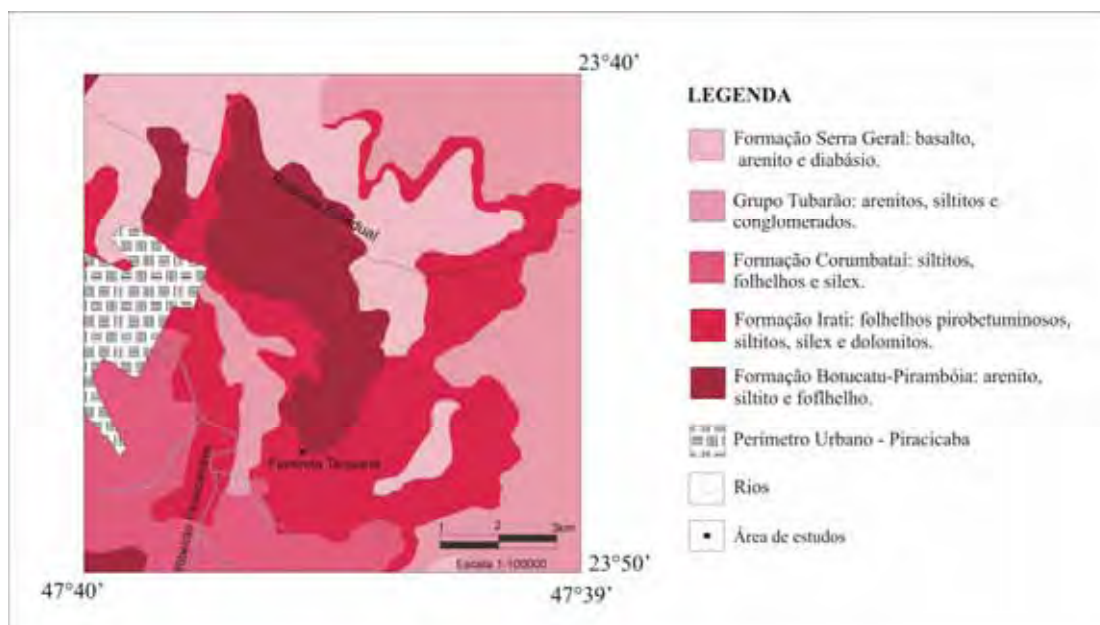


Figura 4- Mapa Geológico

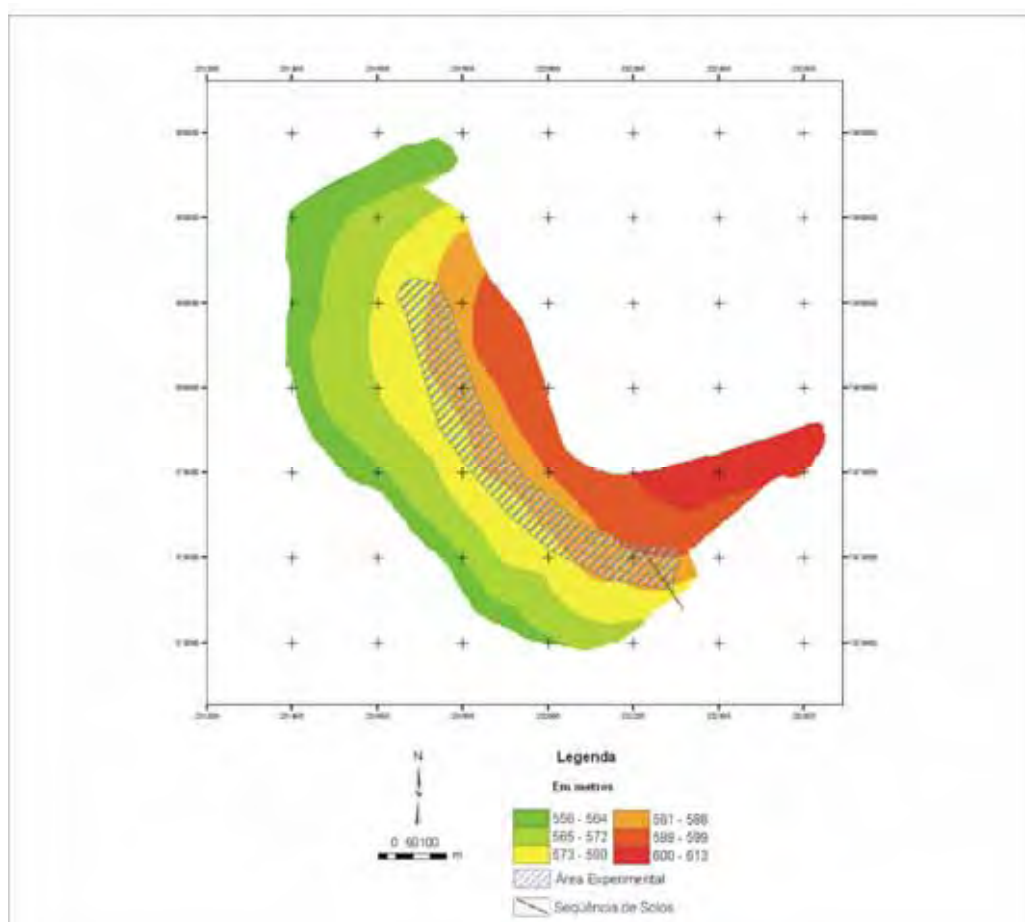


Figura 5- Mapa Hipsométrico da área experimental

4 METODOLOGIAS EMPREGADAS

4.1 Análise estrutural da cobertura pedológica

A metodologia utilizada neste trabalho foi desenvolvida por Boulet *et al.* (1982a, b), com base em estudos dos diferentes tipos de organização dos solos, desde a escala da paisagem até a escala microscópica. Cada nível de organização tem características próprias que o fazem funcionar como uma unidade, mas que ao mesmo tempo, o encadeia estreitamente ao resto dos níveis para formar o todo.

Essa metodologia tem por objetivo identificar, não apenas as sucessões verticais observadas no perfil, mas estudar a organização lateral das coberturas de solos desde a linha do divisor de águas até o canal fluvial adjacente. Inicialmente, faz-se um estudo preliminar sobre o terreno, que permite a coleta de dados não pedológicos, mas que podem influenciar e/ou refletir na diferenciação do solo da área estudada. Em seguida, procede-se ao estudo das toposseqüências, que são sempre perpendiculares às curvas de nível e que seguem na linha de maior declive da vertente.

O estudo de toposseqüências, conforme Boulet *et al.* (1982a, b), consiste em examinar a vertente e escolher três trincheiras: uma no topo, outra na parte média e uma terceira na base da vertente. Entre as trincheiras, são feitas observações intermediárias, tão numerosas, quanto mais variações laterais existam. O objetivo é poder ligar, lateralmente, as observações sucessivas feitas, verticalmente, e reduzir ao máximo a incerteza em cada trincheira. Quando o solo é penetrável, primeiramente, faz-se esse trabalho com algumas sondagens e utiliza-se um pedocomparador, no qual são colocadas as amostras características de cada sondagem, dispostas verticalmente como no terreno. Dessa forma, podem-se comparar facilmente duas sondagens que, quando apresentam características morfológicas diferentes relevam a necessidade de uma outra sondagem entre as duas e, assim, sucessivamente.

Quando abertas as trincheiras, em cada uma, descrevem-se e interpretam-se a sucessão e espessura dos horizontes, os limites e transições, além das

características e feições pedológicas em cada horizonte e transição. Além disso, coletam-se amostras para análises físicas, químicas, mineralógicas e micromorfológicas.

Essa operação é terminada quando se pode desenhar, sob o corte topográfico longitudinal, que une cada trincheira, a distribuição dos diferentes horizontes e feições pedológicas.

Neste trabalho, a investigação não foi realizada sobre uma toposseqüência. Foi instalada uma transecção, restrita à área do experimento, demarcada pela usina. Portanto, seguiu-se parcialmente a metodologia preconizada por Boulet *et al.* (1982a, b). Por apresentar uma cobertura de solos homogênea, foram abertas duas trincheiras: a montante e a jusante da seqüência. Entre as trincheiras, foi realizada uma série de tradagens. Foram coletadas amostras, tanto das trincheiras, como das tradagens para realizar análises físicas, químicas e mineralógicas. As amostras indeformadas foram coletadas apenas nas trincheiras para análise micromorfológica. A descrição dos horizontes seguiram as indicações de Boulet *et al.* (1982a, b).

4.2 Procedimentos analíticos de laboratório

Todas as coletas de amostras para análises foram realizadas antes da utilização do efluente de esgoto tratado. Entretanto, a área do experimento tem sido usada constantemente para cultivo da cana-de-açúcar. Nessa área, o manejo foi sempre mecanizado e o uso de adubação química, calagem, uso da vinhaça e torta de filtro e herbicidas, constantes.

4.2.1 Análises físicas

As análises físicas realizadas foram Granulometria e Argila Dispersa em Água.

4.2.1.1 Análise granulométrica

A análise foi realizada conforme o boletim técnico de *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. (CAMARGO, et. al., 1986).

As amostras foram secadas ao ar, destorroadas e passadas por peneira com malha de 2 mm. A análise foi realizada da seguinte maneira: em uma garrafa de Stohmann foram colocados 10 gramas da amostra de solo e mais 50 ml de solução dispersante¹. A mistura foi agitada por um período de dezesseis horas. A suspensão foi transferida para uma proveta calibrada de 500 ml (5 cm de diâmetro) e passada em uma peneira com malha de 0.2 mm. O material retido na malha (areia grossa) foi lavado e secado. Para a determinação da argila, silte e areia fina foi utilizado o método da pipeta.

O volume da proveta foi completado com água destilada. Em seguida, o material foi agitado por 30 segundos com um bastão contendo na extremidade inferior um êmbolo de borracha com diâmetro um pouco menor que o do cilindro, com movimentos da boca para o fundo e vice-versa. Transcorrido o tempo necessário para a sedimentação da argila + silte e argila, seguindo a lei de Stokes, foi introduzida uma pipeta de 10 ml a uma profundidade de 10 cm para amostragem da argila + silte, e de 5 cm para amostragem de argila, com sucção contínua para evitar turbilhonamento. O material foi transferido para cápsulas de porcelana, previamente taradas, e levado para a estufa por um período de nove horas. Depois de seco, o material foi pesado, obtendo-se o peso da argila + dispersante (A + D) e da argila + silte + dispersante (A + S + D). Do valor total obtido, foi retirado o peso do dispersante, obtendo-se apenas os resultados das partículas existentes no solo. Os resultados são expressos em porcentagem da terra fina seca ao ar. Das alíquotas pesadas é subtraído o peso do dispersante (que é aproximadamente 0,014 g):

Argila (%) na TFSA = (peso da argila (A + D) – peso do dispersante) x 500;

Silte (%) na TFSA = (peso da argila + silte + dispersante (A + S + D) – peso da argila – peso do dispersante) x 500

¹ Dissolver 4 gramas de hidróxido de sódio em um litro de água destilada e adicionar 10g de hexametáfosfato de sódio, agitando até a completa dissolução do reagente.

Areia Grossa = peso da areia grossa x 10;

Areia Fina = 100 – (%argila + %silte + %areia grossa).

4.2.1.2 Argila dispersa em água

Inicialmente, foram pesados 10 g de TFSA. Depois de pesada, a amostra foi transferida para uma garrafa de Stohmann, à qual foram acrescentados 100 ml de água destilada. A amostra foi agitada durante dezesseis horas em agitador rotativo a 30 rpm. Depois desse período, a suspensão foi transferida para uma proveta calibrada e acrescentada água destilada até que se obtivesse volume igual a 500 ml. O tempo de repouso foi determinado de acordo com a temperatura ambiente no momento da realização do experimento (medida com um termômetro submerso no material contido na proveta). Em seguida, pipetaram-se 10 ml da solução a uma profundidade de 5 cm. O procedimento seguinte foi o mesmo utilizado para a análise granulométrica, em relação à obtenção da argila dispersa total.

A porcentagem de argila dispersa em água possibilita estimar o grau de floculação e de dispersão de cada amostra, os quais foram obtidos conforme as expressões:

Grau de Floculação = $100 \left(\frac{\text{Argila total} - \text{argila dispersa em água}}{\text{Argila Total}} \right)$;

Grau de Dispersão = 100 – grau de floculação.

Argila Dispersa em Água = peso da argila x 500

4.2.2 Análises químicas

As análises foram realizadas de acordo com as metodologias recomendadas por Raji (2001). Foram realizadas análises de macro e micronutrientes e pH das amostras coletadas. A seguir, são descritos, de forma sucinta, os métodos utilizados.

4.2.2.1 Determinação do pH

Para determinação do pH foram utilizados 10 g de TFSA, transferidos para um frasco plástico. Foram adicionados 25 ml da solução CaCl_2 0,01 mol L⁻¹,

deixando 15 minutos em contato. Após este tempo, a suspensão foi agitada em mesa agitadora, com movimento circular horizontal, por 10 minutos, a 220 rpm e deixada em repouso por 30 minutos. A seguir, o medidor de pH foi ajustado com as soluções-tampão de pH 4,0 e pH 7,0. Sem agitar, em cada amostra, o eletrodo foi mergulhado na solução, de modo que a ponta do eletrodo de vidro tocou ligeiramente a camada de sedimento e a saída do eletrodo ficou submersa. A leitura foi feita depois de estabelecido o equilíbrio. É importante lembrar que, depois de cada determinação, o eletrodo foi lavado com água e enxugado com papel absorvente.

4.2.2.2 Determinação da acidez total com solução-tampão SMP (H + Al)

Depois de medido o pH de todas as amostras, foram adicionados 5 ml da solução-tampão (SMP) às suspensões. As amostras foram agitadas por 15 minutos e deixadas em repouso por 1 hora. Após o repouso, o material foi levado para leitura no medidor de pH, seguindo o mesmo critério utilizado para determinação de pH. Com os valores obtidos, foi feita a correspondência na tabela de pH_{SMP} e de H + Al. Os valores da tabela são válidos para as condições do estado de São Paulo (RAIJ, 2001).

4.2.2.3 Determinação da matéria orgânica

A determinação da matéria orgânica foi feita pelo método do colorímetro. Foi pesado um grama de TFSA, transferido para um frasco plástico e adicionados 10 ml de solução de dicromato de sódio em ácido sulfúrico. A solução foi agitada durante 10 minutos em mesa agitadora, com movimento circular horizontal, com velocidade de 220 rpm. Após repouso de uma hora, foram adicionados 50 ml de água, usando-se dispensador com um jato forte para promover a mistura das soluções. O material foi deixado para decantação por uma noite. No dia seguinte, o colorímetro foi calibrado para leitura das amostras. O líquido sobrenadante de cada amostra foi colocado na cela de medida do colorímetro e as leituras anotadas. Os resultados foram calculados com os dados da curva-padrão do aparelho.

4.2.2.4 Determinação do alumínio trocável

O alumínio trocável foi obtido por meio de pesagem de 5 g de TFSA em erlenmeyer de 125 ml, ao qual foi adicionada solução de KCl 1M. A solução foi colocada em mesa agitadora, com movimento circular, durante 5 minutos e filtrado imediatamente. Do filtrado, foi pipetado um volume de 25 ml ao qual foram acrescentadas três gotas do indicador fenolftaleína. O filtrado foi titulado com solução de NaOH 0,025 M, sob agitação magnética até o indicador obter a cor rósea. Os dados obtidos com as leituras foram usados nos cálculos, conforme Rajj (2001).

4.2.2.5 Determinação de potássio e sódio

Para determinação do potássio e sódio foram pesados 2,5 g de TFSA e transferidos para frascos plásticos, aos quais foram adicionados 25 ml de solução Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$). A solução foi agitada durante 5 minutos em mesa agitadora, com movimento circular horizontal. Depois de filtrada, foi realizada a determinação das concentrações para ambos os cátions, por meio do método instrumental Fotometria de Emissão em Chamas.

4.2.2.6 Determinação de boro

A determinação do boro foi feita em água aquecida com microondas. Primeiramente, pesaram-se 10 g de solo, que foram transferidas para saquinhos de polipropileno (15,5 x 25 x 0,05 cm) e adicionados 20 ml de solução extratora de cloreto de bário. Como a determinação foi feita por espectrofotometria, foi adicionado à solução 0,5 g de carvão ativo. Após esta etapa, os saquinhos foram selados e, no canto superior esquerdo de cada um, foi colocado um clipe de plástico. Os saquinhos foram pendurados em uma prateleira de plástico usando os cliques, de forma uniforme e em círculos, no sentido do raio do prato do forno de microondas. Em cada prateleira foram colocados cerca de 13 saquinhos com as amostras. O forno de microondas foi programado para 4 minutos na potência máxima (700W) e 5 minutos na potência média máxima (490W). Depois do aquecimento, deixou-se a solução esfriar durante 30 minutos e, imediatamente após este período, a solução foi

filtrada, usando-se filtro de papel faixa azul. A seguir, foi feita a leitura no espectrofotômetro.

4.2.2.7 Determinação de enxofre

Em um erlenmeyer foram colocados 10 g de TFSA e adicionados 25 ml de solução extratora de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. A solução foi agitada por um período de 30 minutos, em mesa agitadora com movimento circular horizontal a uma velocidade de 220 rpm. Em seguida, a solução foi filtrada em papel de filtro quantitativo. Do filtrado, foram pipetados 10 ml do extrato para tubos de ensaio e adicionado cerca de 0,5 g de $\text{BaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, peneirado e moído, e 1 ml de solução-semente ácida de S-SO_4^{-2} 20 mg L^{-1} . Transcorrido o tempo de um minuto, a amostra foi agitada manualmente até a dissolução dos cristais e feita a leitura em espectrofotômetro.

4.2.2.8 Determinação de cálcio, magnésio e fósforo

A determinação de cálcio, magnésio e fósforo foi obtida pelo método da resina trocadora de íons. Foram pesados 2,5 g de TFSA e transferidos para frascos plásticos. Adicionaram-se 25 ml de água e uma bolinha de vidro em cada amostra para a agitação da solução por 15 minutos, a fim de promover total desagregação do solo. Depois dessa etapa, retirou-se a bolinha de vidro dos frascos e foram adicionados $2,5 \text{ cm}^3$ de resina trocadora de íons, medida com um cachimbo provido de fundo de malha de poliéster. A solução foi agitada novamente por um período de dezesseis horas, em agitador com movimento circular horizontal, a uma velocidade de 220 rpm. No dia seguinte, separou-se a resina da solução, adicionaram-se 50 ml da solução NH_4Cl $0,8\text{M}$ + HCl $0,2 \text{ M}$ e agitou-se por uma hora.

Para a determinação do fósforo foi retirado um volume de 4 ml do extrato, ao qual foram adicionados 16 ml de solução de molibdato de amônio. A solução foi deixada em repouso por 30 minutos e realizada a leitura no colorímetro.

Para determinação de cálcio e magnésio foi retirado um volume de 1 ml do extrato, transferido para frascos de vidro e adicionados 10 ml de solução de LaO_3 0,1%. A solução foi agitada e feita a leitura no espectrofotômetro de absorção atômica.

Das determinações obtidas, foram calculados os seguintes parâmetros: soma de bases ($\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}$), capacidade de troca de cátions ($T = \text{SB} + \text{H} + \text{Al}$) e porcentagem de saturação de bases ($V = (\text{SB}/T) \times 100$).

4.2.2.9 Determinação de cobre, zinco, manganês e ferro

Foram colocados em frascos plásticos, 10 g de TFSA e 20 ml de solução extratora de DTPA, a pH 7,3. A solução foi agitada por um período de duas horas, em mesa agitadora com movimento circular horizontal, e filtrada imediatamente. Após a filtragem, fez-se a determinação das concentrações no espectrofotômetro de absorção atômica.

4.2.3 Análise mineralógica

4.2.3.1 Extração de argila e preparação das amostras para difratometria de raios-X

O procedimento realizado para extração da fração argila, para análise mineralógica, foi adaptado de Jackson (1956).

Primeiramente, foram colocados, em um becquer de 600 ml, 10 g de solo (TFSA) e adicionados 20 ml de água oxigenada a 30% (para queima da matéria orgânica), deixando a solução reagir com o solo durante, aproximadamente, 20 minutos, ou então, até que a reação terminasse. Quando houve efervescência muito forte, a solução foi acalmada com jatos de álcool etílico. Após a reação, a amostra foi levada para placa aquecedora a 75°C , deixando a solução reagir e digerir até que o volume diminuísse. Quando a solução ainda reagia, aos poucos, eram acrescentados 10 ml de água oxigenada para que a solução não secasse. Enquanto

isso, na placa aquecedora, o becquer foi agitado para que o solo não precipitasse e queimasse. Terminada a reação, o becquer foi retirado da placa aquecedora para que a solução esfriasse em temperatura ambiente. Em seguida, transferiu-se a solução para tubos de centrífuga de 100 ml com a ajuda de uma pipeta, contendo NaOAc pH 5,0. A solução foi centrifugada, o sobrenadante foi descartado e o resíduo lavado novamente com NaOAc para remover os cátions liberados. Em seguida, a amostra foi lavada com Etanol e centrifugada. O sobrenadante foi descartado. Depois desta etapa, colocaram-se na amostra 40 ml da solução de Citrato de Sódio + 5 ml da solução de bicarbonato de sódio. Os tubos foram colocados em prateleiras e levados ao banho-maria a 75°C. Transcorrido o tempo de aproximadamente 5 minutos, foi adicionado um grama de Ditionito de Sódio (para remoção dos óxidos de ferro), agitou-se por um minuto e, depois, a cada 3 minutos, até o tempo de 15 minutos. Terminado este tempo, foi adicionada a solução de 10 ml de NaCl saturada + 10ml de Acetona, os tubos foram agitados manualmente e levados para a centrífuga por 10 minutos a 2400 rpm. O sobrenadante foi descartado, e a seguinte situação foi observada: quando permanecia cor bruna ou avermelhada o procedimento era repetido depois da adição de Citrato de Sódio + Bicarbonato de Sódio; quando permanecia cor cinza ou esbranquiçada efetuava-se lavagem final com NaCl saturada e seguia-se para a próxima etapa.

Após a lavagem, foram colocados 80 ml de água destilada, para o início da separação das frações. Para a separação da areia, a amostra foi passada em uma peneira (270 mesh). A fração areia, retida na peneira, foi lavada em água corrente, colocada em uma cápsula de porcelana e levada para estufa. Depois de seca, foi colocada em saquinhos plásticos com identificação.

A solução que continha silte+argila foi colocada, novamente, em tubos de centrífuga de 100 ml. Os tubos foram centrifugados por 3 minutos a 700 rpm e o sobrenadante colocado em outro becquer de 600 ml. O silte permaneceu no fundo do tubo. Adicionou-se água e repetiu-se a operação para que houvesse completa remoção de argila da fração silte. Em seguida, foi transferido para cápsulas de porcelana e levado à estufa a 110°C. Quando seco, foi colocado em frascos, com a respectiva identificação.

A argila, que restou no becquer, foi preparada para saturação. Ressalta-se que, anteriormente à saturação, foram separados cerca de 2 ml da solução para a difratometria de raios-x. O restante foi separado em dois conjuntos de tubos de centrífuga (um para saturação com potássio e outro para saturação com magnésio). Centrifugada e descartado o sobrenadante, restou, apenas, a argila no fundo do tubo. Em um conjunto de tubos foram colocados 40 ml da solução de KCl e, no outro conjunto, 40ml da solução de MgCl. Novamente, as amostras foram centrifugadas e o sobrenadante descartado. Repetiu-se este procedimento por mais duas vezes. Em seguida, a amostra foi lavada com álcool etílico e depois, três vezes com acetona para retirar os cloretos (para certeza da retirada dos cloretos foi feito teste com AgNO_3). Depois, foram lavadas uma vez com água destilada (30 ml para não haver dispersão), e armazenadas em frascos identificados.

4.2.3.2 Difratometria de raios-X

A difratometria de raios-X é uma ferramenta fundamental para o estudo dos minerais do solo e para a sua caracterização.

A análise foi realizada em difratômetro de raios-X com ânodo de cobre ($\text{Cu K}\alpha$ 1,54Å), passo de varredura de $0,02^\circ 2\theta.\text{min}^{-1}$, amplitude de varredura de 3° a 90° 40kV/40mA. O software utilizado é o APD (Automated Powder Diffraction, versão 3.5B, de 1992).

Para serem difratadas, foram utilizadas amostras em estado natural e peneiradas a 150 mesh, acondicionadas em amostrador tipo janela “método do pó” para confirmação da presença de alguns minerais. As amostras denominadas “argila natural”, ou seja, amostras da fração argila sem óxidos de ferro e sem matéria orgânica e sem nenhum tratamento (magnésio e potássio), foram acondicionadas em lâminas, secas ao ar e difratadas. O mesmo procedimento foi utilizado para as amostras da fração argila, saturadas com potássio e magnésio e seus respectivos tratamentos (aquecimento e glicol), preparadas segundo procedimento descrito no item anterior.

4.2.4 Micromorfologia

4.2.4.1 Impregnação das amostras

As amostras indeformadas foram coletadas em caixas de papelão de 6 x 10 x 5 cm, orientadas e secadas ao ar por um período de trinta dias e, posteriormente, colocadas em estufa a 40°C por mais cinco dias para completa eliminação de água. As amostras foram impregnadas com uma mistura de resina Araudite (30%), Acetona (65%) e Endurecedor (5%, em relação à quantidade de resina utilizada). Em bandejas de plástico, as amostras receberam vagarosamente a solução, em ambiente à vácuo, aí permanecendo até a impregnação da amostra, por ascensão capilar, evitando ao máximo a formação de bolhas em seu interior. Quando recebida toda a resina e retirado o vácuo, as amostras foram colocadas em locais apropriados para endurecimento.

4.2.4.2 Elaboração e descrição das lâminas delgadas

Os blocos impregnados foram cortados em serra diamantada, controlada manualmente para seleção das melhores áreas, chegando-se ao tamanho das lâminas (46 mm x 27 mm). Os monólitos colados às lâminas de vidro, previamente lixadas, foram polidos até a espessura de 30 µm.

A descrição das lâminas seguiu os critérios propostos por Bullock *et al.* (1985). As microfotografias foram obtidas com o auxílio de câmera Zeiss MC 63A acoplada ao microscópio petrográfico e utilizado o software Noesis-Visilog 5.4.

4.2.5 Caracterização dos horizontes superficiais a partir do conjunto de pontos por parcela

A área experimental foi dividida em parcelas de 40 x 10 m. Tanto as parcelas, quanto o efluente receberão determinado tipo de tratamento. Para reconhecimento dos solos da área, foi realizada uma caracterização das camadas superficiais, efetuando-se 12 tradagens em cada parcela. Foram descritas e amostradas as camadas nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e de 80-100 cm.

Para as análises físicas e químicas das parcelas, foram feitas amostras compostas, ou seja, todo o solo coletado a certa profundidade, em uma dada

parcela foi misturado. Por esse motivo, os dados coletados e as interpretações não apresentarão grande detalhamento.

4.2.5.1 Uso do interpolador krigagem universal para a espacialização das propriedades físicas e químicas dos solos na área experimental

A variabilidade espacial e temporal das propriedades dos solos foi abordada por vários autores, dentre eles Vieira *et al.* (1983). De início, as análises estatísticas de dados consideravam as variáveis de modo aleatório e independente entre si, ou seja, supunham que não havia influência de uma sobre as outras. Em 1951, Daniel Krige, com trabalhos relacionados à mineração, concluiu que a variação de dados apresentava uma estruturação que dependia da distância da amostragem e, a partir desta constatação, surgiram os primeiros conceitos de geoestatística (ANGÉLICO, 2006). A geoestatística considera as variáveis, que possuem dependência espacial e/ou temporal, como complemento da análise estatística clássica. O referenciamento das amostras, em coordenadas geográficas ou em tempo, é fundamental para aplicação dos métodos geoestatísticos (ZIMBACK, 2003).

A krigagem é um método de interpolação (geoestatístico) que, com o uso de um semivariograma, possibilita a construção de mapas de contornos (isolinhas ou curvas de nível) com alta precisão, uma vez que após a interpolação, a densidade espacial de dados será maior do que antes, além de oferecer também os limites de confiança para o mapa, através da variância da estimativa. Além disso, a krigagem oferece, estimativas não tendenciosas, ou seja, a diferença entre os valores estimados e observados para o mesmo ponto deve ser nula.

A krigagem engloba um conjunto de métodos de estimação, incluindo procedimentos estacionários (krigagem simples e ordinária), não estacionários (krigagem universal), univariados e multivariados (co-krigagem) (CAMARGO, *et al.* 2002).

Para a área experimental, nos 12 pontos por parcela foram anotadas as coordenadas geográficas, com o auxílio de um GPS. Ao final das sondagens e coletas, foi feita uma grade de coordenadas com a localização dos pontos, totalizando 120 pontos.

A grade de coordenadas e o mapa da área, na escala de 1:10.000, foram transferidos para o software ArcGis versão 9.2. No software, para cada ponto, foram adicionadas as informações das frações granulométricas e de argila dispersa em água, em porcentagem, matéria orgânica em g/kg, H + Al, soma de bases, saturação por bases e capacidade de troca catiônica em mmol_c/kg e pH. Em seguida, utilizou-se da krigagem universal para a interpolação das informações. O semivariograma utilizado foi o modelo teórico Gaussiano, pois é um modelo transitivo, usado para modelar fenômenos contínuos. O software ArcGis gera o semivariograma automaticamente, permitindo que ajustes sejam feitos para um resultado satisfatório. A escolha do semivariograma é uma etapa importante, pois o modelo escolhido representa a estrutura de correlação espacial a ser utilizada nos procedimentos inferenciais de krigagem (CAMARGO, *et al.*, 2002). Após a etapa de escolha e ajuste do semivariograma é gerado o mapa de determinado atributo do solo, permitindo ainda, ajustes como uma reanálise dos dados gerados.

Ressalta-se que não foram interpolados cruzamentos de atributos dos solos, mas cada atributo foi analisado de forma individual, pois o principal objetivo da análise espacial, neste estudo, foi verificar como alguns atributos do solo se distribuem na área de forma geral. Além disso, como são amostras compostas, vários pontos da mesma parcela terão os mesmos valores, o que não gera detalhamento em relação aos atributos do solo, mas permitem uma visualização geral do comportamento destes elementos.

5 RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

5.1 Morfologia dos solos da seqüência de solos

5.1.1 Morfologia de campo

A seqüência de solos foi implantada a sudeste da área de estudos (Figura 5), na parcela ETP 100 Cl e se estende da meia encosta até a jusante. Essa seqüência está sobre uma encosta convexa e corta as curvas de nível formando um ângulo de aproximadamente 45°. A jusante a encosta apresenta uma certa concavidade (Figura 6). É preciso dizer que pela homogeneidade de características morfológicas observadas entre as trincheiras e tradagens a descrição será realizada por horizonte, da base em direção ao topo, na seqüência dos solos da figura 6. A descrição técnica se encontra no Anexo A.

Horizonte Cg

Este horizonte apresenta cor heterogênea composta por amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6), amarelo-brunado (10YR 6/8), vermelho-escuro (2,5YR 3/6), rosado (5YR 6/2) e volumes cinzentos (10YR 6/1) indicando hidromorfia. Apresenta nódulos de óxidos de ferro e manganês e ausência de raízes. A textura é argilosa e a estrutura poliédrica fraca. Em toda a extensão da seqüência este horizonte não apresenta grandes variações e passa ao horizonte Bt2 de modo gradual.

Horizonte Bt2g/Bt2cg

Na seqüência (Figura 6), da trincheira 1 à tradagem 8, este horizonte apresenta cor vermelha-escura (2,5YR3/6) e volumes vermelho-amarelo (5YR 6/6), amarelo (10YR 7/6) e cinza claro (5YR 7/1), distribuídos de modo aleatório e indicando hidromorfia. A textura é argilosa e a estrutura é caracterizada por blocos subangulares. Possui cerosidade moderada, nódulos de óxidos de ferro e manganês e grãos de quartzo distribuídos aleatoriamente. No topo deste horizonte há raízes muito finas. A transição para o horizonte Bt1 é gradual.

Entre a tradagem 8 e a trincheira 2 observa-se uma mudança na cor que se caracteriza por bruno-avermelhado (5YR 4/6) e volumes cinza (10YR 6/1). A textura é muito argilosa cascalhenta, estrutura é em blocos subangulares e cerosidade moderada. Destaca-se neste horizonte a presença de inúmeros fragmentos de sílex, característicos da Formação Irati, com espessura de 3 cm de diâmetro, arredondados e em estágio de decomposição. Há presença de raízes muito finas e a transição para o horizonte Bt1 é gradual.

Horizonte Bt1

Apresenta cor vermelha-escura (2,5YR 3/6), textura argilosa e estrutura em blocos subangulares. Possui nódulos de ferro, manganês e grãos de quartzo distribuídos aleatoriamente e alguns em processo de decomposição. A cerosidade é fraca. A atividade biológica se manifesta através de raízes muito finas. Destaca-se a presença de fragmentos de carvão (de tamanho aproximado de 2mm). Este horizonte se distribui de forma homogênea em toda a seqüência. A transição para o horizonte Ap é plana.

Horizonte Ap

Da trincheira 1 à tradagem 8 o horizonte se caracteriza pela cor bruno-avermelhada-escura (5YR 3/4). A textura é areno-argilosa e a estrutura blocos que se quebram horizontalmente. Alguns fragmentos, quando quebrados, formam grânulos. Apresenta grãos de quartzo menores que 1 mm e raízes finas a muito finas e atividade biológica (formigas). Possui fragmentos de carvão com tamanho de 2 mm e formas variadas.

A trincheira 2 apresenta diferença em relação à cor. Passa a bruno-amarelada-escura (10YR 3/4), a textura é areno-argilosa e a estrutura granular. Há raízes finas a médias.

5.1.2 Interpretações

A figura 6 apresenta a distribuição dos horizontes na seqüência, dispostos na projeção topográfica de uma encosta cujos segmentos são convexos e côncavos. Os

horizontes distribuem-se nesta encosta de maneira paralela. A distribuição dos horizontes, paralela em relação um ao outro, indica o desenvolvimento vertical dos solos, provavelmente, sobre um mesmo material de origem. Trata-se, portanto, de uma seqüência de solos cuja diferenciação dos horizontes é vertical, um a custa do outro, e cujas características morfológicas tem pequena variação lateral. Os fragmentos de rocha encontrados neste mesmo ponto, são seixos de sílex, em processo de decomposição, que pertencem à Formação Irati, não havendo, portanto, na encosta, dois materiais de origem como poderia fazer supor a presença dos seixos. Ressalta-se que a trincheira 2 se encontra fora da área do experimento e está sob vegetação de mata secundária. A presença de volumes cinza (10YR 6/1) tanto no Bt2 quanto no C evidencia hidromorfia temporária.

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos conceitua Argissolos como solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural com argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas outras classes de solos. Além disso, grande parte dos solos desta classe apresenta incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subjacentes. São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados e textura arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este (EMBRAPA, 2006). De acordo com esta chave de classificação, os solos da seqüência foram caracterizados como Argissolo Vermelho-amarelo. Pelas características químicas apresentadas, posteriormente podemos acrescentar o caráter Eutrófico para o segmento de montante e da meia encosta e Distrófico na jusante (Figura 6), no perfil Tr2.

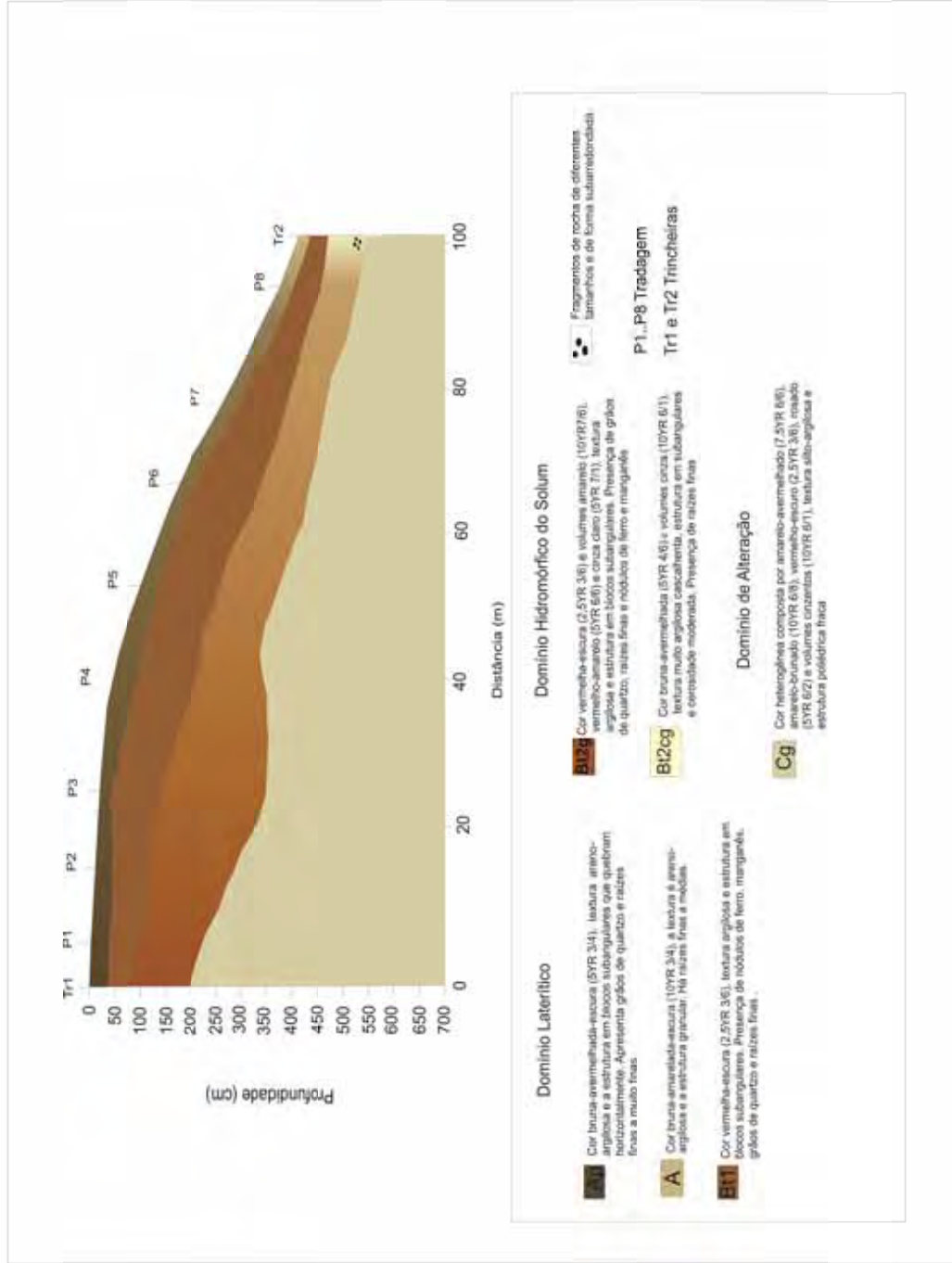


Figura 6 - Sequência dos horizontes dos solos.

5.2 Micromorfologia dos solos da seqüência de Argissolos

A descrição foi realizada da base em direção ao topo, para os dois perfis da seqüência de Argissolos. A descrição dos perfis inicia-se no horizonte Bt2, uma vez que o horizonte C não foi amostrado para micromorfologia.

5.2.1 Descrição dos fundos matriciais

Horizontes Bt2 e Bt2cg

No horizonte Bt2 dois domínios foram observados: um formado por um fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro e outro por um fundo matricial Vermelho. Esses dois domínios matriciais estão presentes em todo o perfil. A descrição técnica de cada horizonte se encontra no Anexo B.

O fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro tem plasma de cor Bruna-Avermelhada-Escura, apresenta trama porfírica e agregados granulares a poliédricos fracamente desenvolvidos (Figura 7 (A)). Seu esqueleto é composto por grãos de quartzo, distribuídos de modo aleatório e apresenta diferentes tamanhos. Além de quartzo, no esqueleto, se encontra nódulos com limite nítido, forma definida e em estado de degradação (Figura 7 (B)). Este primeiro domínio apresenta limite festonado com o fundo matricial Vermelho (Figura 8 (A) e (B)), e deixa sobre este último uma série de ilhas de plasma do fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro (Figura 8 (C) e (D)).

O segundo fundo matricial, discordante sobre o primeiro, apresenta cor Vermelha, trama porfírica e agregados granulares a poliédricos fracamente desenvolvidos. Este segundo domínio possui esqueleto composto por grãos de quartzo distribuídos de modo aleatório, ou seja, não apresentam orientação (Figura 7 (C)). Este fundo matricial apresenta cutãs de separações plásmicas em todo perfil, tanto em Tr1 quanto em Tr2. As inúmeras separações plásmicas interrompem a continuidade do plasma do fundo matricial Vermelho e do fundo matricial Bruno-

Avermelhado-Escuro (Figura 9). Suas cores são vermelhas clara. Existe uma relação estreita entre o plasma do fundo matricial Vermelho e do fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro com essas separações plásmicas. Em grande aumento (20x) verifica-se uma passagem gradual dos plasmas do fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro para o fundo matricial Vermelho até chegar às cores claras das separações plásmicas; ao mesmo tempo que o plasma torna-se vermelho claro ele se orienta, mas sem estabelecer com os fundos matriciais adjacentes, nenhuma discordância que pudesse indicar a deposição de camadas argilo-ferruginosas. (Figura 10). Dessa maneira é mais indicado identifica-los como cutãs de separações plásmicas por contração, originados pela reorganização do plasma no seio dos fundos matriciais. Tais domínios são fortemente cortados por uma porosidade em câmara que é religada entre si por inúmeros canais (Figura 11). Estas câmaras e canais cortam discordantemente, isto é, perpendicularmente as estruturas orientadas dos cutãs de reorganização (Figura 10). Entretanto, no interior dos canais e câmaras é possível identificar deposições argilosas (Figura 12). Estas deposições não ocorrem em camadas, mas contornam e preenchem o interior dos poros do tipo canais e câmaras. Apresentam coloração bruna-amarelada (Figura 12).

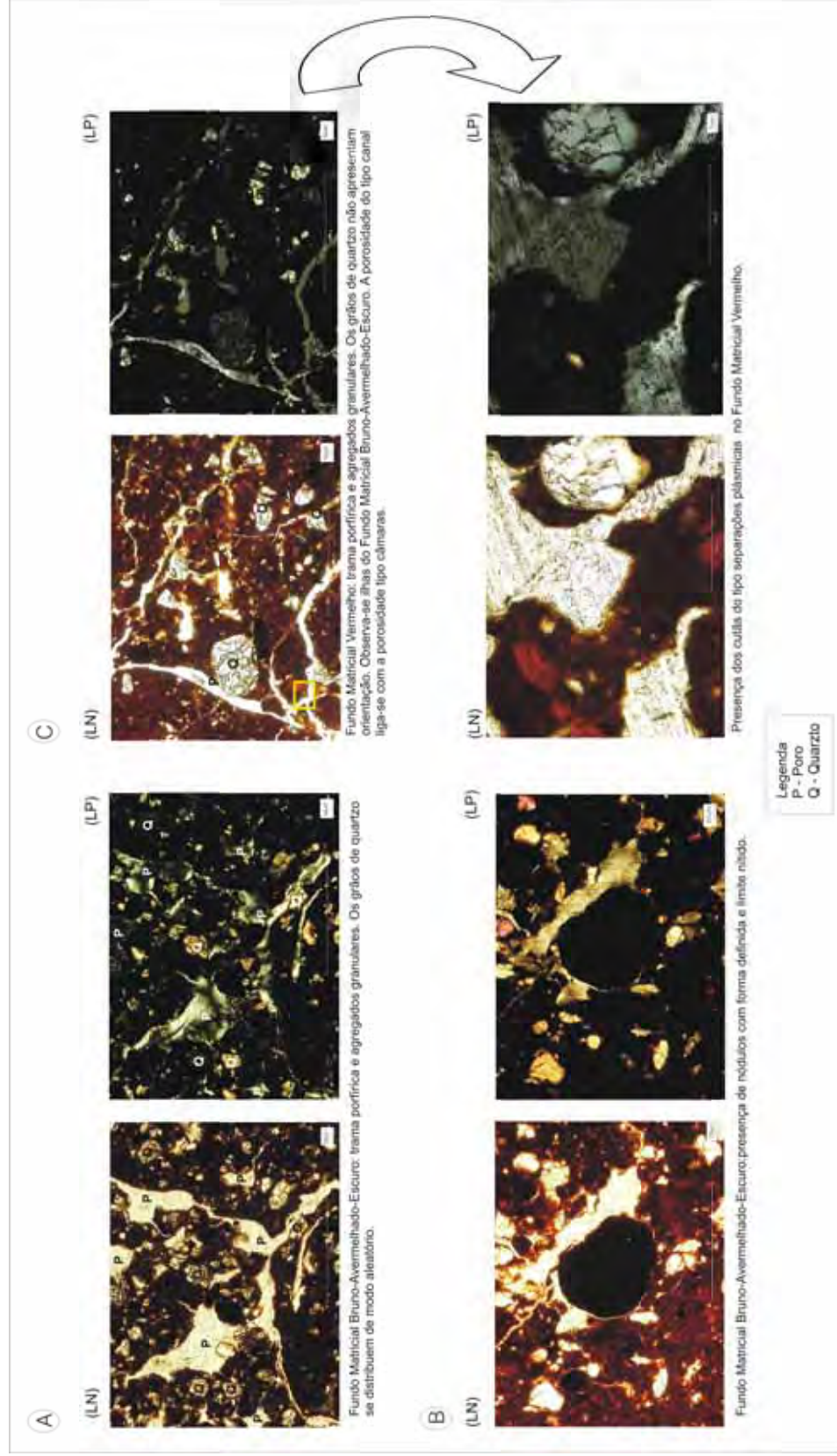


Figura 7 - Microfotografias, ao microscópio óptico, dos dois Fundos Matriciais: Bruno-Avermelhado-Escuro e Vermelho (Horizonte Bt1 do perfil Tr1).

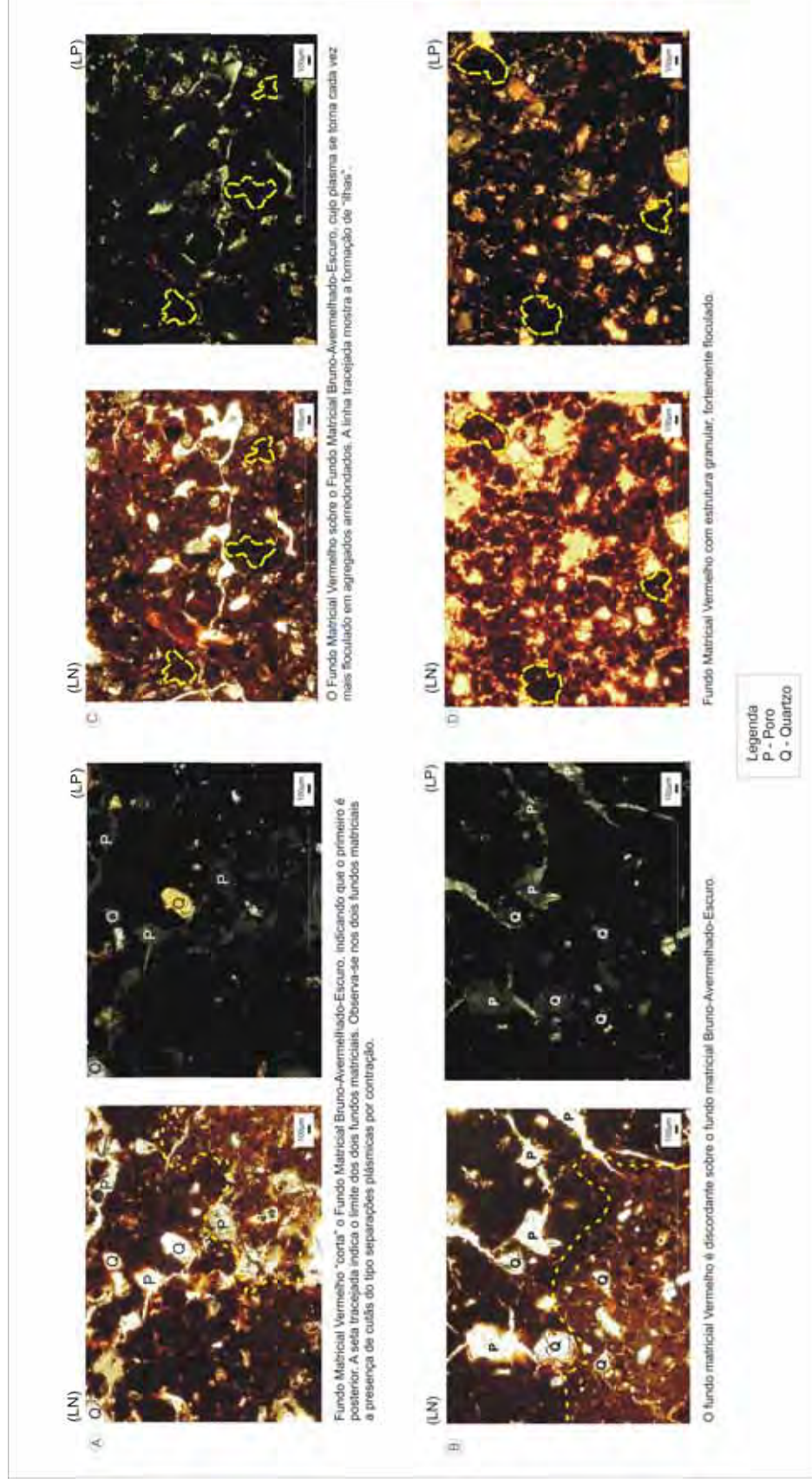


Figura 8 – Microtografias, ao microscópio óptico, dos dois fundos matriciais: Bruno-Avermelhado-Escuro e Vermelho do horizonte Bt1 do perfil Tr1 ((A) e (C)) e do perfil Tr2 ((B) e (D))

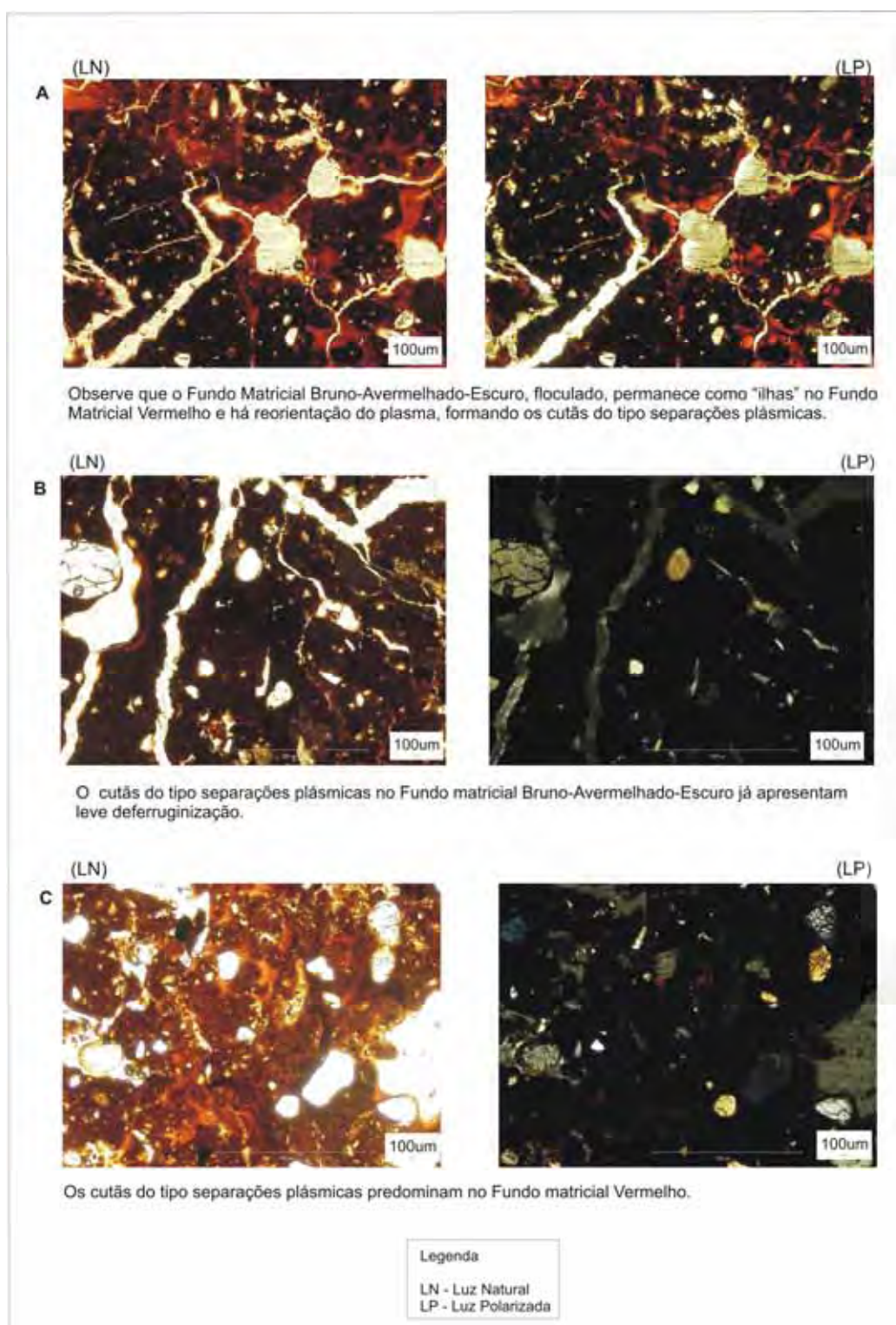


Figura 9 – Microfotografias, ao microscópio óptico, dos cutões de separações plásmicas (Horizonte Bt1 do perfil Tr1)

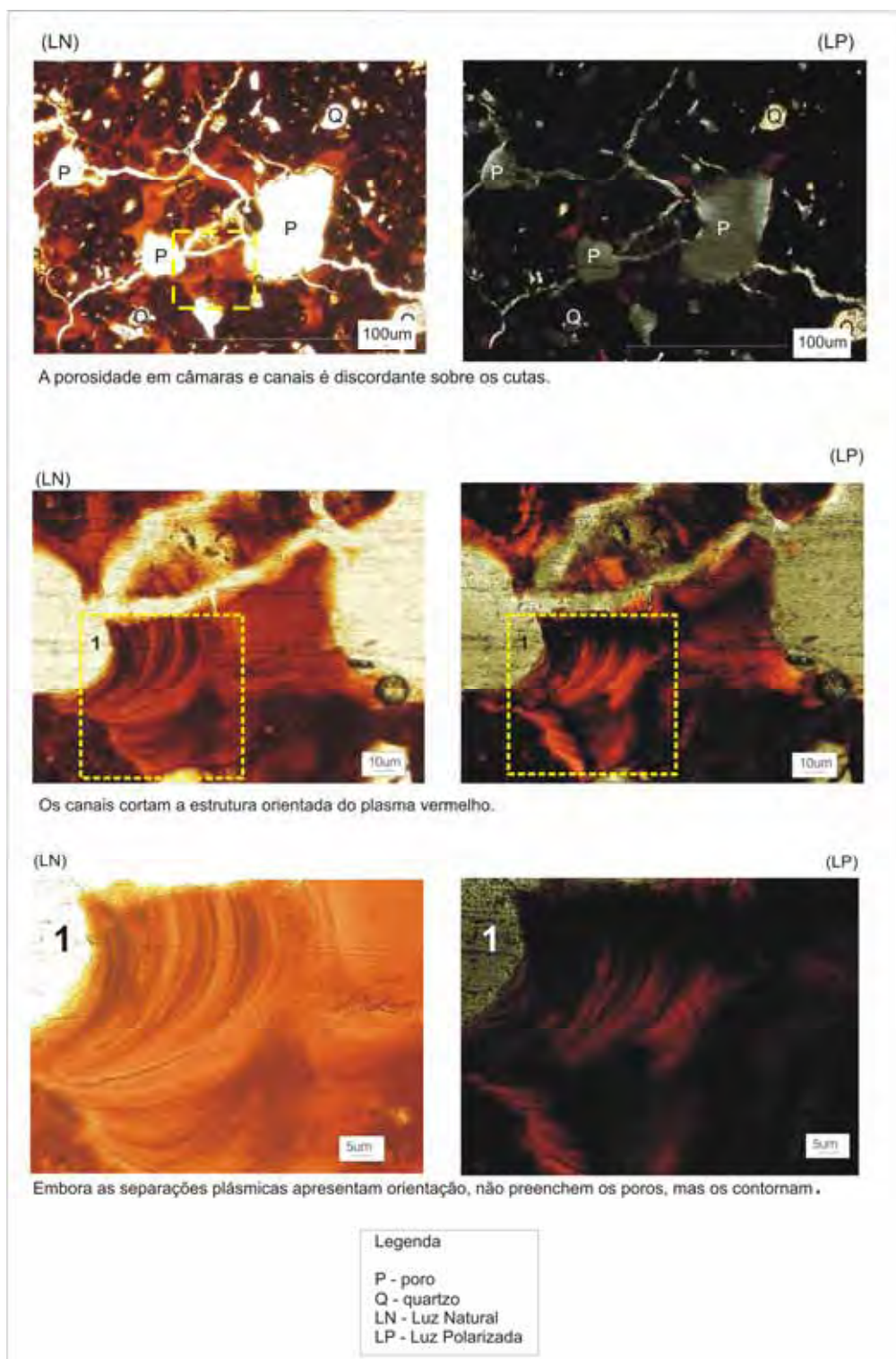


Figura 10 – Microfotografias, ao microscópio óptico, da discordância entre poros e reorientação do plasma através da formação de cutas do tipo separações plásmicas (Horizonte Bt1 do perfil Tr1)

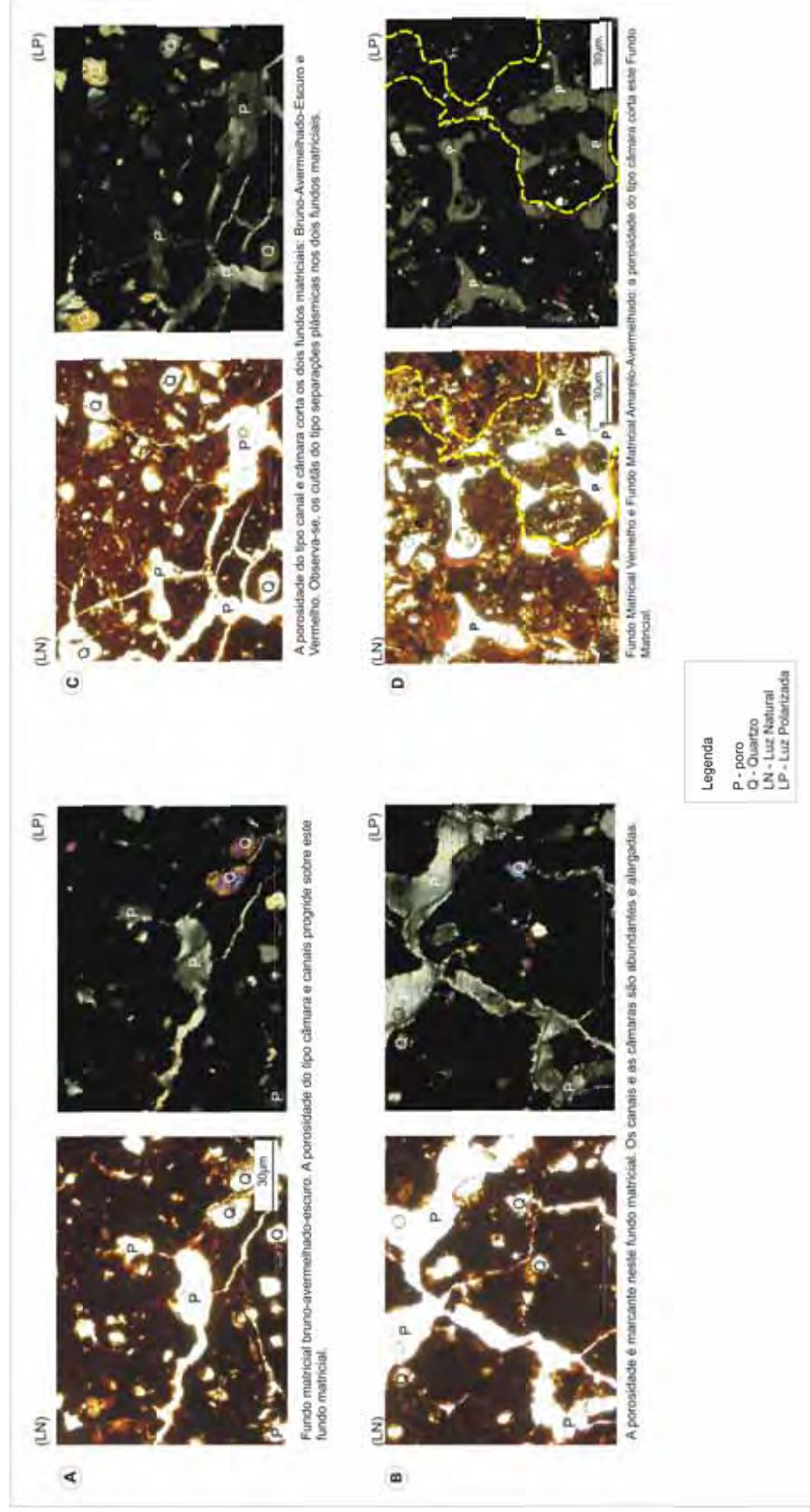


Figura 11 – Microfotografias, ao microscópio óptico, da porosidade do tipo canais e câmaras sobre os dois fundos matriciais (Horizonte Bt1 do perfil Tr2)

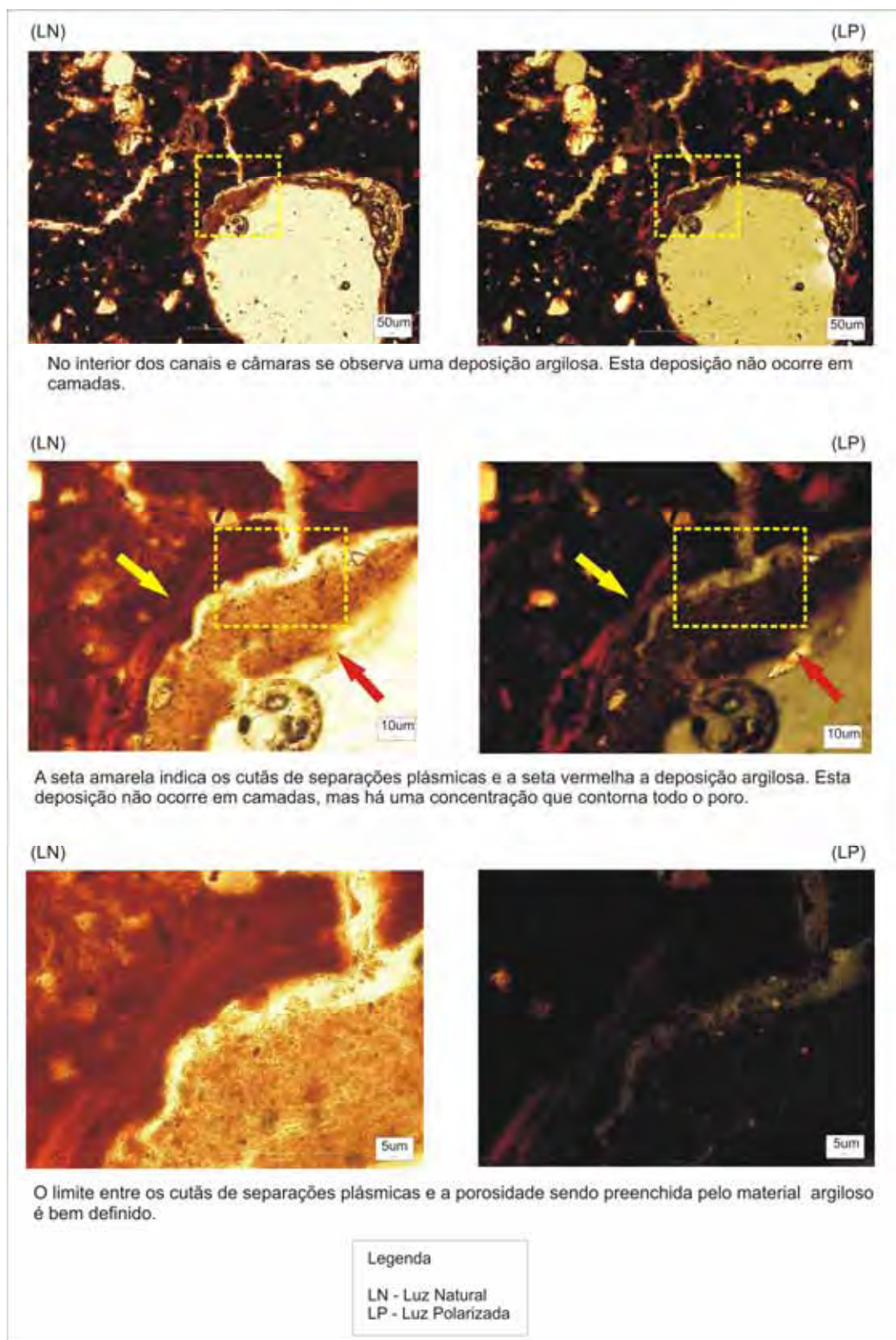


Figura 12 - Microtofografias, ao microscópio óptico, de preenchimento de poros por eluviação (Horizonte Bt2 do perfil Tr1)

Na base dos perfis de montante e jusante em Tr2, na base da vertente, observa-se um fundo matricial Amarelo-Avermelhado que corta os outros dois fundos matriciais e os cutãs de separações plásmicas no horizonte Bt2 e no horizonte de transição Bt2/Bt1 (Figura 13). Portanto ele é discordante sobre os dois. Essa discordância deixa ilhas de plasmas dos dois fundos matriciais: Bruno-Avermelhado-Escuro e Vermelho. O fundo matricial Amarelo-Avermelhado apresenta trama porfírica e agregados subangulares fracamente desenvolvidos (Figura 14). O esqueleto é composto por grãos de quartzo distribuídos aleatoriamente. Os cutãs presentes nesse fundo matricial Amarelo-Avermelhado são mais claros (Figura 15), vermelho-amarelados e sua formação está associada aos fundos matriciais Bruno-Avermelhado-Escuro e Vermelho, uma vez que se superimpõe à eles a frente deferruginizante hidromórfica que transforma tanto o fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro como o fundo matricial Vermelho (Figura 13). Da mesma maneira que em Bt2 da montante a instalação das câmaras e canais é discordante com os cutãs como com o fundo matricial Amarelo-Avermelhado, sendo, portanto, posterior à frente de transformação que origina o do fundo matricial Amarelo-Avermelhado. Neste horizonte também se observa a presença de deposição argilosa no interior da porosidade (Figura 12).

Horizonte Bt1

No horizonte Bt1 ocorre uma generalização do fundo matricial Vermelho. Suas características estão melhor expressas neste horizonte. A trama é porfírica, mas a estrutura é granular, o plasma se apresenta floculado (Figura 8 (D)). Tal fundo matricial é discordante com o fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro como observado no horizonte Bt2. Este, também tem estrutura granular e se apresenta bastante floculado como ilhas do fundo matricial Vermelho (Figura 8 (C)). Essas ilhas do fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro apresentam limite festonado com o fundo matricial Vermelho (Figura 8 (A)). Em Bt1, como já descrito a reorganização do fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro, provoca localmente a reorientação do plasma (Figura 10). Como em Bt2 os nódulos ferruginosos tem limite nítido e forma definida, tanto no fundo matricial Vermelho quanto no Bruno-Avermelhado-Escuro, indicando individualização do ferro (Figura 16). Entretanto não apresentam correlação nem com o fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro nem com o fundo

matricial Vermelho, isto é, não há indicação de que esses nódulos originem a partir da deferrificação dos dois plasmas. A discordância entre eles e os dois fundos matriciais, sugere uma pedogênese anterior à presente.

Horizontes A e Ap

No horizonte A se observa os dois fundos matriciais com as mesmas características apresentadas no horizonte Bt1 (Figura 17). Entretanto, no perfil Tr1 se observa um aumento na quantidade de grãos de quartzo e o adensamento com diminuição sensível da porosidade. Ressalta-se ainda que os grãos de quartzo apresentam alinhamento, melhor, uma orientação, como se formassem camadas. No entanto, na jusante, no perfil Tr2, este aumento de quartzos e diminuição da porosidade não acontece. Observou-se, nos dois perfis amostrados, neste horizonte a presença de cutãs de separações plásmicas. A quantidade dos cutãs é menor em relação aos horizontes Bt1 e Bt2.

5.2.2 Interpretações

A descrição micromorfológica dá conta de três principais fundos matriciais: o fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro, Vermelho e Amarelo-Avermelhado. O fundo matricial Vermelho é discordante sobre o fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro (Figura 8 (A), (B)). E o fundo matricial Amarelo-Avermelhado é discordante sobre os dois (Figura 13). Essa discordância é por superimposição, uma vez que a transformação isola pequenas ilhas do plasma transformado sobre o discordante (Figura 8 (C), (D)). De fato, não foi observado sobre as lâminas nenhuma estrutura que indicasse qualquer segregação de ferro a partir dos plasmas menos ferruginosos, para formar, respectivamente o Vermelho e o Bruno-Avermelhado-Escuro. Por outro lado, a morfologia das ilhas de plasmas Bruno-Avermelhado-Escuro e Vermelho é festonada sugerindo a ocorrência, mais de processos de dissolução do que de acréscimo ou precipitação (Figura 10).

O fundo matricial Amarelo-Avermelhado, discordante sobre os outros dois é também, discordante sobre as separações plásmicas, tornando-as mais vermelho-amareladas (Figura 15).

Essa seqüência de transformações permite estabelecer uma cronologia relativa de formação desses fundos: primeiro o fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro, segundo o fundo matricial Vermelho e por fim o fundo matricial Amarelo-Avermelhado (Figura 18).

Nos fundos matriciais Bruno-Avermelhado-Escuro e Vermelho a presença de nódulos com limites nítidos, cujo fundo matricial é Bruno-Escuro, indica uma descontinuidade com os fundos matriciais adjacentes. Os nódulos estão isolados e têm matriz ferruginosa. Nenhum traço de ferruginização atual é observado nas lâminas que autorize a dizer que esses nódulos são atuais (Figura 16). Ao contrário, a seqüência dos fundos matriciais mostra que a tendência é a deferruginização dos plasmas, uma vez que estes se tornam cada vez mais claros (Figura 10), inclusive aqueles presentes nos cutãs (Figura 10). Portanto, os nódulos podem ser relíquias de pedogênese mais antiga, isto é, anterior à formação do fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro.

A formação do fundo matricial Vermelho às expensas do fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro parece em algumas situações provocar a reorientação dos plasmas, dada a deferruginização. De fato, a transição entre o plasma Bruno-Avermelhado-Escuro e o plasma avermelhado das separações plásmicas é difusa, mas, bem delimitada; inicialmente o plasma deferruginiza-se (Figura 10) sem sofrer nenhuma reorganização (mantém em luz polarizada a mesma extinção, mas perde relevo) e o limite entre o mais e o menos ferruginizado é digitado. Posteriormente o plasma torna-se mais deferruginizado e orienta-se (em luz polarizada a extinção dos dois é diferente) e a morfologia apresenta-se como uma série de camadas superpostas, mas cuja origem está dentro do plasma mais ferruginizado (Figura 10).

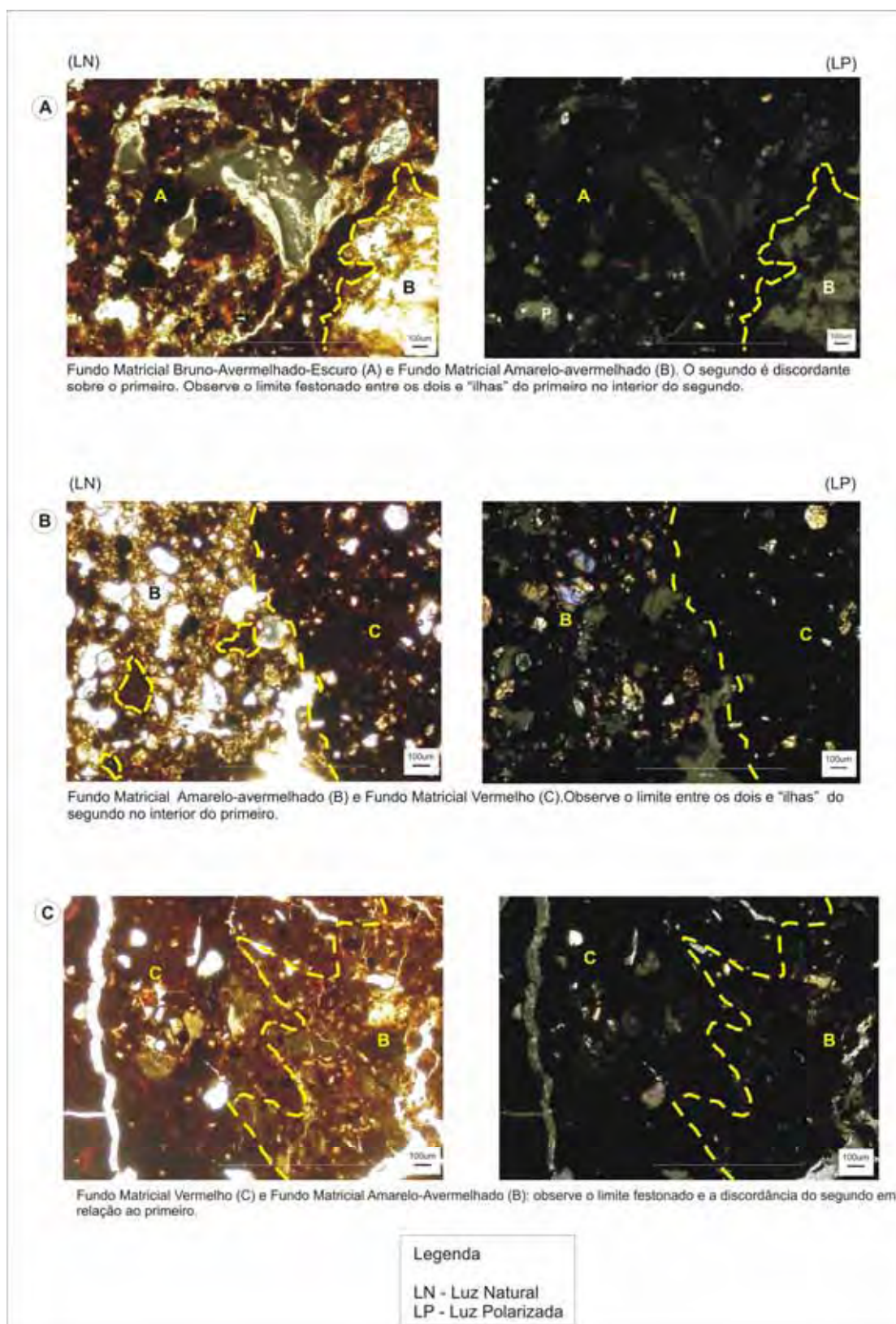


Figura 13 – Microfotografias, ao microscópio óptico, do fundo matricial Amarelo-Avermelhado progredindo sobre os outros fundos matriciais na jusante (Horizonte Bt2 do perfil Tr2)

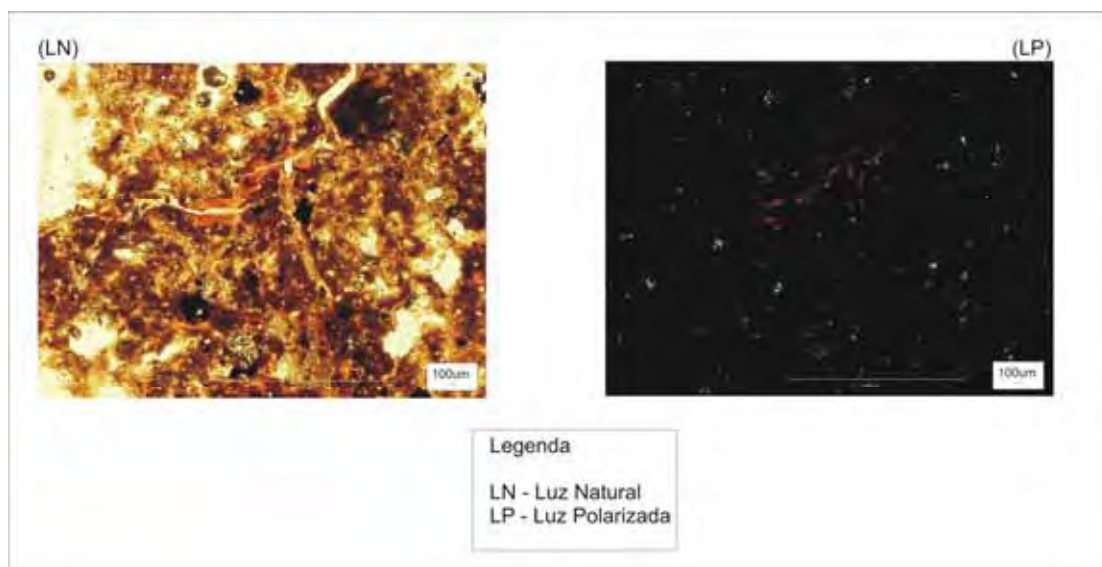


Figura 14 – Microfotografias, ao microscópio óptico, do fundo matricial amarelo-avermelhado (Horizonte Bt2 do perfil Tr2)

Os cutãs de separações plásmicas parecem não ter nenhuma relação com a porosidade, principalmente com os canais, que ligam os poros do tipo câmaras. Os canais são discordantes sobre as separações plásmicas, cortando as estruturas orientadas (Figura 10). Dessa maneira é possível dizer que pelo menos a porosidade em canais é posterior à formação dos cutãs de orientação por deferruginização do plasma Bruno-Avermelhado-Escuro. Com efeito, estes canais e câmaras cortam, também, o fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro (Figura 11), Vermelho (Figura 11), Amarelo-Avermelhado (Figura 14) e os nódulos (Figura 15). No entanto, no interior dos canais e câmaras foi observada a presença de deposição argilosa, evidenciando que esta deposição é posterior à formação dos canais e câmaras (Figura 12).

Portanto, diante disso, é possível dizer que os cutãs de separações plásmicas não são eluviais. E que a porosidade de câmaras e canais é atual. O fato de haver uma acumulação de argila no horizonte B, observada na descrição macroscópica, pode ser explicada pela deposição argilosa nos canais e câmaras observada no horizonte B, indicando um empobrecimento, em argila, na superfície dos solos.

No topo do perfil (horizonte A) de montante o fato de haver uma diminuição da porosidade sugere uma certa compactação deste horizonte. Grãos do esqueleto (quartzo) alinhados horizontalmente colaboram com esta afirmação (Figura 17 (A),

(B)). O mesmo não ocorre com o horizonte A do perfil que se encontra na mata (Figura 17 (C)).

A seqüência dos fundos matriciais, do Bruno-Escuro, dos nódulos, passando pelo fundo matricial Bruno-Avermelhado-Escuro até o Vermelho, com suas características de estrutura (nódulos, grânulos), indicam uma diferenciação dos fundos matriciais, em ambiente oxidante. Entretanto, o fundo matricial Amarelo-Avermelhado está em discordância com essas organizações precedentes, inclusive com os cutãs, na base (horizontes Bt2) e na jusante (horizontes Bt1 e Bt2cg) da seqüência de solos, levando ao amarelecimento dos fundos matriciais. Isto sugere a presença de um ambiente mais confinado. Com efeito, já no nível macroscópico foram identificadas manchas de hidromorfia nos horizontes C, Bt2g e Bt2cg. Com a análise micromorfológica é possível dizer que esta hidromorfia atinge, também, o horizonte Bt1 do perfil Tr2. A figura 18 sintetiza a cronologia dos eventos observados no decorrer da diferenciação e da transformação dos solos. Dessa maneira dois domínios de pedogênese puderam ser identificados nessa seqüência de solos: de laterização e de hidromorfia.

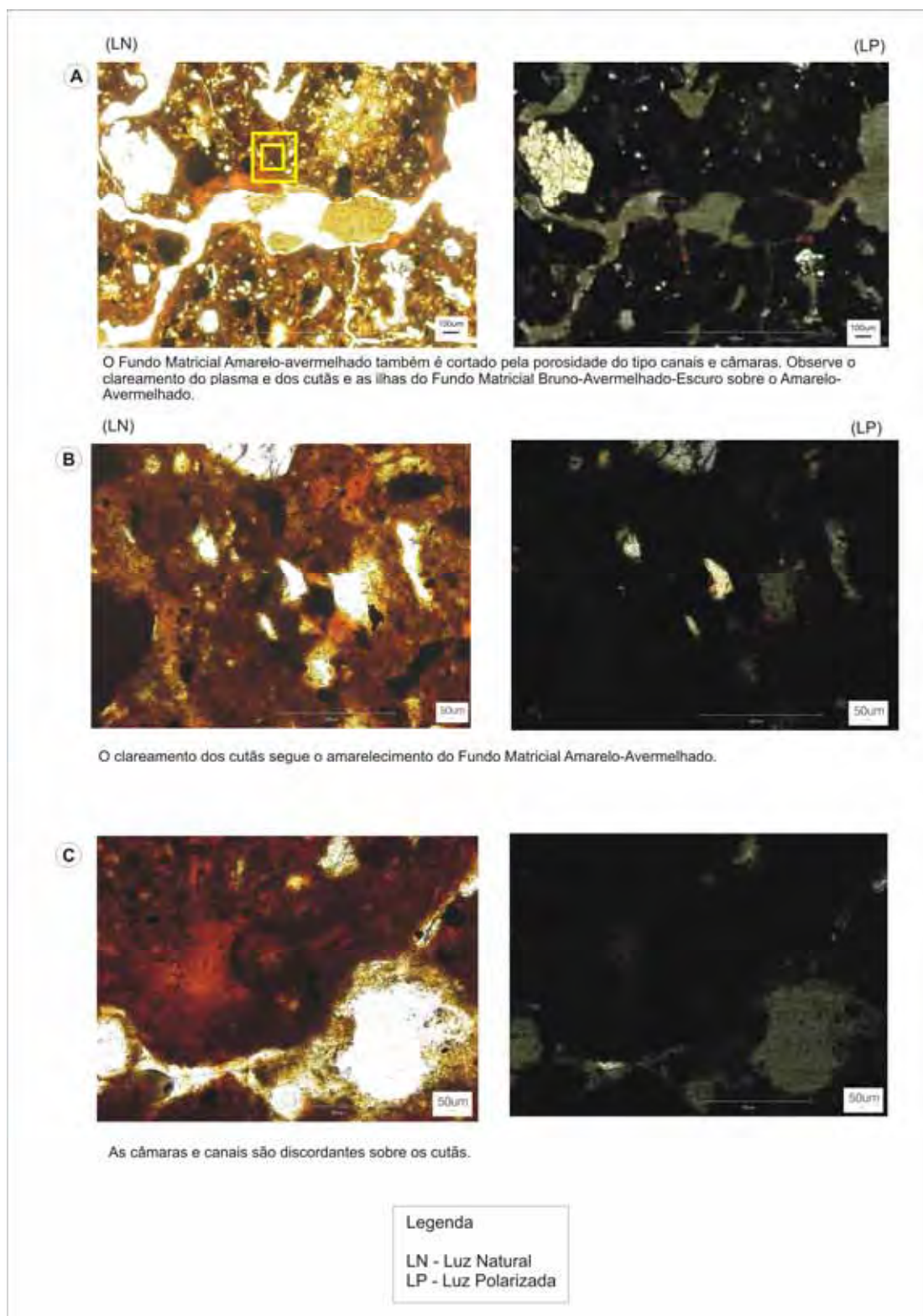


Figura 15 - Microfotografias, ao microscópio óptico, dos cutãs do tipo separações plásmicas no fundo matricial Amarelo-avermelhado (Horizonte Bt1 do perfil Tr2)

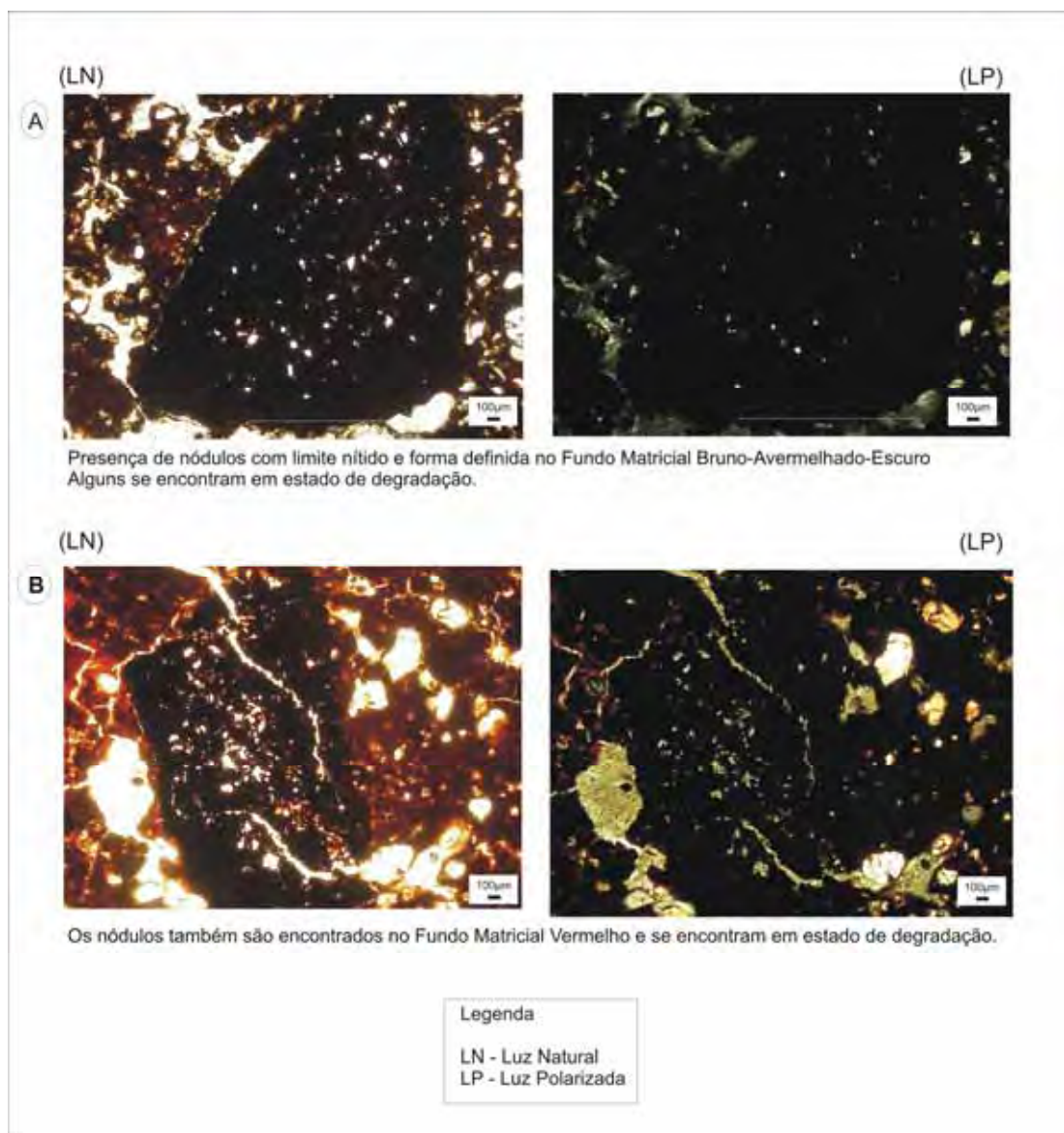


Figura 16 – Microfotografias, ao microscópio óptico, dos nódulos encontrados nos dois fundos matriciais (Horizonte Bt1 do perfil Tr1)

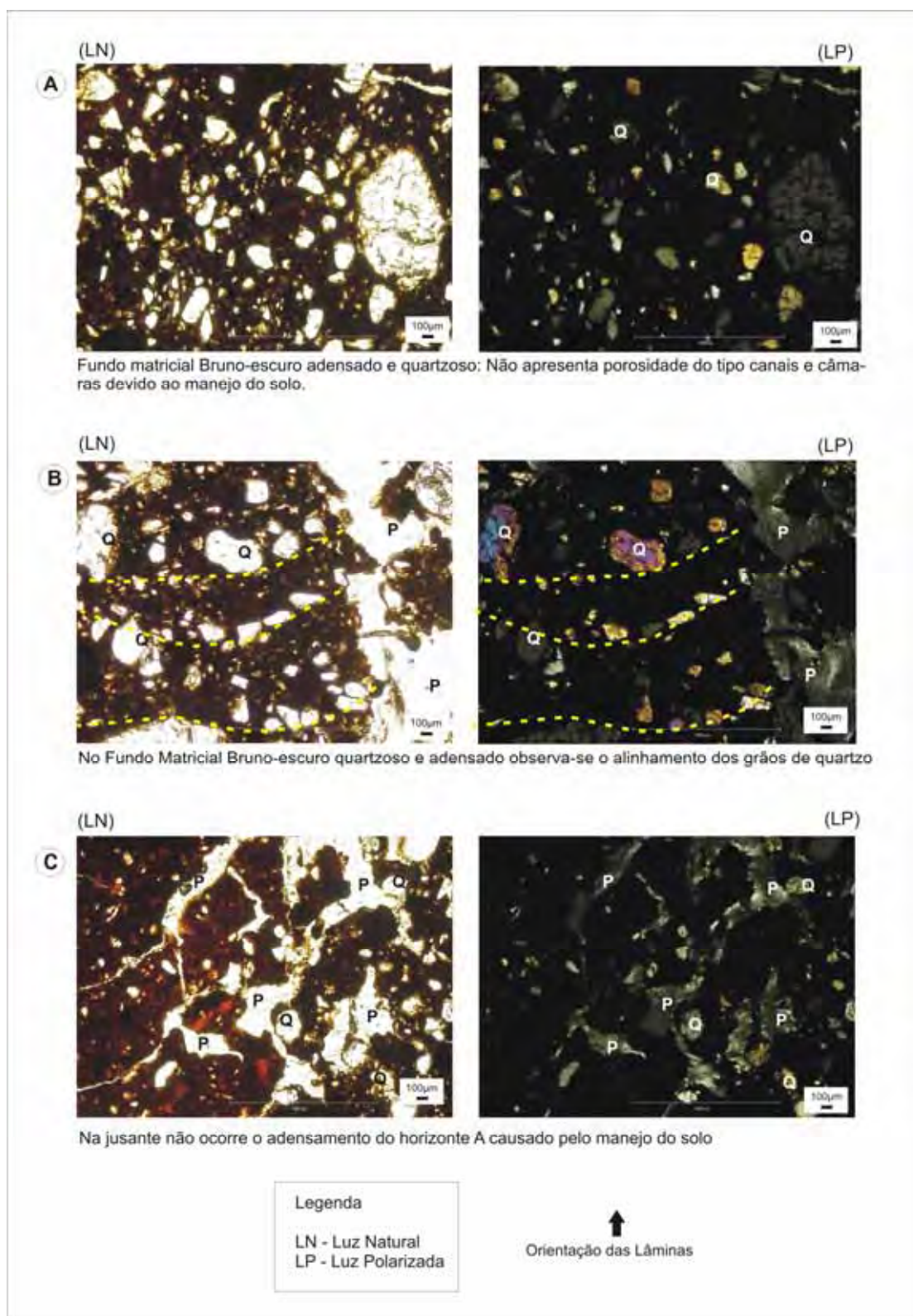


Figura 17 – Microfotografias, ao microscópio óptico, do horizonte A do perfil Tr1 ((A) e (B)) e do perfil Tr2 (C).

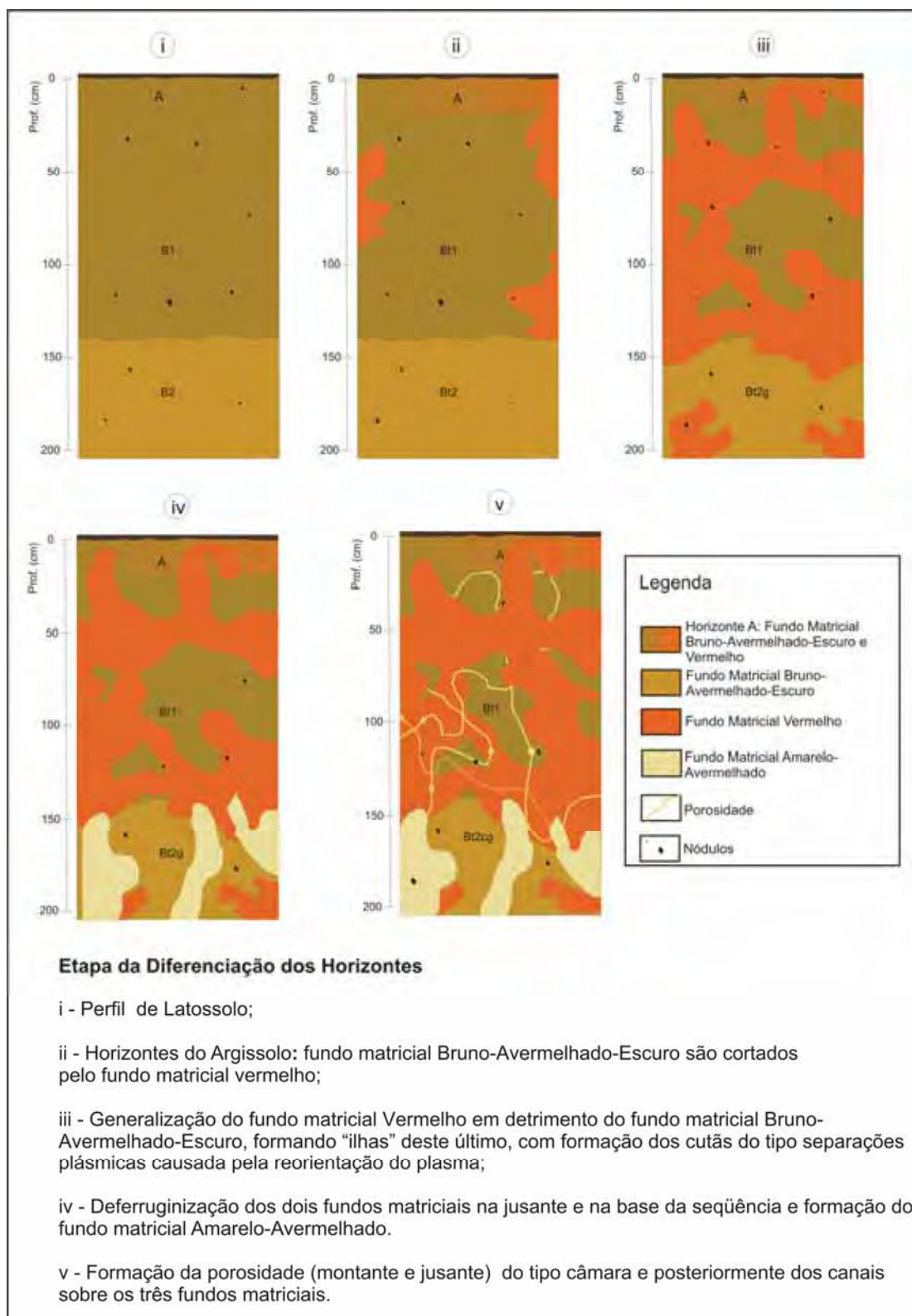


Figura 18- Evolução da seqüência de solos.

5.3 Análises físicas das amostras da seqüência de solos

As análises físicas contemplaram análise textural das frações granulométricas (areia, silte e argila), argila dispersa em água, grau de dispersão e grau de floculação segundo CAMARGO, *et al.*, (1986). A tabela 2 apresenta o resultado dessas análises.

5.3.1 Distribuição das frações granulométricas

Na seqüência de solos, o teor de argila varia de 23% a 64% (Tabela 2). Os maiores teores estão em subsuperfície, entre 50 e 150 cm de profundidade e os menores teores estão em superfície e abaixo de 150 cm de profundidade. Assim, o teor de argila aumenta do topo até a profundidade de 150 cm, diminuindo em seguida, para todos os pontos amostrados, exceto para Tr1. Na trincheira 1 há uma diminuição do teor de argila entre 30 e 50 cm, em seguida, seu comportamento é similar aos pontos de tradagem (Figura 19). Na seqüência de solos, a fração argila diminui de montante para jusante.

A fração silte varia de 2% a 36,4% e apresenta pouca variação no perfil (Tabela 2). Os maiores teores se encontram em profundidade e na superfície do solo e os menores teores na faixa de profundidade intermediária dos perfis (40 a 80 cm), exceto para Tr1. Observa-se que o teor de silte, nos perfis analisados apresenta decréscimo quando há aumento do teor de argila (Figura 19). Na seqüência de solos a fração silte é quase conservativa, mas, tem leve aumento de montante para jusante.

A areia fina varia entre 28% a 89,6% (Tabela 2). Os maiores teores estão em superfície, de 0 a 40 cm, aproximadamente; e os menores teores em subsuperfície (Figura 19). De modo geral, a fração areia fina diminui do topo até a profundidade de 80 cm, com exceção dos pontos Tr1, P3 e P5, que apresentam aumento do teor de argila entre 20 e 40 cm, para, em seguida, diminuir até 80 cm de profundidade. Após, a tendência é aumentar. Entretanto o ponto Tr2 apresenta diminuição

gradativa de acordo com a profundidade, enquanto em Tr1 essa diminuição é abrupta. Na seqüência de solos, a fração areia fina tem distribuição variável.

A fração areia grossa varia de 2,4% a 39,1% (Tabela 2). Os maiores teores se encontram em superfície e, os menores teores em subsuperfície. Os teores de areia grossa diminuem do topo em direção a profundidade dos solos, com exceção do ponto Tr1 que apresenta aumento abrupto a partir de 80 cm. Em relação a seqüência de solos, a fração areia grossa diminui de montante para jusante (Figura 19).

5.3.1.1 Interpretações

A distribuição da fração argila nos perfis e na seqüência de solos, evidencia uma certa homogeneidade entre os perfis. A fração silte, por sua vez, aumenta quando há diminuição da fração argila e nota-se que há aumento do teor de silte nas maiores profundidades. Este aumento pode ser justificado pela proximidade com o material alterado. A fração areia fina possui maiores teores em superfície e em profundidade, assim como ocorre com o silte e, diferentemente, como acontece com a argila. Por fim, a fração areia grossa também está em quantidade maior em superfície.

A semelhança nos padrões de distribuição das frações granulométricas na seqüência de solos reafirma a homogeneidade da seqüência de solos. A concentração de argila no B, entre 50 e 120/150 cm de profundidade caracteriza-o como um Bt, já identificado com a descrição macromorfológica. Entretanto, as curvas de silte, areia fina e areia grossa, exceto para Tr1 que tem uma forte modificação no padrão das curvas de silte e de areia fina, têm maiores valores em superfície, mostrando uma leve concentração relativa frente aos teores observados em profundidade. Tal distribuição, e por analogia com o padrão de distribuição dos teores nas curvas de argila, indica uma perda superficial dessa última fração (Figura 19).

5.3.2 Distribuição de argila dispersa em água, grau de dispersão e grau de floculação.

A seqüência de solos apresenta valores de argila dispersa em água que variam entre 20% a 30% nos primeiros quarenta centímetros de profundidade (Figura 20). A partir desta profundidade há uma brusca diminuição, atingindo valores menores do que 1% (Tabela 2). O ponto de tradagem 3 apresenta diminuição dos valores de argila dispersa a partir de 60 cm e o ponto de trincheira 2 a partir dos 80 cm de profundidade. O grau de dispersão, conseqüentemente, acompanha os valores de argila dispersa em água: teores elevados em superfície e valores baixos em subsuperfície. Entretanto, o grau de floculação apresenta teores baixos em superfície e teores elevados em profundidade (Figura 20). Em relação à seqüência de solos, a argila dispersa e o grau de dispersão diminuem de montante a jusante. O grau de floculação aumenta de montante em direção de jusante, mas a variação é pequena entre os pontos.

5.3.2.1 Interpretações

Em toda a seqüência foi observado pelo padrão das curvas, o mesmo comportamento da Argila Dispersa em Água e do Grau de Dispersão e um comportamento contrário do Grau de Floculação. Em se tratando de solos cuja pedogênese é lateritizante era de se esperar um fraco grau de dispersão e baixos conteúdos de argila dispersa em água e alto grau de floculação em todos os horizontes da seqüência. Entretanto, em superfície, no horizonte A, mesmo no perfil Tr2, sob a mata secundária, o comportamento difere do esperado, enquanto que em subsuperfície o comportamento converge para o esperado em solos lateríticos, isto é, apresenta alto grau de floculação.

A análise micromorfológica mostrou que na montante da seqüência existe um certo adensamento do solo, orientação dos quartzos e a rarefação da porosidade. Essa feição adensada remete ao fato de que esses solos são

intensamente manejados para o cultivo com a cana-de-açúcar. Sobre os solos de montante, sistematicamente tem sido agregado calagem, adubação química e restilo da cana, sendo, este último rico em sódio, cálcio e magnésio. Sabendo da afinidade que o sódio tem com a água, por ser, fortemente hidratável, pode-se acreditar que este elemento influi na dispersividade das argilas. Por outro lado, essa dispersividade pode, também, estar relacionada com a destruição mecânica dos agregados pelo uso constante das máquinas usadas no cultivo da cana-de-açúcar. Entretanto, mesmo dentro da mata, o perfil Tr2 apresenta alta dispersividade, o que contradiz a influência do trabalho mecânico neste perfil. Dessa maneira, tanto a quantidade de argila dispersa em água como o grau de dispersão, altos, podem ser melhor explicados pela presença do sódio presente na vinhaça utilizada como fertilizante.

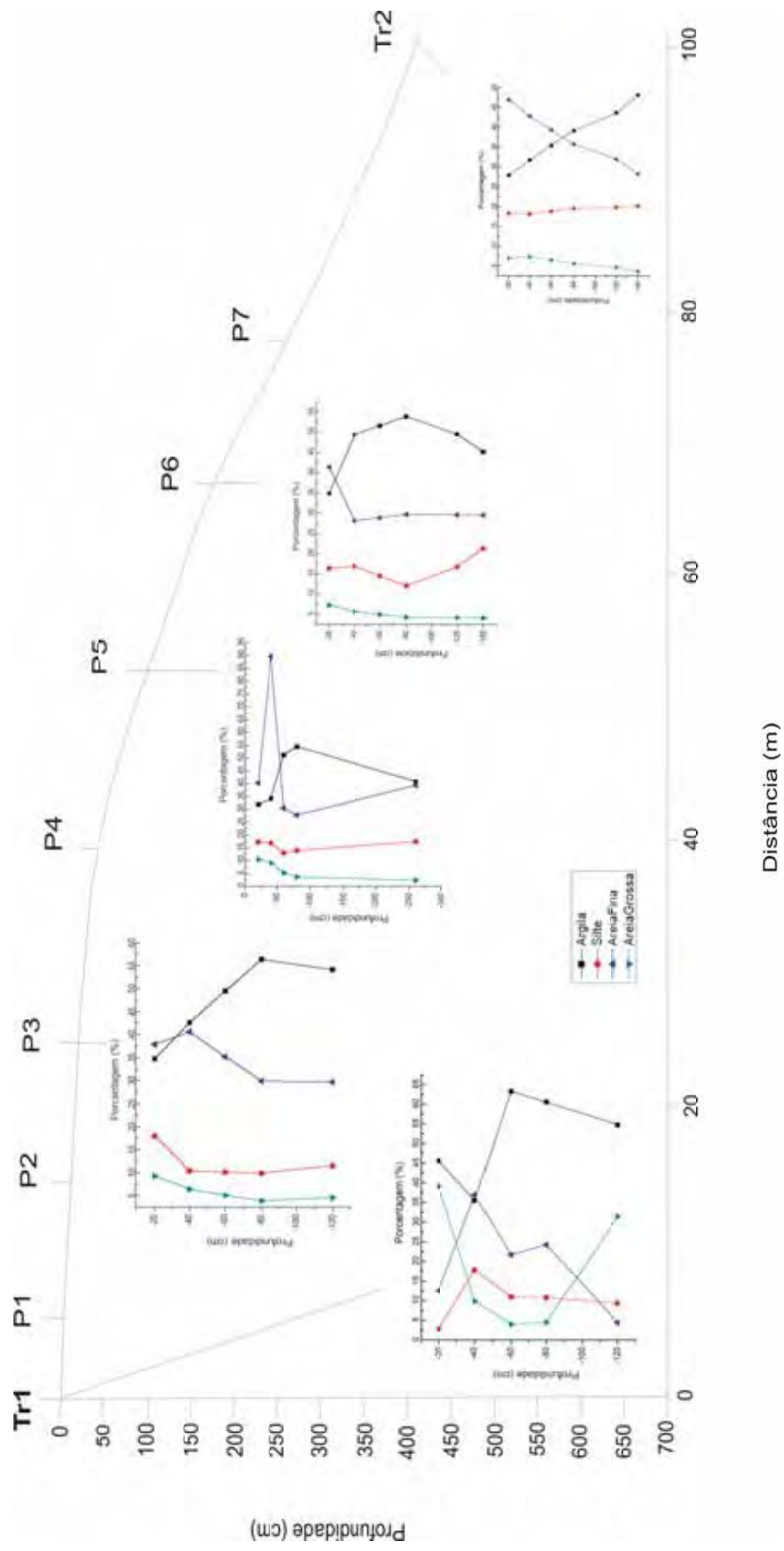


Figura 19- Distribuição das Frações Granulométricas, de acordo com a profundidade e lateralmente, para a sequência.

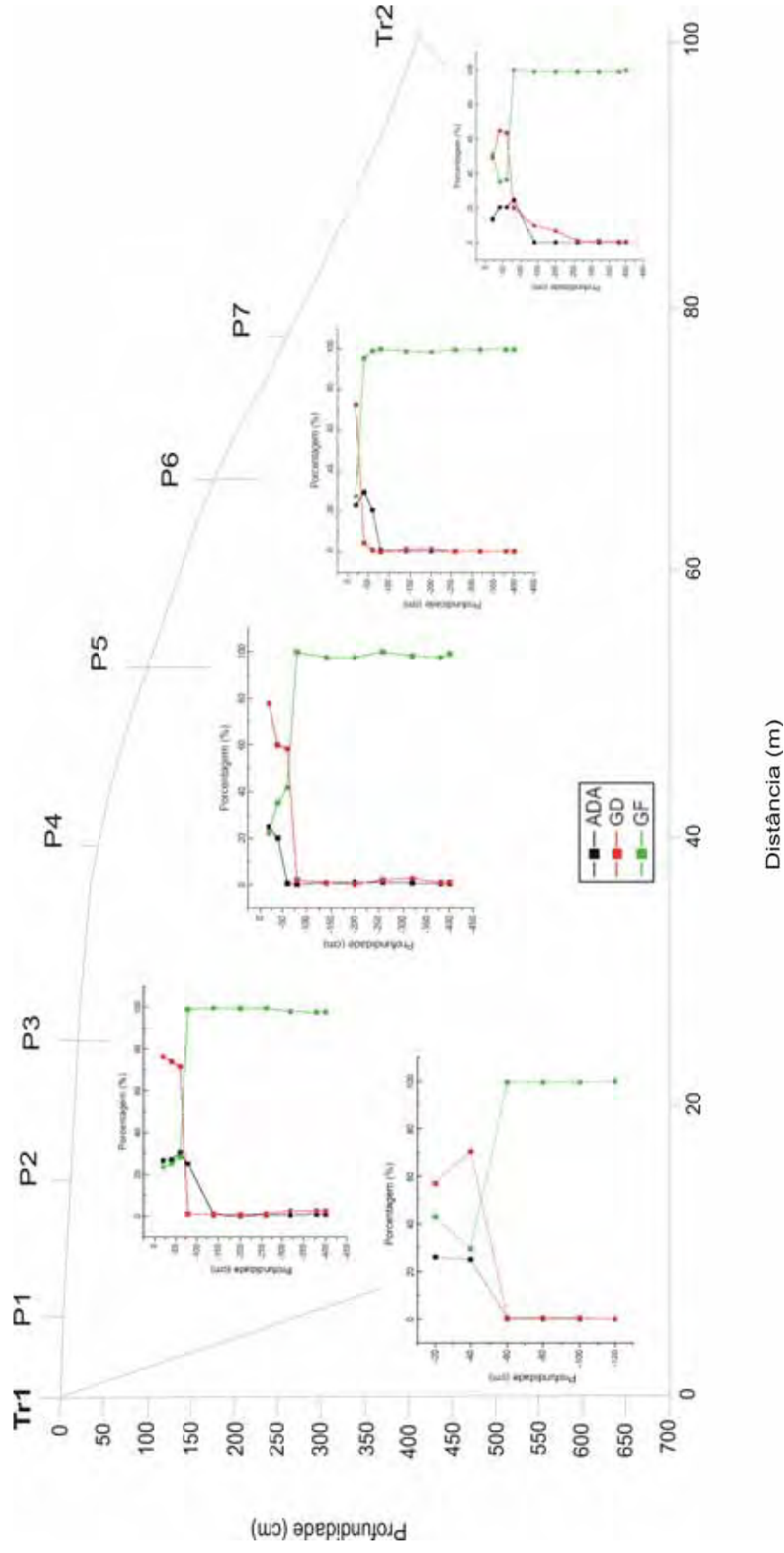


Figura 20- Distribuição de Argila Dispersa em Água (ADA), Grau de Flocculação (GF) e Grau de Dispersão (GD), de acordo com a profundidade e lateralmente, para a sequência de solos.

Tabela 2 - Distribuição das frações granulométricas, argila dispersa em água, grau de floculação e dispersão para a sequência de Argissolos

Nome	Prof. (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Grossa (%)	ADA* (%)	GF** (%)	GD*** (%)
TR1	0-30	45,6	2,8	12,6	39,1	26,0	42,9	57,0
TR1	30-50	35,5	17,8	36,9	9,9	25	29,5	70,4
TR1	50-70	63,3	11,0	21,7	4,0	0,3	99,5	0,5
TR1	70-112	60,5	10,8	24,2	4,5	0,3	99,5	0,5
TR1	112-153	54,8	9,4	4,4	31,4	0,0	100	0,0
P3	0-20	34,8	18,0	37,9	9,3	26,6	23,5	76,4
P3	40-60	42,6	10,4	40,6	6,4	30,5	28,4	71,6
P3	80-100	56,4	9,9	29,9	3,9	0,5	99,1	0,9
P3	200-220	51,8	13,2	29,6	5,4	0,3	99,5	0,5
P3	260-280	42,2	23,3	31,5	3,0	1,0	97,6	2,4
P3	320-340	39,1	30,2	28,2	2,4	0,9	97,8	2,3
P3	440-460	24,0	16,7	52,8	6,5	0,5	97,9	2,2
P3	540-560	30,8	32,8	31,6	4,9	0,5	98,5	1,6
P3	680-700	32,0	26,7	34,0	7,2	0,4	98,8	1,2
P5	0-20	31,9	17,3	40,3	10,5	24,8	22,2	77,8
P5	20-40	34,3	16,9	89,6	9,2	20,0	41,7	58,3
P5	40-60	51,3	13,0	30,5	5,3	0,5	99,1	0,9
P5	80-100	54,5	14,0	27,8	3,7	0,2	99,7	0,3
P5	260-280	40,9	17,4	39,4	2,4	1,1	97,3	2,7
P5	380-400	34,7	32,2	28,4	4,8	0,4	98,8	1,2
P5	440-460	32,5	32,4	29,3	5,8	0,4	98,7	1,3
P6	0-20	34,9	16,4	41,4	7,3	25,3	27,5	72,5
P6	20-40	49,4	16,9	28,1	5,7	2,2	96,3	3,7
P6	60-80	53,9	12,1	29,7	4,3	0,6	98,9	1,1
P6	140-160	45,2	21,3	29,5	4,1	0,1	99,9	0,1
P6	240-260	32,1	34,9	28,1	4,9	0,4	98,7	1,3
P6	320-340	28,7	33,7	31,5	6,1	0,4	98,5	1,5
P6	400-420	25,7	36,4	30,7	7,2	0,1	99,5	0,5
P6	440-460	23,2	32,6	37,0	7,2	0,4	98,3	1,7
TR2	0-15	27,9	18,3	46,9	6,9	13,7	51,0	49,0
TR2	15-62	31,7	18,1	42,8	7,3	20,6	35,0	64,9
TR2	62-82	39,1	19,5	35,7	5,6	24,8	36,6	63,4
TR2	100-135	48,1	20,1	28,2	3,6	0,2	99,6	0,4

Fonte: Dados da Pesquisa

*** Argila Dispersa em Água; ** Grau de Floculação; *** Grau de Dispersão**

TR1/TR2 - Trincheiras; P3/P5/P6 - Pontos de tradagem

5.4 Análises químicas do complexo sortivo dos horizontes da seqüência de solos.

O resultado da análise química do complexo sortivo encontra-se no Anexo C. Foram determinados o pH, a soma de bases, a capacidade de troca de cátions e a saturação por bases e medidos os teores das bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), Al trocável, e de $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$, da matéria orgânica, do fósforo, do enxofre e dos oligoelementos.

5.4.1 pH, bases trocáveis, soma de bases e capacidade de troca catiônica (CTC)

O pH varia de 3,8 a 6,9 na seqüência de solos (Figura 21 (A)). Os maiores valores aparecem no horizonte A (em superfície): em Tr1 e nas tradagens P5 e P6 os valores estão acima de 5,0; em P3, estão próximos de 5,0, enquanto em Tr2 encontra-se pH 4,1 (Figura 21 (A)). Verifica-se que o pH diminui de modo gradativo, do topo para a base do perfil, até a profundidade de 40 cm (horizonte A); depois diminui, bruscamente, até a profundidade de 60 cm, permanecendo praticamente constante depois desta profundidade. Entretanto, o ponto Tr2 permanece com pH 4,0 em todo o perfil. Na seqüência de solos, o pH diminui, gradativamente, para jusante. A partir de 60 cm a diminuição do pH ocorre no mesmo sentido, mas a amplitude de valores entre um perfil e outro é menor (Figura 21 (A)).

As bases cálcio e magnésio apresentam comportamentos semelhantes entre si para os pontos amostrados (Figura 21 (B), (C)). Na seqüência de solos os teores de cálcio (Figura 21 (B)), variam de 1 mmol_c/kg a 32 mmol_c/kg. Os maiores teores estão em superfície: nos pontos Tr1 e P5 (32 mmol_c/kg e 27 mmol_c/kg, respectivamente). Os menores teores estão em superfície nos pontos P3, P6 e Tr2 (abaixo de 10 mmol_c/kg). Em relação aos perfis os teores de cálcio diminuem do topo para a base. Na seqüência de solos, há uma tendência de queda, dos teores de cálcio, do ponto Tr1 até P6 (Figura 21(B)).

Os teores de magnésio variam de 1 mmol/kg a 24 mmol/kg na seqüência de solos (Figura 21 (C)). Os maiores teores se encontram em superfície: nos pontos Tr1 e P5 (24 mmol/kg e 20 mmol/kg, respectivamente). Os menores teores, em superfície, nos pontos P3, P6 e Tr2 (abaixo de 7 mmol/kg). Em todos os perfis, os teores de magnésio diminuem do topo para a base dos perfis. Entretanto apenas no ponto Tr2 o teor de magnésio aumenta entre 100 e 140 cm de profundidade. Na seqüência de solos, há uma queda, dos teores de magnésio, entre os pontos Tr1 e P6. Em Tr2 o teor de magnésio aumenta (Figura 21 (C)).

O sódio tem teores que variam de 0,1 mmol/kg a 4 mmol/kg na seqüência de solos (Figura 21 (D)). Os maiores teores se concentram no ponto Tr1 e os menores nos pontos P3, P5, P6 e Tr2. No perfil Tr1 o teor de sódio aumenta da superfície para a base; nos outros pontos amostrados o teor de sódio aumenta até 40/60 cm de profundidade para diminuir a partir desta profundidade. Na seqüência de solos, o teor de sódio diminui de montante à jusante (Figura 21 (D)).

Na seqüência de solos os teores de potássio variam de 0,17 mmol/kg a 2,45 mmol/kg (Figura 21 (E)). O padrão das curvas é semelhante, exceto para Tr2. Até a profundidade de 40 cm os teores aumentam e, em seguida, decrescem. Em Tr2 o teor de potássio diminui desde a superfície até a base do solo (Figura 21 (E)). Na seqüência de solos os teores de potássio aumentam globalmente de montante para jusante.

A Soma de Bases apresenta variação de 3,2 mmol/kg a 57,3 mmol/kg na seqüência de solos (Figura 21 (F)). Os maiores valores se encontram no ponto Tr1 (57,3 mmol/kg a 20 cm de profundidade) e os menores valores no ponto P6 (3,2 mmol/kg a 80-100 cm de profundidade). A distribuição dos valores de soma de bases é regular: globalmente, diminuem com a profundidade (Figura 21 (F)). Na seqüência de solos há uma distribuição irregular: diminui entre os pontos Tr1 e P3 e aumenta entre P3 e P5 para diminuir novamente até o ponto Tr2.

A Capacidade de Troca de Cátions varia de 36,2 mmol/kg a 88,9 mmol/kg (Figura 21 (G)). Os maiores valores encontram-se no ponto Tr2 (88,9 mmol/kg a 80-100 cm) e os menores valores no ponto P5 (36,2 mmol/kg a 40 cm). De modo geral, os valores apresentam comportamento irregular: diminuem da superfície até a

profundidade de 40 – 60 cm, exceto Tr1 e P5 que possuem ligeiro aumento (Figura 21 (G)). A partir desta profundidade há uma tendência de aumento da CTC (Figura 21 (G)). Na seqüência de solos se observa uma diminuição entre os pontos Tr1 e P5 e, a partir de P5 há um aumento para jusante.

5.4.1.1 Interpretações

As curvas dos teores de cálcio e magnésio estão correlacionadas com as curvas dos valores de pH e soma de bases e diminuem de montante para jusante; enquanto que as curvas de potássio e capacidade de troca de cátions apresentam comportamento diferente das precedentes (Figura 21 (A), (B), (C) e (D)). Os maiores teores de cálcio e magnésio e valores de pH e soma de bases se concentram em superfície e diminuem em direção da base dos solos. Tal comportamento evidencia a maior quantidade de cálcio e magnésio nos sítios de troca principalmente, em superfície, se comparados com as bases potássio e sódio, que apresentam teores mais baixos. Os teores de sódio, embora sendo mais baixos que as outras bases, possui níveis preocupantes, mesmo em Tr2. As curvas do teor de potássio evidenciam acumulação deste elemento nas profundidades de 20 a 40 cm. As curvas de capacidade de troca de cátions são inversas, se comparadas às curvas das bases trocáveis, evidenciando que em profundidade, o complexo sortivo não está saturado pelas bases. Entretanto, na base da seqüência, na trincheira Tr2, a variação dos teores é regular: diminui com a profundidade e são sempre mais baixos, globalmente, do que na montante. A comparação entre montante e jusante mostra que o comportamento desses elementos na seqüência de solos evidencia as condições geoambientais diferenciadas existentes na área experimental e indica o manejo do solo como agente modificador das condições naturais do mesmo, uma vez que Tr2 encontra-se sob a mata.

5.4.2 Al trocável, H + Al e saturação por bases.

Na seqüência de solos os teores de alumínio variam de 1 mmolc/kg a 28 mmolc/kg. Os maiores teores se encontram nos pontos Tr1, P3, P5 e P6, abaixo de

80 cm de profundidade, isto é, na montante e na meia vertente. Globalmente, os menores teores encontram-se em Tr2 e em superfície (Figura 22 (A)) nos demais pontos da seqüência de solos.

Os teores de H + Al apresentam distribuição semelhante ao alumínio. Os teores variam de 16 mmolc/kg a 80 mmolc/kg sendo que os maiores valores estão em Tr2, P5 e P3 e os menores teores em Tr1 e P6 (Figura 22 (B)). Nos perfis se verifica um aumento dos teores de H + Al, do topo para a base dos perfis e, na seqüência de solos os teores de H + Al aumentam da meia até a base da encosta, na jusante, e diminuem a partir da meia encosta para a direção de Tr1, na montante.

A Saturação por Bases varia de 7,0% a 78,0%. Os maiores valores se encontram nos pontos Tr1 (78,0% a 20 cm e 66% a 40 cm) e P5 (61,0% a 20 cm) e os menores valores nos pontos P6 (7,0% a 60-80 cm) e P3 (7,0% a 80 cm), como mostra a figura 22 (C). De modo geral, os valores de saturação por bases diminuem com a profundidade. Na seqüência há uma distribuição irregular: diminui entre os pontos Tr1 e P6 e aumenta entre P6 e Tr2.

5.4.2.1 Interpretações

As curvas dos teores de Alumínio e H + Al apresentam o mesmo comportamento: teores aumentam com a profundidade. (Figura 22 (A), (B)). Entretanto, as curvas dos valores de saturação por bases apresentam comportamento inverso (Figura 22 (C)). Comparando as curvas dos teores de Alumínio e de H + Al (Figura 22 (C)) com as curvas de Capacidade de Troca de Cátions (Figura 21 (G)) verifica-se que há uma relação entre elas, pois apresentam a mesma tendência. Este comportamento evidencia a saturação do complexo sortivo, em profundidade, pelo alumínio. Entretanto, as curvas de saturação de bases (Figura 22 (C)) apresentam a mesma tendência das curvas da soma de bases (Figura 21 (F)), evidenciando a saturação do complexo sortivo, em superfície, por cálcio e magnésio.

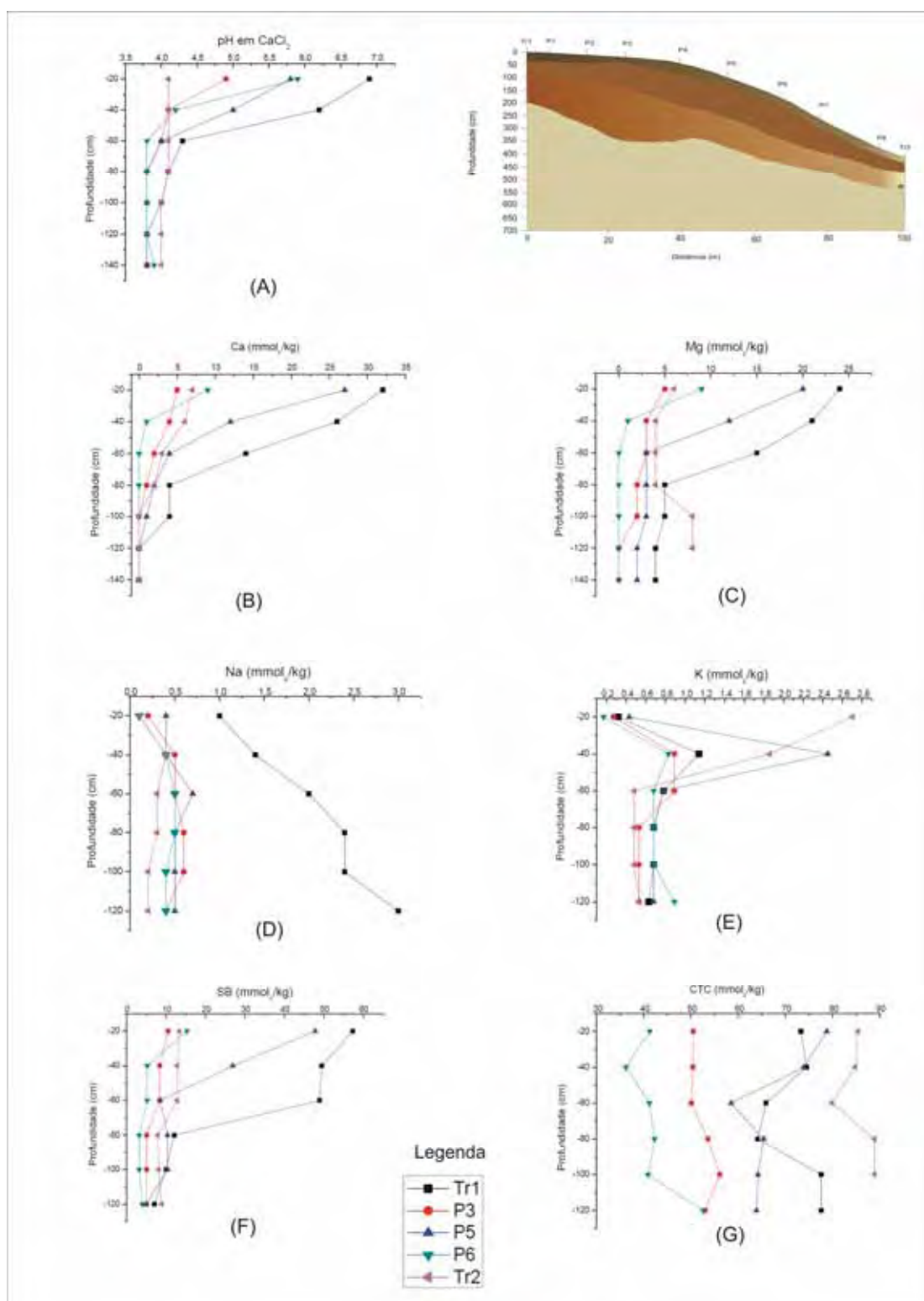


Figura 21- Distribuição dos valores de pH, soma de bases, capacidade de troca de cátions e dos teores das Bases Trocáveis, de acordo com a profundidade, para a sequência de solos.

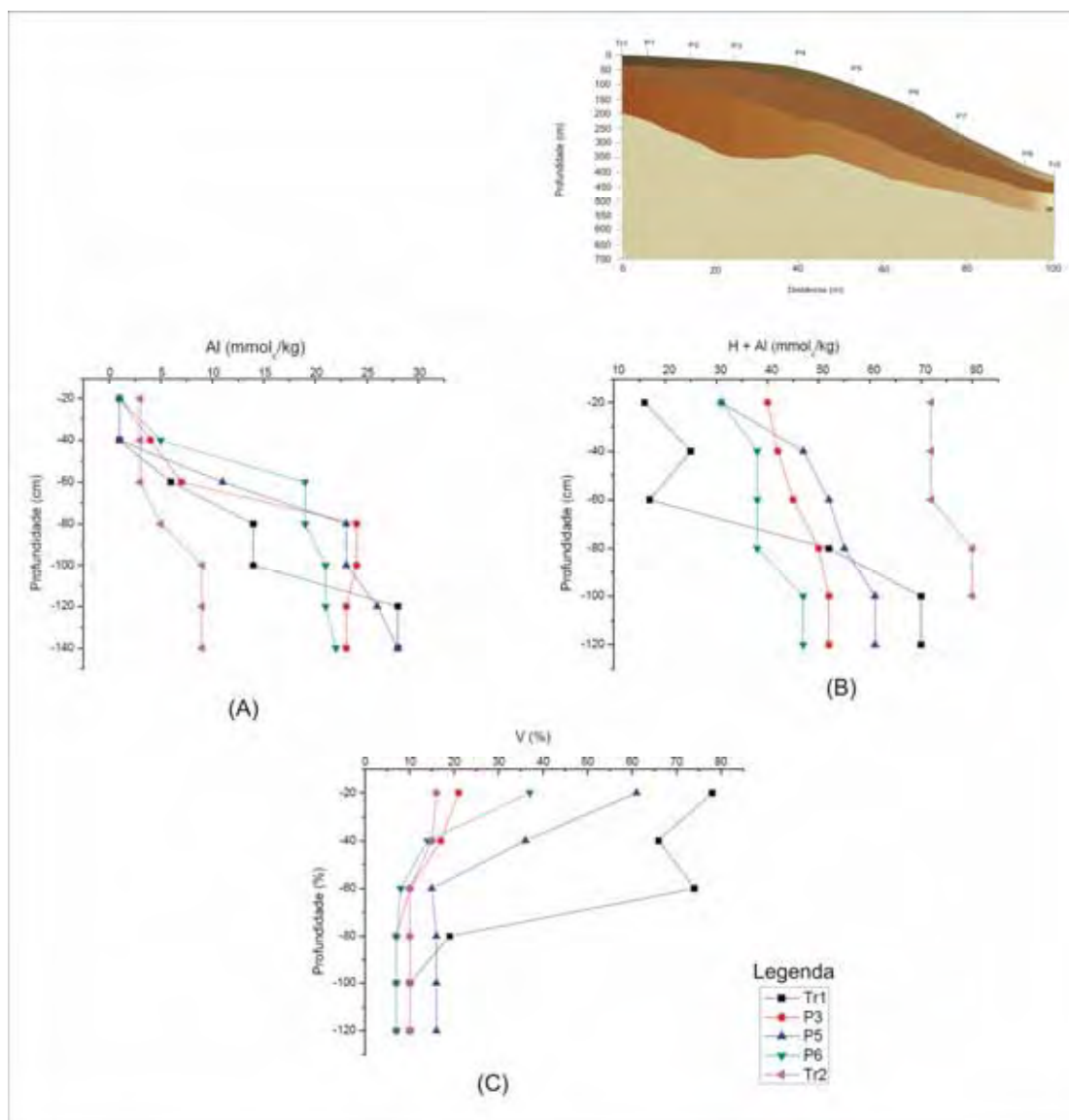


Figura 22 - Distribuição dos teores de Alumínio e dos valores de H + Al e Saturação por Bases, de acordo com a profundidade, para a sequência de solos.

5.4.3 Matéria orgânica, fósforo, enxofre e oligoelementos.

Os teores de matéria orgânica variam de teores menores do que 1 g/kg a 20 g/kg (Figura 23 (A)). Os maiores teores estão em superfície e os menores estão em profundidade. Estes diminuem abruptamente a partir do horizonte A, exceto em Tr1

onde isto ocorre a partir de 50 cm de profundidade. Portanto, os teores de matéria orgânica, em relação ao perfil, diminuem do topo para a base. Na seqüência de solos nota-se que o teor de matéria orgânica diminui de montante à jusante, nos horizontes de superfície. Em Tr2, a porcentagem de matéria orgânica fica constante até 80 cm, para diminuir bruscamente logo após esta profundidade.

Na seqüência de solos os teores de fósforo (Figura 23 (B)) variam de 1 mg/kg a 15 mg/kg. Os maiores teores estão em superfície, destacando-se o ponto Tr1 (15 mg/kg entre as profundidades de 0 a 20 cm). Os menores teores aparecem abaixo de 60 cm e estão em todos os pontos amostrados. Assim, no perfil, os teores de fósforo diminuem de superfície em direção a base (Figura 23 (B)). Na seqüência de solos os maiores teores de fósforo estão na montante da encosta, diminuindo de forma gradativa para jusante.

O teor de enxofre varia de 9,5 mg/kg a 95 mg/kg na seqüência de solos (Figura 23 (C)). O comportamento do enxofre é irregular em todos os perfis amostrados, enquanto na seqüência nota-se uma diminuição dos teores de enxofre de montante a jusante da encosta (Figura 23 (C)).

Na seqüência de solos, os teores de boro variam de 0,64 mg/kg a 2,6 mg/kg (Figura 23 (D)). O ponto Tr2 apresenta diminuição do teor de boro de superfície para a base do perfil; enquanto nos pontos Tr1, P3 e P6 a distribuição é irregular. Na seqüência de solos, aparentemente não há nenhuma tendência de diminuição ou aumento dos teores de boro, seja para a direção de montante ou jusante.

Em relação ao cobre, os teores variam de 1,5 mg/kg a 12,4 mg/kg na seqüência de solos (Figura 24 (A)). Os maiores teores se encontram no ponto Tr2 e os menores, distribuídos pelos outros pontos de amostragem, em profundidade (Figura 24 (A)). No perfil, os teores de cobre diminuem do topo para a base, com exceção do ponto Tr2, onde o teor de cobre aumenta até a profundidade de 80 cm, para depois, diminuir. Além disso, se observa que os teores de cobre aumentam de montante para jusante.

Os teores de zinco variam de 0,1 mg/kg a 8,6 mg/kg na seqüência de solos (Figura 24 (B)). Os maiores teores encontram-se no ponto Tr2 (profundidade de 40 a

80 cm), e os menores teores estão distribuídos nos outros pontos amostrados (particularmente a partir de 40/60 cm), excetuando-se Tr2. Nota-se que há uma diminuição do teor de zinco do topo em direção a base dos perfis (Figura 24 (B)). A seqüência apresenta diminuição do teor de zinco de montante à jusante (do ponto Tr1 ao ponto P6), mas entre o ponto P6 e Tr2 há um aumento do teor.

Os teores de manganês variam de 8,3 mg/kg a 95 mg/kg na seqüência de solos (Figura 24 (C)). A distribuição dos teores de manganês ocorre de forma irregular. Os maiores teores encontram-se nos pontos P5 e Tr2 e os menores no ponto Tr1. Em relação à distribuição nos perfis, de modo geral, os teores diminuem do topo para a base, com leve aumento do topo até a profundidade de 40/60 cm, para, em seguida, diminuir (Figura 24 (C)). Na seqüência, globalmente, se observa um aumento dos teores de manganês de montante à jusante, entretanto, a distribuição entre Tr1 e Tr2 é irregular.

Na seqüência de solos o ferro varia de 18 mg/kg a 180 mg/kg (Figura 24 (D)). Os maiores teores encontram-se nos pontos P3 (160 mg/kg a 40 cm), P5 (180 mg/kg a 40 cm) e Tr2 (143 mg/kg a 60 cm), e os menores teores no ponto Tr2 (18 mg/kg a 120 cm). Os teores de ferro diminuem da superfície do solo em direção a base; de modo geral, apresentam distribuição dos teores de ferro de tal modo a fazer uma “barriga” entre 40 e 100 cm (Figura 24 (D)). Na seqüência nota-se que os teores de ferro diminuem de montante para jusante.

5.4.3.1 Interpretações

Embora as curvas de matéria orgânica (Figura 23 (A)) e de fósforo (Figura 23 (B)) mostrem a mesma tendência, a matéria orgânica não influencia de forma significativa a concentração de fósforo em superfície, visto que o manejo constante da área e a freqüente adubação influenciam de forma mais rápida, o comportamento deste elemento. As curvas dos teores de enxofre são irregulares em todos os perfis, o que se deve a lixiviação constante do elemento nos solos (Figura 23 (C)). Entretanto, os teores elevados em superfície, estão relacionados, com a adubação. Em subsuperfície, no horizonte Bt, a acumulação desse elemento está relacionada

com a lixiviação das partes mais altas do perfil ou da vertente e a sua fixação pelas argilas.

Os teores de boro, maiores em superfície, indicam a influência da adubação, embora a matéria orgânica seja uma das maiores fontes deste no solo (Figura 23 (D)).

A distribuição dos teores de cobre e zinco são semelhantes (Figura 24 (A), (B)). Os dois elementos apresentam a tendência de diminuir de acordo com a profundidade. Em superfície, os maiores teores, estão relacionados com a matéria orgânica, visto que esta apresenta a mesma tendência.

Os elementos ferro (Figura 24 (C)) e manganês (Figura 24 (D)) apresentam distribuição irregular de acordo com a profundidade e, aparentemente, não seguem alguma regra de distribuição.

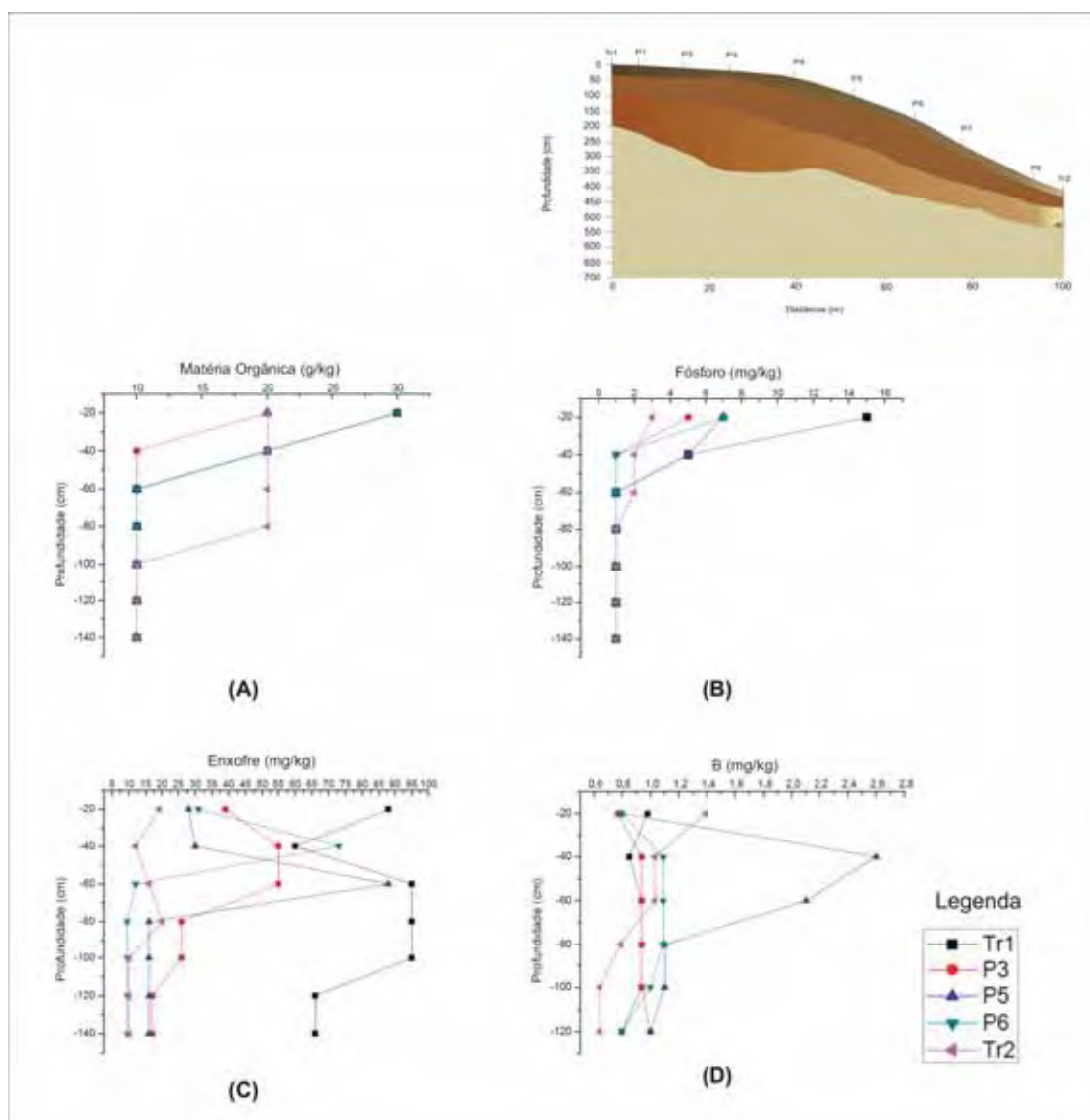


Figura 23 - Distribuição da Matéria Orgânica, Fósforo, Enxofre e Boro, de acordo com a profundidade, para a sequência de solos.

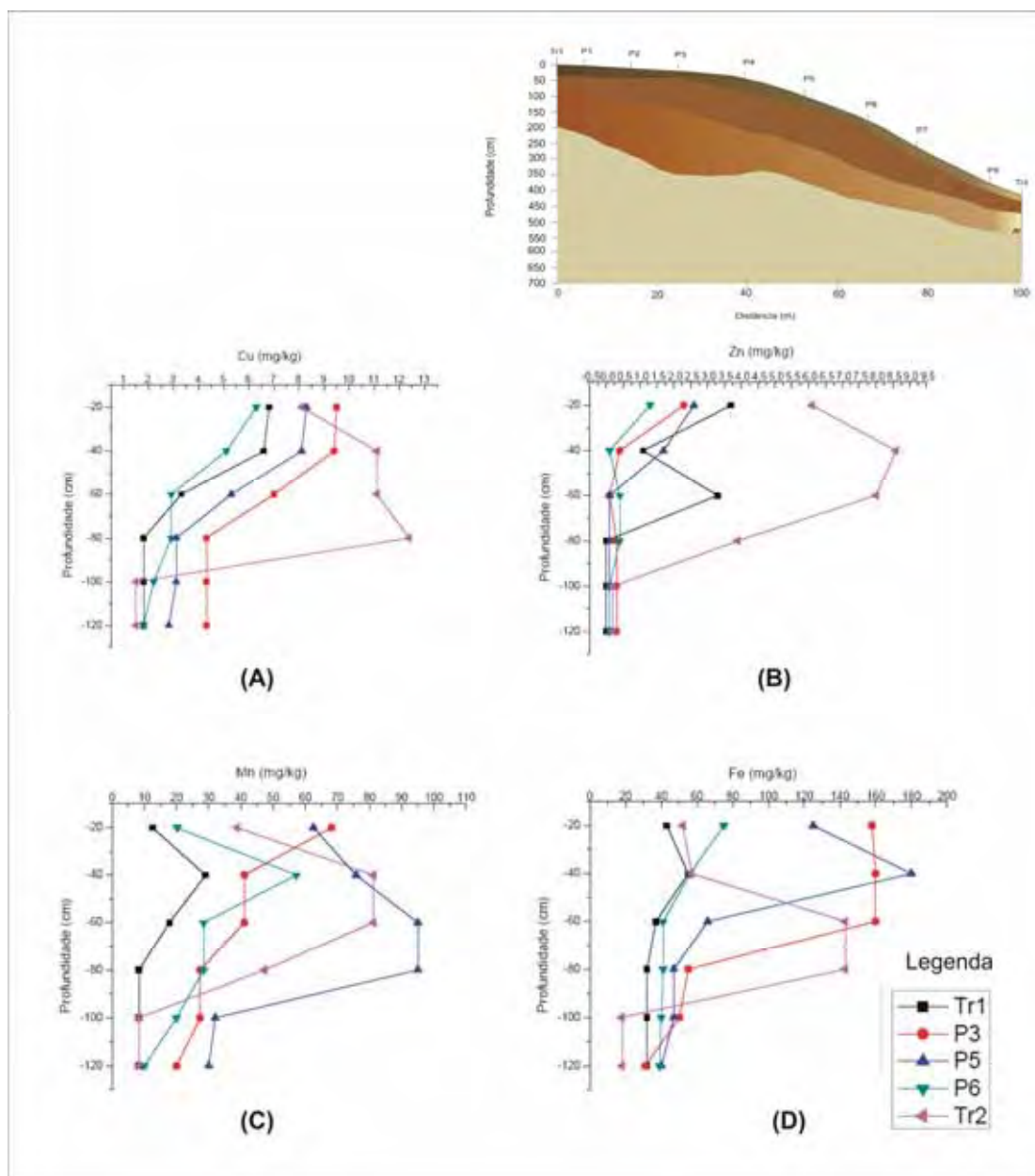


Figura 24 - Distribuição dos elementos Cobre, Zinco, Manganês e Ferro, de acordo com a profundidade, para a seqüência de solos.

5.5 Análises físicas dos solos nas parcelas da área experimental através de tradagem

Os resultados das análises físicas encontram-se no Anexo D. As figuras de 25 a 29 representam a distribuição espacial dos dados analíticos.

5.5.1 Distribuição espacial das frações granulométricas

Os teores de argila variam de 35 a 59%. A distribuição lateral da fração argila na área experimental, em cada nível de profundidade, apresenta pouca variação. Em superfície, nos primeiros 40 cm de profundidade, há uma tendência de aumento do teor de argila de sudeste em direção a noroeste, enquanto abaixo dessa profundidade a tendência é aumentar na direção contrária. Em subsuperfície, há um aumento do teor de argila em toda a área, assim como acontece com a seqüência de solos. Entre 60 e 100 cm, as maiores concentrações de argila estão a sudeste e a noroeste, isto é, nas extremidades da área. A variação vertical mostra que há acumulação de argila em subsuperfície, configurando um horizonte Bt, como ocorre na seqüência de solos (Figura 25).

A fração silte varia de 12,1 % a 39,1%. Globalmente, sua distribuição lateral até 40 cm é homogênea, de 40 cm até 100 cm é irregular em toda a área experimental e seu comportamento é oposto ao da fração argila. Nos primeiros 40 cm de profundidade os maiores teores estão localizados a sudeste da área, próximo à estação de tratamento de esgoto (Figura 26). Em direção da base, após os 40 cm de profundidade, há irregularidade na distribuição dos teores de silte em toda a área experimental. Na vertical, os teores são mais altos em superfície, diminuem entre 40 cm e 60 cm, e têm leve aumento abaixo de 60 cm. Essa distribuição, também, foi observada na seqüência de solos.

Os teores de areia fina variam de 10% a 26,9%. Sua distribuição lateral é homogênea em toda a área experimental nos primeiros 40 cm de profundidade, com teores que variam entre 21% a 26,9% (Figura 27). Entre 40 e 100 cm, a fração areia

fina apresenta pouca variação lateral em toda a área experimental, sendo que a parte noroeste tem as maiores concentrações desta fração, nessa profundidade. No entanto, a sudeste, a distribuição lateral de areia fina é irregular e os teores variam entre 17,5% a 26,9% (Figura 27). Globalmente, os teores de areia fina encontram-se em superfície e, em subsuperfície, na porção noroeste da área experimental.

A fração areia grossa varia de 1,8% a 9,6% (Figura 28). Lateralmente, sua distribuição é regular: a maior concentração desta fração está em superfície e na parte noroeste da área experimental. A partir de 40 cm de profundidade, os teores de areia grossa apresentam pouca variação (Figura 28).

5.5.2 Distribuição de argila dispersa em água, grau de dispersão e grau de floculação

A argila dispersa em água varia de 0,0% a 22% (Figura 29), na área experimental, em relação a todas as profundidades. Nas parcelas, os valores de argila dispersa em água são elevados. A distribuição lateral, em todas as profundidades, revela certa homogeneidade dos teores nos primeiros 40 cm de profundidade – os maiores valores concentram-se na parte central e no sudeste. A partir desta profundidade, há uma queda brusca, e os valores atingem níveis muito baixos (menor do que 1%), na parte noroeste. Entretanto, no setor sudeste, o teor de argila dispersa em água, ainda é elevado, variando entre 12,9% a 22% (Figura 29). O grau de dispersão apresenta uma correlação com os teores de argila dispersa (Anexo D). Entretanto, o grau de floculação apresenta-se com baixos valores em superfície e valores elevados em subsuperfície (Anexo D).

5.5.3 Interpretações

O aumento do teor de argila, da superfície dos solos em direção à base, e o padrão de distribuição lateral e, por outro lado, o comportamento oposto da fração

silte, em relação à argila, mostra que na área experimental, o tipo de solo é similar em cada parcela. Os maiores teores de areia fina e areia grossa, em superfície, e de argila em subsuperfície, evidenciam a diferença textural entre os horizontes A e B (Figuras 25, 27 e 28). Como na seqüência de solos, os solos das parcelas podem ser classificados como Argissolos.

Em toda a área experimental, os valores de argila dispersa em água são elevados até 40 cm de profundidade, diminuindo de forma brusca a partir dessa profundidade. O grau de dispersão possui correlação positiva com a argila dispersa, enquanto o grau de floculação apresenta comportamento inverso (Anexo D). Esse comportamento confirma uma diferenciação entre os horizontes de superfície e os de subsuperfície. Tais comportamentos convergem para aquele observado na seqüência de solos e diferem do esperado para solos lateríticos. Entretanto, a área experimental foi, durante anos, utilizada para cultivo da cana-de-açúcar. O manejo, a calagem, a adubação química e a irrigação com vinhaça e torta de filtro sempre foram intensivamente utilizados. Ressalte-se que a vinhaça é rica em cálcio, magnésio, potássio e tem menores teores de sódio. Dada a afinidade do sódio pela água, esse pode influir na dispersividade das argilas. Entretanto, essa dispersividade, nas parcelas da área experimental, pode estar relacionada à destruição dos agregados do solo causada pelo uso de máquinas agrícolas. Tal fragilidade estrutural é realçada pela quantidade de silte presente na superfície do solo.

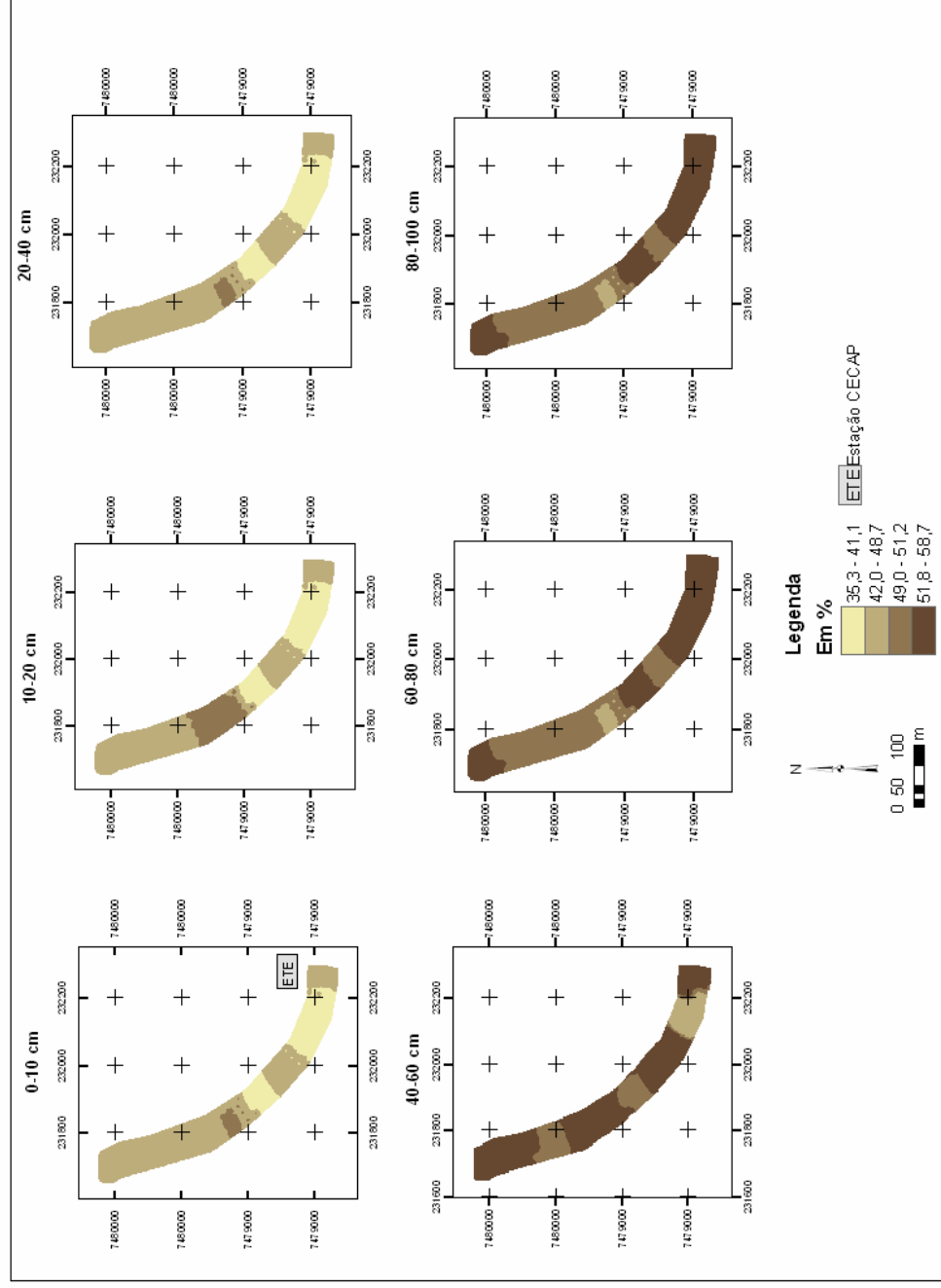


Figura 25 - Distribuição dos teores de Argila nas parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm

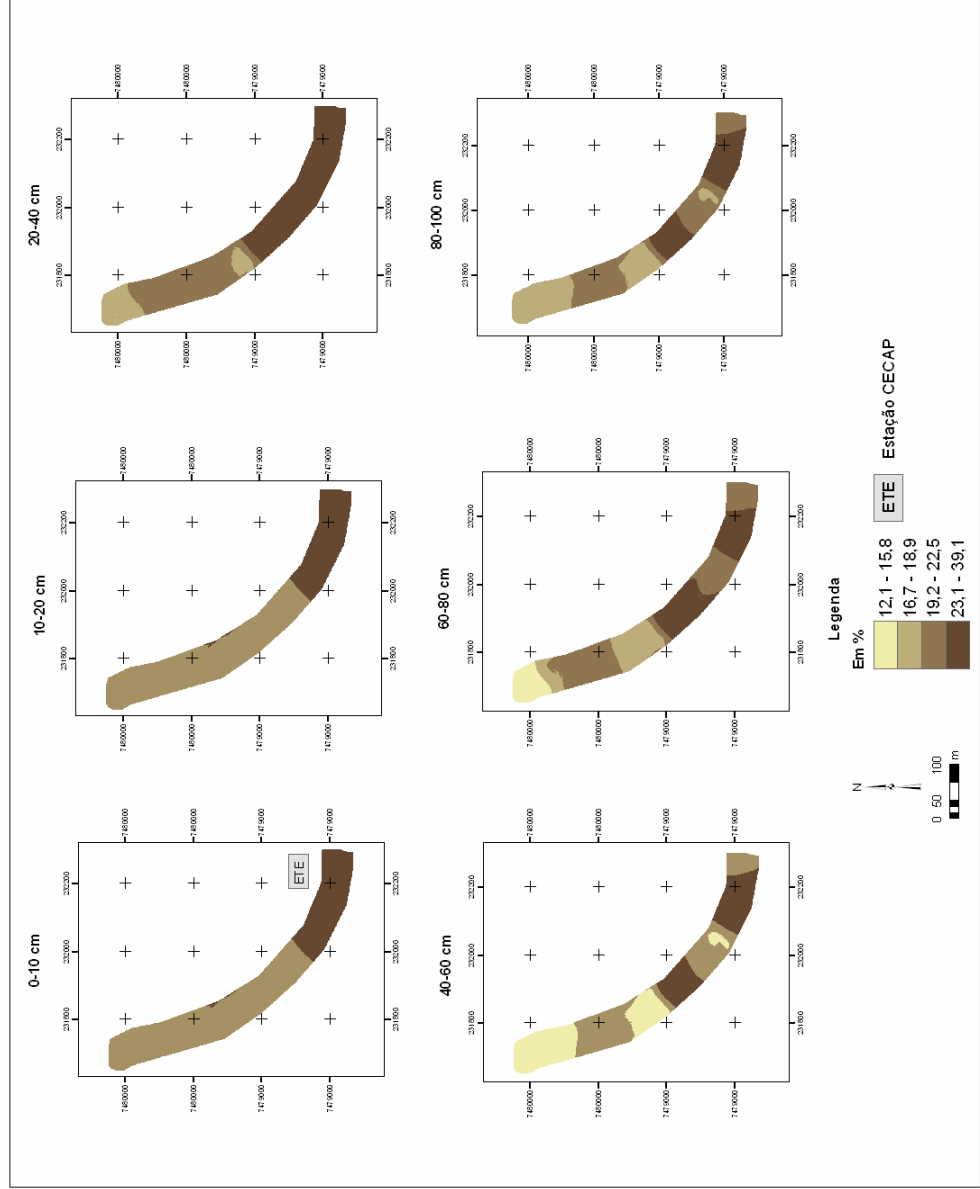


Figura 26 - Distribuição dos teores de Silte nas parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100cm

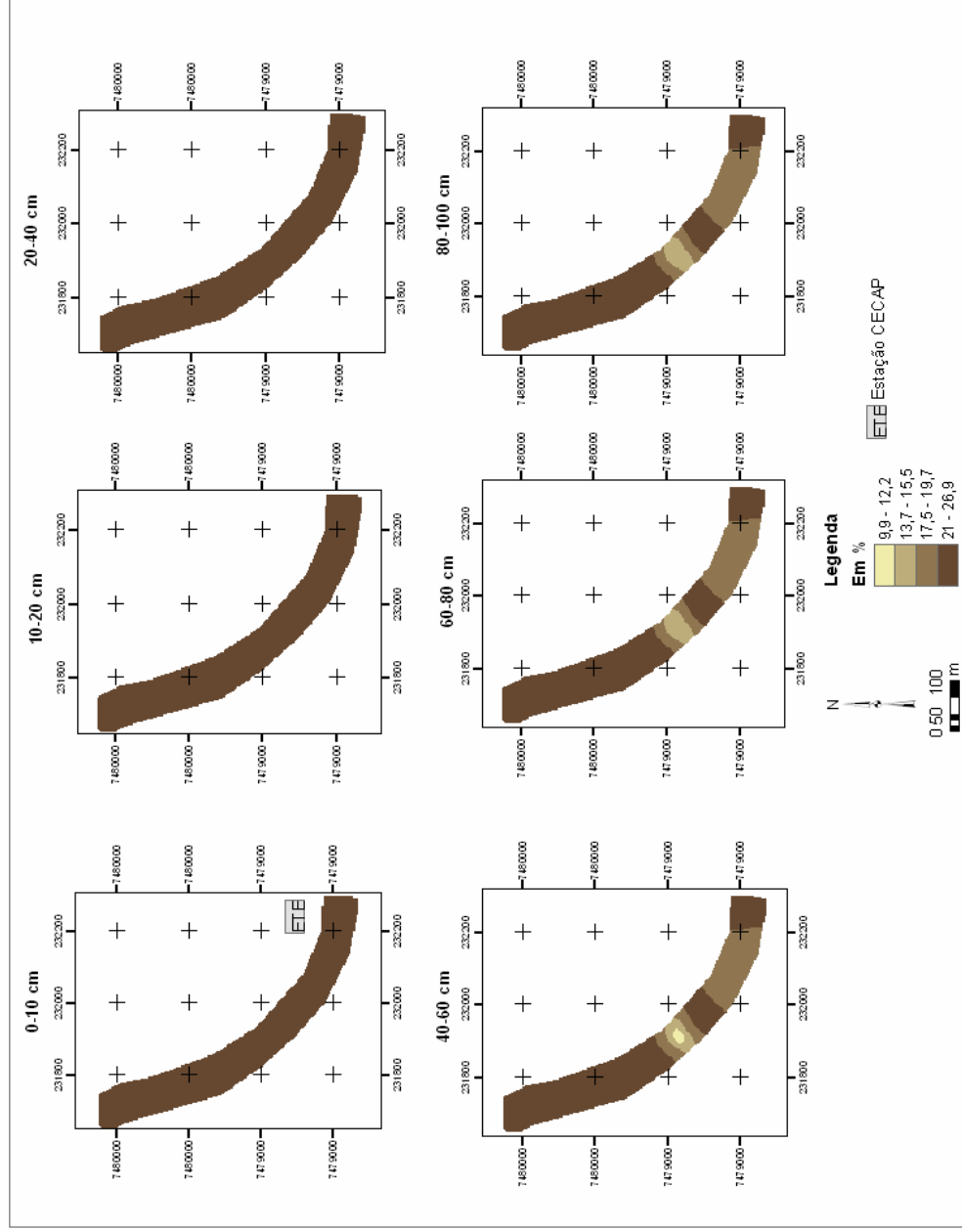


Figura 27 - Distribuição dos teores de Areia Fina nas parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm

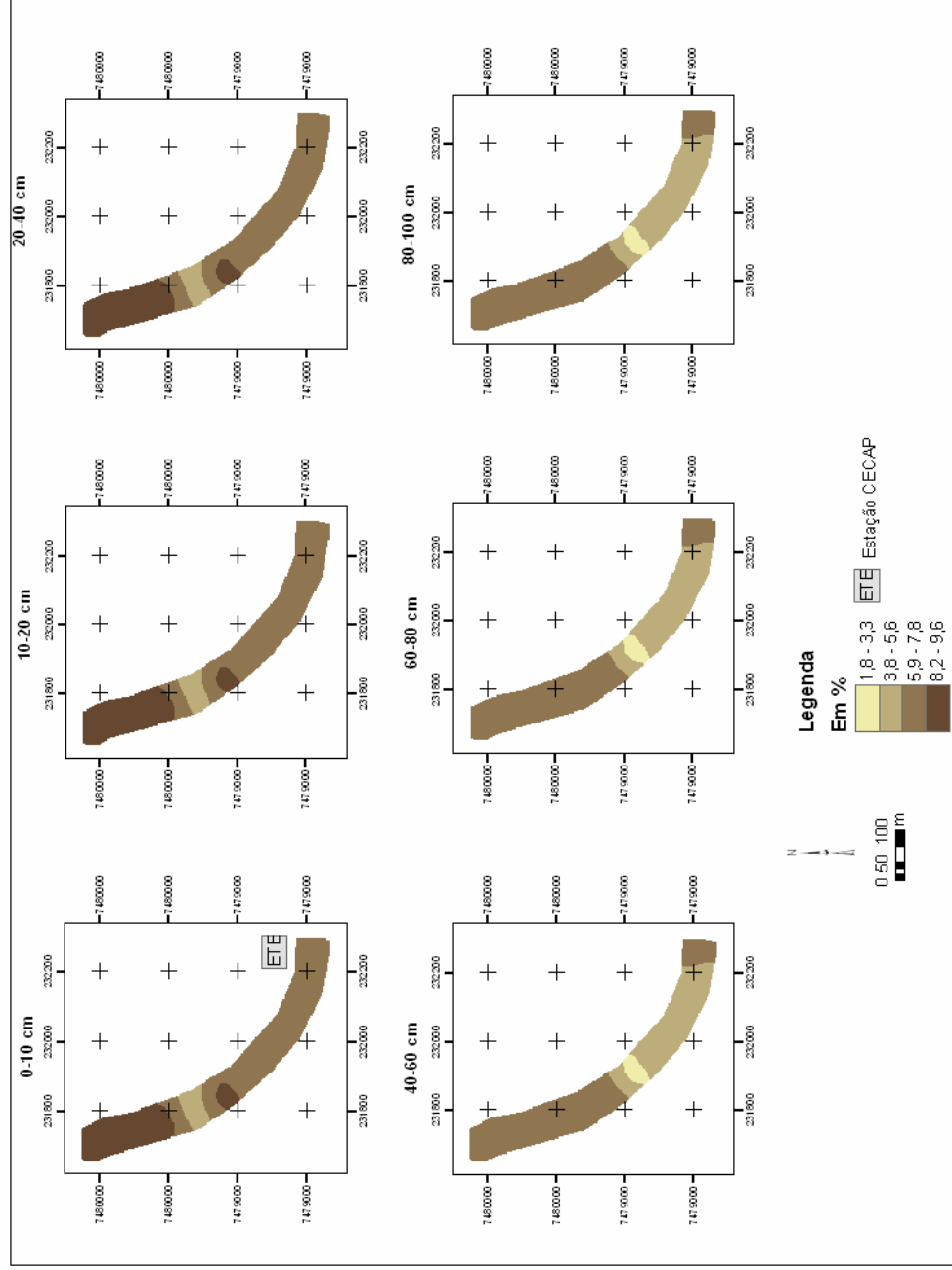


Figura 28 - Distribuição dos teores de Areia Grossa nas parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm

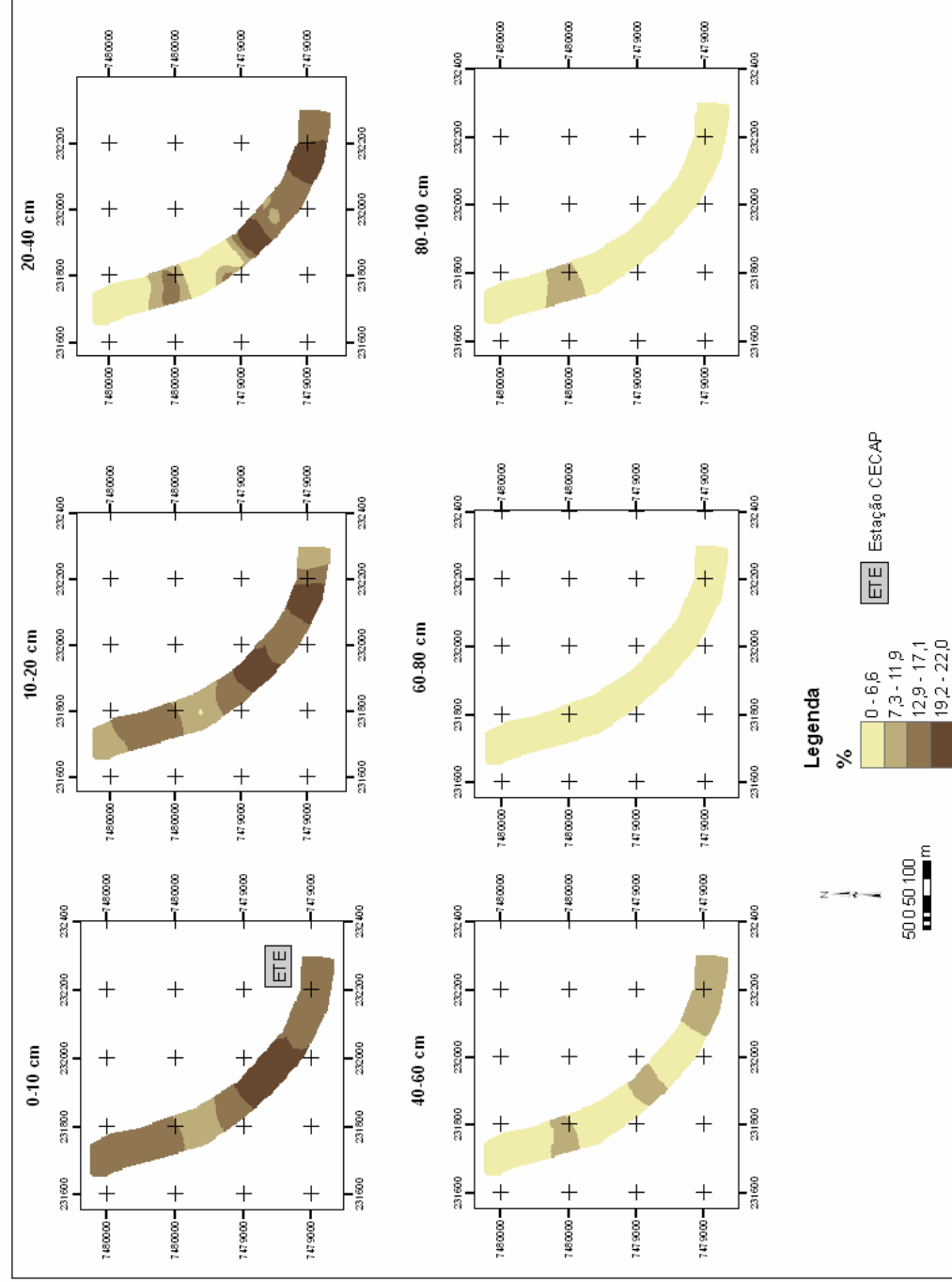


Figura 29 - Distribuição dos teores de Argila Dispersa em Água na área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm

5.6 Análises químicas do complexo sortivo nas parcelas da área experimental

Os dados da análise química de cada sondagem encontram-se no Anexo E. Descrevem-se neste item, apenas, as características físico-químicas (pH, soma de bases, CTC, H + Al e saturação por bases) e matéria orgânica.

5.6.1 Parâmetros físico-químicos: pH, soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC)

O pH varia de 4,3 a 6,1 nas parcelas da área experimental, em relação a todas as profundidades (Figura 30). Nos primeiros 40 cm, o pH mantém-se entre 5,5 e 6,1, com exceção de algumas parcelas localizadas próximas à estação de tratamento de esgoto, no setor sudeste. Entretanto, entre 40 e 100 cm de profundidade, ocorre o inverso para toda a área. Globalmente, o pH diminui do topo em direção à base das sondagens, com exceção da área próxima à estação de tratamento de esgoto, que apresenta aumento em subsuperfície.

A soma de bases varia de 10,5 mmolc/kg a 98,9 mmolc/kg nas parcelas da área experimental (Figura 31). A soma de bases, globalmente, diminui do topo em direção à base dos solos. Nos primeiros 40 cm de profundidade, sua distribuição é homogênea em toda a área e apresenta valores elevados, com exceção da porção sudeste da área experimental, enquanto, abaixo de 40 cm, a distribuição é heterogênea segundo as parcelas e os valores sejam menores.

A capacidade de troca catiônica (CTC) varia de 45,1 mmolc/kg a 117,1 mmolc/kg nas parcelas da área experimental (Figura 32). A distribuição lateral dos valores da CTC é irregular em toda área experimental, em superfície, e em profundidade. A 80-100 cm, a heterogeneidade da distribuição é maior. Os maiores valores estão em superfície (até 40 cm de profundidade), nas extremidades dos

setores noroeste e sudeste (Figura 32). Globalmente, os valores de capacidade de troca catiônica diminuem do topo em direção à base dos solos.

5.6.2 Parâmetros físico-químicos: H + Al e saturação por bases

O teor de H+Al varia de 18 mmol_c/kg a 88 mmol_c/kg nas parcelas da área experimental (Figura 33). A distribuição lateral dos teores de H+Al é homogênea até 40 cm. Entre 40 e 100 cm, a distribuição dos teores de H+Al torna-se heterogênea em profundidade e, lateralmente (Figura 33). Globalmente, o teor de H+Al aumenta do topo em direção à base dos solos.

A saturação por bases apresenta variação entre 21% a 84%, nas parcelas da área experimental (Figura 34). Considerando-se todas as profundidades, a distribuição dos valores da saturação por bases é homogênea nos primeiros 40 cm de profundidade, enquanto entre 40 e 100 cm a distribuição lateral é heterogênea. Os maiores teores encontram-se em superfície, em toda a área, com exceção da parte sul-sudeste, cujos valores são menores, nos primeiros 40 cm. De modo geral, a saturação por bases diminui do topo em direção à base dos solos.

5.6.3 Matéria orgânica

A matéria orgânica varia de 11g/kg a 28g/kg nas parcelas da área experimental (Figura 35). As distribuições vertical e lateral da matéria orgânica são: maiores teores, nos primeiros 40 cm de profundidade e concentrados no setor sudeste e no setor do extremo noroeste. Abaixo dos 40 cm de profundidade, há diminuição dos teores de matéria orgânica, distribuídos de maneira regular, com exceção de locais isolados, tanto na parte sudeste, como na parte noroeste. Globalmente, os teores de matéria orgânica diminuem do topo em direção à base dos solos.

5.6.4 Interpretações

Na área experimental, observa-se que há relação entre os valores de pH e soma de bases: ambos apresentam o mesmo comportamento, ou seja, os valores diminuem do topo dos solos para a profundidade. Os maiores valores em superfície, tanto do pH, quanto da soma de bases, indicam que essa tendência é causada pela maior quantidade de bases existentes em superfície (Figura 31). Em se tratando de solos, cuja pedogênese é laterítica, pode-se ligar essa soma de bases da superfície dos solos ao uso da adubação, calagem, uso da vinhaça e torta de filtro. As análises realizadas mostram que os teores de cálcio e magnésio são maiores em superfície, indicando que esses elementos saturam os sítios de troca de modo significativo (Anexo E). De fato, a saturação por bases tende a diminuir com a profundidade, apresentando padrão de distribuição similar ao da soma de bases. Tal comportamento confirma a saturação pelas bases, em superfície, e por alumínio, em subsuperfície. Os teores de $H + Al$ tendem a aumentar com a profundidade e reafirmam a saturação por alumínio em subsuperfície.

Pode-se estabelecer uma relação positiva da capacidade de troca catiônica com a matéria orgânica. Tanto o padrão da distribuição lateral, como vertical da matéria orgânica e da capacidade de troca de cátions são similares. Essa relação revela que a CTC vem, principalmente, da matéria orgânica, uma vez que os valores da primeira não correspondem àqueles das argilas dos solos lateríticos.

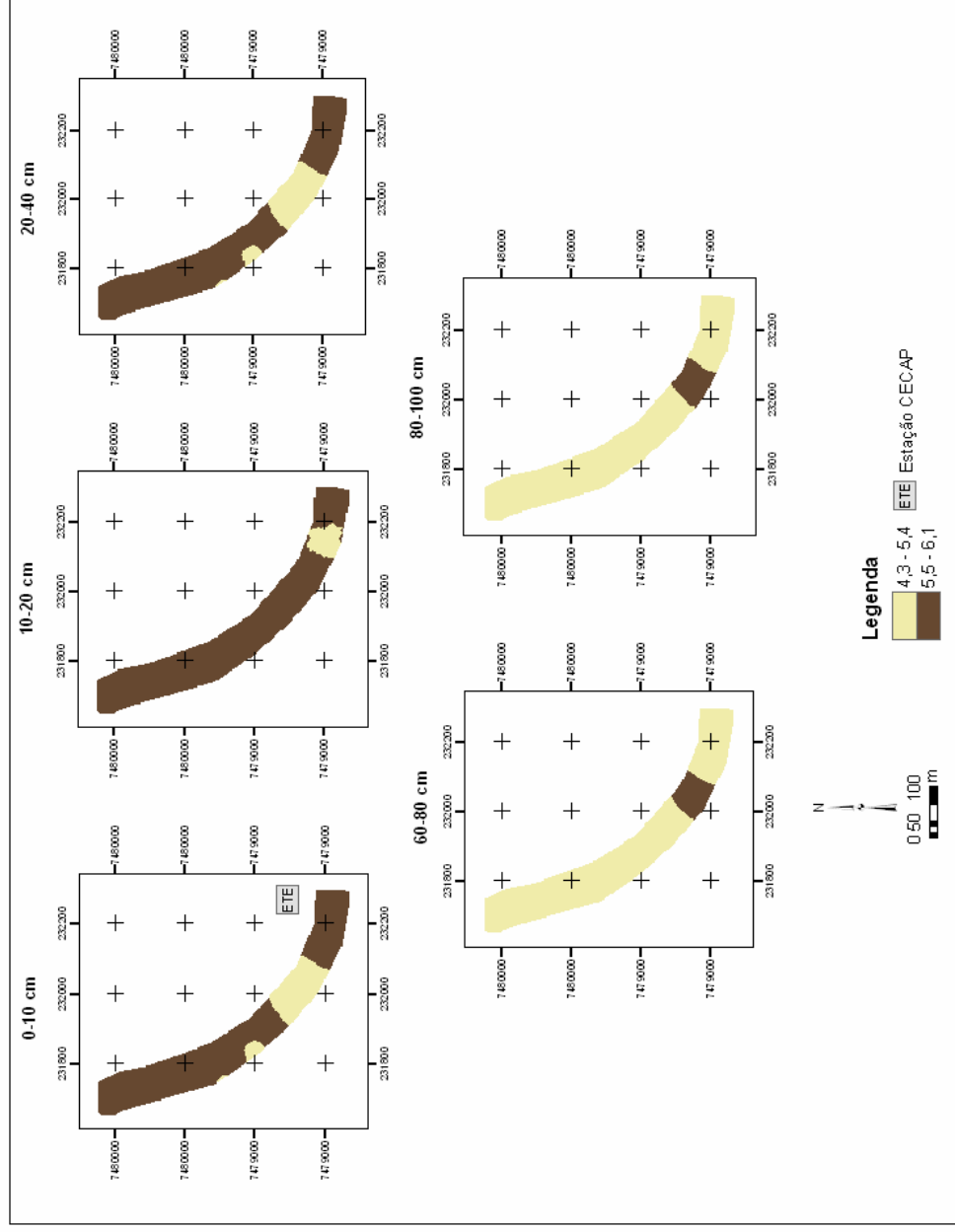


Figura 30 - Distribuição do pH para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm

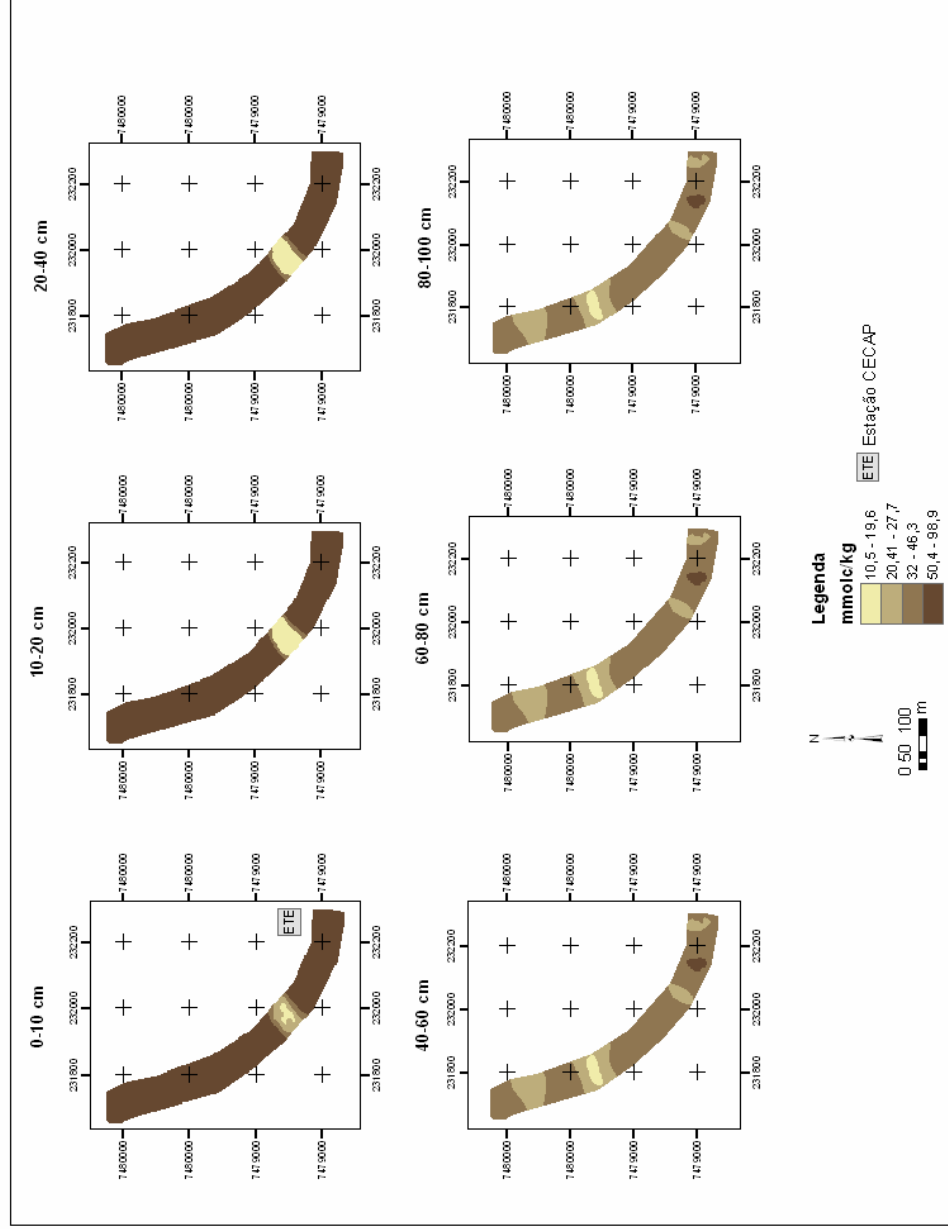


Figura 31 - Distribuição da Soma de Bases para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm

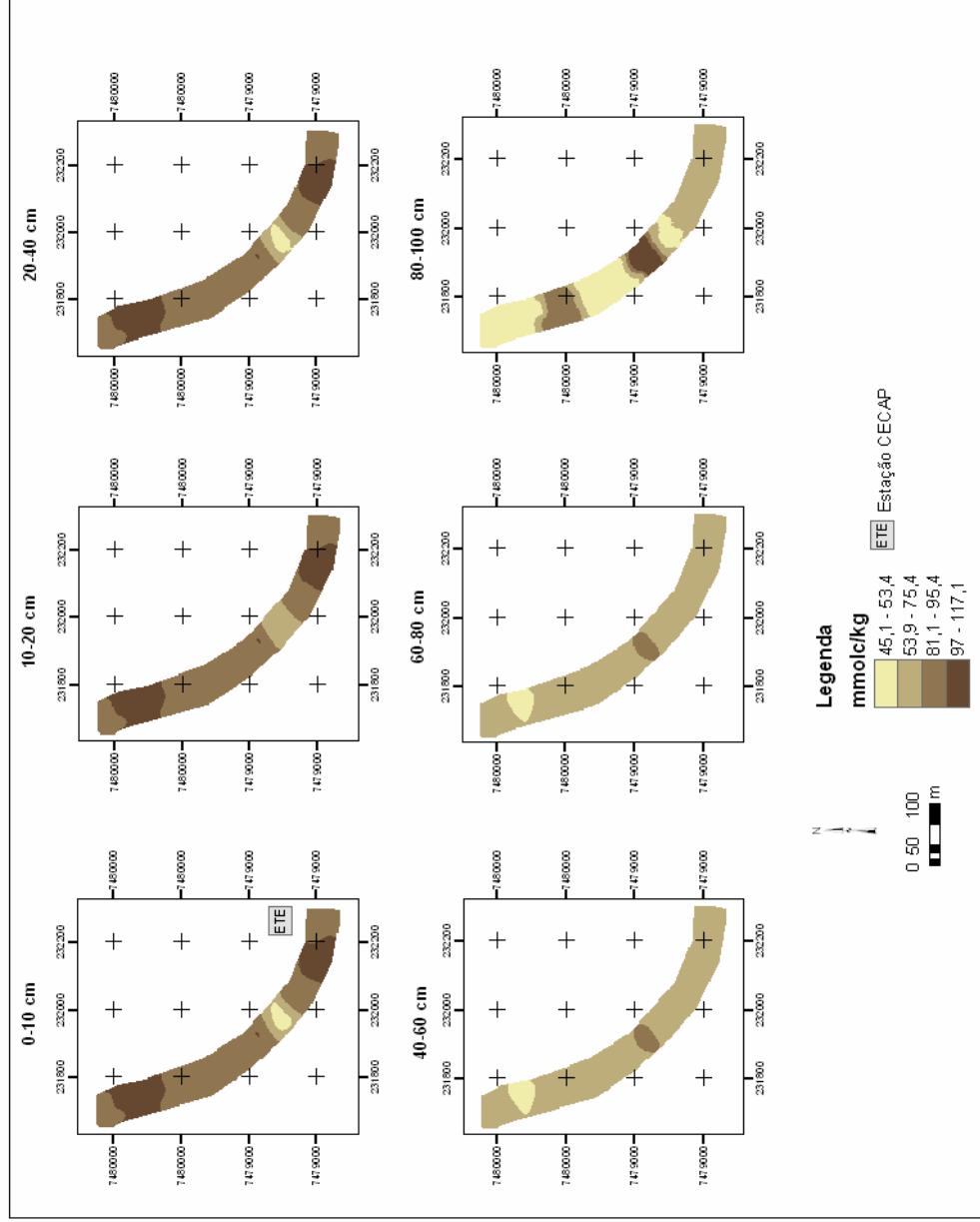


Figura 32 - Distribuição da Capacidade de Troca de Cátions para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm

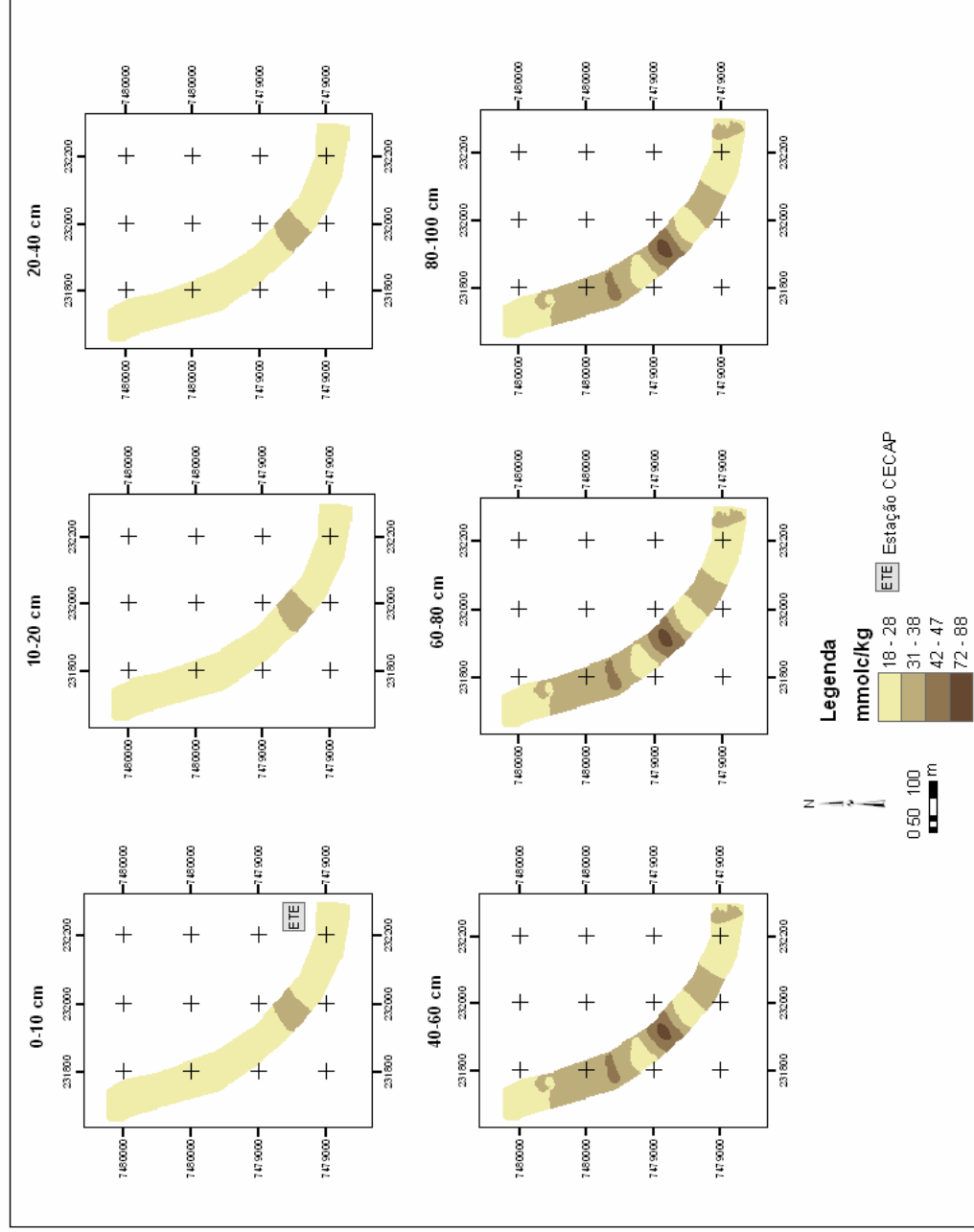


Figura 33 - Distribuição de H⁺ + Al para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm

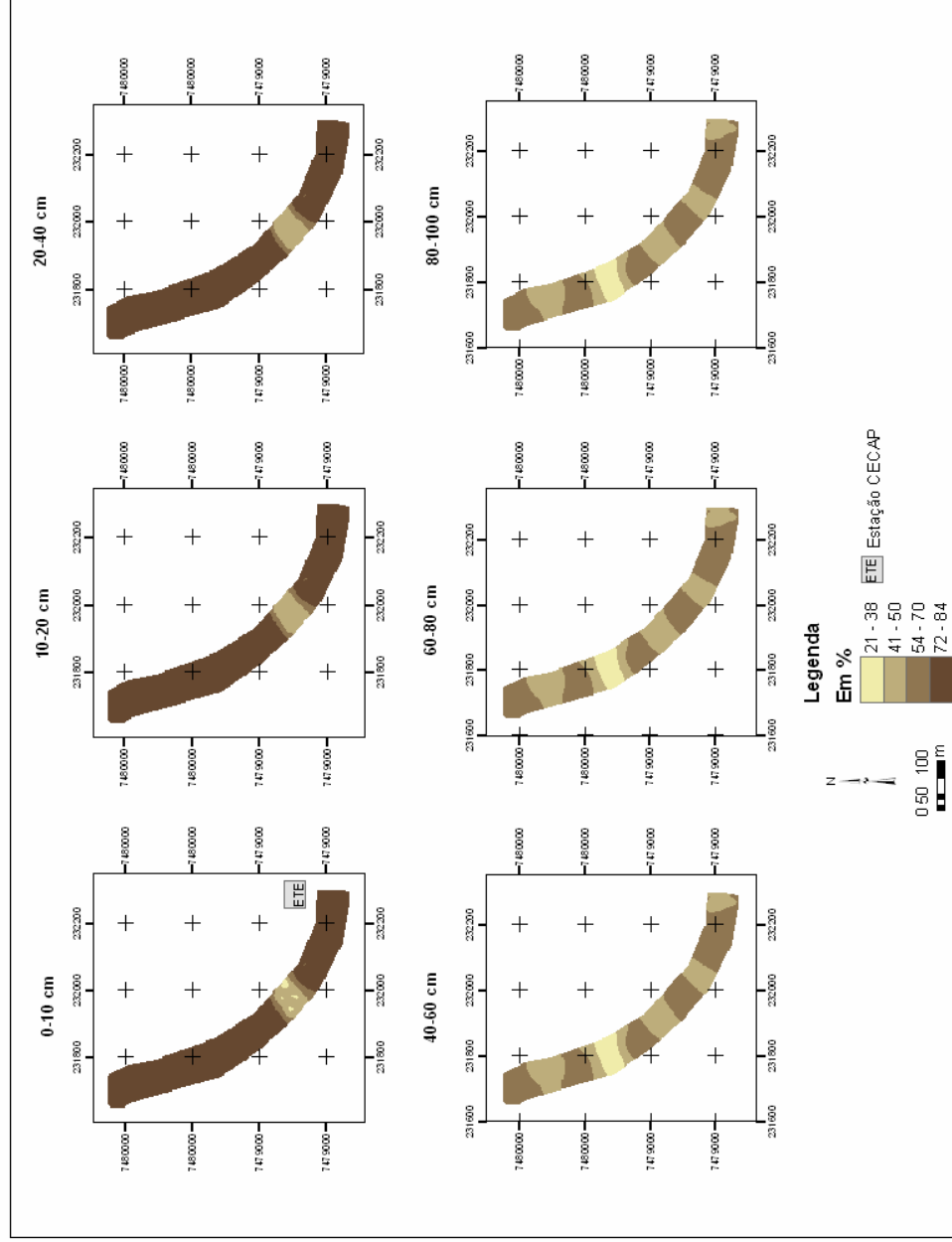


Figura 34 - Distribuição da Saturação por Bases para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm

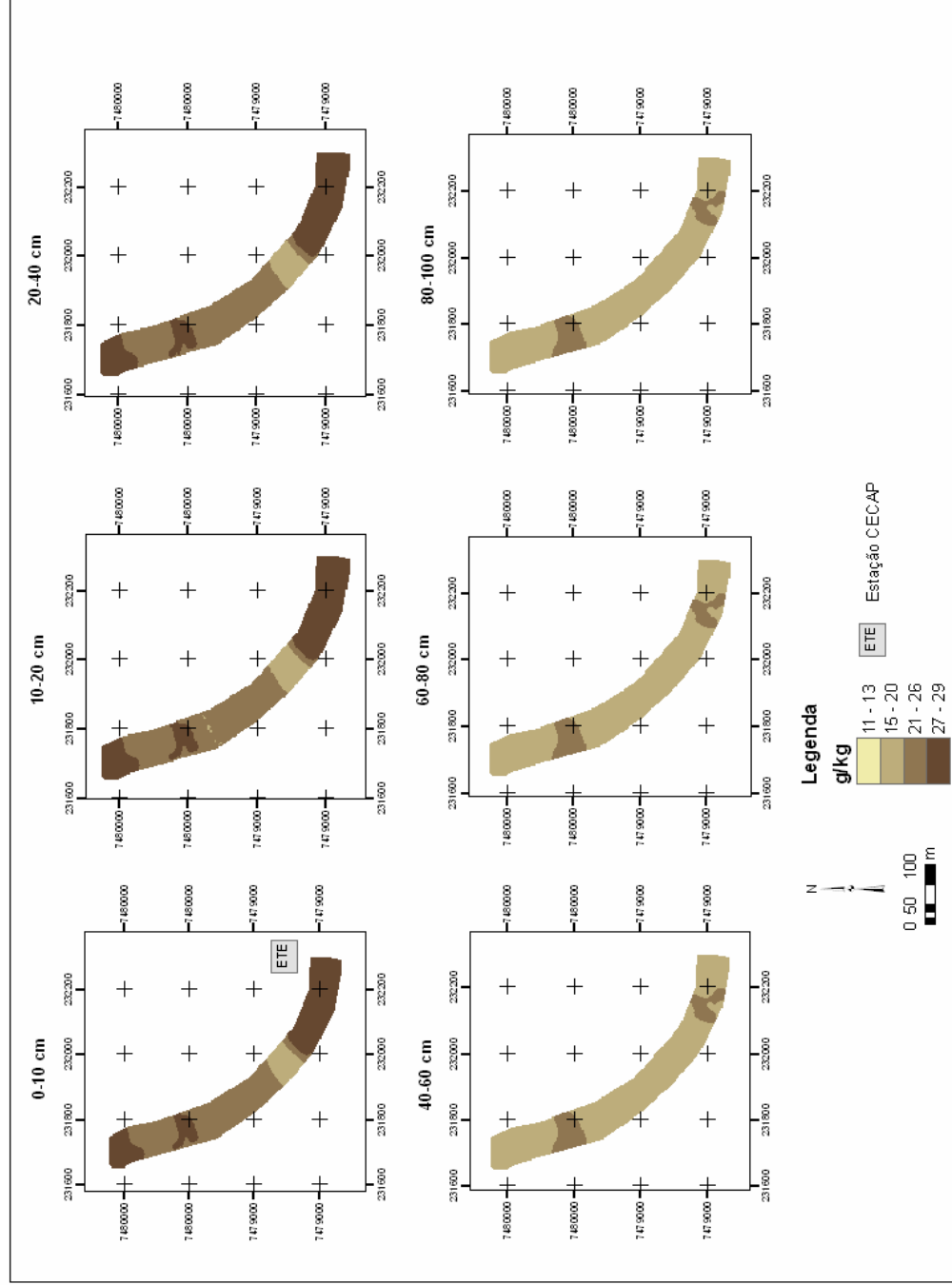


Figura 35 - Distribuição da Matéria Orgânica para as parcelas da área experimental, nas profundidades de 0 a 100 cm

6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A INTERAÇÃO DA ADUBAÇÃO, CALAGEM, VINHAÇA E TORTA DE FILTRO COM A FÍSICA, QUÍMICA E MINERALOGIA DOS SOLOS: FUNCIONAMENTO ATUAL.

6.1 A influência do sódio sobre a argila dispersa em água: o risco de erosão superficial

Pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) os solos estudados na seqüência foram classificados como Argissolos. A diferença textural entre A e B, identificada em campo, e confirmada pela análise granulométrica embasou essa classificação. Entretanto, do ponto de vista da quantidade absoluta das frações granulométricas no horizonte A, verifica-se que a porcentagem de argila é ainda alta (Figura 19). Pelos resultados da análise química, foi possível acrescentar o caráter eutrófico para os solos de montante, e distrófico para o solo do perfil Tr2. Lembre-se, entretanto, que o caráter eutrófico, nesse caso, é dado pelo manejo agrícola.

A argila dispersa em água diminui de montante para jusante na seqüência de solos nos primeiros 50 cm e, a partir dessa profundidade, os teores são muito baixos e quase constantes na seqüência de solos, enquanto o grau de floculação tem um comportamento inverso. Acima dos 50 cm, o grau de floculação é menor e mantém uma relação estreita, negativa, com o aumento dos teores de argila dispersa. O grau de dispersão, por sua vez, mantém uma correlação positiva com a argila dispersa em água. O comportamento das curvas de argila dispersa, grau de dispersão e grau de floculação revelam, portanto, um comportamento diferenciado entre o topo (horizonte A) e a base dos perfis (horizontes Bt1 e Bt2). Comparando-se o horizonte superficial dos perfis submetidos ao manejo agrícola com Tr2, verifica-se que o perfil localizado na jusante tem os menores teores de argila dispersa e grau de dispersão, enquanto que o grau de floculação é maior. Tal comportamento revela a diferença entre os dois meios em superfície. Entretanto, excetuando a curva de grau de dispersão do perfil Tr1, na seqüência de solos, todos os outros têm um mesmo comportamento abaixo dos 50 cm, significando que os horizontes aí existentes estão sob ação das mesmas condições geoambientais. A diferença brusca entre as curvas

no horizonte de superfície com as de subsuperfície, entre os perfis de montante, com Tr2 de jusante, e a semelhança das curvas dos horizontes da base, permitem inferir que os horizontes de superfície dos solos da seqüência estão, fortemente, afetados pelo manejo do solo. De fato a análise micromorfológica mostrou como o horizonte A da seqüência de solos está afetado pelo trabalho das máquinas. Desse modo, pode-se acreditar que a grande dispersividade das argilas na superfície dos solos pode estar sendo influenciada, em parte, no setor de montante da seqüência de solos, pelo trabalho mecânico e, ao mesmo tempo, pelo sódio que é incorporado ao solo pelo resíduo da cana (vinhaça e torta de filtro), que apresenta sódio em sua composição (BRITO; ROLIN, 2005; PENATTI, 2007). O sódio, em grande parte, deve contribuir com o alto grau de dispersão das argilas, uma vez que, no perfil localizado dentro da mata secundária, a dispersividade das argilas no horizonte de superfície é, também, alta.

O uso do efluente de esgoto, rico em sódio, pode agravar ainda mais essa situação. Em consequência da irrigação com o efluente, os teores de argila dispersa em superfície podem manter-se elevados e provocar e/ou incrementar a erosão superficial. Tal manejo deve ser seguido de medidas ativas, para retenção do sódio nas bacias de deposição e para posterior uso no solo, como a adição de cloro no efluente.

O elevado teor de argila em toda a área experimental permite supor que o solo retenha umidade por um período prolongado de tempo. A irrigação com efluente de esgoto permitirá que esse substitua a água e, conseqüentemente, fique retido por mais tempo em um solo com elevado teor de argila, que em um solo arenoso. O fato de o efluente ficar retido no solo possibilitará que haja interação dos elementos existentes no efluente com o solo, ocasionando mudanças positivas e/ou negativas em suas propriedades a longo prazo.

Analisando a perda de solo, de nutrientes, de matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo caulinítico sob chuva simulada, Schaefer *et al.* (2002), verificaram que a argila dispersa, oriunda da desagregação pelo impacto da gota de chuva, foi translocada para horizontes mais profundos e, quando o solo encontrava-se saturado, a argila dispersa era carregada para os cursos de água, auxiliando no processo de erosão.

No caso dos solos estudados, a alta porcentagem de argila dispersa em superfície (Figura 20 e Figura 29), causada provavelmente pelo manejo contínuo do solo, pode gerar entupimento ainda maior dos poros, diminuindo a permeabilidade e influenciando na taxa de infiltração, além de acelerar o processo de erosão.

6.2 Mudanças na distribuição dos elementos e nas propriedades químicas dos solos.

6.2.1 As Bases

Frente à possibilidade de solubilização, os cátions em ambiente laterilizante são fortemente lixiviados. Os cátions menos solúveis são o cálcio e o magnésio e os mais solúveis o potássio e o sódio, que possuem maior capacidade de hidratação. A tendência, portanto, são maiores teores desses cátions nos níveis de alteração da rocha.

Nos perfis dos solos da seqüência e das parcelas da área experimental, cálcio e magnésio têm seus maiores teores em superfície (Figura 36), tornando-se menores com a profundidade. A contraposição entre o pressuposto da lixiviação, causado pela laterização, e a configuração das curvas presentes na figura 36, mostram que existe alguma acumulação desses elementos em superfície, o que está ligado, certamente, com a utilização de calagem. Esses teores diminuem, também, de montante para jusante na seqüência de solos. As figuras 37 e 38 mostram que, tanto o cálcio, quanto o magnésio têm configuração de curva semelhante à da matéria orgânica, e que, como para os dois cátions, a porcentagem de matéria orgânica diminui de montante para jusante até o ponto P6, daí aumentando até Tr2. Essa configuração sugere que a distribuição de cálcio e magnésio é dependente da matéria orgânica.

Entretanto, uma particularidade aparece: o perfil Tr2, da extrema jusante, apresenta valores de CTC levemente menores do que aqueles da meia encosta e, por outro lado, uma leve concentração de magnésio na base do perfil. De fato, esse perfil localiza-se em área ainda com vegetação secundária, fora da área adubada. A

curva de distribuição dos dois cátions não sofre, portanto, a influência da adubação. Embora os teores de matéria orgânica sejam mais altos na superfície, não há realimentação, em superfície, dos dois cátions. A concentração de magnésio em subsuperfície pode estar relacionada, então, com o confinamento do perfil, como mostram os sinais de hidromorfia aí presentes e com a filiação dos materiais do solo com a rocha, uma vez que na base desse perfil, existem restos de rocha não alterados.

Na seqüência de solos estudada, os teores de sódio na superfície são elevados, contrapostos ao que seria esperado para o ambiente laterítico, indicando a ação do emprego da vinhaça e/ou torta de filtro provenientes da produção da cana. Esse cátion é largamente lixiviado e tende a aumentar em direção à base dos perfis. Na montante, na base do perfil Tr1, os teores são mais elevados, podendo estar ligados à rápida solubilização do sódio e pela troca desse, no complexo sortivo, com o cálcio e infiltração na montante (Figura 39).

A área cedida para o experimento, durante anos, foi intensivamente utilizada para a agricultura, ou melhor, para o cultivo da cana-de-açúcar pela Usina Cosan. Assim, o uso de adubos para maximizar a produção, o uso de calagem e o emprego da vinhaça e torta de filtro pela usina sempre foram praticados na área. Tal fato explicaria o teor mais elevado de potássio, cálcio e magnésio (Figura 36) em superfície, do que sua relação com a matéria orgânica, tanto em relação à seqüência, quanto em relação às parcelas da área experimental.

A menor concentração de sódio em relação aos cátions precedentes, em toda a seqüência de solos, permite supor que este é menos fortemente retido sobre o complexo sortivo do que o cálcio, por exemplo, para o qual o sódio cede facilmente o lugar, desde que seja abundante (Figura 39). Quando a pluviosidade é abundante e a drenagem suficiente, o sódio é carregado pelas águas de percolação, diminuindo sua concentração em subsuperfície e, auxiliando no crescimento dos vegetais, já que a maioria das plantas não suporta fortes teores de sódio.

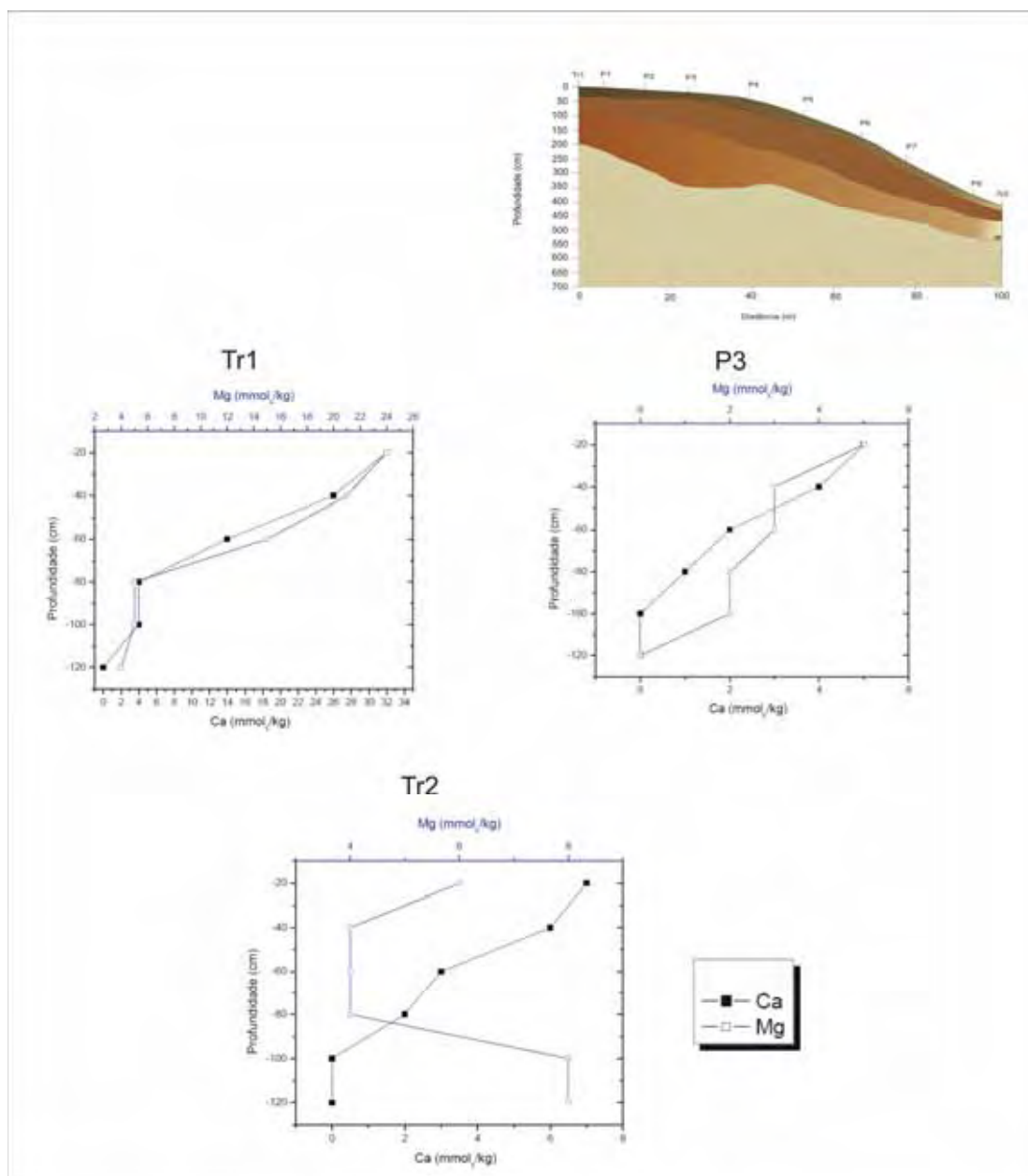


Figura 36 - Relação entre os elementos cálcio e magnésio, dos perfis Tr1, P3 e Tr2, de acordo com a profundidade, para a seqüência.

Analisando a Tabela 3, que mostra os resultados das análises do efluente de esgoto, observa-se que o sódio foi medido, apenas, uma vez em um período de um ano. Entretanto, o valor medido é elevado e, provavelmente, o efluente a ser utilizado na irrigação da cana-de-açúcar no experimento apresenta, constantemente, altos teores de sódio, proveniente de áreas residenciais, que utilizam produtos cuja composição apresenta sódio. O teor elevado poderá causar desagregação da

estrutura dos solos, pela afinidade do sódio com a água (BALKS; BOND; SMITH, 1998; MENNER; McLAY; LEE, 2001; SPARLING *et al* 2006; GONÇALVES *et al.*, 2007). Além disso, a alta concentração de sódio pode causar elevação da pressão osmótica da solução do solo, que favorece a entrada de Na^+ nas raízes e provocar desequilíbrios em relação aos outros cátions, elevar o pH e prejudicar o desenvolvimento das plantas (SPARLING *et al.*, 2006).

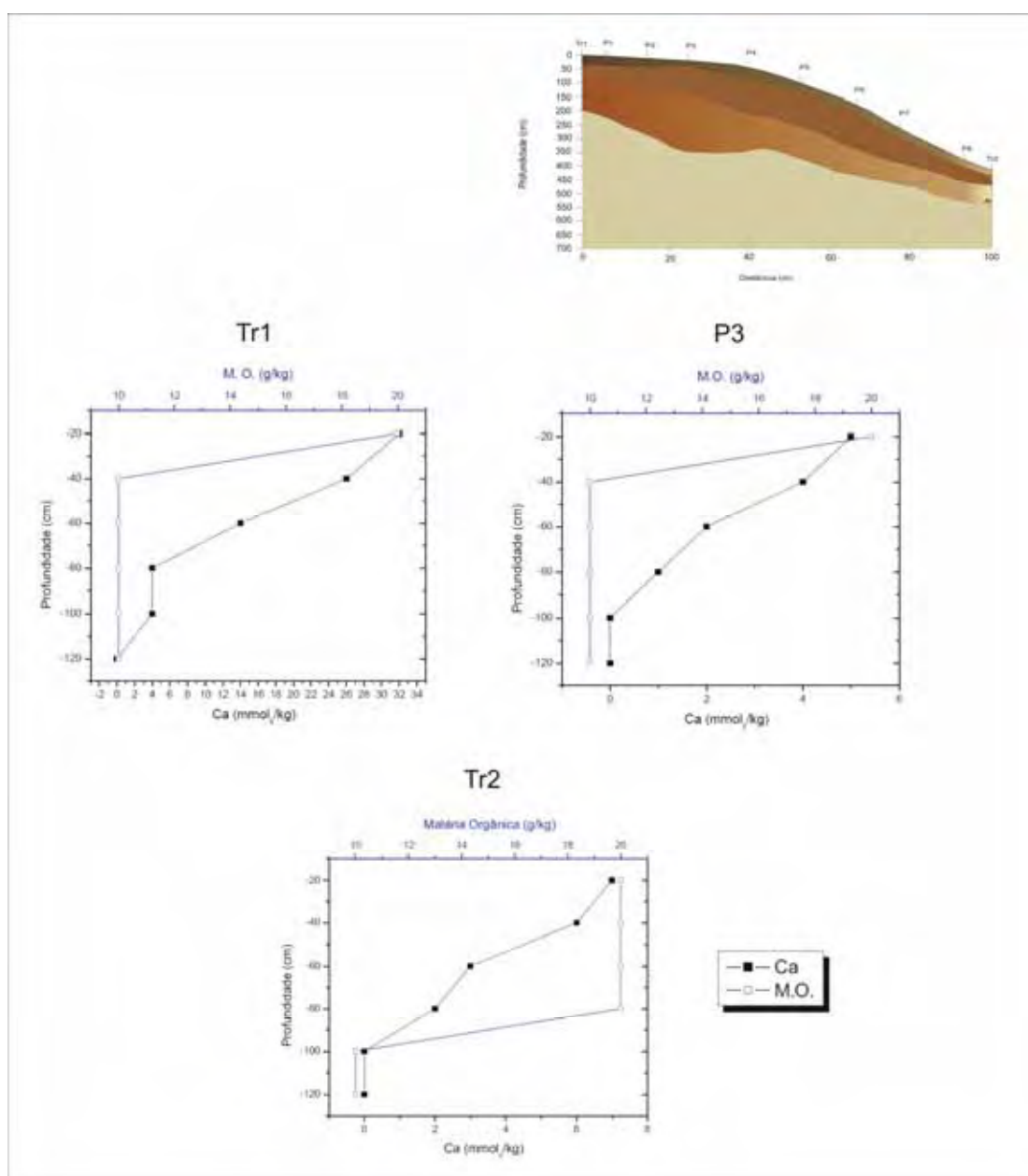


Figura 37 - Relação entre cálcio e matéria orgânica, para os perfis Tr1, P3 e Tr2 respectivamente, da seqüência.

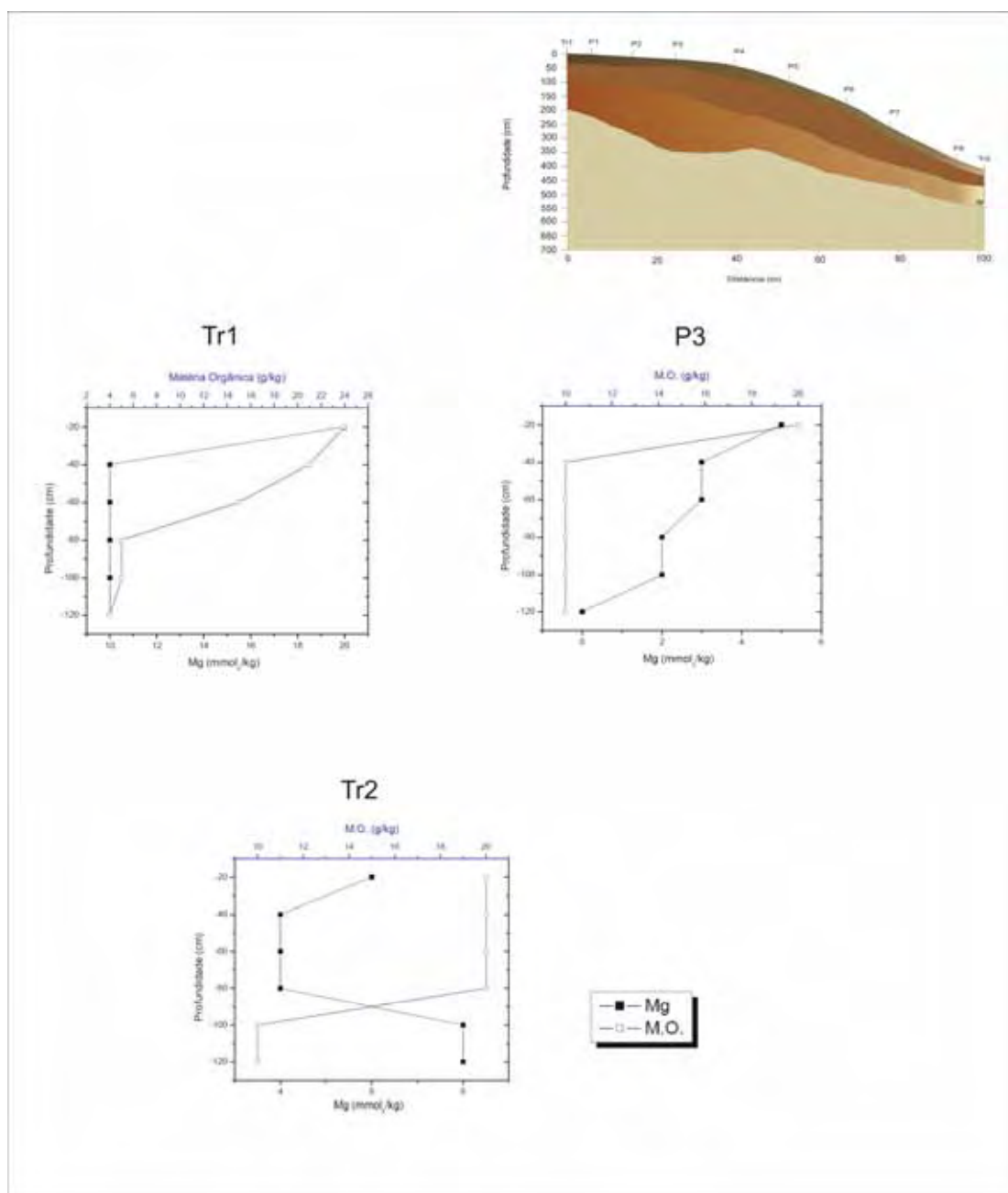


Figura 38 - Relação entre magnésio e matéria orgânica, para os perfis Tr1, P3 e Tr2, respectivamente, para a seqüência.

6.2.2 O Alumínio e as bases: o comportamento do pH.

A maior concentração de alumínio em subsuperfície está relacionada às superfícies ativas das argilas, ou seja, o alumínio, presente nos pontos de troca,

pode, ou hidrolizar-se ou reagir com íons OH^- da solução, tornando-se parte da solução do solo, tornando o pH mais ácido em profundidade. O mesmo ocorre com H^+ . Em regiões sem limitação hídrica, quando há aplicação de calagem, há aumento do teor de cálcio, magnésio e saturação por bases e redução do teor de Al e da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) (ALLEONI *et al.*, 2005). A área estudada apresenta esse comportamento, ou seja, o comportamento de alumínio e cálcio é inverso (Figura 40). Assim, os altos teores de cálcio do solo, gerados pelo processo de adubação, sobretudo nos horizontes superficiais, provavelmente, devem ser responsáveis pelos valores mais baixos da acidez trocável e potencial (Figura 22 (A) e (B)), na superfície dos solos.

A soma de bases (SB) e a saturação de bases (V) têm curvas com distribuição similar às do cálcio e magnésio, indicando a prevalência desses dois cátions na saturação do complexo sortivo em superfície, tanto para a seqüência, quanto para as parcelas da área experimental (Figuras 41 e 42). Ambos ocupam, provavelmente, os sítios dos grupos funcionais da matéria orgânica em superfície e, em subsuperfície, saturam, parcialmente, os sítios de troca das argilas, largamente ocupados pelo alumínio, visto que o alumínio aumenta de acordo com a profundidade.

A distribuição das curvas de pH (Figura 21 (A)), dos solos da seqüência estudada e das parcelas, religa os maiores pH aos horizontes de superfície, nos quais a soma e a saturação por bases são, também, mais altas (Figura 43). Na seqüência de solos, esses se devem aos maiores teores dos cátions bivalentes cálcio e magnésio e do monovalente potássio. Dessa maneira, a adubação e a calagem têm influência direta no comportamento desse pH. Na seqüência de solos, comparando-se o pH de Tr1 com o de Tr2, verifica-se que, nesse último perfil, o pH é bem mais baixo. Sabe-se que Tr2 está fora da área cultivada e adubada. Verifica-se, também, que o pH diminui de montante para jusante. Essa configuração sugere que a distribuição da adubação na superfície é desigual, no mesmo sentido, e que em Tr2 sua influência é muito pequena.

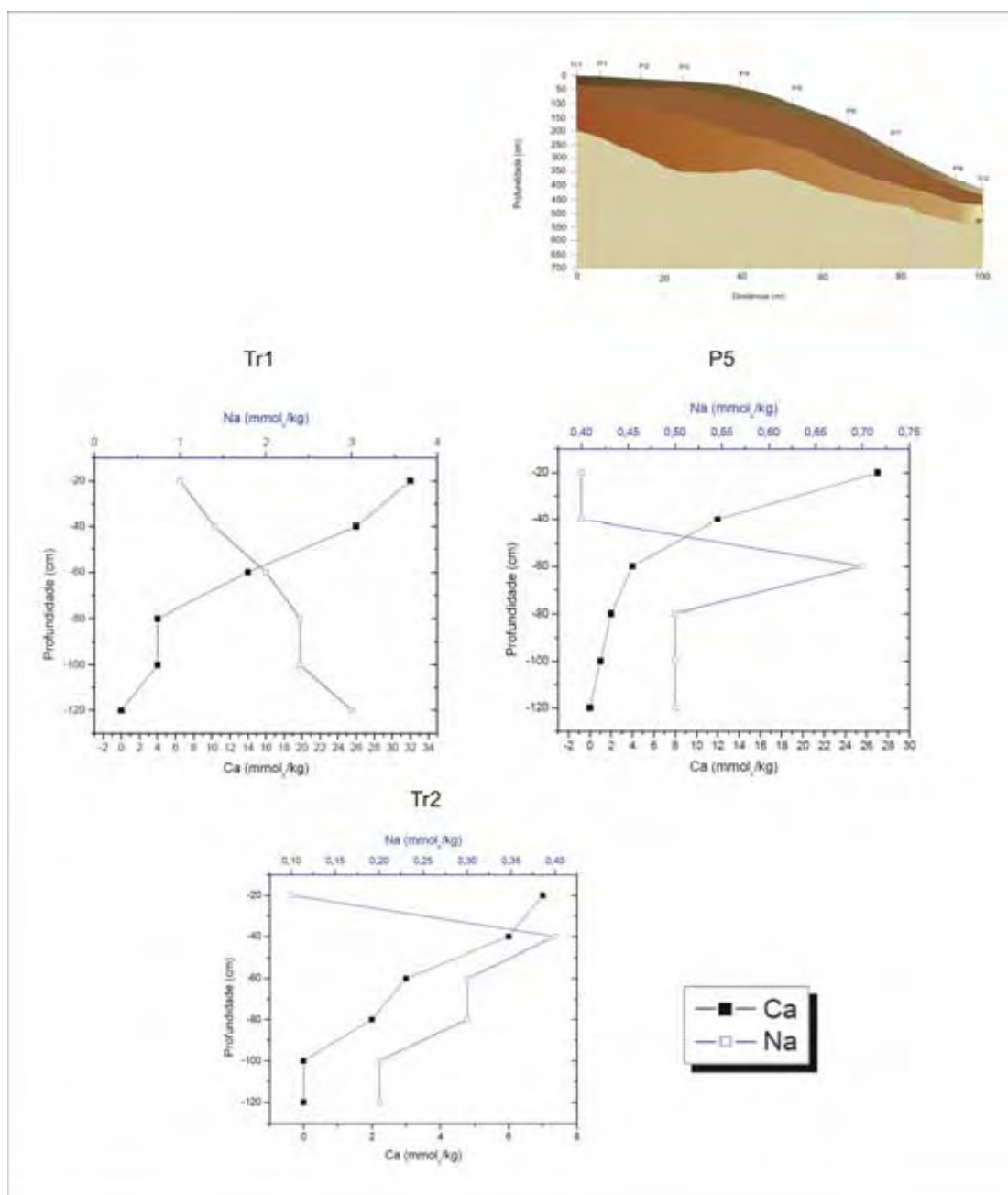


Figura 39 - Relação entre cálcio e sódio, para os pontos Tr1, P5 e Tr2, para a sequência.

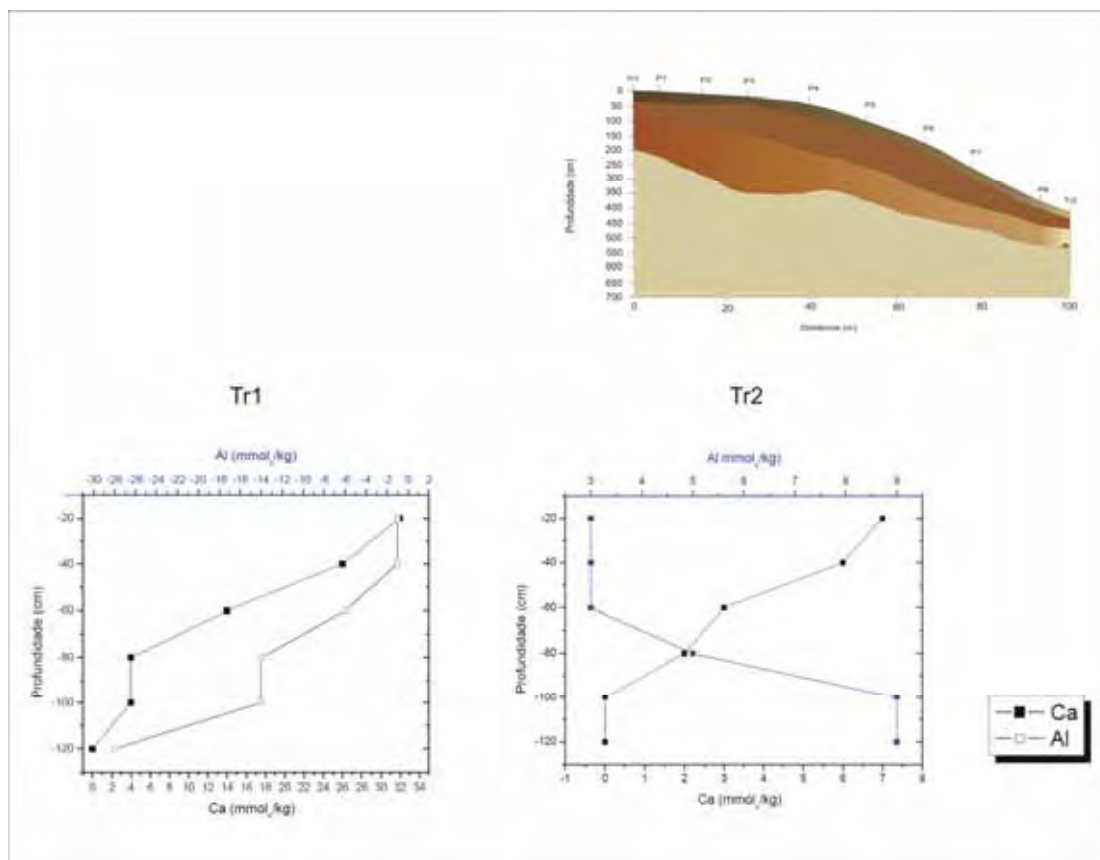


Figura 40 - Relação entre cálcio e alumínio, para os pontos Tr1 e Tr2, para a seqüência.

6.2.3 Saturação do complexo sortivo por alumínio e o papel da matéria orgânica na capacidade de troca catiônica

A CTC, em todos os pontos amostrados da seqüência de solos tem menores valores em superfície, mostrando que há dependência significativa da troca catiônica pelos grupos funcionais da matéria orgânica (Figura 21 (G)), uma vez que a soma de bases é alta. Tais valores podem indicar, respectivamente, um complexo sortivo formado mais pela contribuição da matéria orgânica em superfície do que pela argila, no caso, de baixa CTC. Comparando as curvas de concentração de alumínio e a de CTC (Figura 44), verifica-se que a distribuição destas é assemelhada, indicando que o complexo sortivo formado pela argila, em profundidade, está saturado principalmente pelo alumínio. Por outro lado, as curvas que representam as bases, excetuando o sódio, mostram teores decrescentes com a profundidade, o que vêm

reafirmar a saturação do complexo sortivo por alumínio neste setor. Este comportamento é também observado em Tr2, mesmo estando fora da área cultivada. Apesar de ter teores menores em bases em superfície em relação aos perfis de montante, estes são maiores do que em subsuperfície, reafirmando a saturação do complexo sortivo por alumínio, em subsuperfície, enquanto, na superfície a correlação é negativa indicando uma maior saturação por Alumínio em Tr2.

Os dados de CTC das sondagens nas parcelas da área experimental evidenciam que há uma tendência de diminuição da CTC do topo para a base das sondagens.

6.2.4 A dinâmica do fósforo e do enxofre

Segundo Boyer (1971), os teores de fósforo no solo são herança do material originário, mineralização da matéria orgânica e adubação.

A figura 45 apresenta o decréscimo do teor de fósforo e de matéria orgânica para os pontos Tr1, P5 e Tr2, respectivamente. A diminuição ocorre de montante em direção à jusante, mas de forma pouco significativa e pode ser explicada pelo manejo da área. Os maiores teores em superfície podem ser explicados pela mineralização da matéria orgânica e pela adubação. Entretanto, em Tr2 o teor de fósforo decresce do horizonte de superfície em direção da base, enquanto o da matéria orgânica permanece constante até 80 cm de profundidade, indicando neste ponto uma menor mineralização da matéria orgânica e apontando para uma maior influência do manejo, uma vez que é possível que em Tr2 a influência da colocação da vinhaça e da torta de filtro seja sentida. Portanto, compreende-se que os teores de fósforo, em superfície, decorrem de duas causas: mineralização da matéria orgânica e manejo. Em subsuperfície, os teores de fósforo estão relacionados a herança do material de origem.

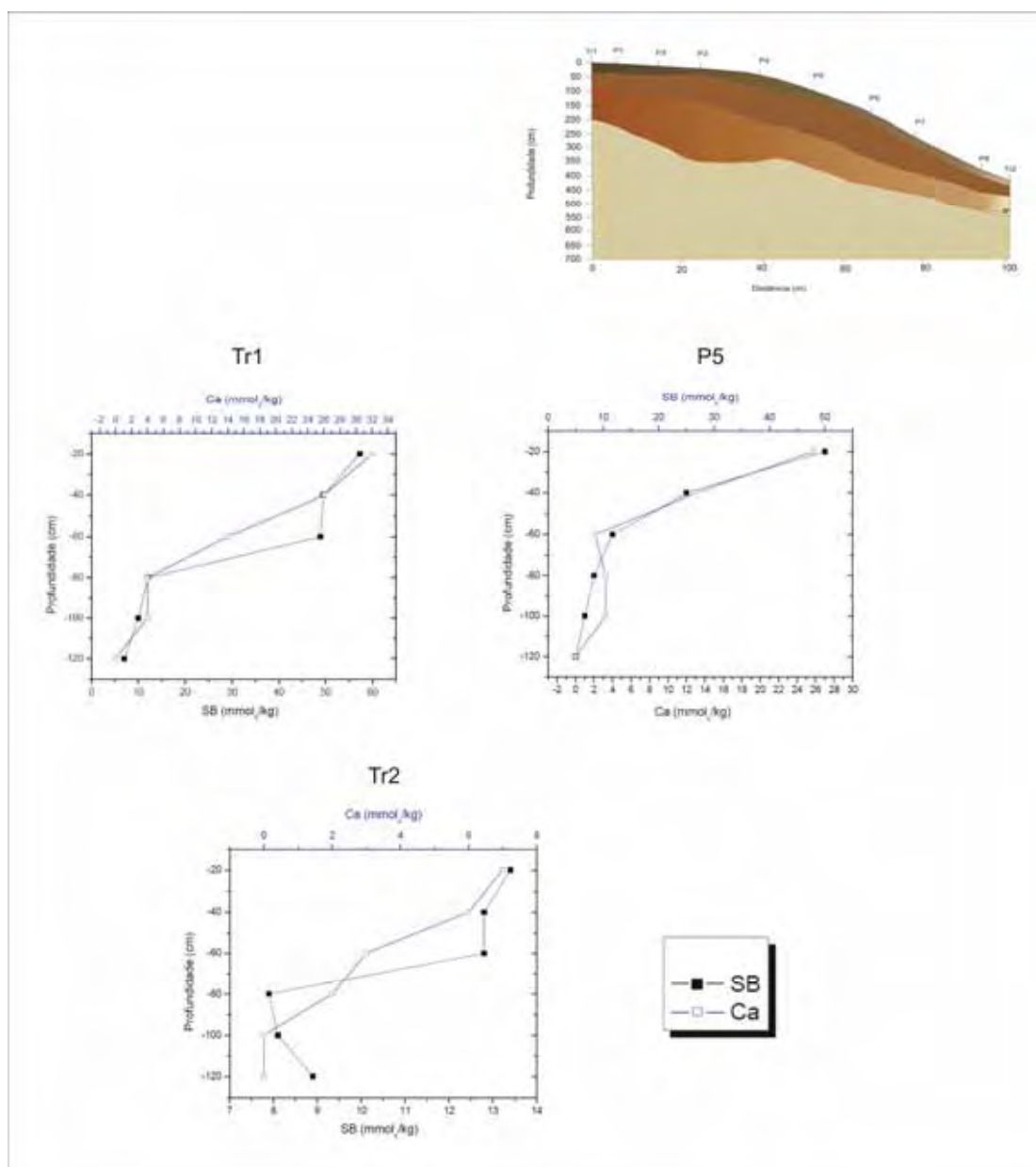


Figura 41 - Relação entre cálcio e soma de bases dos perfis Tr1, P5 e Tr2 para a seqüência.

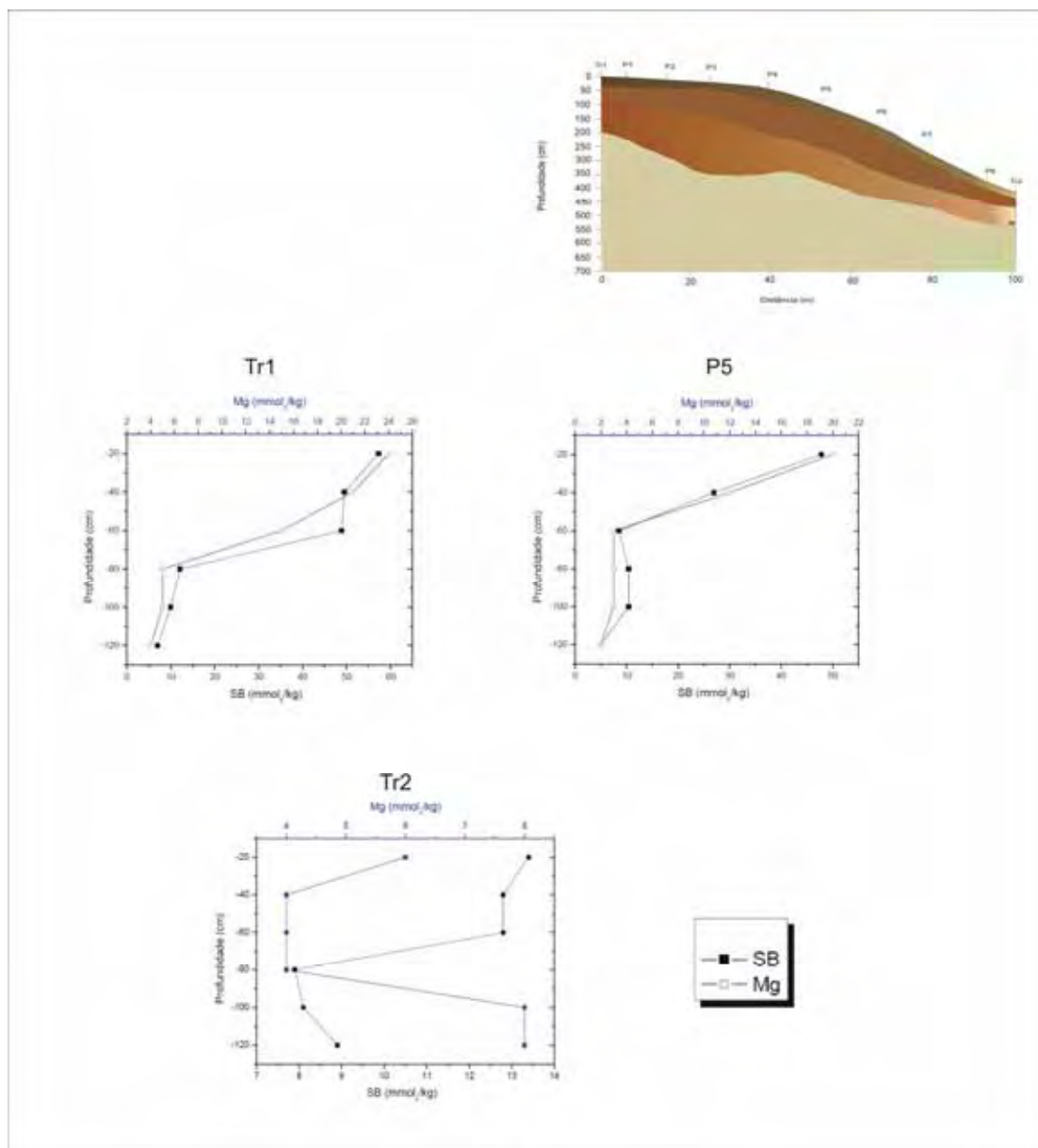


Figura 42 – Relação entre magnésio e soma de bases para os perfis Tr1, P5 e Tr2 para a seqüência de solos.

Segundo Mello *et al.* (1983), o enxofre é um elemento que possui uma lixiviação constante nos solos. No perfil Tr1, onde existem os maiores teores de enxofre, estes estão acumulados em superfície e no horizonte Bt, como também acontece nos demais perfis. Imediatamente acima do Bt (horizonte mais lixiviado do Argissolo) e abaixo do Bt, os teores são mais baixos. Esta configuração reafirma a dinâmica do enxofre em relação à lixiviação e indica sua filiação com as argilas.

Entretanto, as quantidades maiores em superfície, mostram que há sempre uma realimentação em enxofre, o que está diretamente ligado à adubação. No perfil Tr2, os teores de enxofre são menores, mas a configuração da curva é similar às demais, pode-se dizer, então que em Tr2 não há realimentação com enxofre em superfície. De fato, este perfil encontra-se fora da zona de manejo com adubos. Desta maneira, pode-se concluir que a distribuição do enxofre está inicialmente ligada com a distribuição das argilas e que os teores mais altos são devidos à adubação (Figura 46).

6.2.5 Os micronutrientes

Os micronutrientes ou oligoelementos analisados na área estudada foram boro, cobre, zinco, manganês e ferro.

Em relação ao boro, Coelho (1973) afirma que a matéria orgânica é uma das maiores fontes de boro nos solos, por isso, seu teor nos solos minerais é mais elevado na camada superficial. Na figura 23 (D) verificou-se que a distribuição das curvas dos teores de boro é irregular nos perfis Tr1 a P6. Em Tr2 as concentrações de boro diminuem no sentido da profundidade do solo, de maneira abrupta, inicialmente, e depois, progressivamente. A comparação entre as curvas da figura 47 mostra que é possível estabelecer uma correlação dos teores de boro com os de matéria orgânica, nos perfis Tr1 e P5. Em Tr1, essa correlação é positiva, enquanto em P5 é negativa, em superfície. Em subsuperfície esse comportamento é contrário. Em Tr2, o boro tem um comportamento similar ao fósforo, em relação à matéria orgânica: enquanto os teores de boro decrescem com a profundidade os de matéria orgânica permanecem constantes até 80 cm de profundidade, mostrando menor mineralização ou maior turn-over da matéria orgânica, uma vez que Tr2 está sob a mata. A freqüente adubação e calagem da área poderiam explicar a irregularidade dos teores de boro, na seqüência. A elevação do pH na superfície dos solos poderia induzir à fixação de boro pelas argilas ou formação de complexos com Ca^{2+} . Entretanto, o pH não é alcalino, mas o teor de argila é elevado, o que segundo Mello

et al. (1983), favorece a retenção de boro no solo, sendo assim, acredita-se que não haverá deficiência de boro na área estudada.

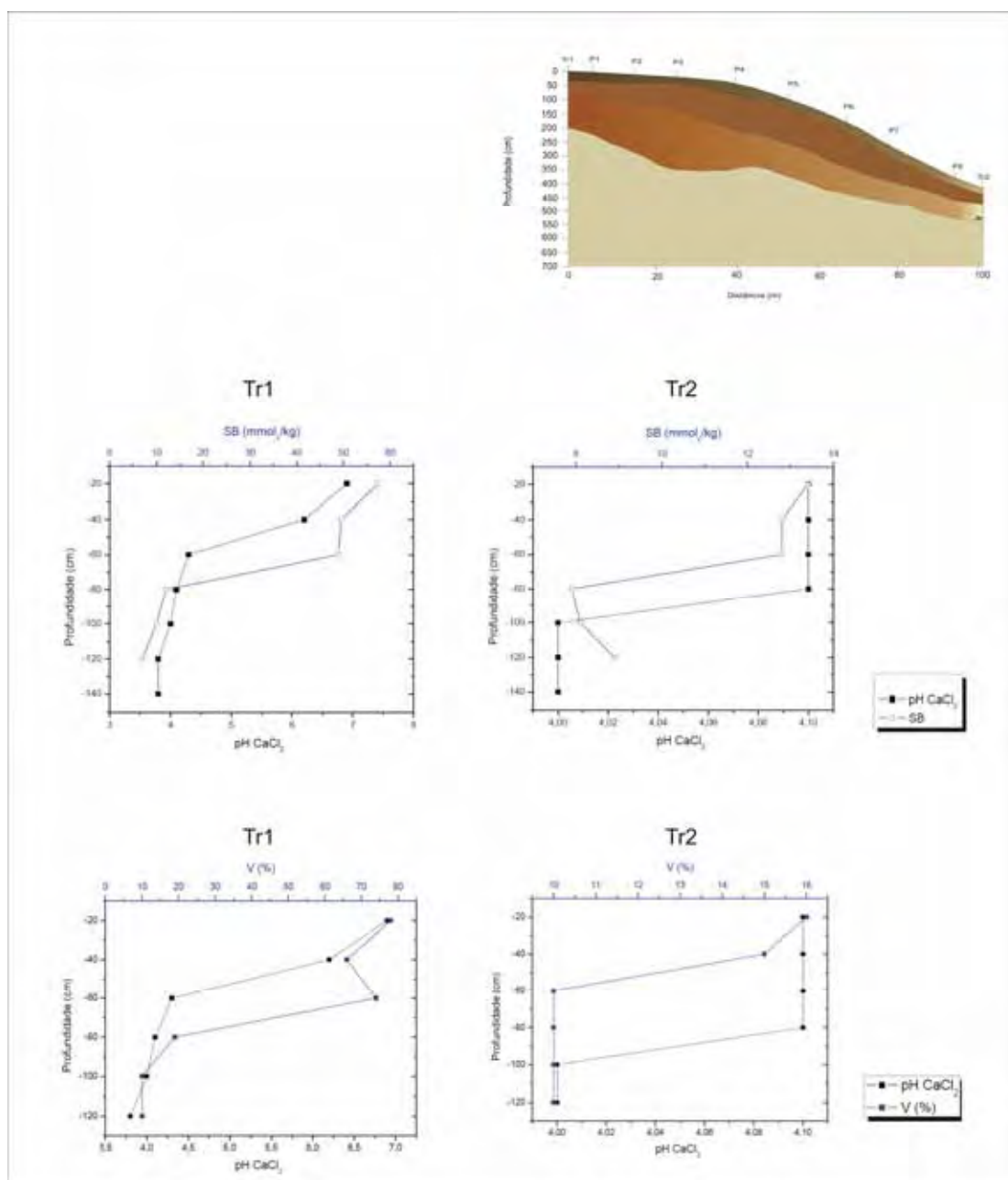


Figura 43 - Relação entre pH e Soma e Saturação por bases para os pontos Tr1 e Tr2 para a seqüência de solos.

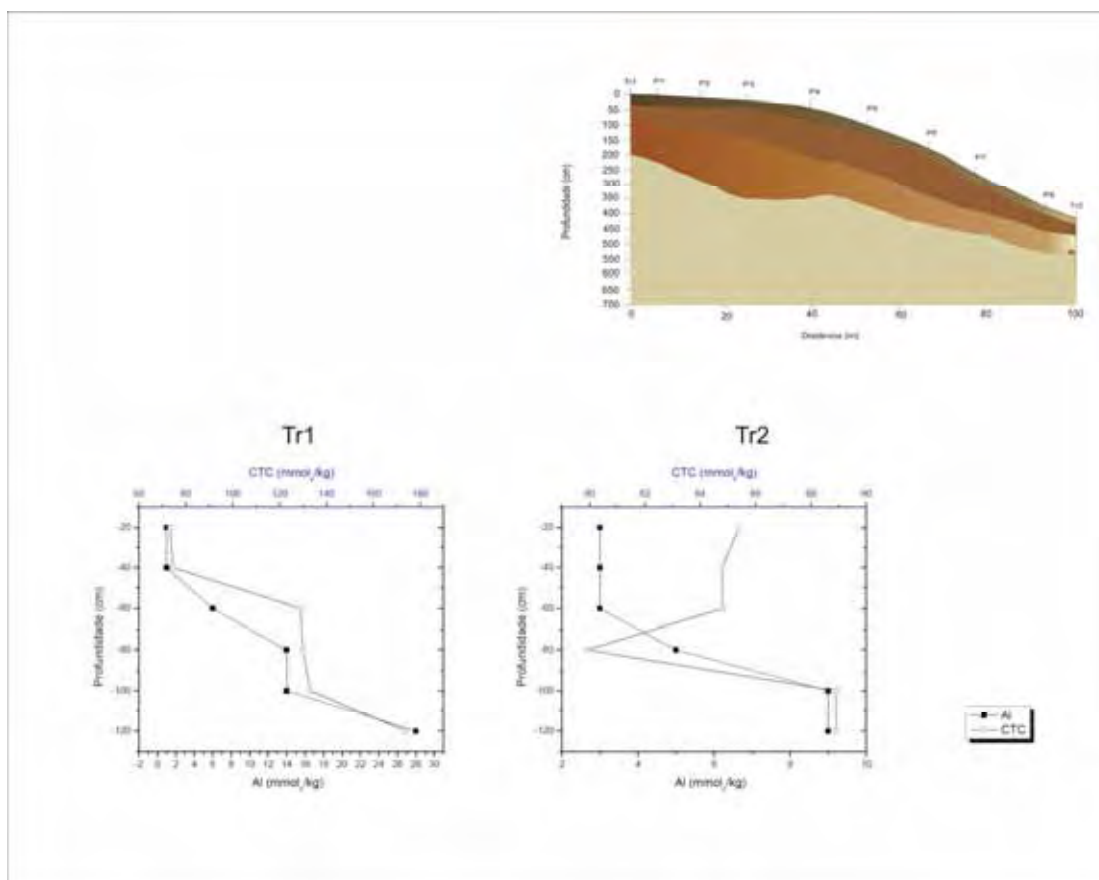


Figura 44 - Relação entre Al e CTC para os pontos Tr1 e Tr2 da sequência de solos.

A matéria orgânica, quando em grande quantidade, consegue insolubilizar cobre e zinco pela formação de complexos que, posteriormente, aos poucos, podem ser liberados para as plantas (MELLO *et al.*, 1983). No caso dos solos estudados, o teor de cobre acompanha o de matéria orgânica, ou seja, diminui com a profundidade (Figura 48). A maior quantidade de cobre, então, em superfície, seria decorrente da matéria orgânica. Essa relação é bastante nítida no perfil Tr1 (Figura 48). Estudos mostram carência desses elementos após um evento de adubação com calcário que aumenta o pH do solo e gera insolubilização, tanto de cobre, como de zinco, pela formação de complexos com cálcio que também, paulatinamente, são liberados para as plantas (MELLO, *et al.*, 1983). Comparando-se as curvas da figura 49, observa-se que a diminuição do teor de cobre acompanha a diminuição dos valores de pH, indicando que o cobre encontra-se adsorvido pelas argilas, em pequenas quantidades, permitindo supor que os solos estudados não apresentam carência desse elemento (Figura 49).

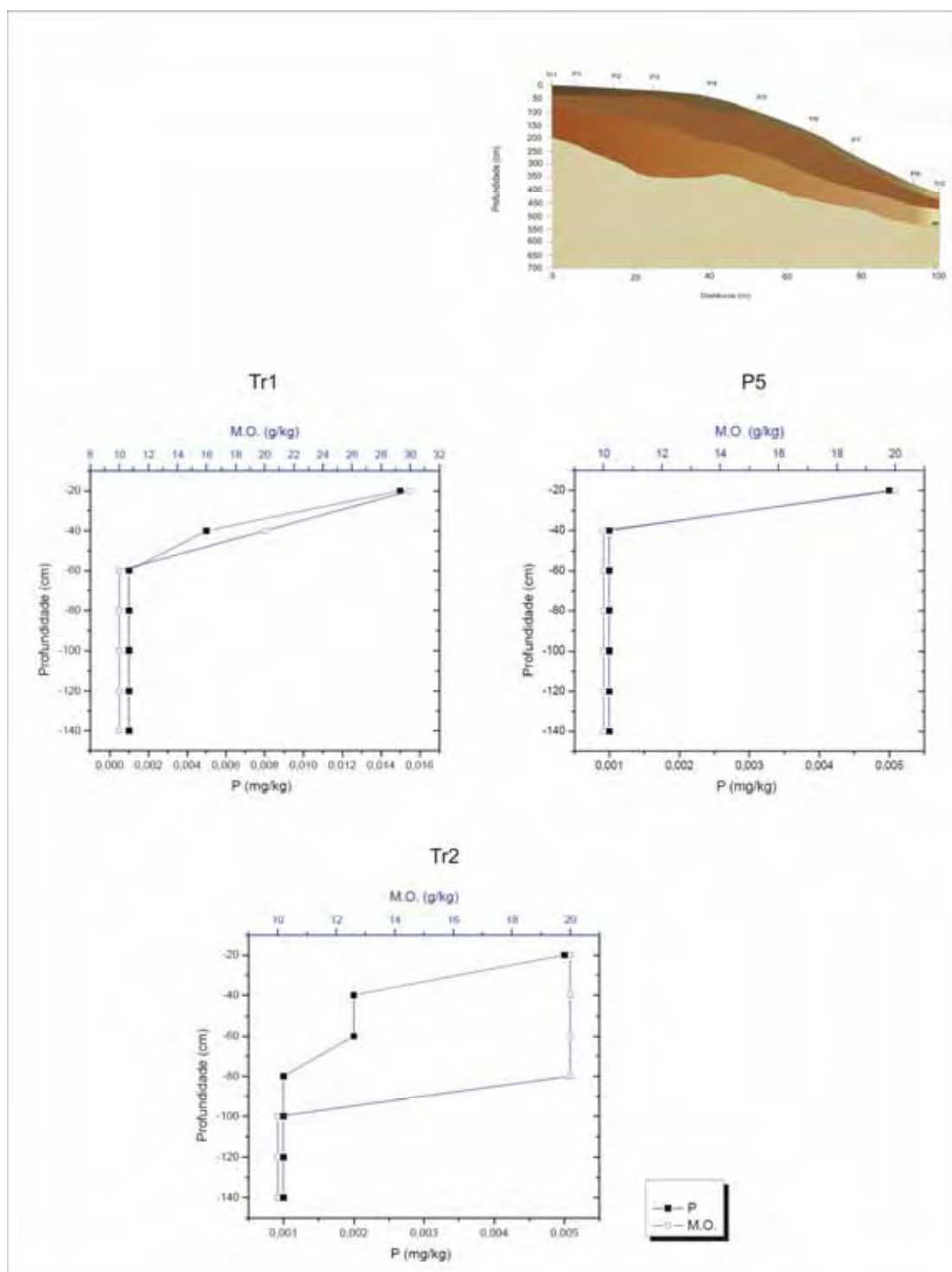


Figura 45 - Relação entre Fósforo e Matéria Orgânica nos pontos Tr1, P5 e Tr2 para a sequência de solos

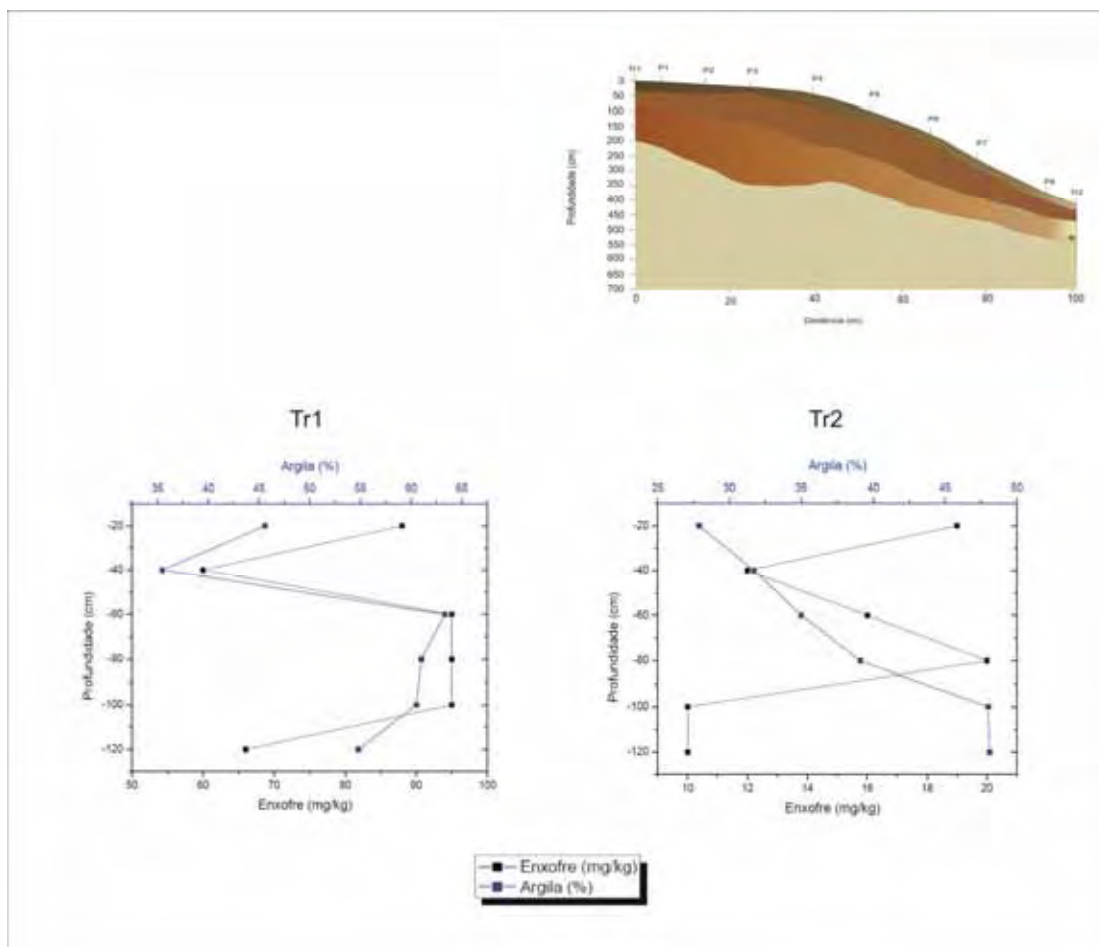


Figura 46 - Relação entre os teores de Enxofre e Argila para a sequência de solos

A maior concentração de zinco em superfície pode ser explicada pela extração radicular e decomposição dos tecidos vegetais (MELLO, *et al.*, 1983). As curvas da Figura 50 apresentam uma relação entre zinco e matéria orgânica, principalmente nos perfis Tr1 e P6 em superfície. Em Tr1, P6 e Tr2, logo abaixo do horizonte de superfície, os teores de zinco aumentam e não mantêm relação positiva com a matéria orgânica e nem com o pH do solo (Figura 51). Entretanto, nesse setor, mantêm correlação com a curva de distribuição de argila, zinco e matéria orgânica não mantêm correlação positiva. A irregularidade da curva pode ser explicada, tanto pela maior quantidade de matéria orgânica na superfície dos solos, como pela fixação de zinco pelas argilas em Tr1, uma vez que nesse perfil, o teor de argila é maior nessas mesmas profundidades (Figura 52).

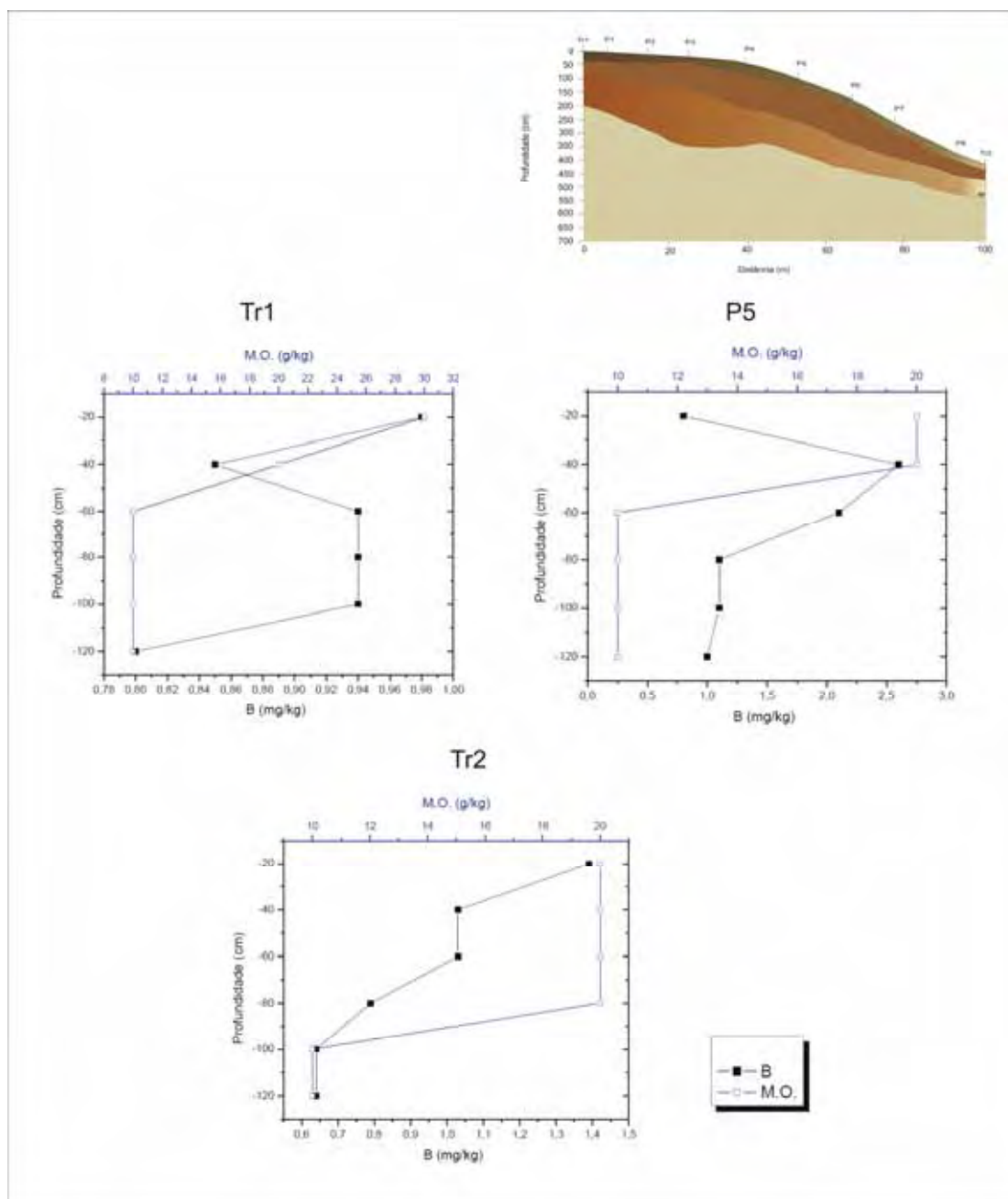


Figura 47 - Relação entre boro e matéria orgânica para os pontos Tr1, P5 e Tr2 para a seqüência de solos

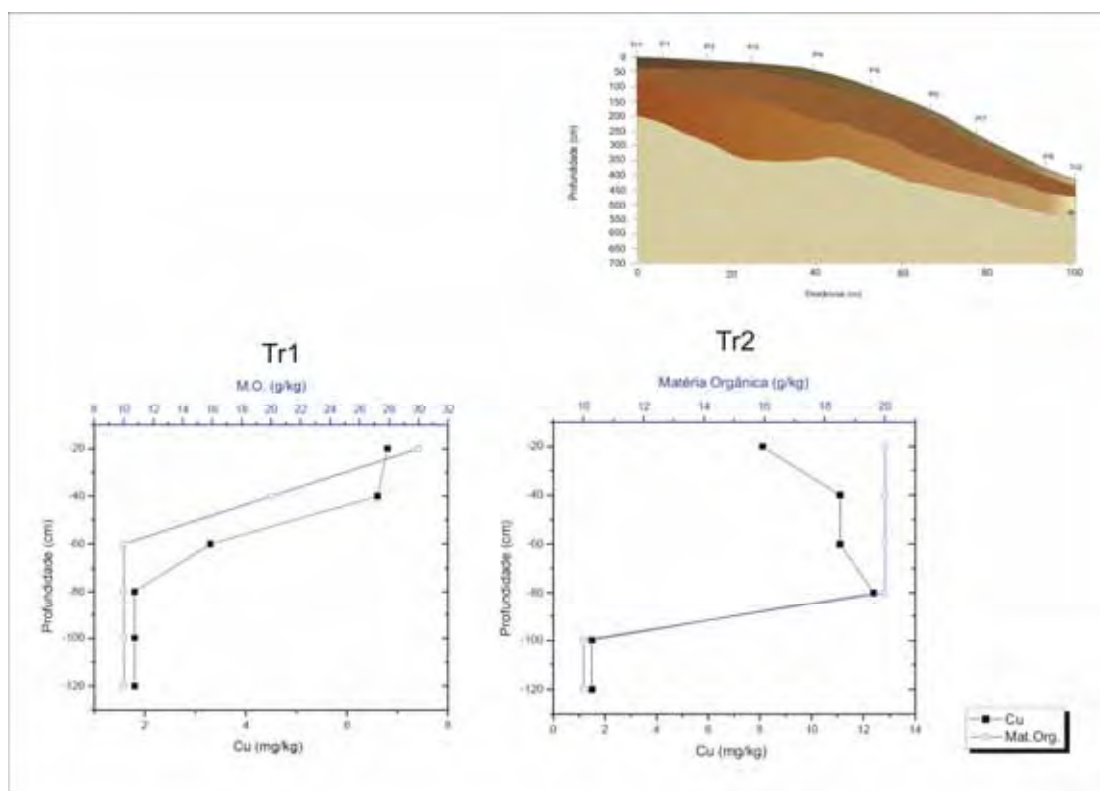


Figura 48 - Relação entre cobre e matéria orgânica para os pontos Tr1 e Tr2, para a seqüência de solos.

Os solos analisados apresentam menor quantidade de manganês em superfície e a partir de 100 cm (Figura 24 (C)). Aumento significativo ocorre entre 40 e 100 cm de profundidade, nos perfis de jusante. Tal configuração segue, em parte, a curva de distribuição das argilas (Figura 53). Entretanto, o ambiente laterítico favorece a imobilização de manganês: a boa drenagem, aeração e fracas condições de acidez dos perfis evitam a sua toxidez (Figura 24 (C)).

A distribuição do ferro assemelha-se à do manganês. A Figura 54 mostra uma relação parcial entre a distribuição das porcentagens de argila com os teores de ferro. As condições de oxidação favorecem o predomínio de compostos férricos em superfície. A diminuição dos teores em profundidade está relacionada com a hidromorfia que atinge a base dos perfis (Figura 24 (D)).

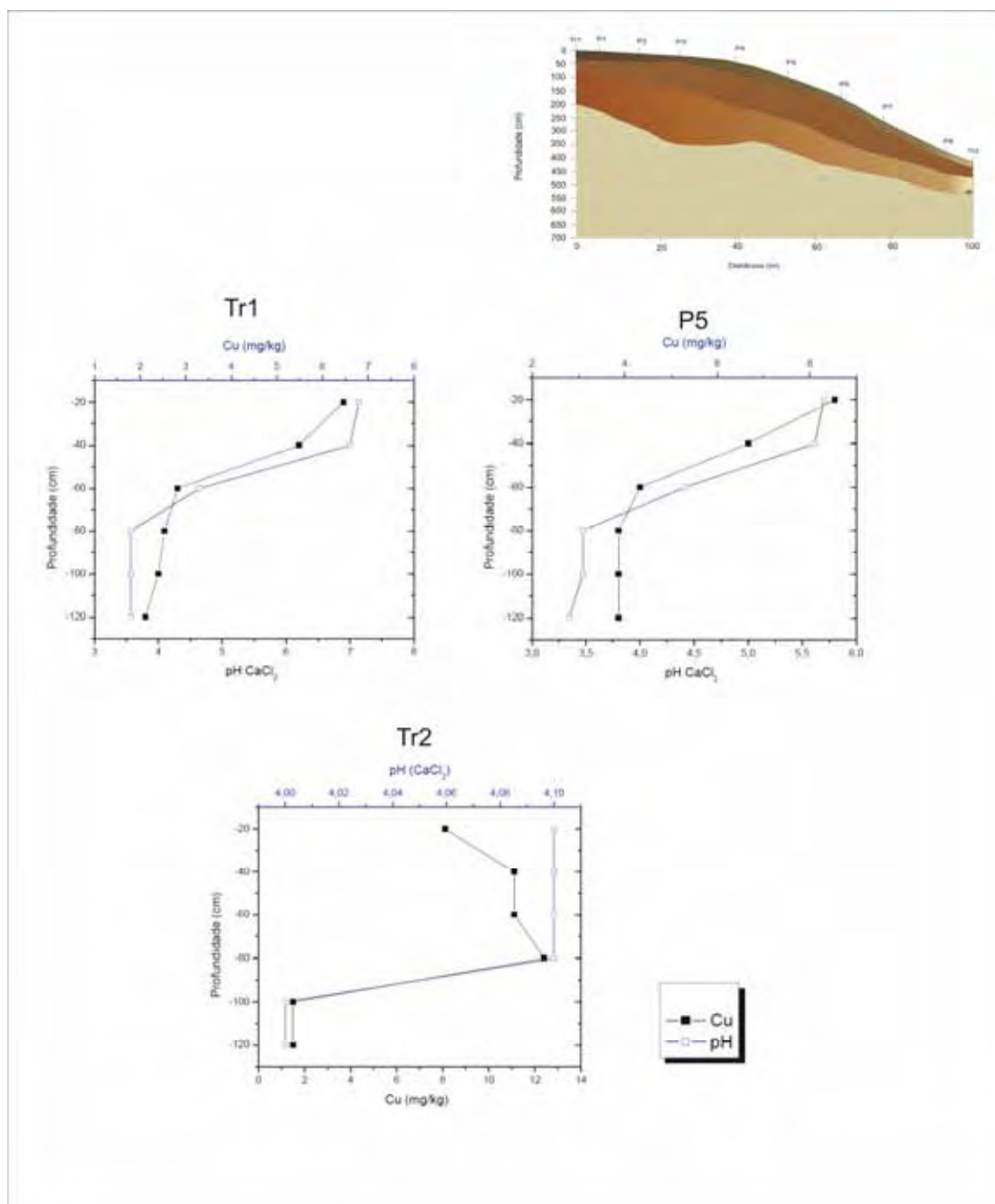


Figura 49 - Relação entre cobre e pH para os pontos Tr1, P5 e Tr2 para a seqüência de solos

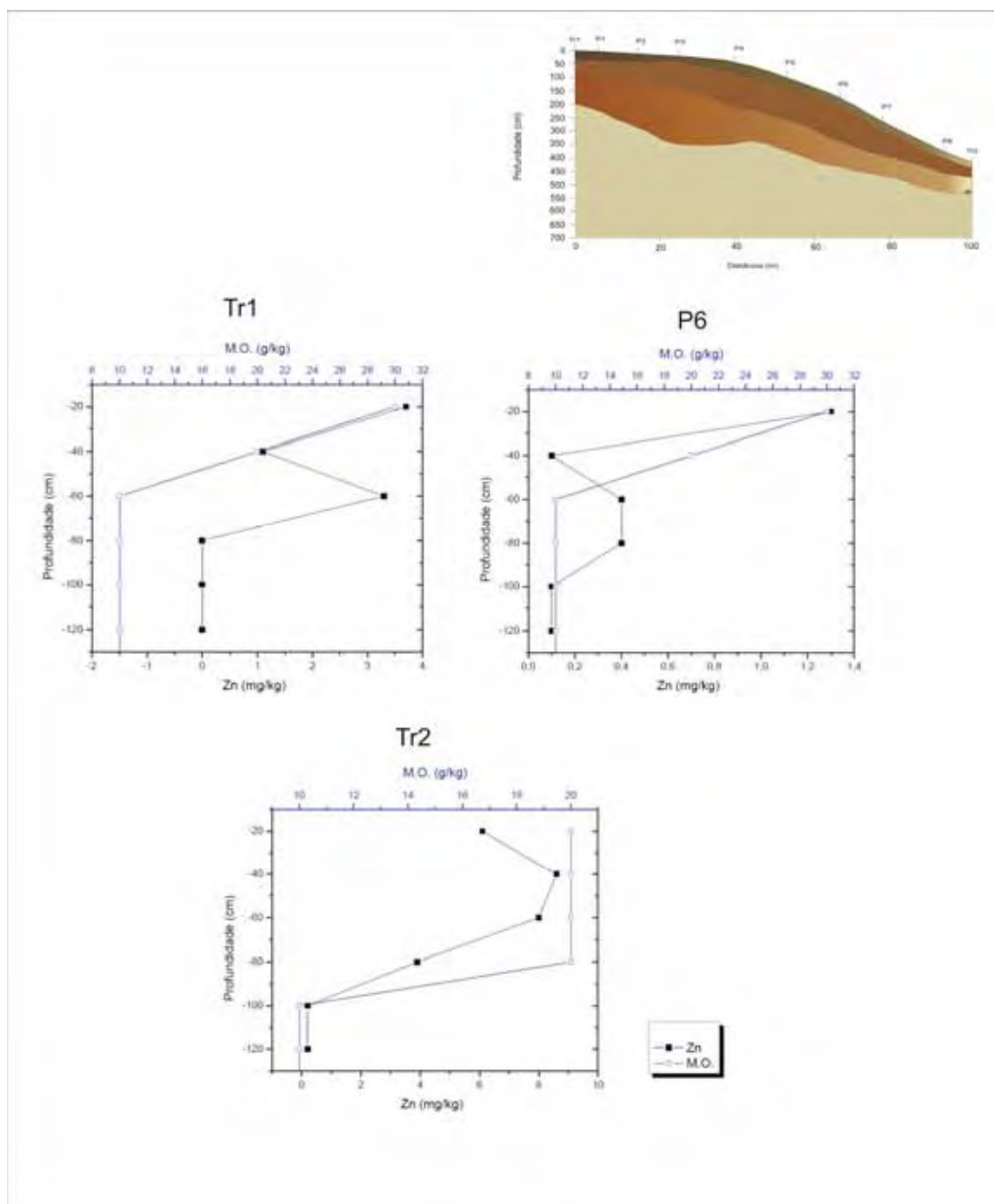


Figura 50 - Relação entre zinco e matéria orgânica para os pontos Tr1, P6 e Tr2 para a sequência de solos

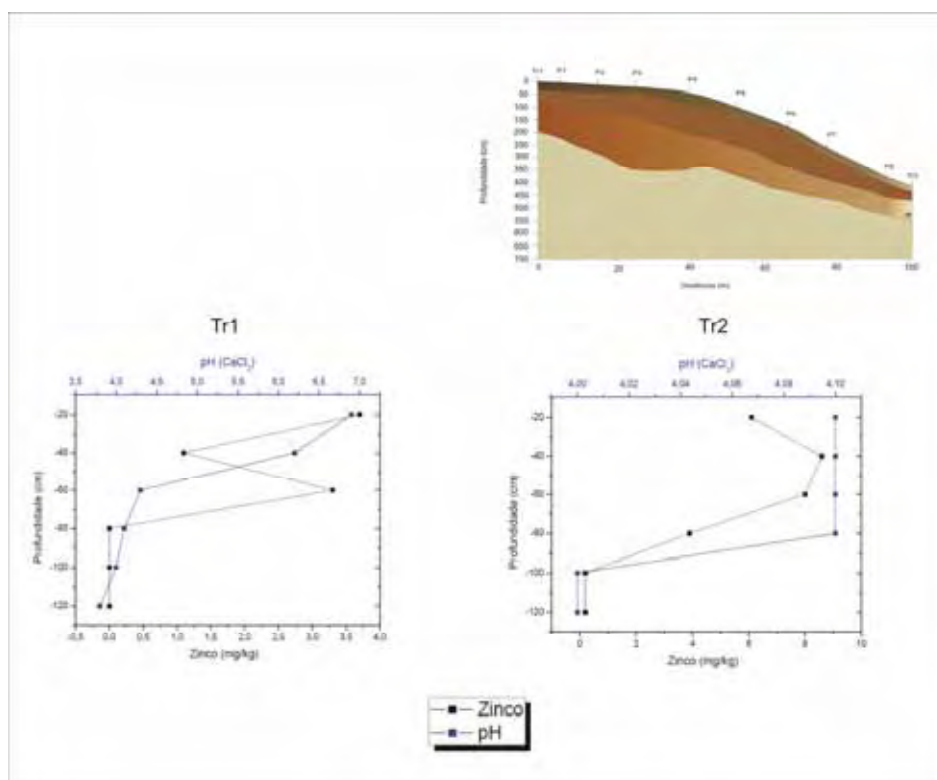


Figura 51 - Relação entre os valores de pH e os teores de Zinco para os perfis Tr1 e Tr2 para a seqüência de solos

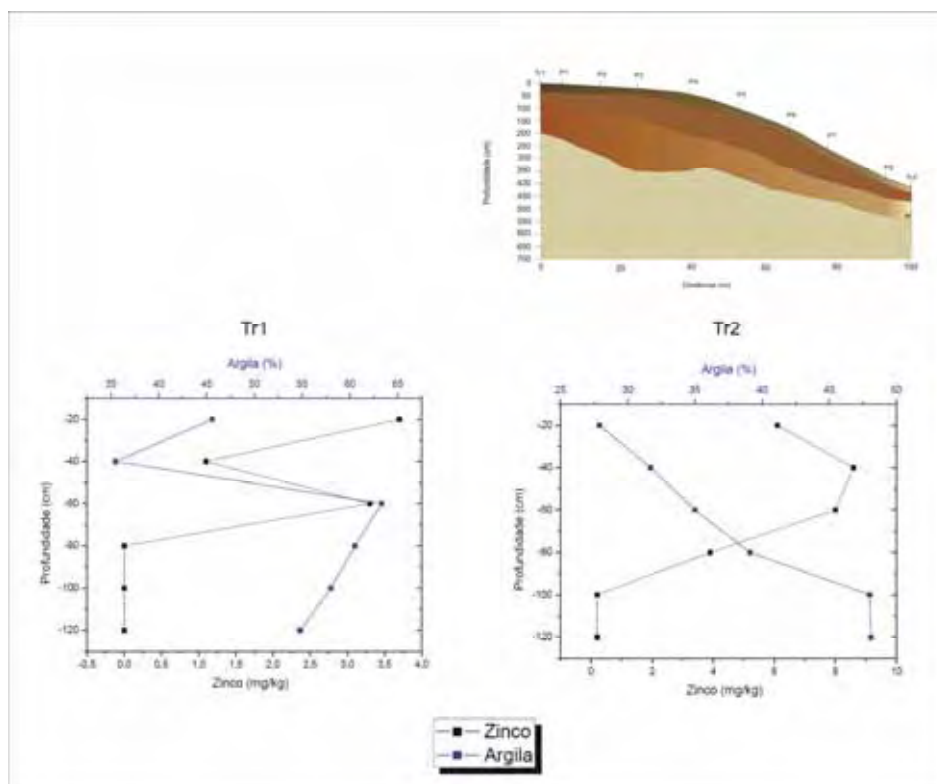


Figura 52 - Relação entre os teores de Zn e Argila para os perfis Tr1 e Tr2 para a seqüência de solos

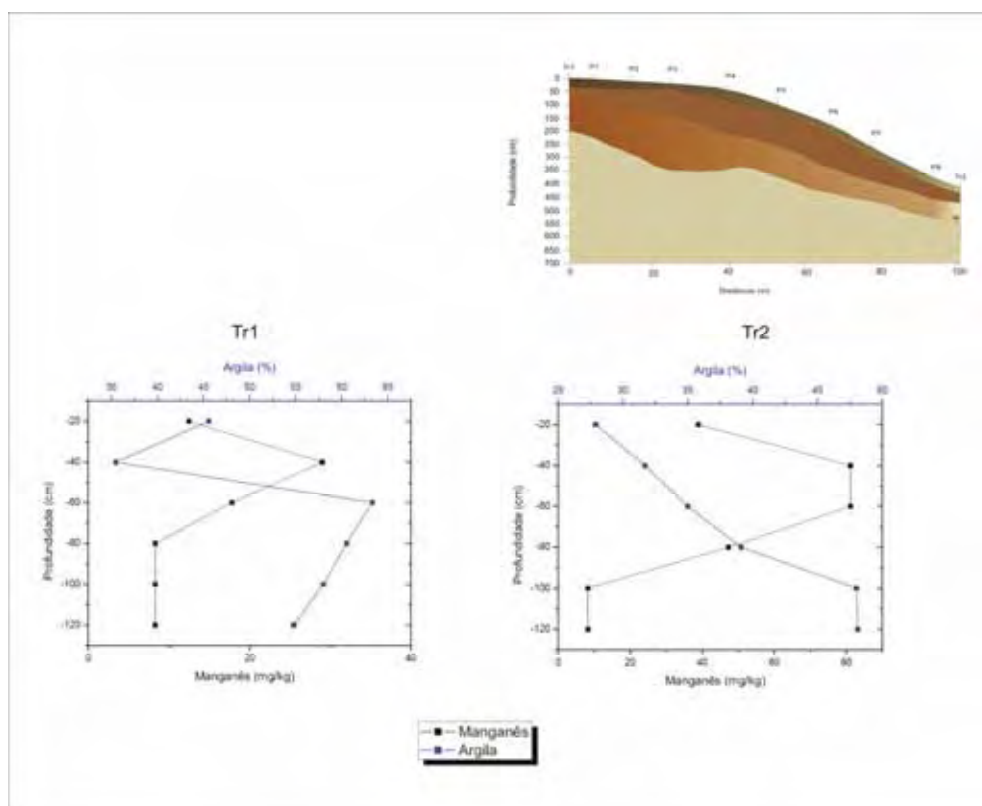


Figura 53 - Relação entre os teores de Manganês e de Argila para os perfis Tr1 e Tr2 para a sequência

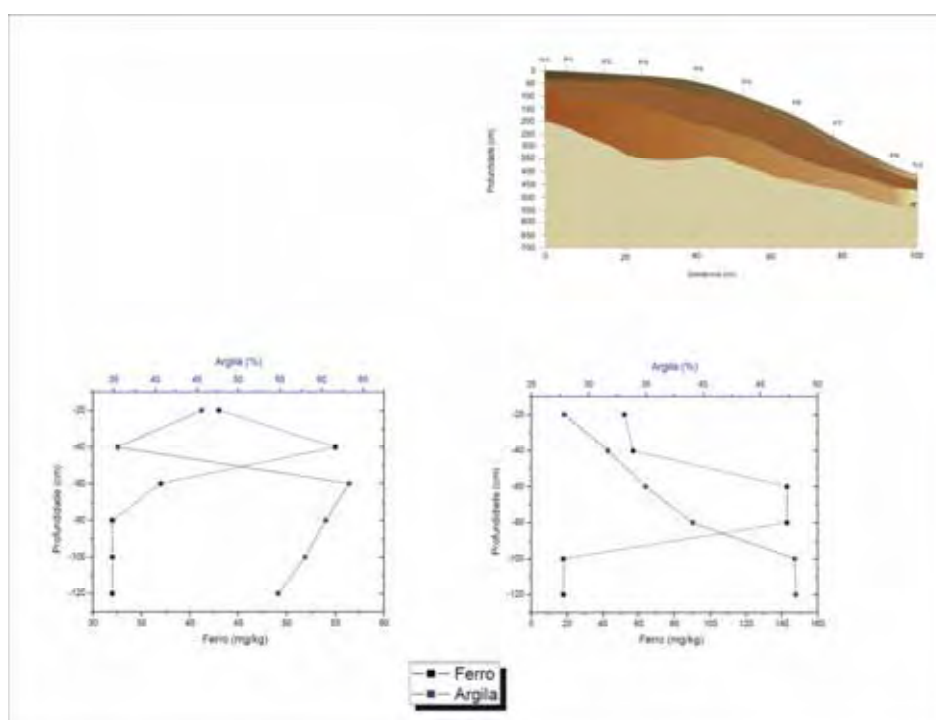


Figura 54 - Distribuição dos teores de Ferro e de Argila para os pontos Tr1 e Tr2 para a sequência de solos

6.3 Mineralogia de argila e o papel do sódio vindo do manejo atual (vinhaça e torta de filtro) sobre a mobilidade da argila

A mineralogia dos horizontes da seqüência de solos está identificada nos difratogramas do Anexo F.

6.3.1 Os minerais da fração argila

De acordo com os resultados mineralógicos obtidos por difratometria de raios-X, a seqüência é constituída, na fração argila, por quartzo, pelo argilo-mineral caulinita e pelos óxidos de ferro e de alumínio goethita, hematita e gibbsita. Foi identificada, secundariamente, a presença de ilita (Anexo F).

6.3.2 O papel do sódio sobre a mobilidade da argila

A mineralogia da seqüência de solos mostrou, de modo geral, picos mais intensos de caulinita, tanto em superfície, quanto em profundidade, em todos os pontos estudados. A configuração, semelhante em toda a seqüência, corrobora a hipótese de que os horizontes se desenvolveram um à custa do outro, demonstrando uma filiação vertical. Finalmente, os resultados evidenciam a simplicidade da composição mineralógica, comum aos solos lateríticos.

Devido à intensidade da ação do processo de intemperismo na região tropical, segundo Demattê (1988), a mineralogia é, essencialmente, constituída por óxidos de ferro e de alumínio nas mais diversas formas, amorfa e cristalina, e por minerais de baixa atividade de superfície, tais como caulinita e gibbsita. Ainda, segundo o mesmo autor, em consequência desse fato, a fração argila apresentará baixo potencial de mobilização, ou seja, não haverá dispersão e, conseqüentemente, migração dos colóides. De fato, a mineralogia identificada no presente trabalho converge para aquela encontrada por Demattê (1988). Por outro lado, verificou-se que os cutãs não estão associados à eluviação, como mostrou o estudo micromorfológico. No entanto, no horizonte Bt foi observado a acumulação

de argila no interior dos canais e câmaras. Na superfície são altos os teores da argila dispersa em água, o que demonstra a mobilização da argila em superfície, provavelmente, por erosão superficial e também por eluviação. Esse fato é agravado pela presença de sódio, vindo do manejo atual dos solos. Entretanto, pelo fato de haver maior concentração de Ca^{2+} em superfície, e maior de Na^+ em subsuperfície, acredita-se na troca de sódio por cálcio na fração argila da superfície dos solos sob manejo (montante).

Assim, o sódio liberado para a solução do solo é lixiviado na direção dos horizontes de subsuperfície, ou na direção do perfil Tr2, podendo atingir as águas de drenagem dos rios. Se há eluviação da argila do horizonte superficial para o Bt, associada à presença de sódio, não ficou esclarecida com os dados apresentados. Com os dados obtidos da interpretação micromorfológica, não é possível afirmar que a presença do sódio, vindo do manejo atual (deposição de vinhaça), influencie, a curto prazo, na eluviação das argilas para o horizonte Bt. A micromorfologia apontou que a maior parte dos cutãs vem da reorganização dos plasmas a partir da deferrificação, embora exista deposições argilosas em pequenas quantidades. É possível que a presença do Bt deva-se ao empobrecimento superficial do solo, a partir da deferrificação das argilas e recristalizações sucessivas, uma vez que até no horizonte de superfície foram encontrados cutãs de reorientação dos plasmas (separações plásmicas por contração), portanto, um fenômeno ligado à própria evolução dos perfis de solos lateríticos. Entretanto, o manejo atual (mecanização mais sódio), responsável pelo aumento de argila dispersa em água, colabora para aumentar o empobrecimento em argilas nos horizontes de superfície.

7 O EFLUENTE DE ESGOTO E INTERAÇÕES ENTRE SOLO E MANEJO ATUAL.

7.1 Parâmetros químicos do efluente de esgoto a ser utilizado na Irrigação.

O efluente de esgoto a ser utilizado no experimento de irrigação provém da estação de tratamento de esgoto Cecap, próximo ao bairro Cecap e à Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP), na Fazenda Taquaral (Figura 1). A estação iniciou as atividades em 1993, possui uma área de 47.740 m² e atende uma população de 12.290 habitantes. A vazão média é de 14,3 L/s⁻¹.

A procedência do esgoto tratado nesta estação é de limpa fossa, chorumes e esgoto bruto domiciliar, descartados mensalmente. Quando descartado na estação o esgoto passa por caixa de areia e grade de barra (preliminares), depois segue para as lagoas de estabilização anaeróbia, onde permanece por 6 dias. Após este período, é depositado nas lagoas facultativas, permanecendo 27 dias e, posteriormente, é descartado por vertedor triangular. Depois de passar pelo vertedor, o efluente tratado é lançado em um córrego, que passa próximo à estação Cecap, denominado pelo Departamento de Água e Esgoto como SNA – Afluente sem nome da margem direita do rio Piracicamirim. A população local nomeou o córrego como Taquaral. Para a irrigação, o efluente será desviado, por encanamentos subterrâneos, para a área experimental e deixará de ser descartado no córrego. A figura 55 ilustra as lagoas de estabilização da ETE Cecap. A figura 56 ilustra a divisão da área experimental em parcelas e os tipos de tratamento a serem recebidos.

Até a data da coleta das amostras dos solos estudados neste trabalho, ainda não se tinha feito nenhuma irrigação com o efluente de esgoto. Os dados referentes ao efluente são poucos e serão objeto de estudo de outras pesquisas. A Tabela 3 apresenta alguns parâmetros do efluente tratado, medidos em diferentes épocas do ano. Embora os parâmetros e as datas das coletas sejam poucas, permitem uma constatação do teor de alguns elementos presentes no efluente.



Figura 55 – Estação de Tratamento de Esgoto Cecap

Analisando a Tabela 3, verifica-se que os valores de pH estão acima de 7,0, variam entre 7,13 a 8,15, em todas as datas de coleta, evidenciando que o efluente tende de neutro a alcalino. Os teores de fósforo variam de 7 a 11 mg/L. Os teores de sódio, cálcio e magnésio, foram medidos apenas uma vez em, praticamente, um ano de coleta. O sódio tem altíssimo teor devido à procedência do esgoto. Com relação ao cálcio e ao magnésio, os teores não se apresentam elevados, se comparados ao teor de sódio. Ressalta-se que o valor de pH enquadra-se nos parâmetros exigidos pela Resolução CONAMA nº357/2005, que considera satisfatório pH entre 5 e 9. Entretanto, não há consideração, nessa resolução, dos padrões exigidos para os teores de cálcio, magnésio e sódio.

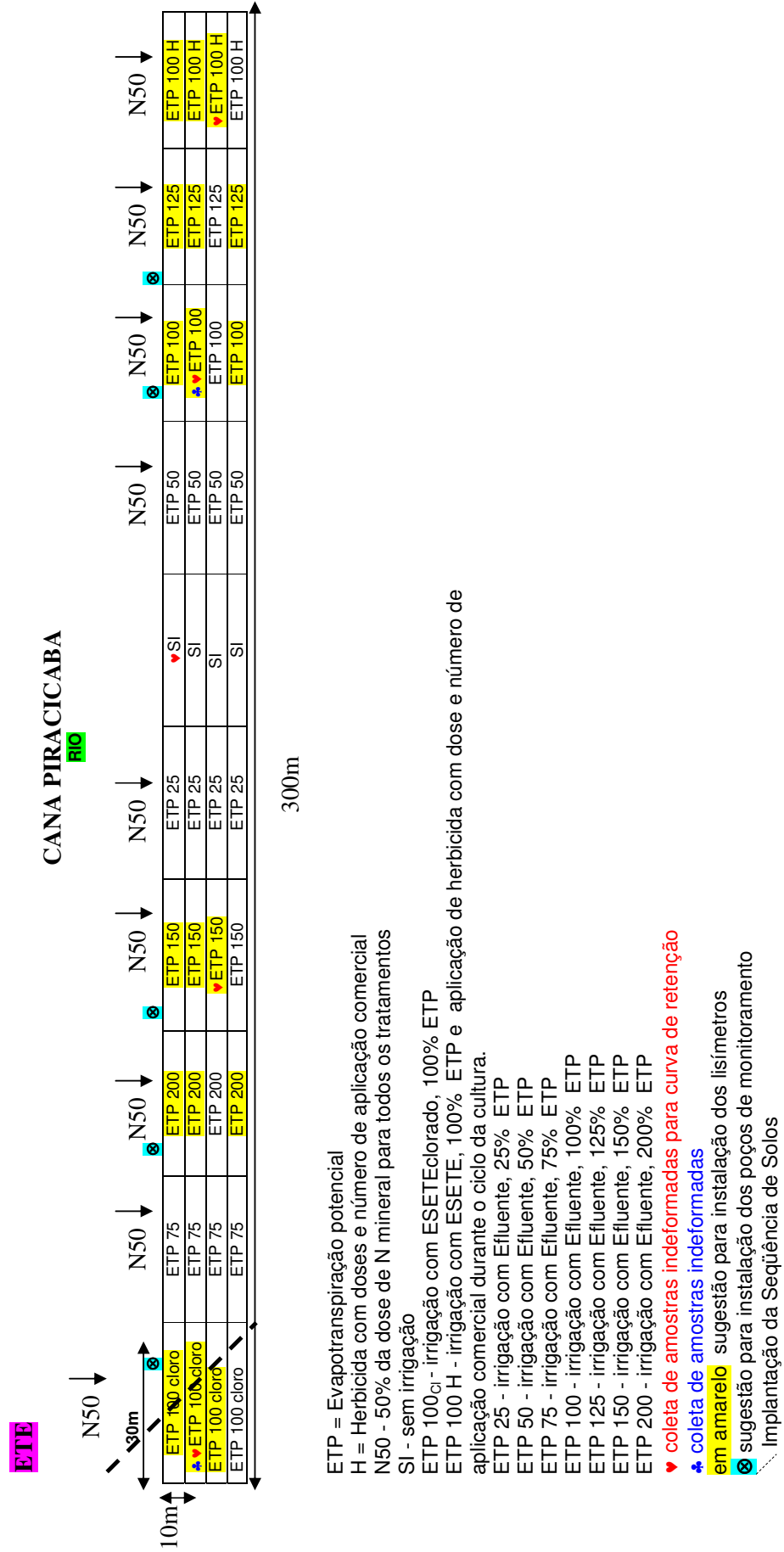


Figura 56 - Croqui do experimento com cana-de-açúcar, indicando a distribuição dos tratamentos nas parcelas experimentais e a implantação da sequência de solos.

7.2 Interações entre solo e manejo atual

A possibilidade de comparação, entre os perfis sob a ação do manejo atual com o perfil sob a mata, permitiu verificar que prevalece na área estudada, na seqüência de solos e nas parcelas da área experimental, algumas interações adubação/solo/vinhaça, que afetam e afetarão o comportamento físico-químico das argilas, a química das bases e, por conseguinte, os parâmetros físico-químicos (pH, soma de bases, CTC) na superfície dos solos.

A adubação, a calagem, e o uso da vinhaça e da torta de filtro exercem, de fato, importantes interações com os solos. O aumento do teor de bases, principalmente cálcio, é fortemente notado nos horizontes superficiais dos perfis sob manejo. Esse aumento modificou, de imediato, o pH, a soma de bases e a saturação, provocando incremento desses parâmetros e relativo decréscimo de $H + Al$. Da mesma maneira, o manejo atual é responsável pelo incremento de enxofre e fósforo nos horizontes superficiais dos perfis, uma vez que em Tr2, os teores desses elementos são menores. O sódio, incorporado com a vinhaça, responde pela dispersividade das argilas em superfície, enquanto o uso de maquinário pesado potencializa essa dispersão.

O efluente de esgoto a ser incorporado nos solos, aliado à presença de cálcio, vindo da calagem, a adubação e a colocação de vinhaça poderão potencializar, ainda mais, os efeitos ligados à dispersividade das argilas; afetar a dinâmica química dos solos e influenciar sobre o teor de matéria orgânica. Podem, de outra maneira, favorecer a imobilização de alguns oligoelementos. Não há indícios de que os oligoelementos sejam fornecidos pelo manejo atual, uma vez que, globalmente, estão presentes em maior quantidade no perfil Tr2, localizado na mata. O sódio, pelas suas toxicidade e facilidade de solubilização, pode constituir o principal problema para a utilização do efluente. Deve-se atentar, também, para as concentrações de cálcio e magnésio prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, quando em excesso.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do esgoto (efluente de esgoto tratado) na irrigação surge como alternativa para a não deposição de rejeitos nos cursos de água. No entanto, efluentes de esgoto tratado apresentam características que podem prejudicar os solos e os recursos hídricos, alterando-lhes a dinâmica e a evolução. Os resultados das análises realizadas, neste trabalho, permitiram comprovar que a área experimental já foi e é, intensivamente, utilizada para o cultivo da cana-de-açúcar e apresenta alterações na fertilidade do solo. A irrigação com o efluente, por suas características, pode acarretar mudanças a essa cobertura pedológica, principalmente, em relação à sua dinâmica. A maior atenção deve ser dada à quantidade de sódio – devido à sua procedência – presente no efluente. Neste caso, os efeitos do sódio sobre os solos serão maléficos, podendo prejudicar o desenvolvimento e o suporte das plantas. No entanto, há quantidades significativas de cálcio no efluente. Como cálcio é mais fortemente retido pelas argilas, supõe-se que ocupará os sítios de troca das argilas, não cedendo lugar ao sódio que, por sua vez, permanecerá na solução do solo e poderá percolar para maiores profundidades, atingindo as águas dos lençóis e dos rios, causando o processo de salinização. Entretanto, o efluente também apresenta elementos essenciais às plantas como fósforo e nitrogênio, podendo substituir fertilizantes artificiais e adubação.

Desse modo, a irrigação com o efluente de esgoto sobre os solos deve ser monitorada rotineiramente, procurando-se analisar a real necessidade de utilizá-lo, em substituição aos fertilizantes artificiais. Além disso, o monitoramento é essencial para avaliar a possibilidade de mudança na dinâmica desses solos.

O manejo, entretanto, possibilita verificar que há uma mudança no funcionamento dos solos, em superfície, principalmente quanto à fertilidade e à dispersividade da argila. No curto prazo, porém, não é possível dizer que tais mudanças estão levando a transformações profundas no tipo de alteração e pedogênese dos solos.

As análises micromorfológicas dão conta de uma discordância representada pelos nódulos ferruginosos; possivelmente, herança de alteração e pedogênese em ambiente mais seco? Embora os nódulos marquem essa discordância a alteração e pedogênese é até o presente laterítica. Uma frente de ferruginização provoca a diferenciação dos fundos matriciais em ambiente oxidante, enquanto na base dos perfis estes fundos matriciais estão sendo hidromorfizados.

9 REFERÊNCIAS

ABU-SHARAR, T.M. Effects of sewage sludge treatments on aggregate slaking, clay dispersion and hydraulic conductivity of a semi-arid soil sample. **Geoderma**, v. 59, p. 327-343, 1993.

ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 29, p. 923-934, 2005.

AMARAL, S.E. Geologia e Petrologia da Formação Irati (Permiano) no Estado de São Paulo. **Boletim do Instituto de Geociências e Astronomia**. Universidade de São Paulo, USP: São Paulo, v.2, p. 3-82, 1967.

ANGÉLICO, J.C. Desempenho da co-krigagem na variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.30, p. 931 – 936, 2006.

ANJOS L.H.C.; PEREIRA, M.G.; RAMOS, D.P. Matéria Orgânica e Pedogênese. In: CAMARGO, F.A.O. (Org). **FUNDAMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Millenium, 1999. p. 91 – 115.

BALKS, M.R.; BOND, W.J.; SMITH, C.J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. **Australian Journal of Soil Research**, v. 36, p.821-830, 1998.

BITZER, C. e SIMS, J.T. Estimating the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and field studies. **Journal Environment Quality**, v.17, p. 47-54, 1988.

BOND, W.J. Effluent irrigation –an environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p. 543-555, 1998.

BOULET, R. et al. Analyse structurel et cartographie en pédologie: les études de toposséquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cah. ORSTOM**, sér. Pedol., XIX, p 309-321, 1982a.

BOULET, R.; HUMBEL, F.X.; LUCAS, Y. Analyse structurel et cartographie en pédologie: II Une méthode d'analyse prenant en compte de l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cah. ORSTOM**, sér. Pedol., XIX, p 323-339, 1982b.

BOUWER, H. e CHANEY, R.L. Land Treatment of wastewater. **Advances in Agronomy**, v.26, p. 133-176, 1974.

BOYER, J. **Propriedades dos solos e Fertilidade**. Trad.: Célia Peixoto Motti e Pascal Motti. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 1971. 196p.

BRADY, N.C. **The nature and properties of soils**. 8ªEd. New York: Macmillan, 1974. 639p.

BREWER, R. **Fabric and minerals of soils**. New York: John Wiley e Sons, 1964, 482p.

BULLOCK, P.et.al. **Handbook for soil thin section description**. Waine research Publications, 1985, 151p.

BUOL, S.W. et.al. **Soil Genesis and Classification**. 4ªEd. Iowa: Iowa State University Press, 1997.

BRITO, F.L.; ROLIM, M.M. Comportamento do efluente e do solo fertirrigado com vinhaça. **Agropecuária Técnica**, v. 26, n.1, p. 60 – 67, 2005.

CAMARGO, E.C.G.; FUCKS, S.D.; CÂMARA, G. **A análise espacial de superfícies**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2002. 38p.

CAMARGO, O. A. de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Secretária de Agricultura e Abastecimento. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. (Boletim Técnico, nº 106).

CAMERON, K.C. et.al. Lysimeter study of the fate of nutrients following subsurface injection and surface application of dairy pond sludge to pasture. **Agriculture Ecosystem Environment**, v.58, p. 187-197, 1996.

CAMERON, K.C.; DI, H.J.; McLAREN, R.G. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p. 995-1035, 1997.

CHEWORTH, W. Weathering systems. In: **WEATHERING, SOILS & PALEOSOLS**. 2 Edição. Canadá: Elsevier Science, 1992. p. 19-40.

COELHO, F.S. **Fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 2ª. Ed, 1973.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Disponível em: www.mma.gov.br/conama. Acesso em: 14 dez 2006.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Áreas Naturais do Estado de São Paulo**, São Paulo, 1985.

CURI, N. (Coord.). **Vocabulário de Ciência do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

DAWES, L.; GOONETILLEKE, A. Using undisturbed columns to predict long term behaviour of effluent irrigated soils under field conditions. **Australian Journal of Soil Research**, v. 44, p. 661 – 676, 2006.

DEMATTE, J.L.I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos**. Região Amazônica. Fundação Cargill, Campinas, 1988.

DUCHAUFOR, P. **Abrégé de pédologie**: Sol, vegetation, environnement. 5 Ed. Paris: Masson, 1997.

ELLIS, S.; MELLOR, A. **Soil and environment**. Routledge, 1995.

ENDO, T. et.al. Sodium-calcium exchange selectivity as influenced by clay minerals and composition. **Soil Science**, v. 167, p. 117-125, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análises de Solo**. 2 Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 2006.

FALCONI, S. **Produção de material didático para o ensino de solos nas séries iniciais do ensino fundamental**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

FANNING, D.; FANNING, N. **Soil, Morphology Genesis and Classification**. Londres, John Wiley, 1989.

FEIGIN, A. et.al. The Nitrogen Factor in the Management of Effluent-Irrigated Soils. **Soil Science**, v. 125, n°4, p. 248-254, 1977.

FONSECA, A.F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

GONÇALVES, R.A.B. et.al. Hydraulic conductivity of a soil irrigated with treated sewage effluent. **Geoderma**, v. 139, p. 241-248, 2007.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Folha Fazenda Taquaral. Escala 1:10.000**. Coordenadoria de Ação Regional. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, 1978.

HALLIWELL, D.J.; BARLOW, K.M.; NASH, D.M. A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation system. **Australian Journal of Soil Research**, v.39, p. 1259-1267, 2001.

HENG, L.K.; TILLMAN, R.W.; WHITE, R.E. Anion and cation leaching through large undisturbed soil cores under different flow regimes. **Australian Journal of Soil Research**, v.37, p. 711 - 726, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta Topográfica de Capivari**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 1 mapa. Escala 1:50.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981a. Escala 1:500.000

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981b. Escala 1:1.000.000.

JACKSON, M.L. **Soil Chemical Analysis – Advanced Course**. Publicado pelo autor, Departamento de Ciência do Solo, Universidade de Wisconsin, 5ª. Ed., 1956.

JENNY, H. **Factors of Soil Formation**. McGraw-Hill, New York, 1941.

JOHNSON, D.L.; WATSON-STENGER. Evolution model of pedogenesis. **Soil Science**, v.143, n° 5, p. 349 – 366, 1987.

LEPSCH, I. **Formação e Conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

MBAGWU, J.C.S.; PICCOLO, A. Carbon, nitrogen and phosphorus concentrations in aggregates of organic waste-amended soils. **Biological Wastes**, v.31, p. 97-111, 1990.

MELFI, A.J.; PEDRO, G. Estudo Geoquímico dos Solos e Formações Superficiais do Brasil. Parte I: Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, v.7, p. 271 - 285, 1977.

MELLO, F.A.F. et.al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983.

MENNER, J.C.; McLAY, C.D.A.; LEE, R. Effects of sodium contaminated wastewater on soil permeability of two New Zealand soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 39, p. 877-891, 2001.

MONIZ, A.C. Evolução de conceitos no estudo da gênese de solos. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Campinas, v.20, p. 349-362, 1996.

NARDIN, R.R. **Torta de Filtro aplicada em Argissolo e seus efeitos agrônômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas**. 2007. 51f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produção Agrícola) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.

OLIVEIRA, J.B. Solos da Folha Piracicaba. **Boletim Científico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, n° 48, 1999.

OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. **Carta pedológica Semi-detalhada do Estado de São Paulo. Folha de Piracicaba, Quadrícula Piracicaba**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1989. Escala 1:100.000. Acompanha legenda expandida.

PENATTI, C.P. Vinhaça: Efeitos no Solo e na Planta. In: IX Workshop - Vinhaça, 2007, Jaboticabal. Disponível em: www.apta.sp.gov.br/cana/workshops

PICCOLO, A.; MBAGWU, J.S.C. Effect of humic substances and surfactants on the stability of soil aggregates. **Soil Science**, v. 147, p. 47-54, 1989.

PRADA, S.M.; GUEKEZIAN, M.; SUÁREZ-IHA, M.E.V. Metodologia Analítica para determinação de sulfato em vinhoto. **Química Nova**, v.21, n.3, p. 249-252, 1998.

RAIJ. B. van, et.al. **Análise química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001, 285p.

RODRIGUES, R.R. A Vegetação de Piracicaba e Municípios do Entorno. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, IPEF**. Circular Técnica, n°189, 1999.

SANTOS, R.D. et.al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 5ª. Ed., 2005.

SCHAEFER, C.E.R. et.al. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n°5, p. 669-678, 2002.

SIMONSON, R.W. Concept of soil. **Advances in Agronomy**, v. 20, p. 1 – 47, 1968.

SMITH, S.R. Effects of Sewage Sludge application on Soil Microbial Processes and Soil Fertility. **Advances in Soil Science**, v. 16, p.191-209, 1991.

SPARLING, G.P. et.al. Nutrient leaching and changes in soil characteristics of four contrasting soils irrigated with secondary-treated municipal wastewater for four years. **Australian Journal of Soil Research**, v. 44, p. 107-116, 2006.

STADELMANN, F.X.; FURRER, O.J. Long-term effects of sewage sludge and pig slurry applications on micro-biological and chemical soil properties in field experiments. In: **Long Term Effects of Sewage Sludge and Farm Slurries Applications**. London: Elsevier, 1985.

TISDALE, S.L. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan, 1985.

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B.; MELFI, A.J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W. et.al. (Orgs.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p.568.

TROPMAIR, H. A Cobertura Vegetal Primitiva do Estado de São Paulo. **Biogeografia**, v.1, p. 1-10, 1969.

VALERIANO, M.M.; PICINI, A.G.; MELLO, M.H.A. Estratificação de efeitos anisotrópicos do relevo na geração de mapas pluviométricos por geoprocessamento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n.1, p. 167-177, 2002.

VALERIANO, M.M.; CARVALHO JUNIOR, O.A. Geoprocessamento de Modelos Digitais de Elevação para Mapeamento da Curvatura Horizontal em Microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 4, n. 1, p. 17-29, 2003.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hiegardia**, Berkeley, v. 51, n 3, 1-75, 1983.

WISCHIMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning**. Washington: U.S. Departament of Agriculture, 1978. (Agriculture Handbook n°537)

ZIMBACK, C.R.L. Geoestatística. **Grupo de Estudos e pesquisas agrárias georreferenciadas**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, p. 1-25, 2003.

10 ANEXOS

10.1 Anexo A – Descrições de Campo

DESCRIÇÃO DOS PERFIS E SONDAGENS

Descrição Geral

PERFIL: TR1

DATA: 24/10/2006

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Vermelho-amarelo eutrófico típico.

LOCALIZAÇÃO: Município de Piracicaba, Estado de São Paulo, Fazenda Taquaral, situado próximo a estrada de terra que dá acesso a Estação de Tratamento CECAP.

A trincheira localiza-se a 30 metros da estação CECAP.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Perfil descrito em trincheira, localizado na meia encosta de um relevo suave ondulado, sob cultivo de cana-de-açúcar.

ALTITUDE: aproximadamente 600m.

LITOLOGIA: Siltitos, folhelhos da Formação Irati

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto do intemperismo dos siltitos, folhelhos da formação Corumbataí.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochosa

RELEVO LOCAL: plano a suave ondulado

RELEVO REGIONAL: Ondulado

EROSÃO: laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Tropical

USO ATUAL: Cana-de-açúcar

Descrição Morfológica

Ap 0-30 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); areno-argilosa; fraco pequena a média, grumosa, ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Bt1 30-70 cm, vermelho-escuro (2,5YR 4/6), muito argilosa, cerosidade fraca e pouca, moderada média a grande, prismática, que se desfaz em moderada, pequena, subangular, ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa, transição plana e clara.

Bt2 70-112 cm, vermelho-escuro (2,5YR 3/6) com volumes amarelo (10YR 7/6), muito argilosa, cerosidade moderada e comum, moderada média a grande, subangular, ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa, transição abrupta.

C 112-153+ cm, coloração variegada, úmida, composta de amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6), amarelo-brunado (10YR 6/8), cinzento (10YR 6/1), vermelho-escuro (2,5YR 3/6), rosado (5YR 6/2) muito argilosa, estrutura petrográfica.

RAÍZES: comuns finas e poucas médias, no horizonte A, AB, comuns finas no Bt1, raras em Bt2 e inexistentes no horizonte C.

Observações: presença de muitos poros pequenos e grandes tubulares e finos pelo perfil. De 10 a 80 cm presença de carvão e concreções de manganês. Areia lavada a partir de 30 cm. Presença de atividade biológica, formigas e cupins.

Coleta de amostras para análise micromorfológica nas profundidades: 142-132 cm; 115-105 cm; 90-80 cm; 75-65 cm; 65-55 cm; 36-26 cm.

Descrição Geral

PERFIL: TR2

DATA: 24/10/2006

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Amarelo Distrófico típico.

LOCALIZAÇÃO: Município de Piracicaba, Estado de São Paulo, Fazenda Taquaral, situado próximo ao córrego Taquaral, ao lado da Estação de Tratamento CECAP.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Perfil descrito em trincheira, localizado ao final de encosta de um relevo suave ondulado, sob vegetação secundária

ALTITUDE: aproximadamente 600m.

LITOLOGIA: Siltitos, folhelhos da Formação Irati

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto do intemperismo dos siltitos, folhelhos da formação Corumbataí.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochosa

RELEVO LOCAL: plano

RELEVO REGIONAL: Ondulado

EROSÃO: laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Tropical

USO ATUAL: Floresta Secundária

Descrição Morfológica

A 0 - 15cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4); areno-argilosa; fraco pequena a média, grumosa; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Bt1 15-62cm, bruno-escuro (10YR 3/4), areno-argilosa, cerosidade fraca e pouca, moderada média a grande, prismática, que se desfaz em moderada, pequena, subangular, ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa, transição abrupta.

Bt2 62-82cm, bruno avermelhado (5YR 4/3), muito argilosa, cerosidade fraca e pouca; moderada média a grande, angulares, ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa, transição gradual.

Btc3 82-100cm, bruno-avermelhado (5YR 4/3) e volumes cinza (10YR 6/1), muito argilosa cascalhenta; forte muito pequena angular entremeada com grande quantidade de calhaus e matacões; muito friável, plástica e pegajosa, transição plana e clara

C 100-135+cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4) e volumes bruno forte (7,5YR 5/8) e cinzento (10YR 6/1); muito argiloso; cerosidade moderada e abundante; moderado, média a grande, angular; ligeiramente dura, friável, muito plástica e muito pegajosa.

RAÍZES: abundantes finas e comuns médias, no horizonte A, Bt1, comuns finas no Bt2, raras em Btc3 e inexistentes no horizonte C.

Observações: Presença de porosidade tubular fina e existência de pedotúbulos e fissuras. Presença de concreções de manganês e óxidos de ferro. Por todo o perfil observa-se a presença de areia lavada e carvão nos primeiros 30cm. Presença de atividade biológica (formigas)

Coleta de amostras para análise micromorfológica nas profundidades: 119-109cm; 81-71cm; 69-59cm; 33-23cm; 20-10cm.

Descrição – Sondagens

Tradagem: P3

- | | |
|-----------|--|
| 0-40cm | bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); argiloso; presença de raízes finas e abundantes; quartzo limpo (areia lavada). |
| 40-120cm | vermelho-escuro (2,5YR 3/6); argiloso, presença de raízes finas e quartzo limpo; pequenos fragmentos de carvão. |
| 120-240cm | vermelho-escuro (2,5YR 3/6), volumes amarelo-brunado (10YR 6/8); argiloso; diminuição das raízes; quartzo limpo. |
| 240-440cm | bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4), volumes amarelo-brunado (10YR 6/8), vermelho-acinzentado (2,5YR 5/2); muito argiloso, presença de nódulos de manganês e quartzo limpo; ausência de raízes. |

440-700cm coloração variegada composta de bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4), amarelo-brunado (10YR 6/8), vermelho-acinzentado (2,5YR 5/2), cinzento (10YR 6/1) e rosado (5YR 7/4), argilo-siltosa; ausência de raízes.

Tradagem: P5

0-40cm bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); argiloso; presença de quartzos limpos e raízes finas a muito finas.

40-140cm vermelho-escuro (2,5YR 3/6); argiloso; presença de quartzos limpos e diminuição de raízes.

140-500cm presença de cor de fundo vermelho-escuro (2,5YR 3/6) e volumes amarelo-brunado (10YR 6/8), vermelho-acinzentado (2,5YR 5/2), cinzento (10YR 6/1) e rosado (5YR 7/4); argilo-siltosa; ausência de raízes.

Tradagem: P6

0-20cm bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); areno-argiloso; presença de raízes finas e quartzo limpo.

20-100cm vermelho-escuro (2,5YR 3/6); argiloso; diminuição das raízes.

100-360cm vermelho-escuro (2,5YR 3/6) com volumes amarelo-brunado (10YR 6/8), vermelho-acinzentado (2,5YR 5/2), cinzento (10YR 6/1) e rosado (5YR 7/4); argiloso; presença de quartzos limpos e ausência de raízes.

360-500cm coloração variegada composta por amarelo-brunado (10YR 6/8), vermelho-acinzentado (2,5YR 5/2), cinzento (10YR 6/1) e rosado (5YR 7/4); argiloso; estrutura petrográfica e presença de nódulos de manganês.

10.2 Anexo B – Descrição Técnica Micromorfológica

Quadro 1 - Descrição Técnica Micromorfológica

Horizontes – Perfil Tr1					
Atributo	Bt2 (132-142 cm)	Transição Bt2/Bt1 (105-115 cm)	Bt1 (80-90 cm)	Transição Bt1/A (55 – 65 cm)	A (26-36 cm)
Geral	Heterogênea, presença de duas zona	Heterogênea, presença de duas zona	Heterogênea, presença de duas zonas	Heterogênea: A) Zona mais densa (45%) e B) Zona mais porosa (55%)	Heterogênea: A) Zona mais porosa (50%) e B) Zona mais densa
Micro estrutura	A) Agregados granulares (tam. 0,05 – 0,5 mm); Pedalidade moderada; Parcialmente acomodados B) Agregados granulares (tam. 0,01 – 0,2 mm); pedalidade forte e parcialmente acomodados	A) Agregados granulares (tam. 0,05 – 0,5 mm); Pedalidade moderada a forte; Parcialmente acomodados B) Agregados granulares (tam. 0,01 – 0,3 mm) pedalidade moderada.	A) Agregados granulares (tam. 0,1 – 1,0 mm); Pedalidade moderada e não acomodados. B) Agregados granulares (tam. 0,01 – 0,5 mm); Pedalidade forte e moderadamente acomodados	A) Agregados subangulares (tam. 0,1 – 1 mm); pedalidade fraca; Não acomodados; B) Agregados subangulares (tam. 0,1 – 1 mm); pedalidade fraca e não acomodados.	A) Agregados granulares (tam. 0,01 – 1 mm), pedalidade fraca e não acomodados B) Agregados subangulares (tam. 0,1 – 1 mm), pedalidade fraca a moderada e não acomodados
Plasma	A) Bruno-avermelhado-escuro. Plasma: granoestriada e salpicada B) Vermelho. Plasma: granoestriada e salpicada em mosaico.	A) Bruno-avermelhado. Plasma: salpicada e granoestriada B) Vermelho. Plasma: salpicada em mosaico e granoestriada.	A) Bruno-avermelhado-escuro. Plasma: salpicada, granoestriada. B) Vermelho. Plasma: salpicada e salpicada em mosaico.	A) Bruno-avermelhado-escuro, com plasma salpicada, grão e poroestriada; B) Vermelho, com plasma salpicada e poroestriada.	A) Bruno-avermelhado-escuro. Plasma: salpicada, granoestriada. B) Vermelho. Plasma: salpicada, granoestriada.
Esqueleto	A) Quartzo subarredondado (tam. 0,1 – 0,8 mm), bem selecionado, com alteração do tipo irregular e grau I. B) Quartzo subarredondado (tam. 0,1 – 1 mm), bem selecionado com alteração do tipo irregular e grau I e II	A) Quartzo subarredondado (tam. 0,01 – 0,5 mm), bem selecionado, com alteração do tipo peculiar e irregular de grau I e II. B) Quartzo subarredondado (tam. 0,3 – 1 mm), bem selecionado com alteração do tipo irregular e grau I e II	A) Quartzo subarredondado, bem selecionado (tam. 0,05 – 0,7 mm), com alteração do tipo peculiar e linha cruzada de grau I. B) Quartzo subarredondado (tam. 0,2 – 1 mm), bem selecionado com alteração do tipo irregular de grau II.	A) Quartzo subarredondados e subangulares (tam. 0,01 – 0,6 mm), bem selecionado, com alteração do tipo peculiar de grau I, complexa de grau III e linear cruzada de grau IV. B) Quartzo subangulares (tam. 0,01 – 1 mm), bem selecionado, com alteração do tipo peculiar, cruzada e complexa de grau I e II.	A) Quartzo subarredondado e subangulares (tam. 0,1 – 1 mm), bem selecionado, com alteração do tipo linhas irregulares de grau I e cruzadas de grau I e II. B) Quartzo subangulares (tam. 0,1 – 1 mm), bem selecionado, com alteração do tipo linha cruzada e complexa de grau I.

Quadro 1 - Descrição Técnica Micromorfológica

Horizontes – Perfil Tr1					
Atributo	Bt2 (132-142 cm)	Transição Bt2/Bt1 (105-115 cm)	Bt1 (80-90 cm)	Transição Bt1/A (55 – 65 cm)	A (26-36 cm)
Poros	A) Entre-agregados: porosidade de empilhamento (35%), cavidades (30%), tam. 0,02 mm e canais (30%), tam. 0,02 – 0,04 mm). B) Entre-agregados: porosidade de canais (35%, tam. 0,1 – 1mm), câmaras (40%), tam. 0,5 – 0,8 mm) e de empilhamento (25%)	A) Entre-agregados: porosidade de empilhamento (20%), câmaras (30%, tam. 0,2 – 1mm), canais (40%), tam. 0,5 - > 1mm) e fissuras (10%, tam. 0,2 – 0,6 mm). B) Entre-agregados: porosidade de canais (35%, tam. 0,2 – 1mm), câmaras (40%), tam. 0,5 – 0,8 mm) e de empilhamento (25%)	A) Entre-agregados: porosidade de empilhamento (10%), cavidades (40%, tam. 0,3 – > 1mm), canais (30%, tam. 0,5 - > 1 mm) e fissuras (20%, tam. 0,2 – 1 mm). B) Entre-agregados: porosidade de canais (35%, tam. 0,1 - > 1mm), câmaras (45%, tam. 0,3 – 0,9 mm)	A) Entre-agregados: porosidade de empilhamento (10%); canais (35%, tam. 0,1 – 2mm), câmaras (35%, tam. 0,1 – 1,5mm), cavidades (10%, tam. 1mm) e fissuras (10%, tam. 0,1 – 1mm). B) Entre-agregados: porosidade de empilhamento (10%), canais (45%, tam. 0,1 – 2mm), Câmaras (35%, tam. 0,1 – 1mm) e Cavidades (10%, tam. 1mm).	A) Entre-agregados: porosidade de empilhamento (10%); cavidades (30%, tam. 0,5 – 1,5mm); câmaras (40%), tam. 0,1 - > 1mm) e canais (20%, tam. 0,1 – 1mm). B) Entre-agregados: porosidade de empilhamento (30%); câmaras (25%, tam. 0,5 – 1mm); canais (25%, tam. 0,5 – 1,5mm) e fissuras (20%, tam. 0,3 – 1mm, orientadas verticalmente).
Trama	A) Porfírica B) Porfírica	A) Porfírica B) Porfírica	A) Porfírica B) Porfírica	A) Porfírica B) Porfírica	A) Porfírica B) Porfírica
Feições	A e B) Cutãs de Separações Plásmicas por contração (10% da lâmina) de fábrica interna laminar paralela. - Nódulos típicos (tam. 0,01 – 0,1 mm), subarredondados, distribuídos de forma aleatória, com variabilidade fraca e raros (2%). - Deposições argilosas (ferri-argilã), não laminado	A e B) Cutãs de Separações Plásmicas por contração (10% da lâmina), de fábrica interna laminar paralela. - Nódulos: Típicos (tam. 0,01 – 1 mm), subarredondados, distribuídos de forma aleatória, com variabilidade fraca e muito pouco (5%). - Deposições argilosas (ferri-argilã), não laminado	A e B) Cutãs de Separações Plásmicas por contração (10% da lâmina), de fábrica interna laminar paralela. -Nódulos: típicos puro e fortemente impregnativo (tam. 0,1 – 1,5 mm), subarredondados, distribuídos de forma aleatória, com variabilidade fraca e muito pouco (5%). C) Cutãs de Separações plásmicas por contração (7% da zona), de fábrica interna laminar paralela. Nódulos: típicos puro e moderadamente impregnativos (tam. 0,1 - > 1mm).	A) Cutãs de Separações Plásmicas por contração (5% da zona), de fábrica interna laminar paralela. Nódulos: típicos de fábrica interna puro e fracamente impregnativos (tam. 0,1 – 1mm), com variabilidade fraca e raros. B) Cutãs de Separações Plásmicas por contração (5% da zona), de fábrica interna laminar paralela. Nódulos: típicos de fábrica interna puro e moderadamente impregnativos (tam. 0,1 – 0,8mm), raros e com variabilidade fraca.	A) Cutãs de Separações Plásmicas por contração (5% da zona), de fábrica interna laminar paralela. Nódulos: típicos de fábrica interna puro e fracamente impregnativos (tam. 0,1 – 1mm), com variabilidade fraca e raros. B) Cutãs de Separações Plásmicas por contração (5% da zona), de fábrica interna laminar paralela. Nódulos: típicos de fábrica interna puro e moderadamente impregnativos (tam. 0,1 – 0,8mm), raros e com variabilidade fraca.

Quadro 2 - Descrição Técnica Micromorfológica

Horizontes – Perfil Tr2				
Atributo	Bt2 (71- 81 cm)	Transição Bt2/Bt1 (59- 69 cm)	Bt1 (23 – 33 cm)	A (10- 20 cm)
Geral	Heterogênea: três zonas	Heterogênea: três zonas	Heterogênea: três zonas	Heterogênea: duas zonas
Microestrutura	A) Agregados granulares (tam. 0,1 – 0,8 mm); pedalidade forte e não acomodados B) Agregados granulares (tam. 0,2 – 0,5 mm); pedalidade forte e parcialmente acomodados C) Agregados granulares (tam. 0,1 – 0,4 mm), parcialmente acomodados	A) Agregados granulares (tam. 0,05 – 0,5 mm); pedalidade fraca e não acomodados. B) Agregados granulares (tam. 0,2 – 0,5 mm); pedalidade forte e parcialmente acomodados C) Agregados granulares (tam. 0,1 – 0,4 mm), parcialmente acomodados	A) Agregados granulares (tam. 0,1 – 0,7 mm); pedalidade fraca e não acomodados; B) Agregados granulares (tam. 0,1 – 0,3 mm); pedalidade forte e parcialmente acomodados C) Agregados granulares (tam. 0,1 – 0,4 mm), parcialmente acomodados	A) Agregados granulares (tam. 0,1 – 0,6mm), pedalidade fraca e não acomodados. B) Agregados granulares (tam. 0,2 – 0,5 mm); pedalidade forte e parcialmente acomodados
Plasma	A) Bruno-avermelhado-escuro. Plasma: granoestriada e salpicada. B) Vermelho. Plasma salpicada e granoestriada C) Amarelo-avermelhado. Plasma salpicada e poroestriada	A) Bruno-avermelhado-escuro. Plasma: granoestriada e salpicada. B) Vermelho. Plasma salpicada e granoestriada C) Amarelo-avermelhado. Plasma salpicada e poroestriada	A) Bruno-avermelhado-escuro. Plasma: granoestriada e salpicada. B) Vermelho. Plasma salpicada e granoestriada C) Amarelo-avermelhado. Plasma salpicada e poroestriada	A) Bruno-avermelhado-escuro. Plasma: granoestriada e salpicada. B) Vermelho. Plasma salpicada e granoestriada
Esqueleto	Em ambos: Quartzo subarredondado e subangular (tam. 0,05 – 0,5mm), bem selecionado, com alteração do tipo peculiar e linha cruzada de grau I.	Em ambos: Quartzo subarredondado subangular (tam. 0,1 – 1mm) , bem selecionado, com alteração do tipo peculiar de grau I e II e linha cruzada de grau I.	Em ambos: Quartzo subarredondados e subangulares (tam. 0,01 – 1 mm), bem selecionado, com alteração do tipo linha cruzada de grau I, II e III.	Em ambos: Quartzo subarredondado e subangulares (tam. 0,1 – 0,8mm), bem selecionado, com alteração do tipo linhas cruzadas de grau I e III.

Quadro 2 - Descrição Técnica Micromorfológica

Horizontes – Perfil Tr2				
Atributo	Bt2 (71- 81 cm)	Transição Bt2/Bt1 (59- 69 cm)	Bt1 (23 – 33 cm)	A (10- 20 cm)
Poros	Em ambos: Entre-agregados: porosidade de empilhamento (15%), cavidades (25%, tam. 0,1 – 1mm), canais (20%, tam. 0,1 – 0,5 mm), câmaras (25%, tam. 0,1 – 0,7mm) e fissuras (15%, tam. 0,1 – 0,5 mm).	Em ambos: Entre-agregados: porosidade de empilhamento (10%), câmaras (20%, tam. 0,3 – 1mm), canais (30%, tam. 0,2 – 1mm), cavidades (20%, tam. 0,1 – 0,5mm e fissuras (10%, tam. 0,2 – 0,6 mm).	Em ambos: Entre-agregados: porosidade de empilhamento (20%), cavidades (20%, tam. 0,1 – 0,6mm), canais (25%, tam. 0,1 – 1mm), câmaras (25%, tam. 0,3 – 1mm) e fissuras (10%, tam. 0,3 – 0,7 mm).	Em ambos: Entre-agregados: porosidade de empilhamento (20%); cavidades (20%, tam. 0,1 – 0,5mm); câmaras (20%, tam. 0,1 – 0,5mm), canais (20%, tam. 0,1 – 0,8mm) e fissuras (20%, tam. 0,1 – 0,5mm).
Trama	Porfírica	Porfírica	Porfiroenaúlica	A) Porfírica
Feições	Cutãs de Separações Plásmicas por contração (10% da lâmina) de fábrica interna laminar paralela. - Nódulos típicos puro e moderadamente impregnativos (tam. 0,01 – 0,9 mm), subarredondados e subangulares.	Cutãs de Separações Plásmicas por contração (5% da lâmina), de fábrica interna laminar paralela. - Nódulos: Típicos puro e moderadamente impregnativos (tam. 0,01 – 1 mm), subarredondados e subangulares.	Cutãs de Separações Plásmicas por contração (10% da lâmina), de fábrica interna laminar paralela. -Nódulos: típicos puro e moderadamente impregnativo (tam. 0,01 – 1 mm), subarredondados e subangulares, distribuídos de forma aleatória, com variabilidade fraca	Cutãs de Separações Plásmicas por contração (5% da lâmina), de fábrica interna laminar paralela. - Nódulos: típicos de fábrica interna puro (tam. 0,1 – 1mm), raros (2%) e com variabilidade fraca.

10.3 Anexo C - Resultado das Análises Químicas do Complexo Sortivo para a sequência de solos.

Tabela 1 – Resultado das Análises do Complexo sortivo para a sequência de solos.

Nom e	Prof.	pH	CaCl ₂	g/kg	S	P	B	Cu	Zn	Mn	Fe	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	CTC	V	PST*		
cm				mg/kg							mmol _e /kg											%	
Tr1	0-30	6,9	30	88	15	0,98	6,8	3,7	12,5	43	0,32	1,0	32	24	1	16	57,3	73,3	78,0	1,4			
Tr	30-50	6,2	20	60	5	0,85	6,6	1,1	29,0	55	1,14	1,4	26	21	1	25	49,5	74,5	66,0	1,9			
Tr1	50-70	4,3	10	95	1	0,94	3,3	0,0	17,8	37	0,78	2,0	14	15	6	17	48,9	65,9	74,0	3,0			
Tr1	70-112	4	10	95	1	0,94	1,8	0,0	8,3	32	0,68	2,4	4	5	14	52	12,1	64,1	19,0	3,7			
Tr1	112-153	3,8	10	66	1	0,8	1,8	0,0	8,3	32	0,63	3,0	0	4	28	70	7,6	77,6	10,0	3,8			
P3	10-20	4,9	20	39	5	0,77	9,5	2,3	68,2	158	0,3	0,2	5	5	1	40	10,5	50,5	21,0	0,4			
P3	40-60	4,1	10	55	1	0,94	9,4	0,4	41,1	160	0,9	0,5	4	3	6	42	8,4	50,4	17,0	1,0			
P3	80-100	3,8	10	26	1	0,94	4,3	0,0	27,3	55	0,5	0,6	2	2	24	45	5,1	50,1	10,0	1,2			
P3	200-220	3,8	10	8	1	1,24	1,4	0,3	16,8	31	0,8	2,8	0	0	22	50	3,6	53,6	7,0	5,2			
P3	260-280	3,8	0	6	2	1,1	0,8	0,3	3,3	13	0,7	0,4	1	2	34	52	4,1	56,1	7,0	0,7			
P3	320-340	3,9	0	7	2	1,1	0,6	0,6	2,7	13	0,8	0,2	0	0	24	52	1,0	53,0	2,0	0,4			
P3	440-460	3,8	0	14	1	1,1	0,5	1,1	2,3	8	0,7	0,2	0	0	33	55	0,9	55,9	2,0	0,35			
P3	540-560	3,7	0	6	1	1,1	0,5	2,4	6,8	11	0,6	0,2	0	0	45	55	0,8	55,8	1,0	0,35			
P3	680-700	3,7	0	8	1	1,1	1,5	13,3	43,3	32	0,7	0,4	0	0	38	58	1,1	59,1	2,0	0,7			

Fonte: Dados da Pesquisa

* PST – Percentual de sódio trocável

Tabela 1 – Resultado das Análises do Complexo sortivo para a seqüência de solos.

Nome	Prof. cm	pH	M.O. g/kg	S	P	B	mg/kg					Na	Ca	Mg	AI	H + AI	SB	CTC	V	PST
							Cu	Zn	Mn	Fe	K									
		CaCl ₂													mmolc/kg				%	
P5	0-20	5,8	20	28	7	1	8,3	2,6	62,6	125	0,4	0,4	27	20	1	31	47,8	78,8	61,0	0,5
P5	20-40	5	20	30	5	3	8,1	1,7	75,8	180	2,5	0,4	12	12	1	47	26,9	73,9	36,0	0,5
P5	40-60	4	10	88	1	2	5,3	0,0	95,0	66	0,8	0,7	4	3	11	52	8,5	58,5	15,0	0,01
P5	80-100	3,8	10	16	1	1	3,1	0,0	32,0	47	0,7	4,7	2	3	23	55	10,4	65,4	16,0	7,2
P5	260-280	3,6	0	15	1	1	1,8	0,7	18,5	24	0,7	0,5	0	2	43	61	3,2	64,2	5,0	0,8
P5	380-400	3,7	0	13	1	1	1,7	5,8	7,4	22	0,6	0,3	0	2	38	61	2,9	63,9	5,0	0,5
P5	440-460	3,6	0	10	1	1	1,3	1,4	5,1	19	0,5	0,3	0	1	40	64	1,8	65,8	3,0	0,5
P6	0-20	5,9	30	31	7	0,8	6,3	1,3	20,2	75	0,17	0,1	9	6	1	26	15,3	41,3	37,0	0,2
P6	20-40	4,2	20	73	1	1,09	5,1	0,1	57,2	56	0,83	0,4	1	3	5	31	5,2	36,2	14,0	1,1
P6	60-80	3,8	10	12	1	1,09	2,9	0,4	28,4	41	0,68	0,5	0	2	19	38	3,2	41,2	8,0	1,2
P6	140-160	3,9	10	7	1	0,8	0,8	0,0	5,1	14	0,89	0,4	0	3	22	38	4,3	42,3	10,0	0,9
P6	240-260	3,9	10	3	1	0,8	0,5	0,3	2,6	12	0,68	0,2	0	2	21	38	2,9	40,9	7,0	0,5
P6	320-340	3,9	10	8	1	0,64	0,6	0,5	3,6	15	0,83	2,8	0	2	21	47	5,6	52,6	10,1	5,3
P6	400-420	3,9	10	5	1	0,7	1,4	1,1	14,0	21	0,83	0,2	0	2	19	47	3,0	50,0	6,0	0,4
P6	440-460	3,9	10	10	1	0,94	1,0	2,0	9,0	21	0,78	0,1	0	2	21	68	2,9	70,9	4,0	0,1
Tr2	0-15	4,1	20	19	3	1,39	8,1	6,1	38,9	52	0,27	0,1	7	6	3	72	13,4	85,4	16,0	0,1
Tr2	15-62	4,1	20	12	2	1,03	11,1	8,6	81,2	57	0,89	1,9	6	4	3	72	12,8	84,8	15,0	2,2
Tr2	62-82	4,1	20	20	1	0,79	12,4	3,9	47,3	143	0,63	0,3	3	4	5	72	7,9	79,9	10,0	0,4
Tr2	100-135	4	10	10	1	0,64	1,5	0,2	8,3	18	0,68	0,2	0	8	9	80	8,9	88,9	10,0	0,2

Fonte: Dados da Pesquisa

* PST – Percentual de sódio trocável

10.4 Anexo D - Resultado das Análises Físicas para as parcelas da área experimental.

Tabela 2 - Valores das Frações Granulométricas, Argila Dispersa em Água, Grau de Dispersão e Grau de Floculação nas parcelas da área experimental.

Prof.	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Grossa (%)	ADA*	GF**	GD***
Parcela 1- ETP 100CI							
0-10 cm	42,5	26,0	25,0	6,5	13,9	67,4	32,6
10-20 cm	44,1	24,2	25,7	6,0	13,9	68,6	31,4
20-40 cm	47,0	25,0	21,8	6,2	10,8	77,0	23
40-60 cm	51,8	22,2	21,1	4,9	0,2	99,6	0,4
60-80 cm	52,4	21,0	21,3	5,3	0,04	99,9	0,1
80-100 cm	51,8	20,8	22,5	4,8	0,08	99,8	0,02
Parcela 2 - ETP 75							
0-10 cm	35,3	31,0	26,7	7,0	17,1	51,5	48,5
10-20 cm	36,7	31,0	26,9	5,4	19,1	48,0	52,0
20-40 cm	39,6	31,3	23,0	6,1	21,3	46,2	53,8
40-60 cm	45,5	31,6	18,6	4,4	2,94	93,5	6,5
60-80 cm	49,7	26,1	19,2	5,0	1,2	97,6	2,4
80-100 cm	56,4	24,2	15,5	3,9	0,4	99,3	0,07
Parcela 3 - ETP 200							
0-10 cm	41,0	28,3	23,9	6,8	17,1	58,2	41,8
10-20 cm	42,4	26,0	25,2	6,5	16,7	60,5	39,5
20-40 cm	47,1	29,0	23,4	5,5	13,3	71,7	28,3
40-60 cm	58,7	18,7	18,2	4,4	1,0	98,3	1,7
60-80 cm	58,0	20,1	17,5	4,4	0,04	99,9	0,1
80-100 cm	57,1	20,5	18,6	3,8	0,04	99,9	0,1
Parcela 4 - ETP 150							
0-10 cm	45,8	21,2	25,8	7,3	19,2	58	42
10-20 cm	42,0	24,8	26,5	6,7	17,2	59	41
20-40 cm	47,2	23,7	23,8	5,3	12,9	72,6	27,4
40-60 cm	52,6	20,1	21,8	5,5	0,02	99,7	0,3
60-80 cm	52,5	23,1	19,5	4,9	0,5	98,9	1,1
80-100 cm	55,1	20,3	19,7	4,9	0,06	99,9	0,01
Parcela 5 - ETP 25							
0-10 cm	36,5	35,4	22,2	5,9	20,4	44,0	56,0
10-20 cm	35,0	35,5	23,2	6,3	19,8	43,4	56,6
20-40 cm	41,1	34,6	19,6	4,7	22,0	46,3	53,7
40-60 cm	50,5	32,5	13,7	3,3	3,2	93,6	6,4
60-80 cm	46,7	39,1	12,2	2,0	0,3	99,3	0,7
80-100 cm	50,4	38,0	9,9	1,8	0,4	99,2	0,8
Parcela 6 - ETP SI							
0-10 cm	48,7	19,9	23,7	7,8	14,8	69,6	30,4
10-20 cm	49,0	20,4	22,9	7,7	15,2	69,0	31
20-40 cm	53,3	17,9	23,2	5,6	2,9	94,5	5,5
40-60 cm	54,5	17,5	21,9	6,0	0,04	99,9	0,1
60-80 cm	53,7	17,7	23,2	5,5	0,04	99,9	0,1
80-100 cm	53,9	17,2	22,6	6,3	0,02	100	0,0

Fonte: Dados da Pesquisa

*** Argila Dispersa em Água; ** Grau de Floculação; *** Grau de Dispersão**
Dados em Percentagem (%)

10.5 Anexo E - Resultado das Análises Químicas do Complexo Sortivo para as parcelas da área experimental.

Tabela 3 – Resultado das Análises Químicas do Complexo Sortivo para as parcelas da área experimental.

Identificação	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S.B.	C.T.C.	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/kg		mg/kg					mmolc/kg				%				mg/kg		
Parcela 1 - ETP 100																		
Cl																		
0 - 10 cm	28	5,7	9	3,3	43	24	0,2	<1	22	70,3	92,8	76	11	0,12	1,1	21	52,2	0,6
10 - 20 cm	28	5,6	8	2,9	40	26	0,2	<1	25	68,9	93,9	73	9	0,14	1,2	21	55,1	0,6
20 - 40 cm	24	5,4	2	1,4	27	17	0,2	<1	28	45,4	73,2	62	23	0,11	1	19	41,4	0,6
40 - 60 cm	17	5,2	<1	0,7	17	10	0,2	1	28	27,7	55,5	50	51	0,09	0,6	9	14,7	0,1
60 - 80 cm	16	5,1	<1	0,6	16	9	0,2	1	28	25,6	53,4	48	60	0,04	0,4	6	5,8	<0,1
80 - 100 cm	15	4,8	1	0,6	11	8	0,3	2	34	19,6	53,9	36	84	0,07	0,3	5	4,9	<0,1
Parcela 2 - ETP 75																		
0 - 10 cm	27	6	8	2,8	46	30	0,3	<1	18	78,8	97	81	9	0,12	0,9	20	39,3	0,4
10 - 20 cm	21	5	3	0,8	22	13	0,3	1	31	35,8	66,6	54	37	0,11	1,2	39	73,1	0,3
20 - 40 cm	23	5,8	5	2	40	26	0,3	<1	20	68	88,2	77	13	0,12	0,9	19	36,8	0,3
40 - 60 cm	20	5,4	1	1,3	27	18	0,4	1	25	46,3	71,3	65	25	0,09	0,8	15	25,8	0,2
60 - 80 cm	18	4,8	1	1	23	16	0,3	1	31	40	70,8	56	14	0,08	0,5	12	19,8	0,2
80 - 100 cm	13	4,5	<1	0,8	10	8	0,5	7	42	18,8	61,1	31	20	0,03	0,3	9	5,5	<0,1
Parcela 3 - ETP 200																		
0 - 10 cm	27	5,5	6	2	38	27	0,2	<1	25	67	92	73	17	0,11	1	21	52,7	0,4
10 - 20 cm	27	5,7	6	2,2	38	26	0,2	<1	22	66,2	88,7	75	12	0,09	1	18	48,6	0,4
20 - 40 cm	22	5,2	6	1	22	14	0,2	1	31	37	67,8	55	23	0,07	1	18	38,8	0,2
40 - 60 cm	18	5	<1	0,7	17	9	0,2	1	31	26,7	57,5	46	67	0,08	0,4	8	12,1	<0,1
60 - 80 cm	29	5,8	9	2,2	42	28	0,2	<1	22	72,2	94,7	76	10	0,12	1,1	20	60,6	0,6
80 - 100 cm	15	4,6	<1	0,7	10	6	0,2	3	38	16,7	54,8	30	30	0,01	0,3	6	5,8	<0,1

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 3 – Resultado das Análises Químicas do Complexo Sortivo para as parcelas da área experimental.

Identificação	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S.B.	C.T.C.	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/kg		mg/kg					mmolc/kg				%			mg/kg			
Parcela 4 - ETP 150																		
0 - 10 cm	16	4,9	<1	0,8	14	7	0,2	2	31	21,8	52,6	41	44	0,06	0,4	7	8,8	<0,1
10 - 20 cm	28	5,5	6	1,9	32	23	0,2	<1	25	56,9	81,9	69	17	0,14	1,1	21	59,1	0,4
20 - 40 cm	25	5,6	4	1,4	29	20	0,2	<1	25	50,4	75,4	67	17	0,12	1,1	20	57,4	0,3
40 - 60 cm	19	5,4	1	0,6	22	14	0,2	1	25	36,6	61,6	59	28	0,06	0,8	18	43,7	0,2
60 - 80 cm	16	5,1	<1	0,5	16	9	0,2	1	28	25,5	53,3	48	52	0,07	0,4	8	15	<0,1
80 - 100 cm	17	4,9	5	0,6	13	9	0,2	1	31	22,6	53,4	42	29	0,06	0,4	8	14,2	<0,1
Parcela 5 - ETP 25																		
0 - 10 cm	23	6	6	2,3	44	28	0,3	<1	18	74,3	92,5	80	14	0,1	0,9	18	22,6	0,4
10 - 20 cm	23	5,9	4	2,2	46	29	0,3	<1	18	77,2	95,4	81	13	0,09	0,9	19	22,5	0,3
20 - 40 cm	19	5,4	2	1,3	33	24	0,5	1	25	58,3	83,3	70	19	0,1	0,8	18	21,5	0,4
40 - 60 cm	15	4,6	<1	1	15	16	0,7	9	47	32	79	41	30	0,1	0,5	9	5,4	<0,1
60 - 80 cm	12	4,3	1	0,9	8	14	0,9	19	72	22,9	94,5	24	21	0,09	0,2	7	2,3	<0,1
80 - 100 cm	11	4,3	1	1,2	8	15	0,8	23	88	24,2	112,6	21	13	0,08	0,2	6	3,5	<0,1
Parcela 6 - ETP SI																		
0 - 10 cm	23	5,9	8	2,9	37	21	0,2	<1	20	60,9	81,1	75	20	0,12	0,9	13	33,7	0,6
10 - 20 cm	26	6,1	1	2,8	46	26	0,2	<1	18	74,8	93	80	14	0,11	1	13	34,6	0,7
20 - 40 cm	24	5,5	1	1,1	27	15	0,2	<1	25	43,1	68,1	63	33	0,1	0,8	12	27	0,3
40 - 60 cm	17	5,5	3	0,5	22	10	0,2	<1	25	32,5	57,5	57	50	0,04	0,4	6	5,9	<0,1
60 - 80 cm	17	5,2	1	0,4	16	8	0,2	1	25	24,4	49,4	49	46	0,05	0,3	5	4,8	<0,1
80 - 100 cm	16	4,9	<1	0,4	13	7	0,2	1	28	20,4	48,2	42	59	0,02	0,2	5	3,8	<0,1
Parcela 7 - ETP 50																		
0 - 10 cm	21	5,9	3	2,8	32	22	0,2	<1	20	56,8	77	74	45	0,1	0,6	8	17,4	0,1
10 - 20 cm	23	5,8	4	3,4	29	19	0,2	<1	22	51,4	73,9	70	42	0,11	0,6	7	17,5	0,2
20 - 40 cm	18	5,4	<1	1,4	20	11	0,2	<1	25	32,4	57,4	56	63	0,08	0,4	7	9,1	<0,1
40 - 60 cm	15	4,7	<1	0,8	12	6	0,2	2	38	18,8	56,9	33	80	0,09	0,3	6	5,6	<0,1
60 - 80 cm	15	4,6	<1	0,7	10	5	0,2	3	38	15,7	53,8	29	43	0,07	0,3	5	4,1	<0,1
80 - 100 cm	13	4,5	<1	0,5	7	3	0,2	4	38	10,5	48,6	22	46	0,05	0,2	4	2,2	<0,1

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 3 – Resultado das Análises Químicas do Complexo Sortivo para as parcelas da área experimental.

Identificação	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S.B.	C.T.C.	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/kg		mg/kg					mmolc/kg			%				mg/kg			
Parcela 8 - ETP 100																		
0 - 10 cm	26	5,8	16	3,5	39	25	0,2	<1	20	67,5	87,7	77	24	0,15	1,1	16	45,9	0,5
10 - 20 cm	27	5,8	15	2,9	38	24	0,2	<1	22	64,9	87,4	74	25	0,13	1,2	19	52	0,6
20 - 40 cm	25	5,6	12	1,8	36	23	0,2	<1	22	60,8	83,3	73	23	0,13	1,3	22	59,5	0,6
40 - 60 cm	21	5,1	2	0,9	21	13	0,2	1	31	34,9	65,7	53	48	0,13	1	21	51,3	0,2
60 - 80cm	19	4,9	1	0,6	16	10	0,3	1	31	26,6	57,4	46	46	0,1	1	28	64,6	0,2
80 - 100 cm	23	6	8	2,5	42	28	0,3	<1	18	72,5	90,7	80	8	0,09	0,7	14	29,2	0,2
Parcela 9 - ETP 125																		
0 - 10 cm	24	6,1	9	2,9	58	38	0,2	<1	18	98,9	117,1	84	24	0,1	1	12	33,5	0,4
10 - 20 cm	26	6,1	7	2,9	43	26	0,2	<1	18	71,9	90,1	80	24	0,09	1	12	32	0,3
20 - 40 cm	20	5,8	2	0,9	28	16	0,2	<1	20	44,9	65,1	69	28	0,03	0,8	11	24	0,2
40 - 60 cm	16	5,2	<1	0,4	17	7	0,2	1	28	24,4	52,2	47	46	0,05	0,5	8	8,9	<0,1
60 - 80 cm	15	5	<1	0,5	17	6	0,2	1	28	23,5	51,3	46	45	0,06	0,3	6	6,6	<0,1
80 - 100 cm	13	4,9	1	0,3	12	5	0,2	1	28	17,3	45,1	38	41	0,03	0,2	5	4,5	<0,1
Parcela 10 - ETP 100H																		
0 - 10 cm	28	5,9	<1	2,1	48	25	0,2	<1	20	75,1	95,3	79	15	0,11	1,1	19	44,3	1
10 - 20 cm	26	6	46	2	55	29	0,2	<1	20	86	106,2	81	14	0,11	1,1	17	40,4	1
20 - 40 cm	22	5,8	47	1,1	38	18	0,3	<1	22	57,1	79,6	72	35	0,05	0,9	15	33,2	0,4
40 - 60 cm	18	5,2	14	0,5	24	9	0,2	1	25	33,5	58,5	57	67	0,06	0,6	11	17,2	0,1
60 - 80 cm	15	5,2	1	0,3	19	5	0,2	1	25	24,3	49,3	49	85	0,05	0,3	6	5,5	<0,1
80 - 100 cm	15	5,2	<1	0,4	17	5	0,2	1	25	22,4	47,4	47	72	0,04	0,2	6	4,7	<0,1

Fonte: Dados da Pesquisa

10.6 Anexo F - Resultado das Análises Mineralógicas por meio de Difrátogramas de raios-X.

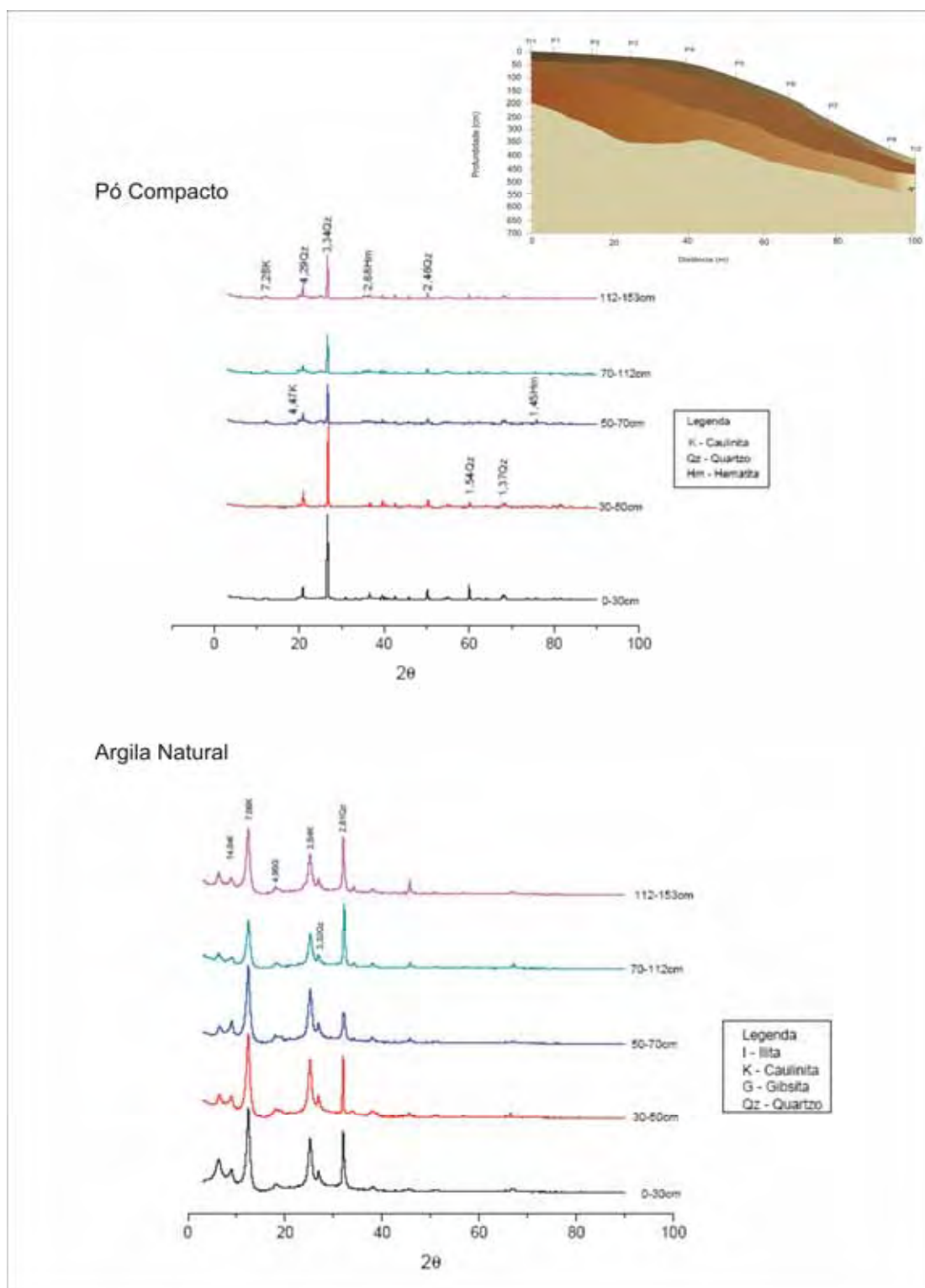


Figura 1 – Difrátogramas da Trincheira Tr1

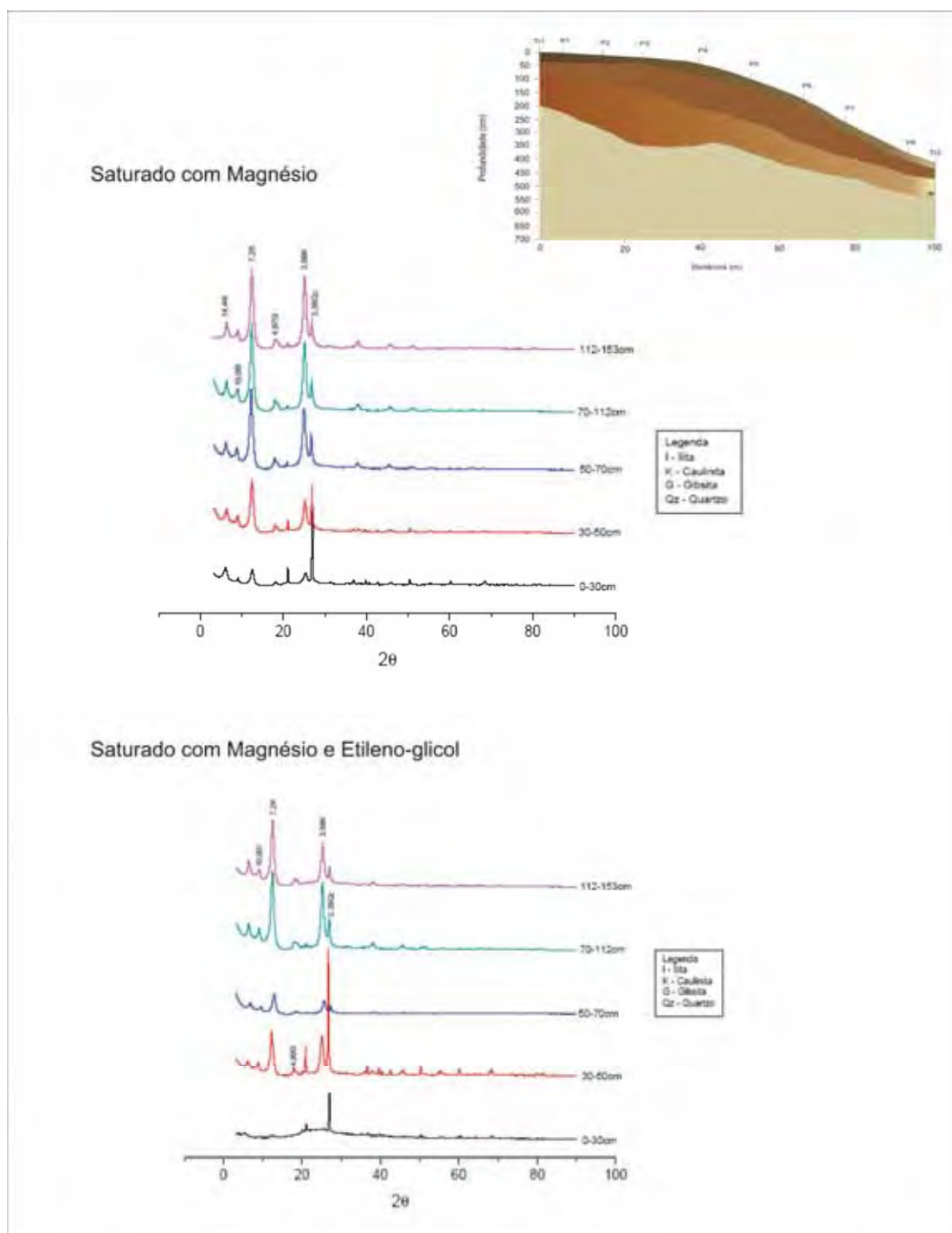


Figura 1 – Difractogramas da Trincheira Tr1

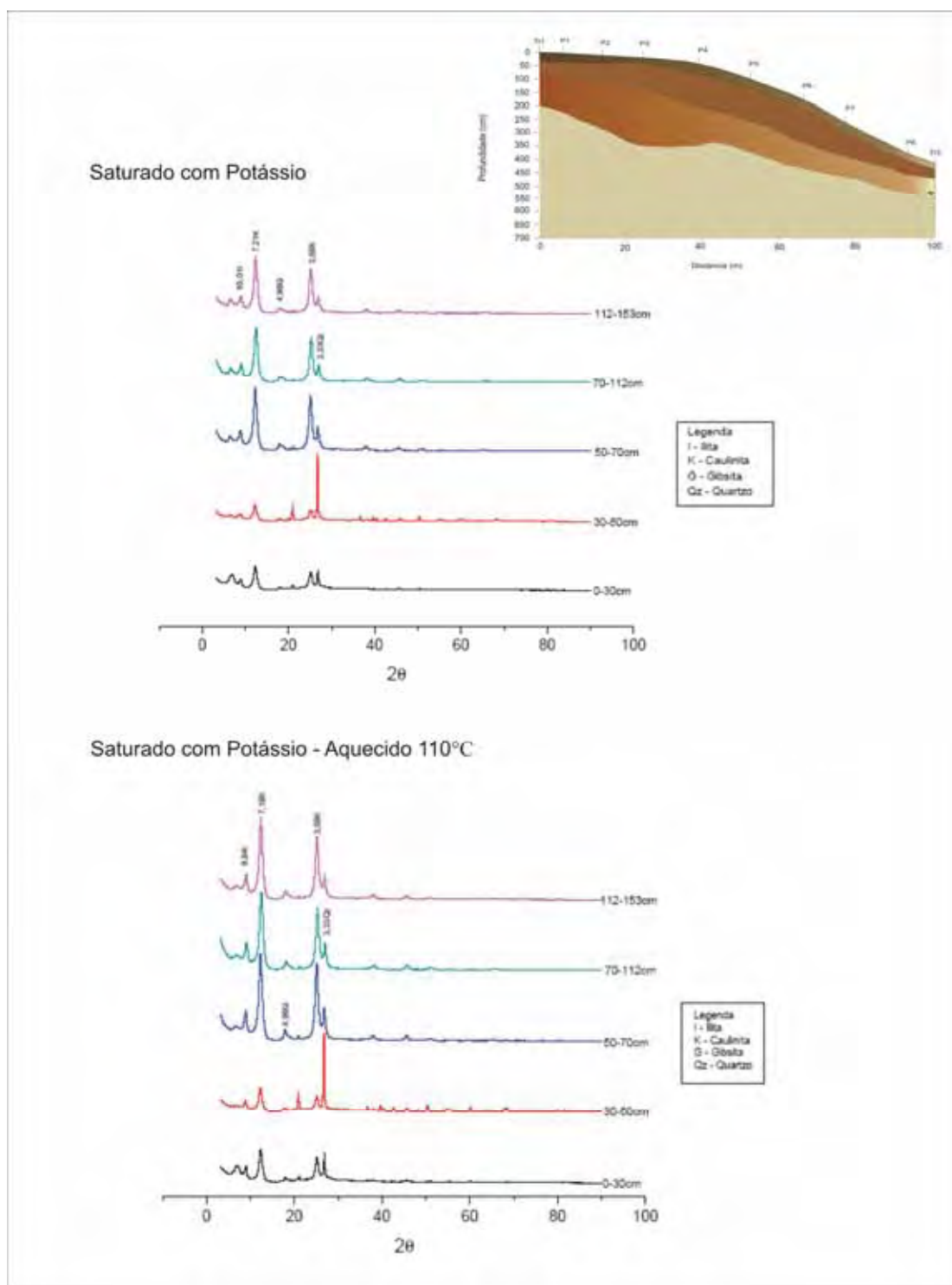


Figura 1 – Difrátogramas da Trincheira Tr1

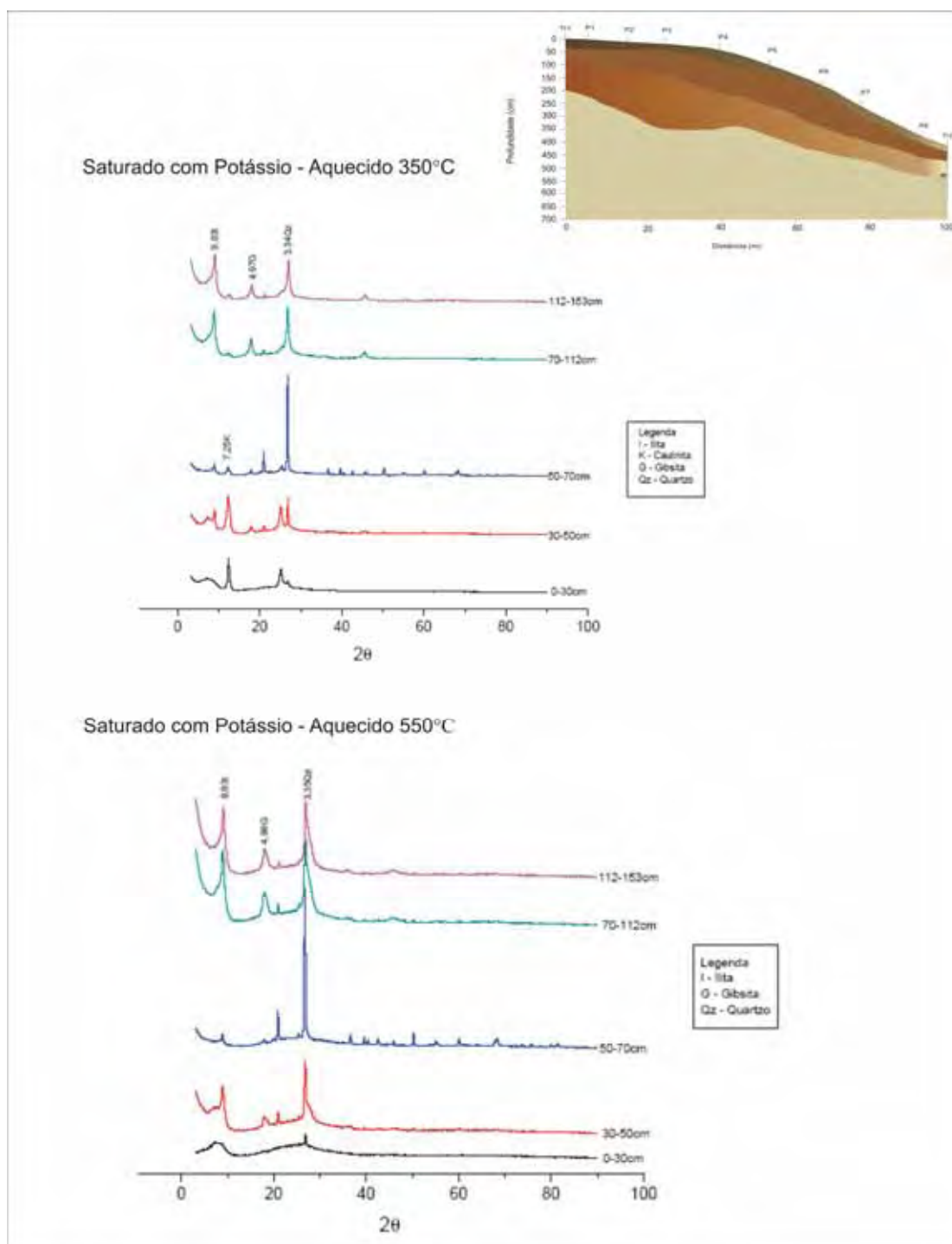


Figura 1 – Difratomogramas da Trincheira Tr1

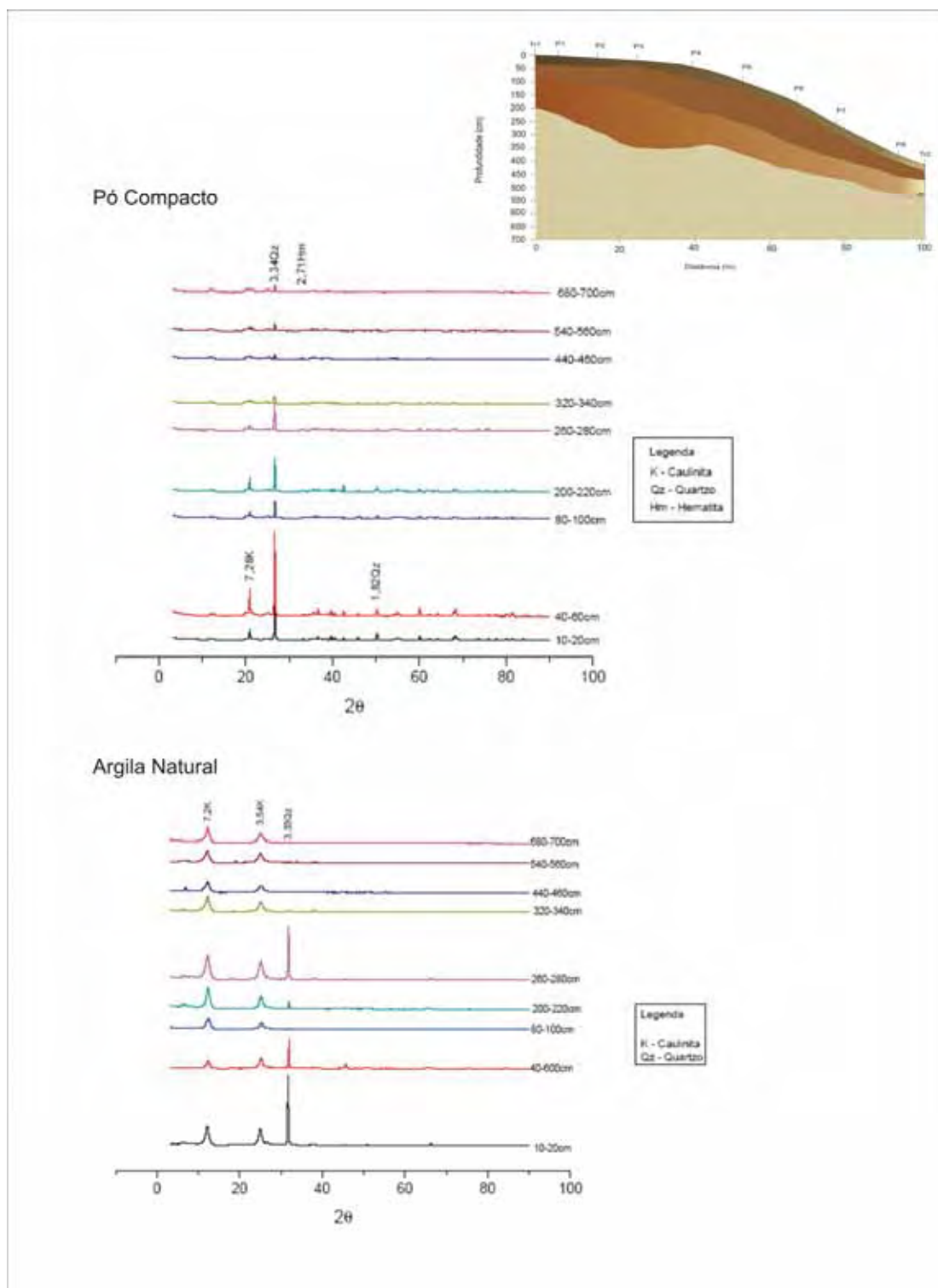


Figura 2 – Difrátogramas da Trincheira P3

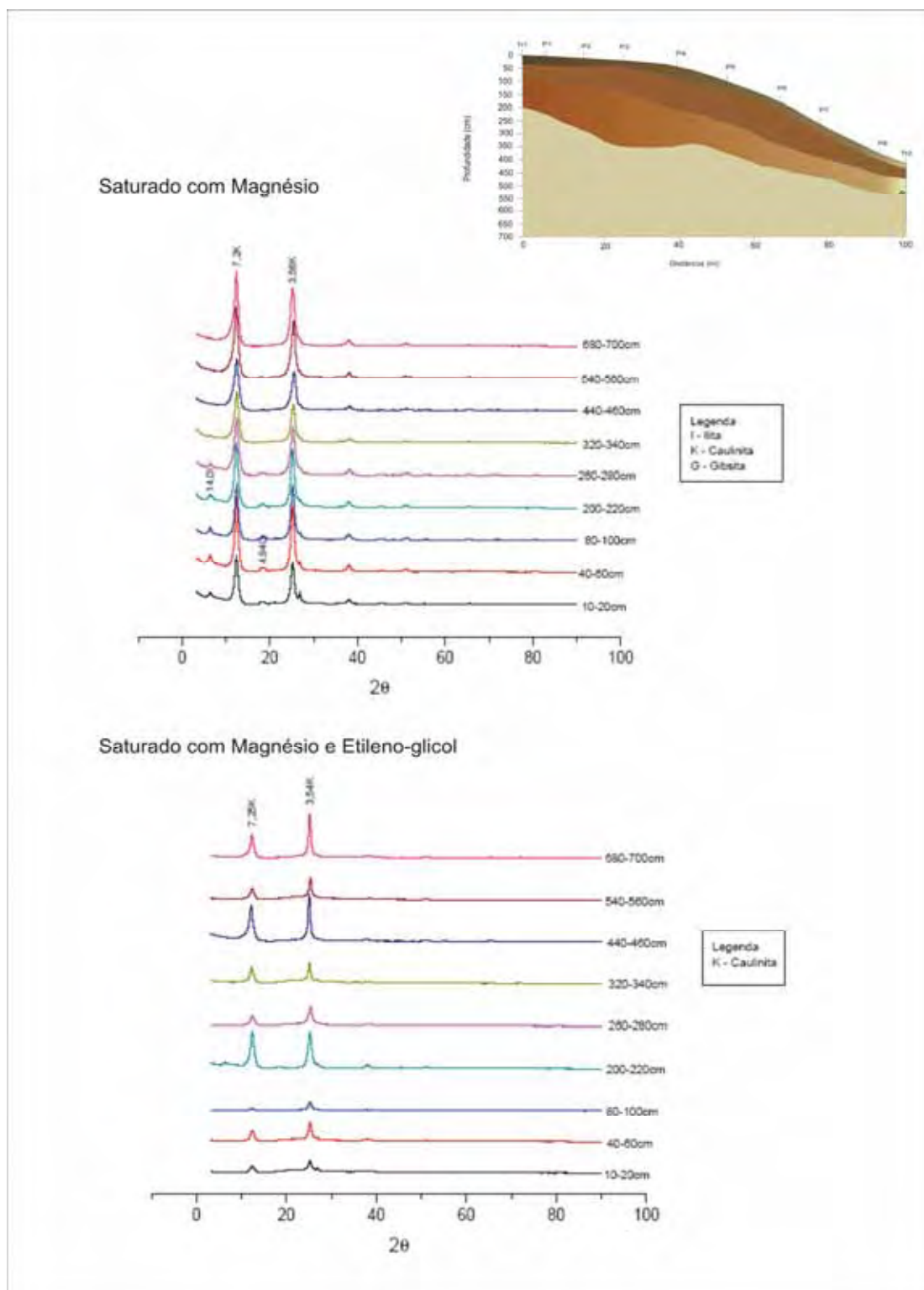


Figura 2 – Difrátogramas da Trincheira P3

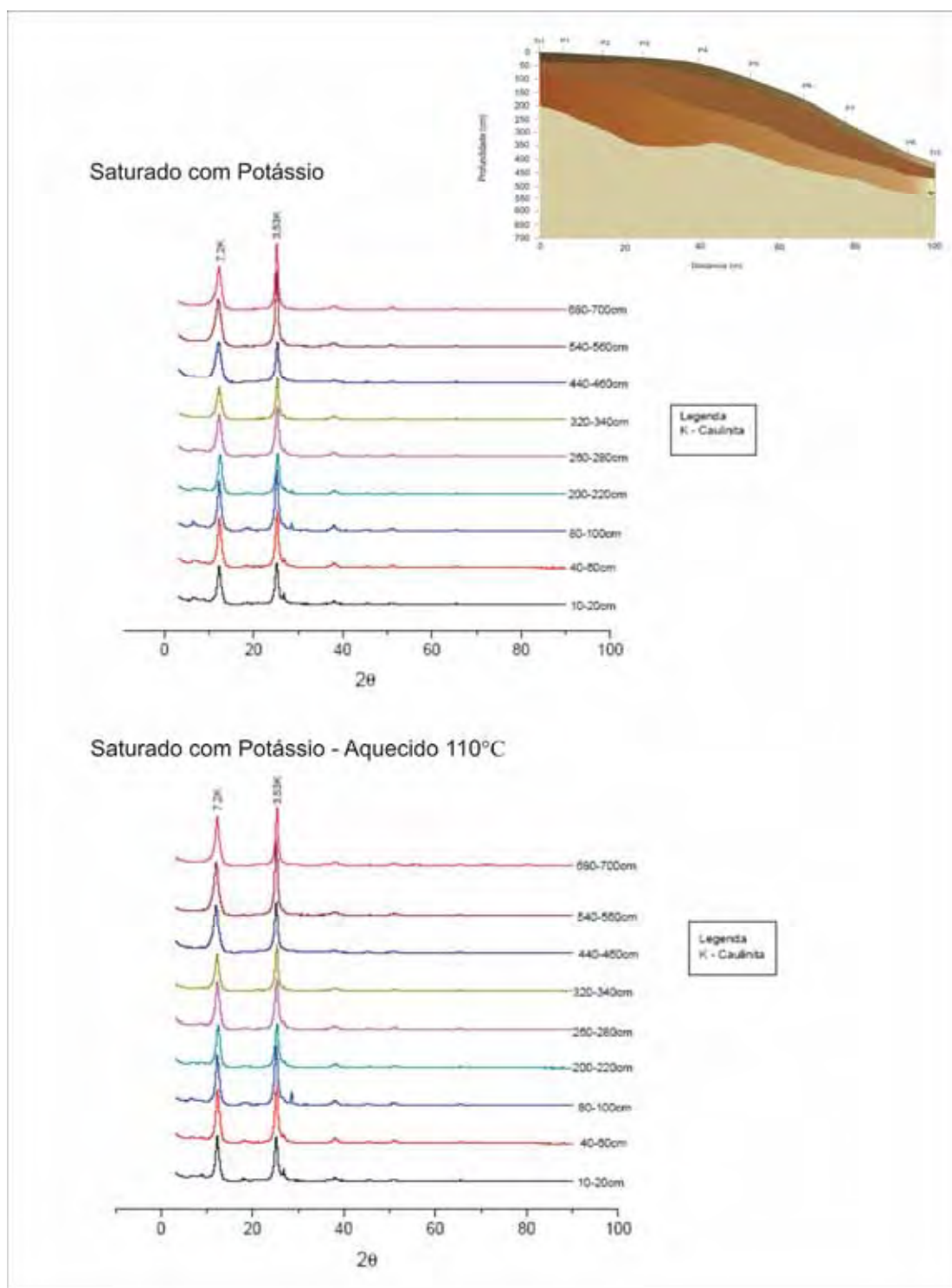


Figura 2 – Difratomogramas da Trincheira P3

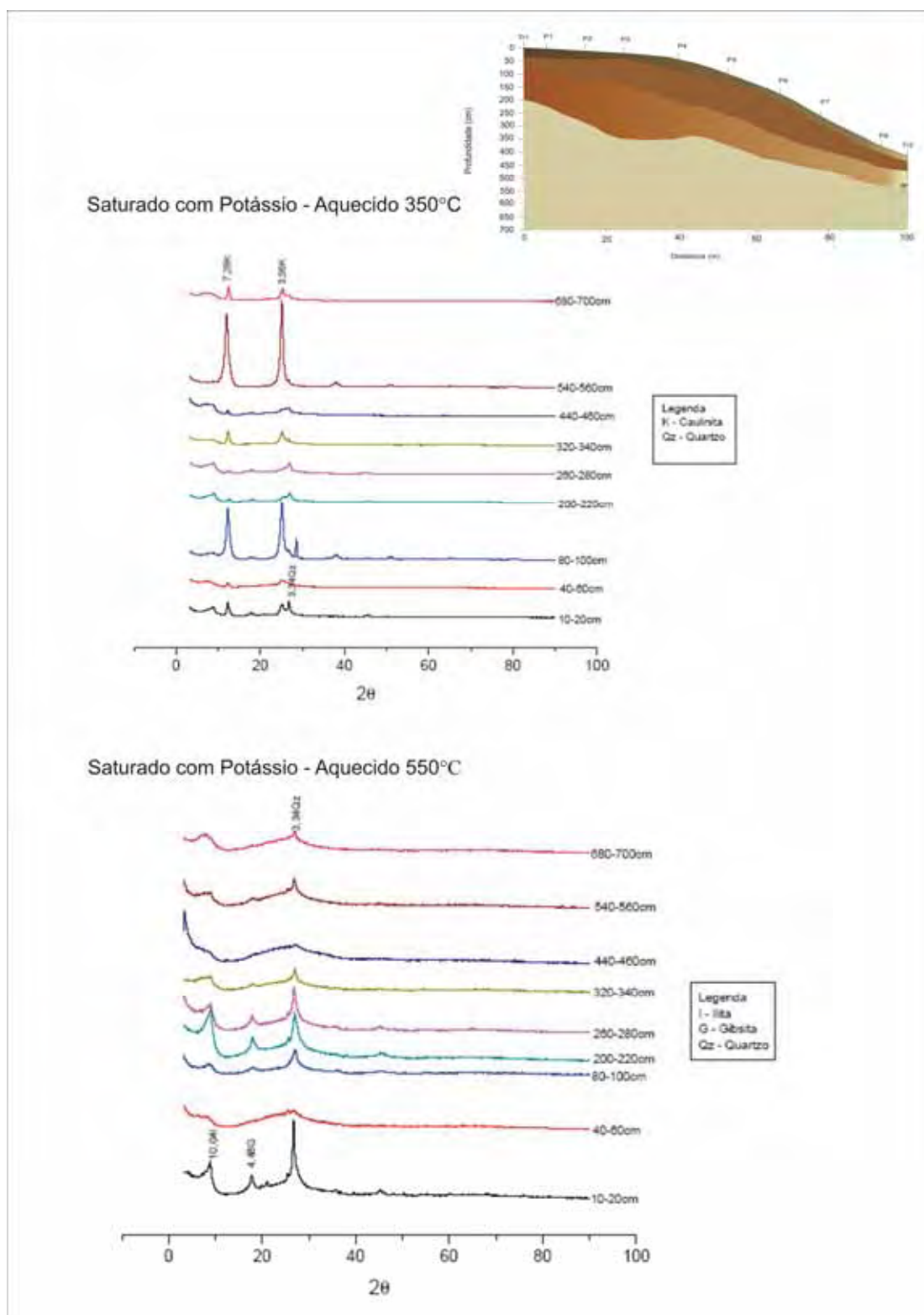


Figura 2 – Difratomogramas da Trincheira P3

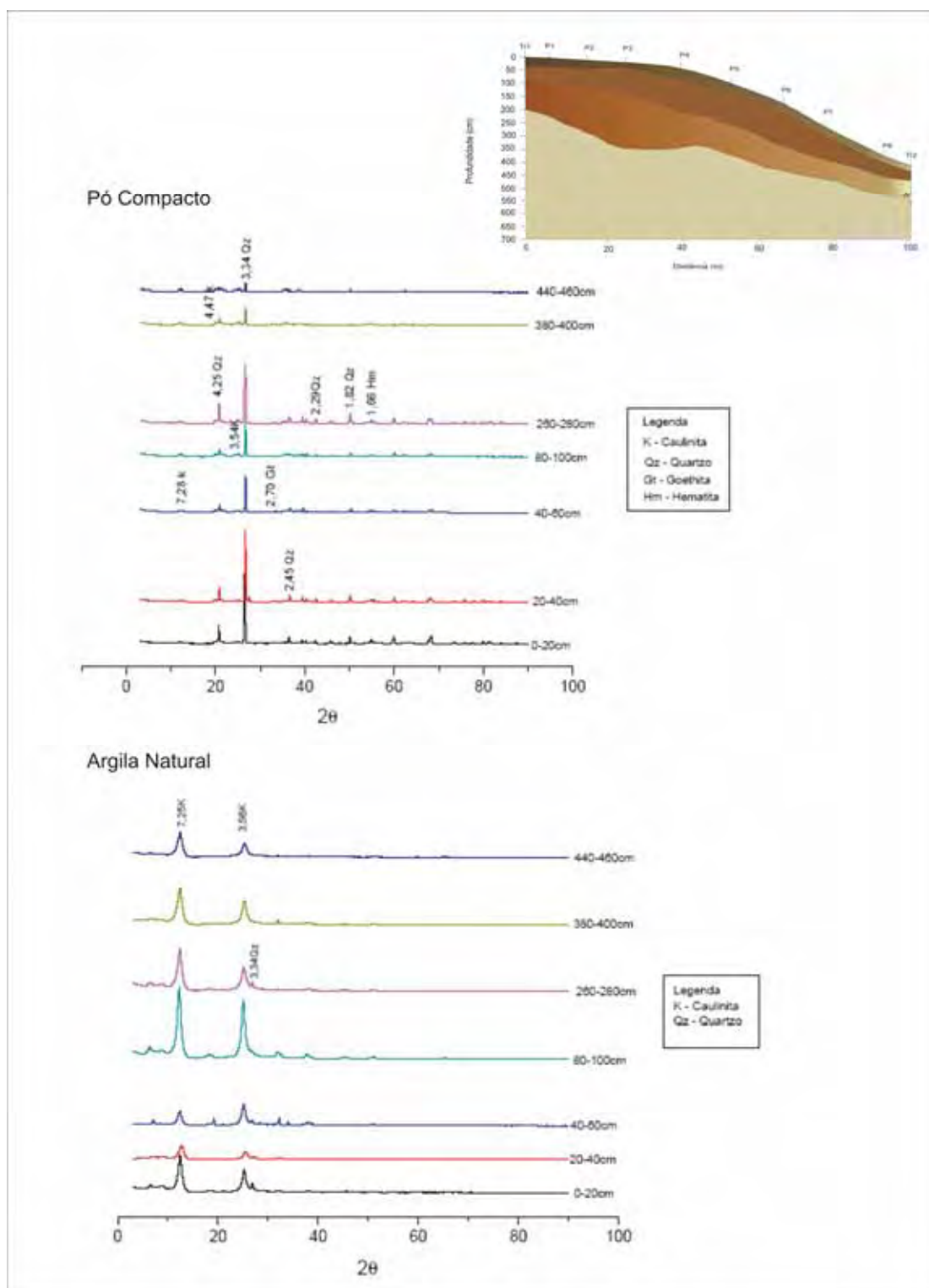


Figura 3 – Difrátogramas da Trincheira P5

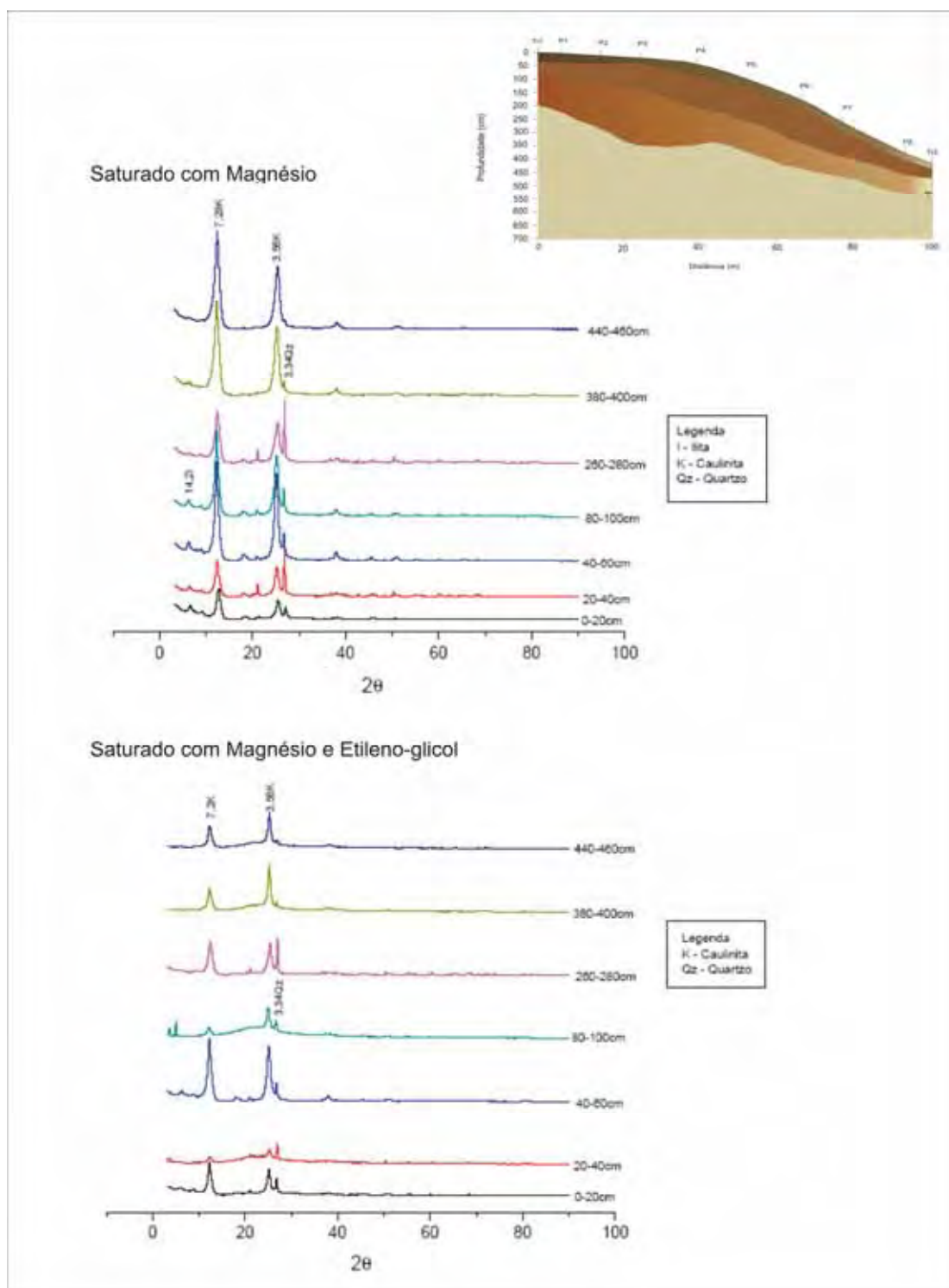


Figura 3 – Difractogramas da Trincheira P5

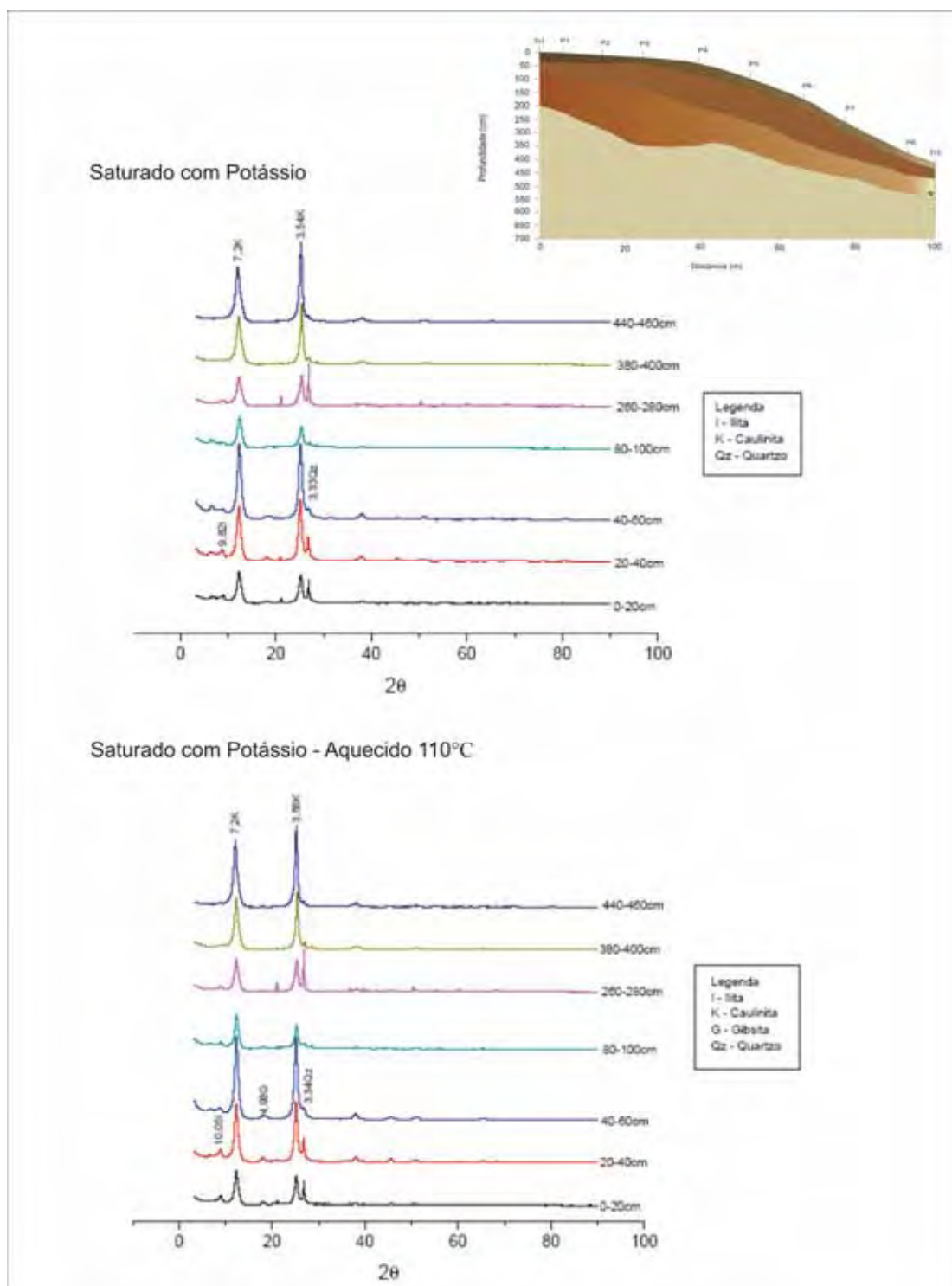


Figura 3 – Difrátogramas da Trincheira P5

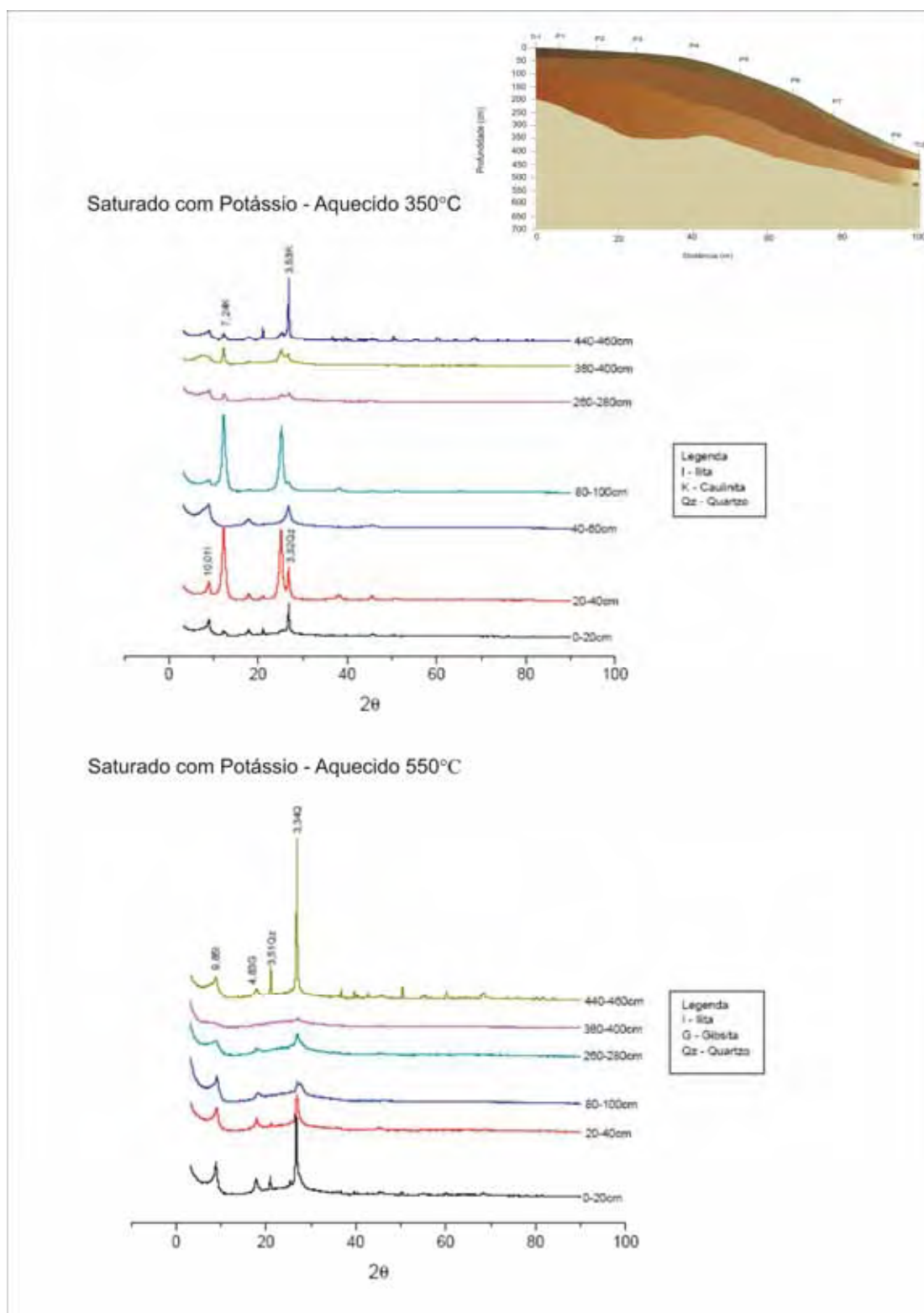


Figura 3 – Difratomogramas da Trincheira P5

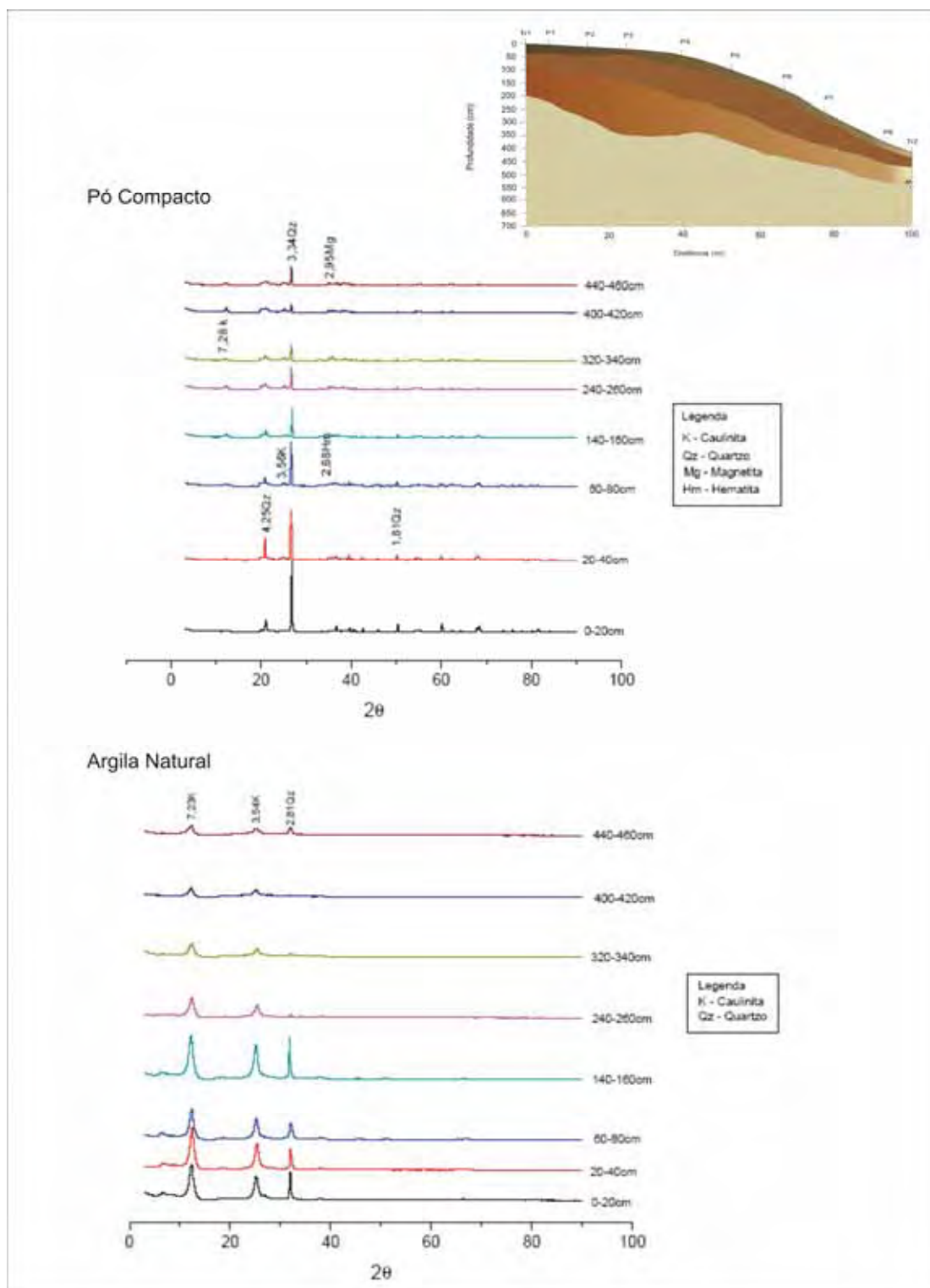


Figura 4 – Difractogramas da Trincheira P6

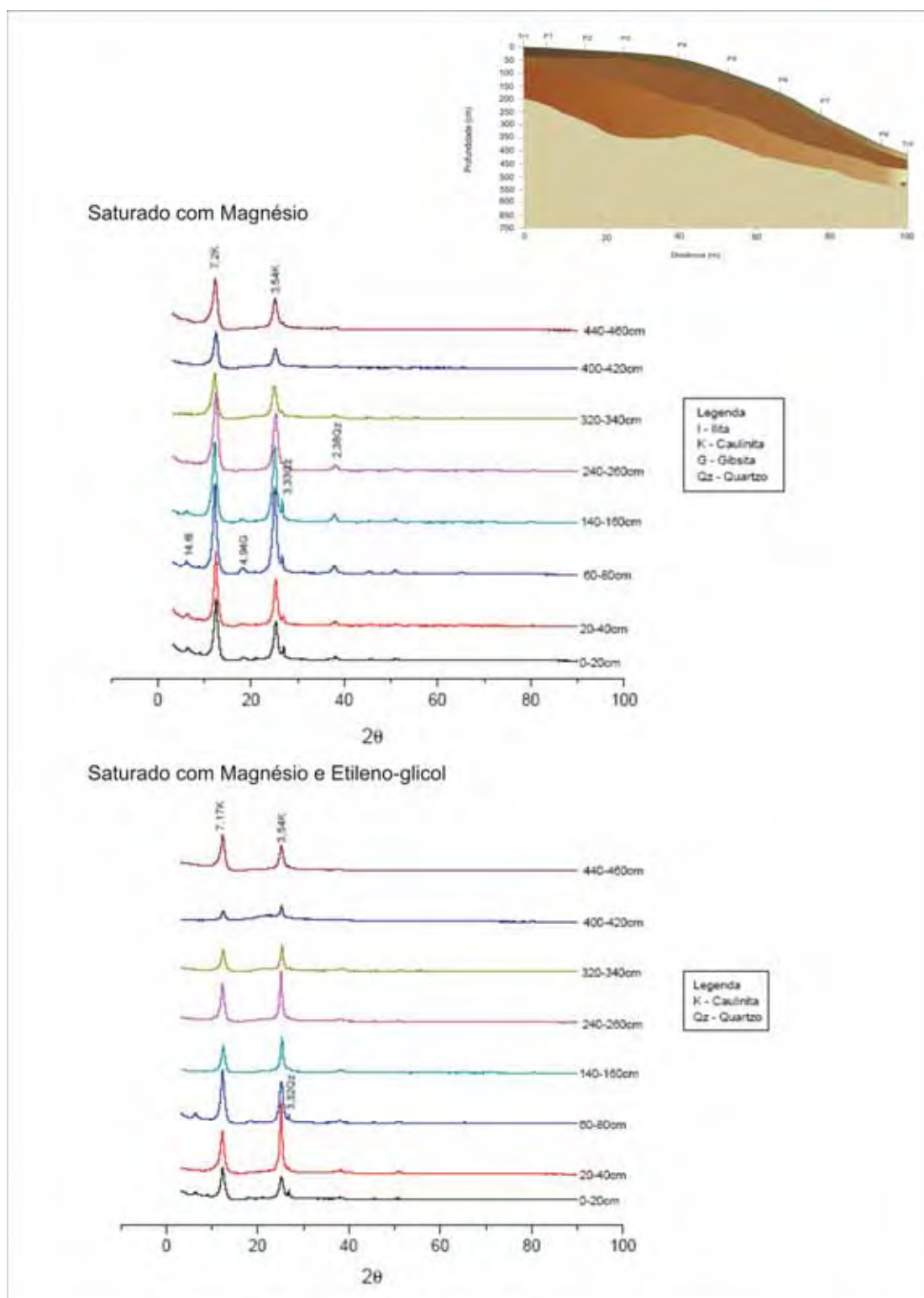


Figura 4 – Difrátogramas da Trincheira P6

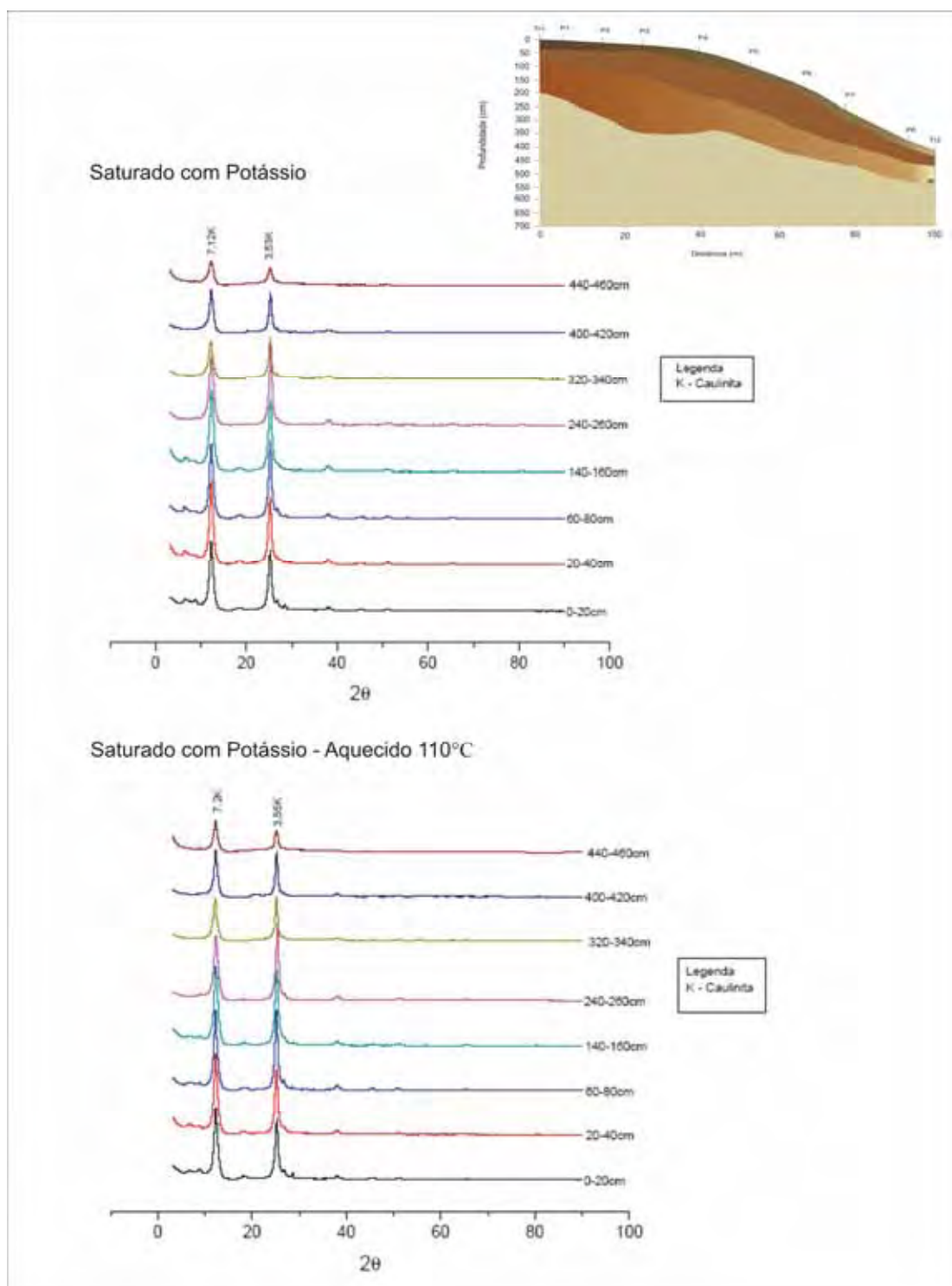


Figura 4 – Difratomogramas da Trincheira P6

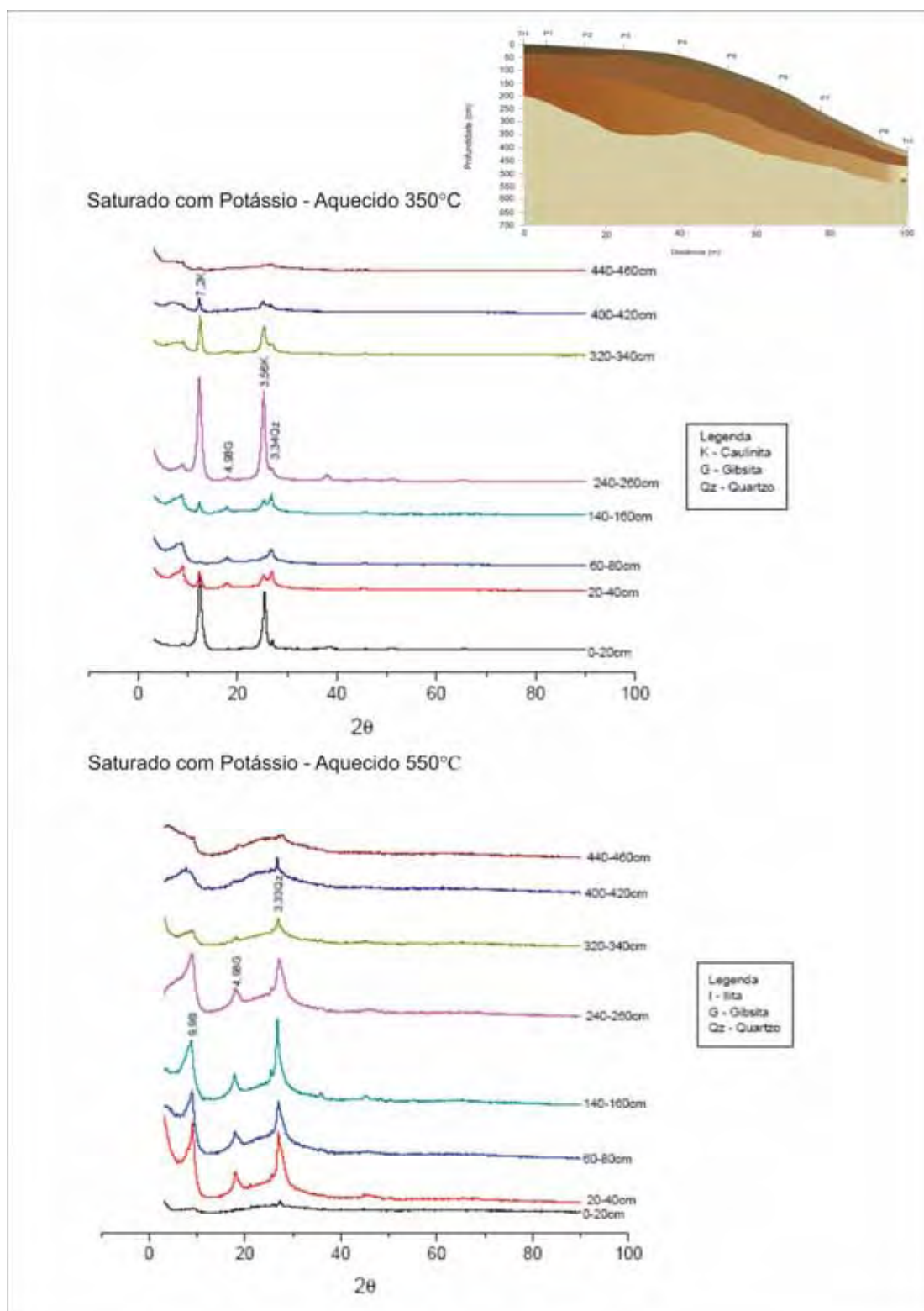


Figura 4 – Difratomogramas da Trincheira P6

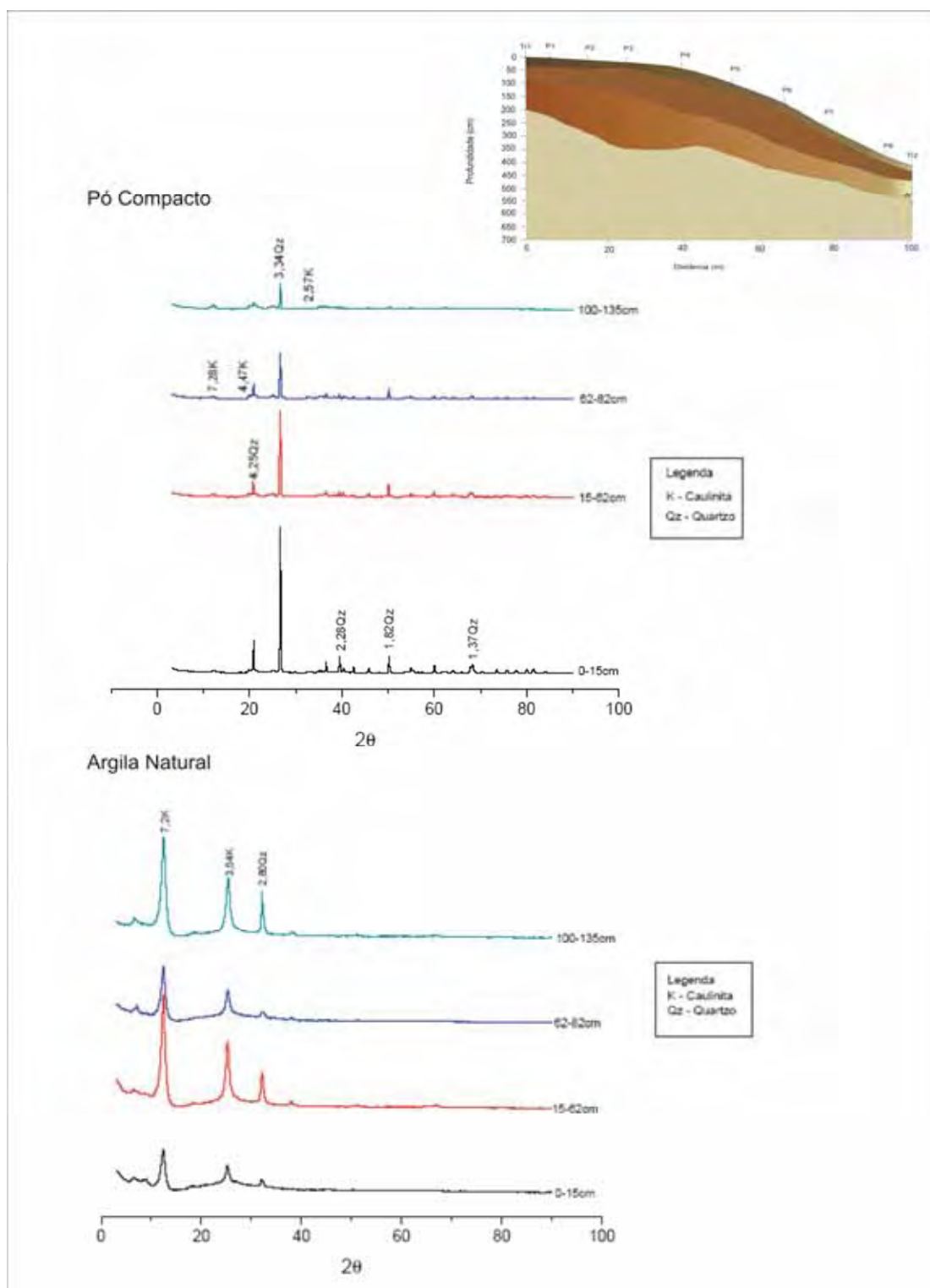


Figura 5 – Difractogramas da Trincheira Tr2

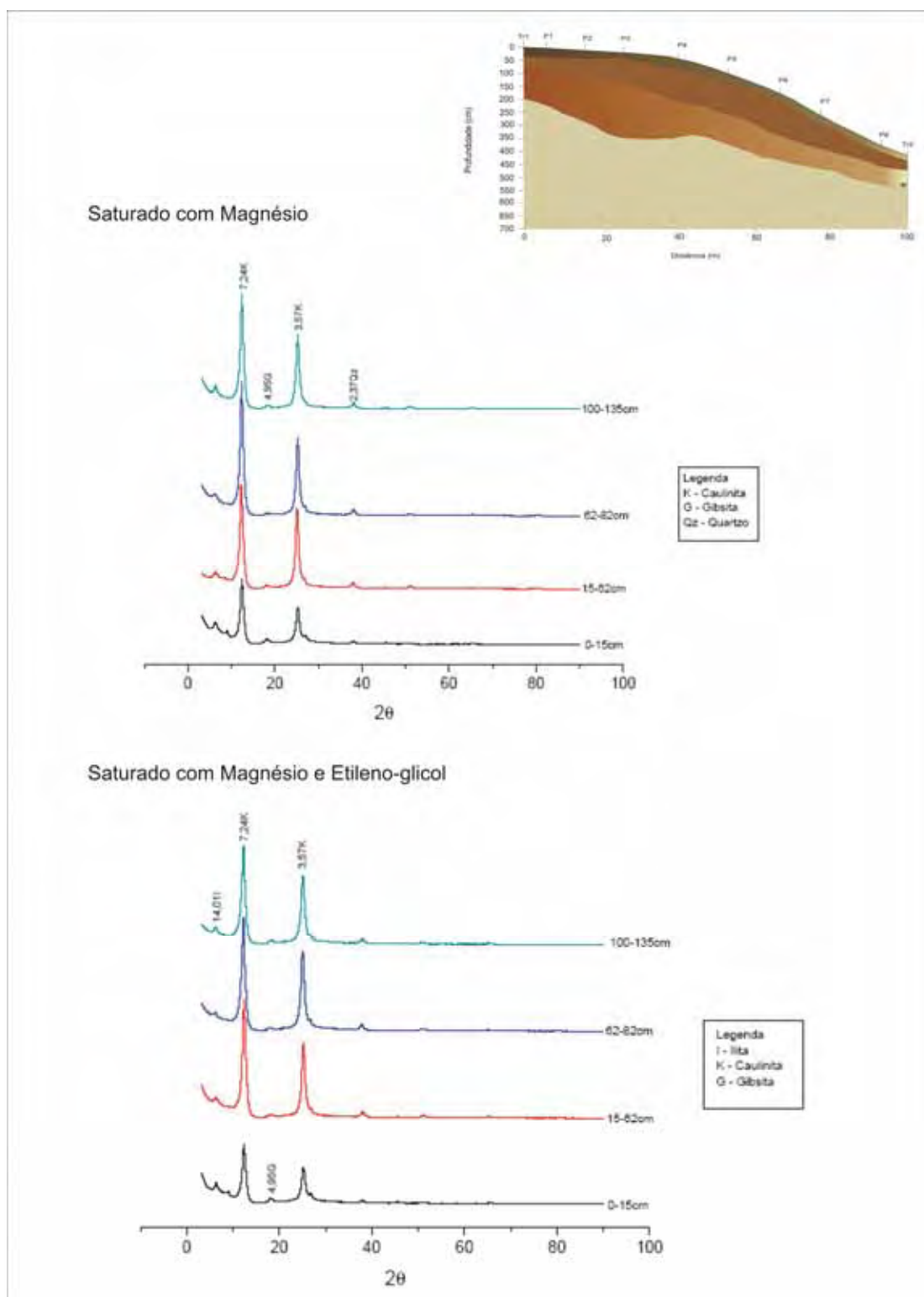


Figura 5 – Difrátogramas da Trincheira Tr2

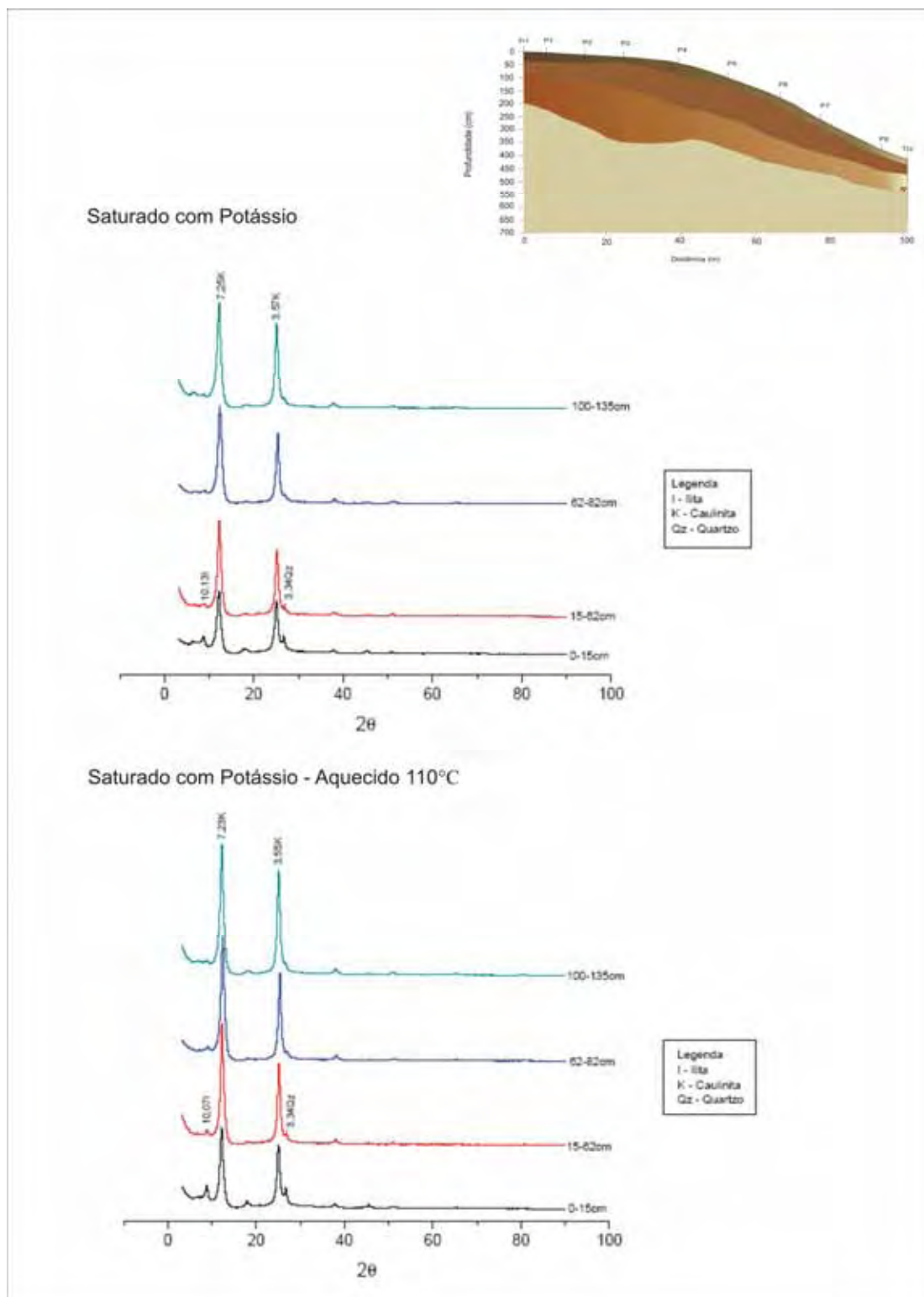


Figura 5 – Difratoogramas da Trincheira Tr2

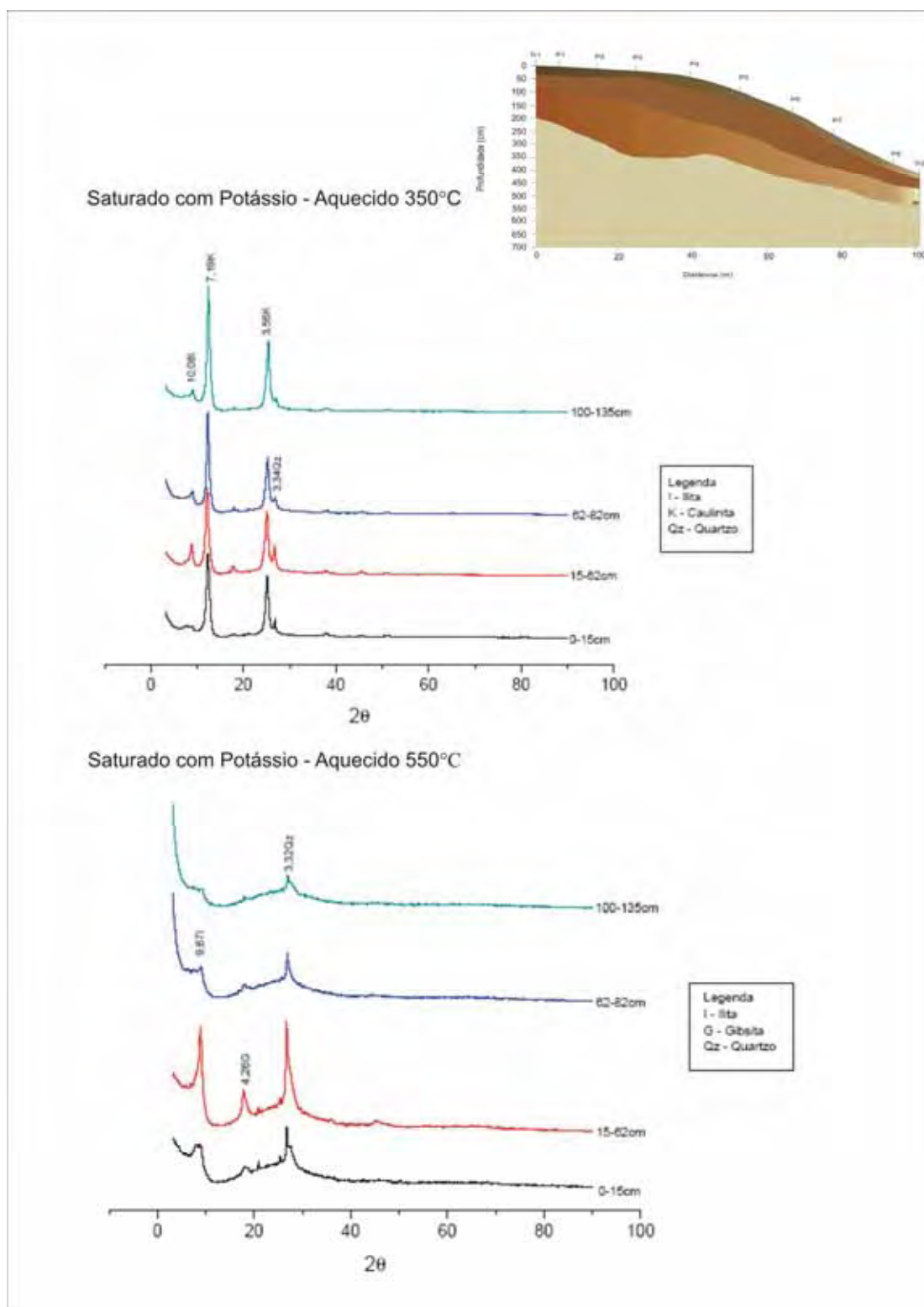


Figura 5 – Difratoformas da Trincheira Tr2