

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Caracterização Mineralógica, Identificação das
Substâncias Húmicas e Quantificação do Alumínio
em Solos da Formação Solimões – Acre**

Thiago Andrade Bernini

2010



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA, IDENTIFICAÇÃO DAS
SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E QUANTIFICAÇÃO DO ALUMÍNIO EM
SOLOS DA FORMAÇÃO SOLIMÕES – ACRE**

Thiago de Andrade Bernini

Sob a Orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

e Co-orientação da Professora
Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Dissertação submetida como
requisito parcial para obtenção do
grau de **Mestre em Ciências**, no
Curso de Pós-Graduação em
Agronomia, Área de Concentração
em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2010

631.48112

B528c

T

Bernini, Thiago de Andrade, 1984-

Caracterização mineralógica, identificação das substâncias húmicas e quantificação do alumínio em solos da formação Solimões - Acre / Thiago de Andrade Bernini – 2010.

84 f. : il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 59-68.

1. Ciência do solo - Acre – Teses. 2. Solos - Análise - Teses. 3. Argila - Análise – Teses. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-CIÊNCIA DO SOLO

THIAGO ANDRADE BERNINI

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências,
no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 24/02/2010

Marcos Gervasio Pereira Dr. UFRRJ
(Orientador)

Daniel Vidal Pérez. Dr. Embrapa Solos

Gustavo Souza Valladares. Dr. UFC

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo;

À minha esposa, Aline Contreiro Saar, pela confiança, paciência e estímulo;

Aos meus pais, Ronaldo e Célia, ao meu irmão Vinícius, e minhas avós, Eunilda e Geny, pelo apoio, compreensão e paciência;

Aos meus familiares;

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo diploma de Engenheiro;

Ao CNPq, pela concessão das bolsas de iniciação científica e de pós-graduação, respectivamente.

Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo pelo apoio prestado.

Ao professor orientador Marcos Gervasio Pereira e a professora co-orientadora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, pelos exemplos de profissionalismo, ensinamentos, incentivos e amizade, que contribuíram muito para minha formação.

Aos funcionários do Departamento de Solos: Roberto, Marcos, Luciene, Anselmo e Helena;

Aos amigos estagiários André Moraes e Launa Santos pelo grande apoio nas análises de laboratório, contribuindo muito para a conclusão do mestrado;

Ao atencioso amigo Arcângelo Loss, pelo esclarecimento das minhas dúvidas e revisão dos meus trabalhos;

Aos colegas do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos: Arcângelo, Adierson, Deivid, Anderson, Wanderson, Daniela, Itaynara, Celeste, Paula, André, Lauana, Sidiney, Fernando, Wagner, Edilene, Rafael, Guilherme, Vanderlei e Marcela, pelo companheirismo, pelos cafezinhos e pelas brincadeiras, que tornaram o trabalho muito mais prazeroso;

Aos colegas de turma de mestrado;

Aos professores Otávio Lã e Dari, pela realização de análises de infravermelho;

Ao professor Francisco Peinado (Universidade de Granada), pela análise mineralógica;

Ao pesquisador Daniel Vidal Pérez, pela análise do alumínio pelo ICP-OES;

Aos amigos Vagner, Rafaela, Bruno, Rafael, Zélio, Aline, Alexandre, Cíntia e Ricardo sempre presentes;

E a todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado.

BIOGRAFIA

Thiago Andrade Bernini, nascido em 23 de abril de 1984 no Rio de Janeiro, filho de Ronaldo Bernini e Célia Regina Andrade Bernini. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em outubro de 2002 no curso de Engenharia Agrônômica. Em 2005 entrou no laboratório de gênese e classificação do solo, UFRRJ, onde foi bolsista PIBIC, desenvolvendo pesquisa intitulada “Identificação e caracterização da repelência à água em Organossolos”. Em 2007 terminou a graduação. Em março de 2008, ingressou no Mestrado no Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo.

RESUMO

BERNINI, Thiago Andrade. **Caracterização mineralógica, identificação das substâncias húmicas e quantificação do alumínio em solos da Formação Solimões - Acre**. 2010. 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

No Estado do Acre ocorrem várias formações geológicas, sendo a Formação Solimões a mais significativa em termos de superfície ocupada, estendendo-se por mais de 80% do Estado. Os solos do Acre, do ponto de vista geológico, são jovens e foram formados a partir de sedimentos provenientes das regiões andina e subandina, transportados pelos rios e depositados na planície aluvial, apresentando assim camadas superpostas de composições mineralógicas diferentes. Por sua natureza sedimentar recente, os solos destas várzeas guardam estreita relação com o material de origem. Os objetivos específicos deste estudo foram: a) realizar o fracionamento químico e a caracterização espectroscópica da matéria orgânica dos horizontes superficiais dos perfis de solos em três topossequências (T), b) quantificar o alumínio presente no solo, c) identificar os principais constituintes mineralógicos da fração argila dos solos, e d) gerar informações para a estruturação dos atributos alítico e aluminico no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. As áreas de estudo localizaram-se nos municípios de Sena Madureira (T1) e Manoel Urbano (T2), na regional do Purus, e no município de Feijó (T3), na regional do Tarauacá e Envira, no Estado do Acre. Em cada uma das áreas foram abertas trincheiras em três pontos distintos da topossequência (terço superior P1, terzo médio P2 e terzo inferior de encosta P3). Os solos foram classificados com base no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos através de suas propriedades morfológicas e dados analíticos. Todos os solos apresentaram evidências claras de restrição de drenagem durante sua formação. Os solos apresentaram propriedades químicas, decorrentes da presença de argilas de alta atividade e elevados teores de Al. A diferença encontrada para os teores de carbono orgânico total (COT) entre os horizontes superficiais e subsuperficiais indicam rápida mineralização da matéria orgânica do solo. A fração humina apresentou o mesmo comportamento que o COT, sendo a fração dominante nos horizontes superficiais avaliados. Os valores obtidos da relação E4/E6 foram menores que 5, sugerindo o elevado grau de condensação aromática e maior massa molecular das substâncias húmicas que fazem parte do extrato alcalino (EA). A mineralogia do solo indicou que os mesmos ainda estão em uma fase de baixo intemperismo, com quantidades expressivas de minerais do tipo 2:1 na fração argila, além de minerais primários na fração areia. A determinação do alumínio por NaOH, alaranjado de xilenol e ICP-OES apresentaram resultados semelhantes, mas superestimaram os teores de Al^{3+} extraível. Os solos da topossequência T1 apresentaram menor grau de desenvolvimento genético em relação a T2 e T3. De maneira geral, verificou-se que os solos apresentam um baixo grau de pedogênese, sendo que nas condições climáticas atuais observou-se um processo ativo de destruição das argilas silicatas 2:1, conduzindo a liberação de Al e a formação de minerais como caulinita e óxidos, mais estáveis no ambiente da Amazônia. Foram identificadas no SiBCS as seguintes ordens de solo, Argissolos, Cambissolos, Plintossolos, Gleissolos e Vertissolos.

Palavras-chave: Amazônia Ocidental. Argila de alta atividade. Pedogênese.

ABSTRACT

BERNINI, Thiago Andrade. **Mineralogical characterization, identification of humic substances and quantification of aluminum in soils of the Formation Solimões - Acre.** 2010. 84p Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

In the state of Acre several geological formations occur, Solimões Formation being the most significant in terms of area, extending for more than 80% of the state. The soils of Acre, under a geological point of view, are young, and they were formed from sediments from the sub-Andean and Andean regions, transported by rivers and deposited in the flood plains, thus showing superimposed layers of different mineralogical compositions. Due to their very recent sedimentations, soils on these wetlands are closely related to the parent material. The specific objectives of this study were: a) chemical fractionation and spectroscopic characterization of organic matter in surface horizons of soil profiles located along three toposequences (T), b) to characterize the different forms of aluminum in the soil, c) to identify the main clay mineralogical constituents in the soils, and d) to bring information for the structuring of the Brazilian Soil Classification System (SiBCS) about soil attributes related to high aluminum content. The study areas were located in the municipalities of Sena Madureira (T1) and Manoel Urbano (T2), in the regional section of Purus, and Feijó (T3) in the regional sections Tarauacá and Envira, in Acre State. In each area, trenches were opened in three different parts of the landscape (P1 in the shoulder position, P2 in the backslope, and P3 at the footslope). The soils were classified according to the Brazilian System of Soil Classification (SiBCS), using the morphological and analytical data. All soils showed clear evidence of restricted drainage during their formation. The soils profiles had chemical properties related to the presence of high activity clays and high Al levels. The differences found between the surface and subsurface horizons for total organic carbon (TOC) indicated the rapid mineralization of soil organic matter. The humin fraction showed the same behavior as TOC, and it was the dominant fraction in the surface horizons. The values of the E4/E6 ratio were lower than 5, which suggested a high degree of aromatic condensation, and higher molecular weight of the humic substances in the alkaline extract (AE). The soil mineralogy indicated that the soils are still in a low weathering stage, with expressive amounts of 2:1 minerals in the clay fraction, and also primary minerals in the sand fraction. The determination of aluminum by NaOH, xylenol orange and ICP-OES methods showed similar results, but they overestimated the levels of extractable Al^{3+} . The soils of toposequence T1 were less genetically developed, when compared to the T2 and T3. In general, the soil profiles had a low degree of pedogenesis, and in the current climate it is verified an active process of destruction of the 2:1 silicate clay minerals, leading to the release of Al and to the formation of minerals such as kaolinite and oxides, more stable under the Amazon environment. The following soil classes were identified, Hapludults, Eutrudepts, and Hapluderts (Argisols, Cambisols, Plintosols, Gleisols and Vertisols in the SiBCS).

Key words: Western Amazon. High activity clay. Pedogenesis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. A Geologia do Estado do Acre	2
2.2. Os solos do Estado do Acre	3
2.3. Alumínio nos Solos do Acre.....	5
2.4. Matéria Orgânica do Solo em Ambientes Tropicais.....	7
2.5. Reações do Alumínio com a Matéria Orgânica do Solo.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Descrição da Área em Estudo.....	10
3.1.1 Geomorfologia	10
3.1.2 Clima e vegetação	10
3.1.3 Localização da área e amostragem.....	11
3.2. Análises Químicas	12
3.2.1 Análises para caracterização dos solos	12
3.2.2 Métodos especiais para determinação do alumínio.....	13
3.3. Caracterização da Matéria Orgânica do Solo (MOS)	15
3.3.1 Carbono orgânico total (COT)	15
3.3.2 Extração e fracionamento químico da MOS	15
3.3.3 Extração, fracionamento químico e purificação do material húmico.....	16
3.3.4 Análises espectroscópicas na região do infravermelho	16
3.3.5 Análises espectroscópicas na região do ultravioleta-visível	17
3.3.6 Frações oxidáveis do carbono orgânico	17
3.4. Análises Físicas do Solo	18
3.5. Análise Mineralógica.....	18
3.6. Classificação dos Perfis de Solo	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1. Atributos Morfológicos	22
4.2. Atributos Físicos.....	25
4.3. Atributos Químicos	28
4.4. Avaliação da MOS dos Horizontes Superficiais.....	32
3.1.4 Carbono orgânico total e carbono das substâncias húmicas.....	32
3.1.5 Frações oxidáveis do COT	34
3.1.6 Análises espectroscópicas na região do ultravioleta-visível	35
3.1.7 Análises espectroscópicas na região do infravermelho	37
4.5. Mineralogia dos Solos	41
4.5.1 Fração areia.....	41
4.5.2 Fração silte.....	43
4.5.3 Fração argila	45
4.6. Quantificação do Alumínio	49
4.7. Classificação dos Solos	52
4.8. Gênese dos Solos	56
5. CONCLUSÕES	58
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
7. REFERÊNCIAS BLIBLIOGRÁFICAS	60
8. ANEXOS	70

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Acre apresenta uma grande diversidade de solos, em virtude de seu material de origem ser oriundo de rochas sedimentares com influência Andina. Entre várias formações geológicas, a Formação Solimões é a que mais se destaca, cobrindo mais de 80% da área do Estado. Os solos dessa região, geologicamente, são jovens e estão estreitamente relacionados com o material de origem, apresentando características físicas, químicas e mineralógicas peculiares. Nesta região os solos ocorrem sob Floresta Densa e sob Florestas Abertas de Bambu e de Palmeira (Brasil, 1976; Acre, 2006).

Em geral, são solos eutróficos, devido aos altos teores de cálcio e magnésio, ou podem apresentar caráter alítico, em função dos altos teores de alumínio trocável. No entanto, os elevados teores de alumínio considerado trocável, podem não estar causando toxidez às plantas ou o método titulométrico pode não ser eficiente na sua determinação. Apesar da alta fertilidade, podem ocorrer problemas físicos, ocasionados, principalmente, pelos altos teores de silte e a drenagem imperfeita.

Algumas evidências apontam que em muitos solos do Estado do Acre o material de origem é um composto de argila rico em montmorilonita, com presença variável de illita e de vermiculita e pouca caulinita (Volkoff et al., 1989). A alta fertilidade destes solos tem sido atribuída à sua mineralogia, mas a elevada acidez pode estar promovendo a liberação do Al contido na estrutura cristalina destes minerais.

A macrocaracterização da distribuição e ocorrência de solos em nível de grandes grupos permitiu uma individualização em cinco unidades regionais: Juruá, Tarauacá e Envira, Purus, Baixo Acre e Alto Acre (Amaral, 2000).

Observa-se que este ambiente apresenta particularidades, em relação aos seus solos, as quais o diferem de outras regiões da Amazônia. Desta forma, este trabalho tem como objetivo ampliar o conhecimento sobre os solos da Amazônia Ocidental brasileira, através das características morfológicas, químicas, físicas, mineralógicas e da matéria orgânica, e desta forma fornecer subsídios para um melhor uso dos solos da região.

Os objetivos específicos foram:

- a) realizar o fracionamento químico e a caracterização espectroscópica da matéria orgânica dos horizontes superficiais dos perfis de solos,
- b) quantificar o alumínio presente no solo,
- c) identificar os principais constituintes mineralógicos da fração argila dos solos, e
- d) gerar maiores informações para a estruturação dos atributos alítico e alumínico presentes no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Geologia do Estado do Acre

A Bacia do Acre, com aproximadamente 230.000 km², situa-se entre o limite ocidental da Plataforma Sul-Americana e a Cordilheira Andina. Esta bacia está limitada a leste e sudeste pelo Arco de Iquitos; ao sul, pelo Escudo Brasileiro; e a oeste e noroeste, estende-se pelo território peruano, com o nome de Bacia Pastaza, onde se encontra limitada pela Cordilheira Oriental Andina (Acre, 2000). A Bacia constitui uma zona de subsidência (Afundamento) pericratônica, onde ocorrem rochas do Paleozóico ao Terciário Superior. Durante a sua evolução, foi afetada pela orogenia andina, com o levantamento da Cordilheira Andina Oriental. Em contato com a Formação Moa do Cretáceo, afloramentos de rochas gnaíssicas, pertencentes ao embasamento cristalino de idade proterozóica, encontram-se numa área restrita, na Serra da Jaquirana. Quanto aos depósitos Cenozóicos, pertencem a esta província os sedimentos pelíticos e psamíticos da Formação Solimões e os aluviões Holocênicos dos terraços e das planícies fluviais (Cavalcante, 2006).

No Estado do Acre ocorrem várias formações geológicas: a Formação Solimões, a Formação Cruzeiro do Sul, que ocorre a leste da cidade do mesmo nome e mais cinco formações que ocorrem apenas dentro do Parque Nacional da Serra do Divisor e do seu entorno (Formação Ramon, Grupo Acre, com três formações: Complexo Xingu, Formação Formosa e Sienito República), e os Depósitos Aluviais Holocênicos, que têm ampla distribuição no Estado (Cavalcante, 2006)

A Formação Solimões é a mais significativa em termos de superfície ocupada, estendendo-se por mais de 80% do estado. Cobre quase toda a região interfluvial, com exceção do extremo oeste do Estado, onde se encontra o Complexo Fisiográfico da Serra do Divisor com litologias do Grupo Acre, e a Formação Ramon também no extremo oeste do Estado, nas vertentes ocidentais da Serra da Jaquirana e Serra do Moa na fronteira com o Peru (Acre, 2005).

A outra grande formação geológica importante é a Formação Cruzeiro do Sul, constituída por sedimentos mais arenosos e os aluviões da planície fluvial. Nestas áreas de várzeas encontram-se estas formações geológicas mais recentes que ocorrem ao longo dos rios e são compostas predominantemente de sedimentos inconsolidados (seixos, areia, argila) (Cavalcante, 2006).

A Formação Solimões é bastante diversificada. Na sua maior parte predomina rochas argilosas com concreções carbonáticas e gipsíferas, ocasionalmente com material carbonizado (turfa e linhito), concentrações esparsas de pirita e grande quantidade de fósseis de vertebrados e invertebrados. Subordinadamente ocorrem siltitos, calcários sílticos-argilosos, arenitos ferruginosos e conglomerados plomíticos (Cavalcante, 2006). A diversificação da Formação Solimões implica em grande variação das classes de solos, na variabilidade na sua suscetibilidade natural à erosão, no seu ciclo hidrológico e em sua vegetação natural (Cavalcante, 2006).

A segunda grande feição geológica no Estado é constituída pelo Grupo Acre, da qual fazem parte três formações (Formação Rio Azul, Formação Moa e Formação Divisor), de idade cretácea e composta, predominantemente, de arenitos e siltitos compactos. Estas formações originam as quatro serras do Complexo Fisiográfico da Serra do Divisor: Serra da Jaquirana, Serra do Moa, Serra do Juruá Mirim e Serra do Rio Branco (Acre, 2000).

A terceira formação geológica, a Formação Ramon, datada do Terciário (Paleoceno-Plioceno) situada dentro dos limites do Parque Nacional da Serra do Divisor é constituída,

predominantemente, de argilitos ocorrendo, subordinadamente, siltitos e folhelhos intercalados com níveis calcáreos contendo fósseis de gastrópodos (Brasil, 1976).

As outras litologias presentes (Formosa, Sienito República e Complexo Xingu) são de natureza localizada (no extremo norte da Serra da Jaquirana) e significância espacial muito baixa (Brasil, 1976).

2.2. Os solos do Estado do Acre

O Estado do Acre possui uma área de 152.589 km², abrangendo 1,79% do território nacional. Localiza-se na parte sudoeste da Região Norte, ocupando 3,16% da sua área. É constituído de 22 municípios: Acrelândia, Assis Brasil, Brasiléia, Bujari, Capixaba, Cruzeiro do Sul, Epitaciolândia, Feijó, Jordão, Mâncio Lima, Manuel Urbano, Marechal Thaumaturgo, Porto Acre, Porto Walter, Plácido de Castro, Rio Branco, Rodrigues Alves, Santa Rosa, Sena Madureira, Senador Guiomard, Tarauacá e Xapuri.

Os solos do Acre, do ponto de vista geológico, são jovens e foram formados a partir de processos geológicos que ocorreram com maior intensidade nessa região da Amazônia. Dentre estes processos destacam-se as diversas transgressões marinhas do último período interglacial, seguidas por períodos áridos, que, formando, em algumas áreas, veios com mais de seis metros de largura. Posteriormente, processos erosivos associados à última fase da epirogênese andina, transportaram para o local, materiais vulcânicos, trazidos por processos de erosão hídrica ou eólica (Gama et al., 1992).

Os solos desta região da Amazônia Brasileira, embora sejam desenvolvidos de material sedimentar, apresentam camadas superpostas de composições mineralógicas diferentes. Por sua natureza sedimentar recente, os solos destas várzeas guardam estreita relação com o material de origem, sedimentos provenientes das regiões, andina e subandina, transportados pelos rios e depositados na planície aluvial (Lima, 2006).

Ainda como consequência dessa jovialidade e material dos quais são formados, a fração argila destes solos contém apreciáveis conteúdos de filossilicatos 2:1, os quais influenciam sobremaneira suas propriedades morfológicas, físicas e químicas (Coelho, 2005).

Em estudos concernentes à caracterização mineralógica destes solos, se destaca a fração argila, pela grande atividade físico-química que influencia diretamente na disponibilidade de nutrientes (Deng & Dixon, 2002). Entre estas argilas, estão as de forma laminar, e os óxidos com grande influência no comportamento dos solos. Os tipos e teores destes minerais no solo, associados à presença de matéria orgânica, podem acelerar ou retardar a formação de minerais secundários.

O estudo da mineralogia pode ser importante para uma melhoria na eficiência do uso de fertilizantes e na criação de formas de manejo mais adequado para os solos, reduzindo-se, assim, o custo econômico e o impacto ambiental que uma exploração agrícola (Deng & Dixon, 2002; Bakker & Alfaia, 2009).

Em alguns perfis foi constatado que a montmorilonita presente no horizonte C não ocorre nos horizontes mais superficiais indicando uma possível degradação destas pelas ações climáticas. As esmectitas, tipo beidelita (com altas cargas tetraédricas), dão origem às ilitas e vermiculitas como observado em alguns Cambissolos (Volkoff et al., 1989). Em solos com horizonte B textural mais desenvolvido, as esmectitas identificadas no horizonte C, provavelmente por degradação, desaparecem nos horizontes mais superficiais, restando no perfil as ilitas e caulinita. Outras características importantes destes solos são a quase completa ausência de gibbsita e a presença de médios a altos teores de materiais amorfos de alumínio, altos teores de potássio, de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis (Araújo et al., 2004, 2005).

Com base no mapa pedológico do Acre, confeccionado por Acre (2005) (Figura 1) pode-se dividir, a princípio, o Estado em três grandes pedoambientes: um situado a leste do Estado, outro a sudoeste (na região mais central do Estado) e outro no extremo oeste.

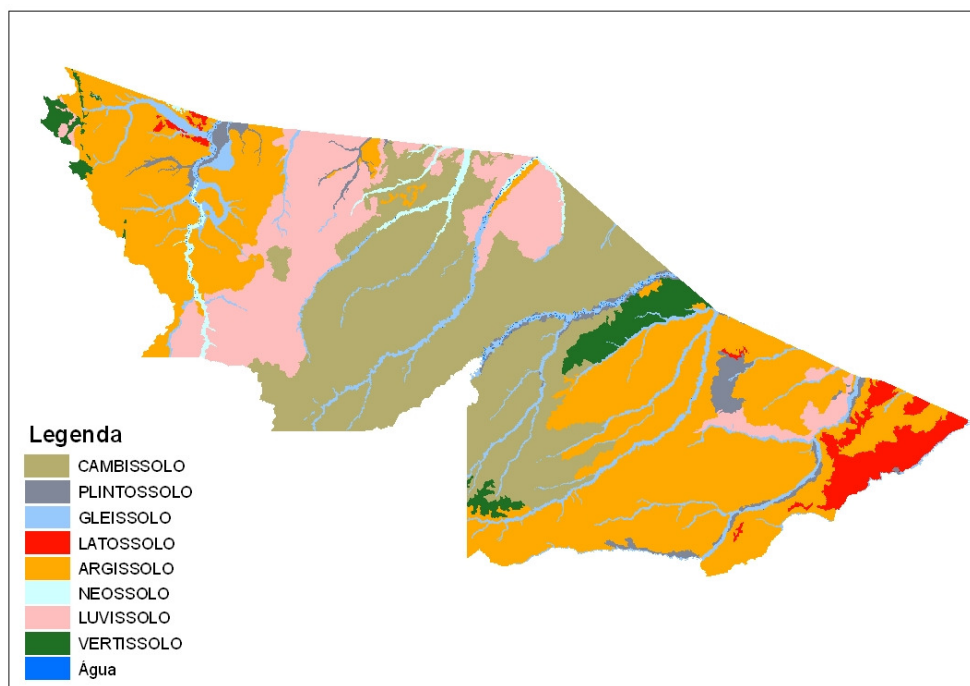


Figura 1. Mapa de solos do Estado do Acre, simplificado em nível de ordem, na escala de publicação de 1:250.000. (Fonte: Acre, 2005).

Na região situada a Leste encontram-se a maioria dos Latossolos e Argissolos com características intermediárias para Latossolos. A vegetação nativa dominante é a Floresta Densa com sub-bosque de musáceas e por vezes bambu. O relevo é menos movimentado e em sua maioria plano a suave ondulado. Nessa região, próximo à cidade de Rio Branco ocorre também áreas de Plintossolos e solos com caráter plântico.

A região mais central do Estado, compreendida entre os municípios de Sena Madureira e Tarauacá, situa-se numa área mais abaciada, com solos mais rasos e sedimentos argilosos mais finos que conferem a estes solos sérias restrições de drenagem com argila de alta atividade. Nessa área predominam Cambissolos e Vertissolos. A vegetação dominante é do tipo Floresta Aberta com bambu (*Guadua weberbaueri*).

No extremo oeste tem-se uma vasta mancha de solos desenvolvidos a partir de sedimentos mais grosseiros, provenientes da bacia sedimentar do rio Juruá, o que confere boas condições de drenagem, apesar de serem pobres quimicamente. Predominantemente, encontram-se Argissolos, Gleissolos e algumas manchas de Latossolos.

Os Argissolos ocupam mais de 6 milhões de hectares do território acreano, sendo a ordem que ocupa maior extensão territorial. Por outro lado, os Cambissolos, ocupam mais de 5 milhões de hectares, condicionando situações extremas de manejo, onde atualmente, por desconhecimento da variabilidade e ausência de estudos locais há uma tendência de uso generalizado.

Com base nos dados disponíveis, Amaral (2000) e Acre (2005) realizaram a macrocaracterização da distribuição e ocorrência de solos em nível de grandes grupos, permitindo uma individualização em cinco unidades regionais: Juruá, Tarauacá e Envira, Purus, Baixo Acre e Alto Acre (Figura 2).

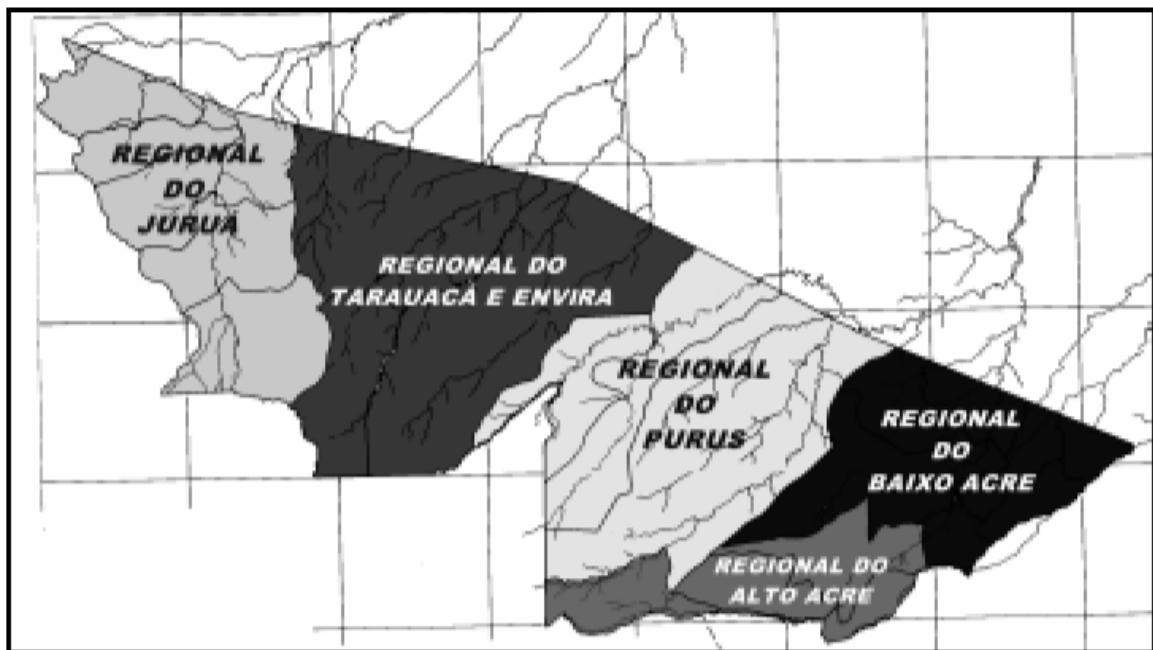


Figura 2. Distribuição das unidades regionais de desenvolvimento do Estado do Acre. (Fonte: Acre, 2005).

Algumas das características predominantes nos solos acreanos, segundo Wadt (2005), são:

a) Solos ácidos com alta saturação por bases: possuem acidez relativamente elevada (baixos valores de pH e altos valores de alumínio trocável), embora com altos teores de cálcio, magnésio e de saturação de bases.

b) Solos com altas reservas de potássio: são ricos em potássio trocável, possuem extrema acidez (valor muito baixo de pH) e condições de baixa saturação por bases.

Os estudos de Lima et al. (2006), trabalhando com Neossolo Flúvico, e Portugal (2009), com Neossolos Flúvicos e Vertissolos Háplicos, ambos na Amazônia ocidental, encontraram elevados valores de capacidade de troca de cátions (CTC) e de cátions trocáveis, especialmente Ca^{2+} e Mg^{2+} . Os teores de Ca^{2+} , e em menor proporção, os de Mg^{2+} nestes solos são decorrentes da presença de minerais primários como micas, plagioclásio cálcico e olivina oriundos dos Andes, onde se encontram reservas destes nutrientes (Portugal, 2009).

A alta fertilidade destes solos tem sido atribuída à sua mineralogia, onde associados à caulinita, ocorrem outros minerais, como vermiculitas, montmorilonita e ilitas. Embora férteis (elevada reserva de nutrientes para as plantas), estes solos são fortemente ácidos (Wadt, 2002). Devido à acidez encontrada nestes solos, as argilas do grupo montmorilonita são instáveis neste ambiente (Volkoff et al., 1989), o que pode promover a liberação do Al contido na estrutura cristalina destes minerais.

Geralmente no Estado do Acre, as pastagens, lavouras e, principalmente, a vegetação nativa apresentam bom desenvolvimento vegetativo mesmo quando crescem em solos de elevada acidez, desde que estes solos também apresentem elevada CTC (Gama & Kiehl, 1999), sendo essa situação incomum nas outras regiões brasileiras.

2.3. Alumínio nos Solos do Acre

O alumínio é o metal em maior abundância (8%) na crosta terrestre (Matsumoto, 2000; Rout et al. 2001). Na solução do solo está ligado por coordenação a seis moléculas de água em uma configuração octaedral $\{\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}\}$ e é representado como Al^{3+} (Wright, 1989). Segundo Abreu Jr. (2003), em pH do solo igual a 4 ou mais baixo, a forma de alumínio que

predomina é Al^{3+} . Com o aumento do pH do solo as espécies monoméricas, tais como o $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ e $\text{Al}(\text{OH})^+$, são formados. Com um aumento suficiente do pH, estas espécies são precipitadas como $\text{Al}(\text{OH})_3$, e com novo aumento no valor de pH, a espécie anfótero $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ aparece (Thomas & Hargrove, 1984). Há resultados contraditórios sobre a fitotoxicidade relativa das espécies de Al monoméricos (Marschner, 1997). A extração de Al^{3+} em amostras de solo utilizando soluções neutras de sais não tamponados tem sido utilizada desde os anos 60 (Brauner, 1966). A solução de KCl 1 mol L^{-1} tem sido considerado o extrator mais adequado (Raij et al., 1987; Hiradate et al., 1998), além do fato desta solução ser menos suscetível a interferências de íons (Coscione et al., 1998).

O Al^{3+} determinado por estes extratores está sujeito a superestimação devido à dissolução de espécies de alumínio não-trocáveis (hidróxi-Al). A dissolução do hidróxi-Al é afetada pelo pH, concentração e característica química do extrator, bem como o tempo de extração (Kissel et al., 1971; Oates & Kamprath, 1983). Embora a extração com KCl remova tanto Al trocável quanto não-trocável (Oates & Kamprath, 1983), a contribuição de Al não-trocável pode ser considerada insignificante em solos ácidos brasileiros (Pavan, 1983).

Segundo Kissel et al. (1971), quanto menor o conteúdo de hidróxi-Al, maior é a proporção de suas formas hidrolisáveis, devido à menor polimerização (estabilidade) destas formas de Al, que produzem H^+ em extrato de KCl. Por conseguinte, a retro titulação é essencial quando a determinação Al^{3+} é o principal alvo no extrato de KCl. Apesar do Al^{3+} em amostras de solo ser geralmente determinado por titulação (Raij et al., 1987; Coscione et al., 1998), métodos colorimétricos também podem ser usados (Raij et al., 2001).

O método titulométrico pode apresentar sensibilidade inferior em relação aos métodos colorimétricos para a determinação de Al (Reis, 1978, Logan et al., 1985), mas é menos sujeito a interferência de íons presentes no extrato (Coscione et al., 1998).

Dentre os principais metais presentes nos solos tropicais, o alumínio se destaca, não pela quantidade e diversidade de formas, mas pela possibilidade de interações com a fração mineral e orgânica do solo, e seus efeitos sobre os organismos do solo e as plantas (Canellas et al., 2008). Na solução do solo, o Al pode ocorrer na forma de polímeros e monômeros inorgânicos e complexos orgânicos, tais como Al-ácido fúlvico e na fase sólida pode ocorrer como íon trocável, precipitado como hidróxidos, como óxidos ou fazendo parte das estruturas entre-camadas dos minerais de argila silicatados (Bache, 1986).

Vários trabalhos têm relatado a presença de Al como um dos principais agentes que contribuem para a baixa produtividade dos cereais no mundo (Matsumoto, 2000), mesmo em concentrações micro molares. À medida que o pH do solo diminui, aumenta a atividade do alumínio na solução do solo e, conseqüentemente, ocorre potencialização dos efeitos nocivos e deletérios deste elemento às culturas (Salet et al., 1999). O sintoma inicial e mais dramático da toxidez do alumínio é a inibição da expansão celular das raízes (Taylor, 1988), o que ocasiona redução e engrossamento do sistema radicular, diminuindo a absorção de água e de nutrientes.

O alumínio também pode afetar outros mecanismos de absorção de nutrientes pelas plantas ou movimento de íons no solo. Um deles é a disponibilidade de Ca no solo e o deslocamento do Ca^{2+} nos complexos de troca por Al^{3+} na solução do solo (Lawrence et al., 1995). O Ca^{2+} deslocado é facilmente lixiviado do solo pela água de drenagem. Baixas concentrações de Ca^{2+} na solução do solo podem aumentar a fitotoxicidade do Al^{3+} (McCormick & Steiner, 1978; Schier, 1985; Ulrich, 1989).

Em decorrência desta complexidade química, a fitotoxicidade dos diferentes tipos de Al não está totalmente esclarecida. Entre as espécies de Al mononucleares, complexos de Al com SO_4^{2-} (Kinraide & Parker, 1987), F^- (Wright, 1989) e ligantes orgânicos (Hue et al., 1986) são considerados não-tóxicos ou com baixa toxicidade. A rizotoxicidade das espécies

mononucleares de hidróxidos de Al não está clara. Já o Al^{3+} é comprovadamente tóxico, assim como outros polícatíons (Kinraide, 1991).

Mesmo a elevada acidez que ocorre em muitos solos do Acre, associada simultaneamente com altos teores de cálcio e magnésio, não é prejudicial às plantas como em outras regiões do País (Wadt, 2002). Em muitos solos ácidos do Estado do Acre são encontrados, concomitantemente, elevados teores de Al e Ca trocável. Estes solos, embora possuam elevada acidez ativa (baixos valores para pH em água) e elevados teores de alumínio trocável, apresentam baixa fitotoxicidade mesmo para variedades de plantas sensíveis ao alumínio. É possível, contudo, que muito desse alumínio, denominado como trocável, origine-se da desestabilização das esmectitas (montmorilonita e beidelita) (Araújo et al., 2005).

2.4. Matéria Orgânica do Solo em Ambientes Tropicais

A matéria orgânica do solo (MOS) é resultante, principalmente, da deposição de resíduos de plantas (fonte primária) e animais (fonte secundária) em vários estágios de decomposição, além dos organismos, vivos ou mortos, microrganismos e das raízes dos vegetais (Theng, 1987). Entretanto, segundo Moreira & Siqueira (2006), a vegetação é a principal responsável pela deposição de materiais orgânicos no solo, especialmente através da decomposição das folhas, galhos e raízes, que formam a serapilheira, e os vegetais que também contribuem com os exsudados das raízes.

As taxas de adição e a qualidade do carbono da vegetação dependem muito do clima (principalmente temperatura do ar e chuvas), do tipo de vegetação (gramíneas decompõem-se mais lentamente que plantas leguminosas) e da fertilidade do solo (solos férteis resultam em plantas maiores que contêm, por sua vez, mais carbono a ser depositado no solo) (Batjes, 1999). A matéria orgânica do solo representa um sistema dinâmico, influenciado por vários fatores, desde o clima, o conteúdo de argila do solo, a mineralogia e os sistemas de manejo, que podem afetar os processos de transformação e evolução da matéria orgânica no solo (Oades, 1995).

Segundo Canellas et al. (2001), a matéria orgânica do solo e dos resíduos, do ponto de vista estritamente teórico, pode ser dividida em dois grandes compartimentos: um composto pela fração não-humificada, representada pelos restos vegetais e animais pouco decompostos e pelos compostos orgânicos com categoria bioquímica definida (proteínas, açúcares, ceras, graxas, resinas), e outro, compartimento formado pelas substâncias humificadas. Zech et al. (1997) definem a humificação como sendo a transformação de compostos com morfologia conhecida e identificável em compostos húmicos amorfos. Aiken et al. (1985) definem substâncias húmicas como sendo uma categoria de ocorrência natural, biogênica, composta de substâncias orgânicas heterogêneas que geralmente se caracterizam por sua coloração amarelada ou escura, de alto peso molecular e de natureza refratária.

As substâncias húmicas são produtos da intensa transformação dos resíduos orgânicos pela biomassa e polimerização dos compostos orgânicos (principalmente através de reações de condensação, demetilação e oxidação) até macromoléculas resistentes a degradação biológica (Santos & Camargo, 1999). A matéria orgânica humificada do solo é composta por diferentes frações, de acordo com sua solubilidade. De modo geral, é aceito a distribuição das frações humificadas em três categorias: as huminas que representam a matéria orgânica intimamente ligada à fração mineral do solo, e por isso insolúvel; os ácidos fúlvicos, que apresentam grande quantidade de grupamentos funcionais oxigenados e são solúveis tanto em meio ácido como básico, e os ácidos húmicos, insolúveis em meio fortemente ácido, pois, com a protonação dos grupamentos funcionais ocorre o colapso da estrutura e precipitação das macromoléculas (Canellas et al., 2001).

Quanto à natureza da matéria orgânica, poucas são as informações sobre a distribuição das substâncias húmicas em perfis de solos formados no ambiente da Amazônia Ocidental.

Lima et al. (2006), estudando perfis de solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia ocidental, verificaram o predomínio da fração humina sobre as demais frações da matéria orgânica.

Segundo Melo & Schaefer (2009) as substâncias orgânicas solúveis podem formar complexos com as frações inorgânicas do solo, ser fortemente adsorvidas pelos argilominerais e óxidos de ferro e alumínio, além de poderem formar compostos presentes na solução do solo (Davis, 1982), via mecanismos que possibilitam a formação de complexos catiônicos, aniônicos, ligação de hidrogênio, ligações covalentes e forças de Van der Waals (Sposito, 1989). Interações de moléculas orgânicas, através de grupos funcionais com os constituintes minerais do solo, influenciam desde a formação de horizonte até suas propriedades (Canellas et al., 1999).

Em solos com argila de atividade alta e caráter expansivo, a ciclagem da matéria orgânica nos horizontes superficiais é geralmente rápida (Coulombe et al., 1986) e depende das condições ambientais e das práticas de manejo.

A floresta amazônica está estabelecida num equilíbrio dinâmico (Poggiani & Schumacher, 2004), o que torna sua manutenção dependente dos ciclos geoquímico, bioquímico e biogeoquímico (Moreira & Malavolta, 2002). Com a remoção da floresta esse ciclo é quebrado, alterando a qualidade e a quantidade de matéria orgânica do solo (Malavolta, 1987). Conseqüentemente, há uma diminuição da atividade da biomassa microbiana, principal responsável pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo (Dalal, 1998), e que exerce influência tanto na transformação da matéria orgânica quanto na estocagem do carbono e minerais, ou seja, na liberação e na imobilização de nutrientes (Moreira & Costa, 2004).

2.5. Reações do Alumínio com a Matéria Orgânica do Solo

Os ácidos húmicos e a humina são compostos de alto peso molecular, sendo, geralmente, insolúveis em água. Por sua vez, os ácidos fúlvicos são compostos orgânicos de menor peso molecular e normalmente são solúveis (Vance et al., 1995), o que favorece a formação de complexos de alumínio na solução do solo. Os ácidos húmicos e a humina são compostos que podem adsorver o Al, principalmente em ambientes onde estas substâncias se encontram em maior quantidade (Vance et al., 1995). O aumento da matéria orgânica do solo pode causar a diminuição do teor de alumínio trocável na solução do solo devido à mudança no pH do solo e a complexação orgânica do alumínio (Miyazawa et al., 1993). A diminuição pode estar relacionada à adsorção específica do alumínio pelos grupamentos funcionais da matéria orgânica formando complexos de esfera interna com o Al trocável (Salet, 1998).

A habilidade das substâncias húmicas em formar complexos estáveis com o Al está ligada ao conteúdo de grupos funcionais que contém oxigênio, como o carboxílico, fenólico, enólico, alcoólico entre outros e, em menor grau (ligação mais fraca), com grupos que contém N (Vance et al., 1995). A ligação do alumínio com ligantes orgânicos pode ocorrer através de pontes de hidrogênio (Figura 3a), atração eletrostática (Figura 3b), troca de ligantes com apenas um grupo doador (Figura 3c) e quelação (mais de um grupo doador) (Figura 3d). As formas de ligação forte com o alumínio (troca de ligantes e quelação) devem ocorrer predominantemente em ambientes com altos conteúdos de substâncias húmicas.

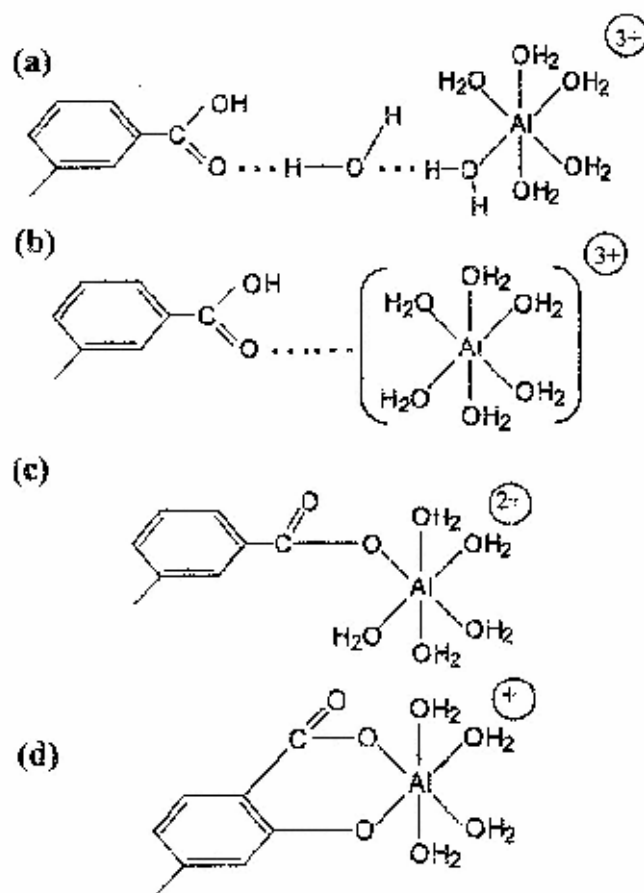


Figura 3. Formas de ligações do alumínio com a matéria orgânica do solo: (a) pontes de hidrogênio; (b) atração eletrostática; (c) troca de ligantes com apenas um grupo doador; (d) e quelação (mais de um grupo doador). (Fonte: Vance et al., 1995).

Complexos de Al com compostos orgânicos (ambos, na forma sólida e dissociada) suprimem a fitotoxicidade do elemento reduzindo a atividade da dissolução do Al na camada superficial do solo, especialmente em altas concentrações de matéria orgânica (Wesselink et al., 1996).

Segundo Nolla et al. (2006), algumas plantas são capazes de tolerar altas concentrações de alumínio ($> 0,15 \mu\text{mol L}^{-1}$). O mecanismo de tolerância envolve a detoxificação desse elemento fora da raiz, através de uma reação de complexação com ácidos orgânicos exsudados. Estes são excretados pelo sistema radicular das plantas, devido à exposição ao alumínio (estresse biótico), sendo a quantidade liberada proporcional à concentração externa de alumínio na solução do solo. Esta exsudação radicular é maior no início do crescimento das plantas (Strobel, 1999). Uma vez liberados, os ácidos orgânicos formam complexos com o alumínio na solução do solo rizosférico, tornando as raízes mais tolerantes ao alumínio (Jones, 1998). Os ácidos orgânicos alteram o pH rizosférico com intensidade variável conforme a espécie vegetal (Strobel et al., 1999), e a condição de estresse (Jones, 1998), e são estimulados por microrganismos que metabolizam esses compostos (Marschner, 1997; Jones, 1998). Dependendo das condições de solo e da espécie de planta que está sendo utilizada, esses exsudatos promovem alterações diferenciadas no pH rizosférico, o que promove alteração na espécie iônica de alumínio presente em solução (Salet et al., 1999; Franchini et al., 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da Área em Estudo

3.1.1 Geomorfologia

No Acre, assim como em outros locais da Amazônia, a variação altimétrica não é expressiva. Os perfis estão inseridos na unidade geomorfológica da Depressão do Juruá-Iaco com altitude variável entre 150 e 440 m. Apresenta modelado de topos convexos, por vezes aguçados, com declives que variam de medianos a fortes. Suas principais formas de dissecação são a convexa e a aguçada (Acre, 2006).

3.1.2 Clima e vegetação

O clima da região é caracterizado pelas altas temperaturas e elevados índices pluviométricos, com índices anuais superiores a 1.600mm (Figura 4). Possui duas estações bem definidas: os meses de novembro a abril correspondem ao período chuvoso, com umidade relativa do ar, nesta época, normalmente situando-se acima de 90%, e os meses de junho a setembro, os menos chuvosos. A temperatura média anual encontra-se em torno de 24,5°C, enquanto que a temperatura máxima fica em torno de 32°C (Acre, 2006a).

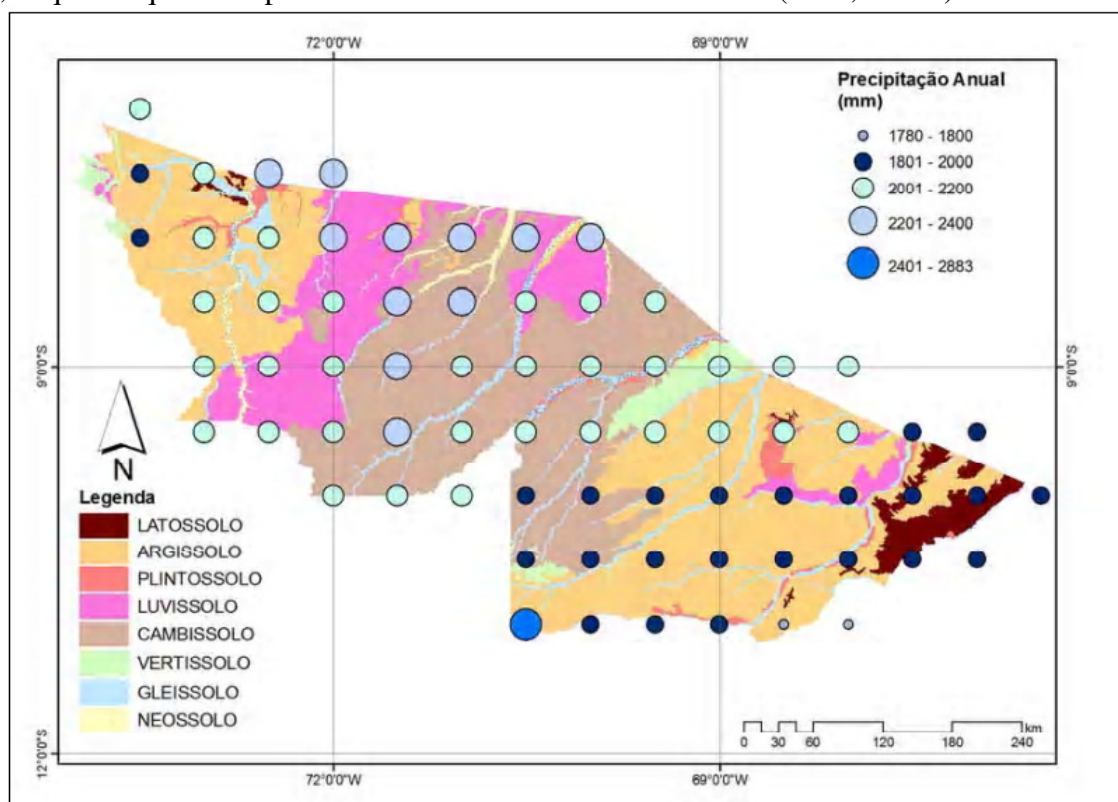


Figura 4. Precipitação pluviométrica anual e distribuição das ordens de solos no território acreano (Fonte: Amaral, 2007).

As feições fitoecológicas dominantes da região são: a Floresta Aberta com Bambu (*Guadua weberbaueri*) associada à Floresta Aberta com Palmeiras e manchas Floresta Densa.



Figura 5. Feições fitoecológicas representativas da área de estudo. Floresta Aberta com Palmeiras (A), Floresta Aberta com Bambu (B) e Floresta Densa (C).

3.1.3 Localização da área e amostragem

Os perfis foram descritos e amostrados na regional do Purus, que compreende os municípios de Sena Madureira, Manoel Urbano e Santa Rosa do Purus (Figura 6). A regional do Purus caracteriza-se pela presença de solos com argilas ativas e quimicamente férteis, imprimindo à região certo potencial agrícola. Entretanto, as técnicas de manejo devem ser bem desenvolvidas evitando assim problemas de ordem física irreversíveis, principalmente erosão e perdas de solo via escoamento superficial. Nesta regional os perfis foram coletados em Sena Madureira e Manoel Urbano.

O segundo ponto de coleta foi na Regional do Tarauacá e Envira (Municípios de Tarauacá, Feijó e Jordão), sendo os perfis descritos e coletados no município de Feijó (Figura 7).

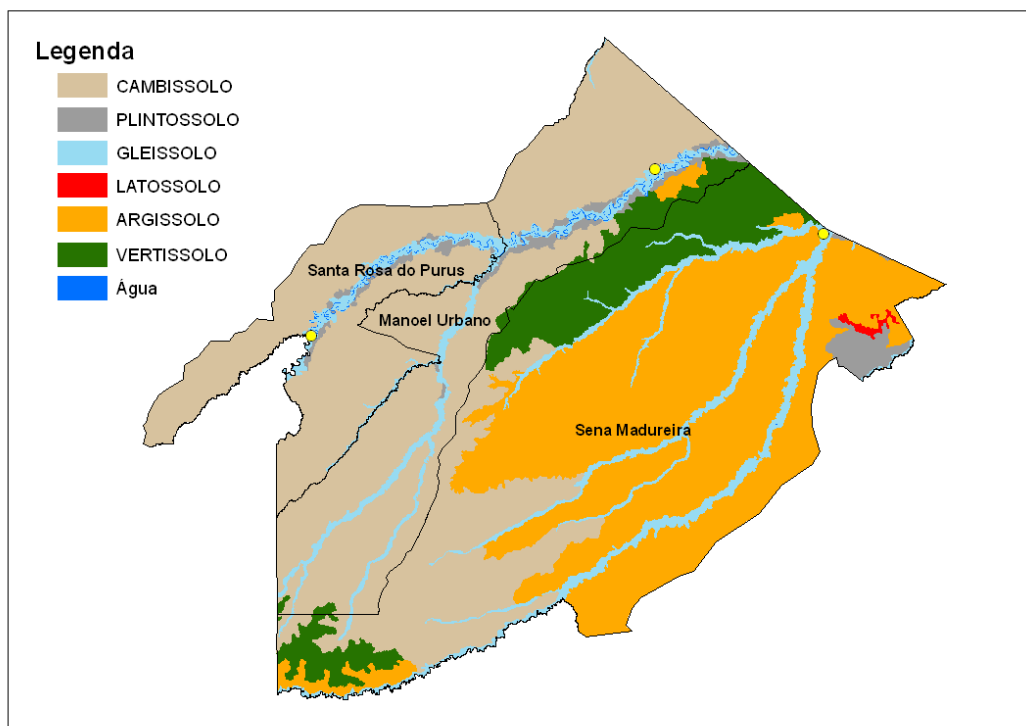


Figura 6. Mapa de solos da regional do Purus, simplificado em nível de ordem, na escala de publicação de 1:250.000. (Fonte: Acre, 2005)

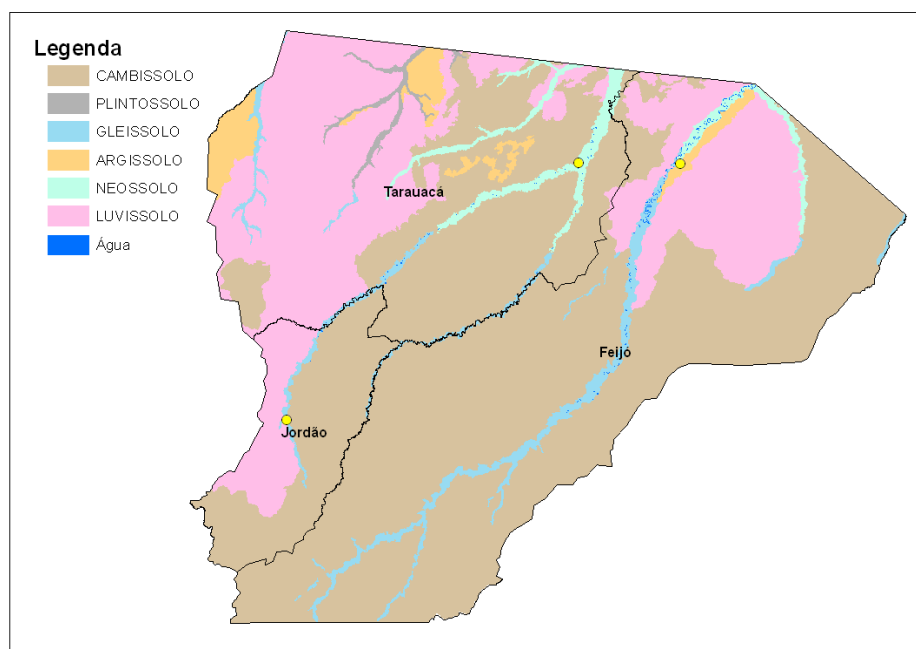


Figura 7. Mapa de solos da regional Tarauacá/Envira, simplificado em nível de ordem, na escala de publicação de 1:250.000. (Fonte: Acre, 2005)

Em cada área foram abertas trincheiras em três pontos distintos de uma topossequência (terço superior, terço médio e terço inferior de encosta). A descrição dos perfis foi realizada segundo o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2005). Foram coletadas amostras de solo de cada horizonte, para as caracterizações físicas, químicas e mineralógicas. Os solos foram classificados com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), mediante as propriedades morfológicas e dados analíticos.

3.2. Análises Químicas

3.2.1 Análises para caracterização dos solos

As análises descritas a seguir foram realizadas segundo métodos de rotina em Embrapa (1997).

a) pH em água e em KCl 1 mol L⁻¹

Determinado potenciometricamente na suspensão solo-líquido de 1:2,5, com tempo de contato não inferior a uma hora e agitação da suspensão antes da leitura.

b) Cálcio e Magnésio trocáveis

Estes elementos químicos foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ (1:10) e determinados por complexometria, em presença do coquetel tampão. O Ca⁺² foi determinado em presença de KOH a 10% e titulado com EDTA 0,0125 mol L⁻¹; o Mg⁺² foi obtido por diferença entre a soma de Ca⁺² + Mg⁺² e o teor de Ca⁺².

c) Potássio e Sódio trocáveis

Extraídos com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ na proporção solo-solução 1:10 e determinados por fotometria de chama.

d) Acidez extraível (H⁺ + Al⁺³) e Hidrogênio extraível (H⁺)

Extraída com solução de acetato de cálcio 1 mol L⁻¹, ajustada a pH 7,0 na proporção de 1:15 e determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹. O H⁺ foi obtido por diferença entre o valor de acidez extraível e o teor de Al⁺³.

e) Alumínio trocável (Al^{+3})

Extraído com solução KCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ na proporção de 1:10 e determinado pela titulação da acidez com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$.

f) Valor S, T, V% e porcentagem de saturação por alumínio (Valor m)

Calculados pelas seguintes relações:

- Soma de bases trocáveis (Valor S) = soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio trocáveis.

- Valor T = Valor S + Valor H; sendo o Valor H = $(\text{H}^+ + \text{Al}^{+3})$

- Porcentagem de saturação por bases (Valor V%) = $(\text{Valor S} / \text{Valor T}) \times 100$

- Porcentagem de saturação por alumínio (m) = $100 \times [\text{Al}^{+3} / (\text{Valor S} + \text{Al}^{+3})]$.

g) Fósforo assimilável

Extraído com solução de HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ e determinado por colorimetria após a redução do complexo fosfomolibdídico com ácido ascórbico, em presença de sal de bismuto.

h) Porcentagem de sílica (SiO_2)

A sílica foi solubilizada no resíduo do ataque sulfúrico na fração argila com solução de NaOH a 30%, sob fervura branda e refluxo, sendo determinada colorimetricamente após tratamento com solução ácida de molibdato de amônio, ácido ascórbico e ácido fosfórico.

i) Porcentagem de ferro total (Fe_2O_3)

Foi determinado em uma alíquota do extrato sulfúrico (ajustada a pH 1,5) por meio de titulação com EDTA $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, usando-se como indicador o ácido sulfossalicílico.

j) Porcentagem de alumínio total (Al_2O_3)

Foi determinado na mesma alíquota em que foi dosado o Fe_2O_3 , após correção do pH com acetato de amônio. A dosagem do Al_2O_3 é feita titulando-se o excesso de CDTA $0,031 \text{ mol L}^{-1}$ com ZnSO_4 $0,016 \text{ mol L}^{-1}$ e descontando-se o valor do TiO_2 na amostra.

k) Porcentagem de titânio (TiO_2)

Foi obtido em alíquota do filtrado do ataque sulfúrico pelo método colorimétrico, após adição de ácido oxálico, ácido fosfórico e perhidrol.

l) Relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (K_i)

Foi calculada segundo a equação: $K_i = 1,70 \times \text{SiO}_2 (\%) / \text{Al}_2\text{O}_3 (\%)$.

m) Relação molecular $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ (K_r)

Foi calculada segundo a equação: $K_r = (1,70 \times \text{SiO}_2 \%) / \text{Al}_2\text{O}_3 \% + (0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 \%)$

3.2.2 Métodos especiais para determinação do alumínio

Para a determinação das formas de alumínio foram usados os métodos colorimétricos do violeta de pirocatecol (Dougan & Wilson, 1974) e o do alaranjado de xilenol (Coscione et al., 2000) e a técnica de espectrometria de emissão por plasma (ICP-OES).

a) Violeta de pirocatecol

O método do violeta de pirocatecol (PCV) é um método espectrofotométrico que utiliza como reagente o violeta de pirocatecol, possibilitando a discriminação das formas monoméricas e totais do alumínio. Desta forma podem-se quantificar os teores de alumínio efetivamente tóxicos (Al monomérico), bem como os teores totais, incluindo Al que pode vir a ser tóxico aos vegetais (toxidez potencial).

O violeta de pirocatecol é um agente quelante para alguns metais, sendo formado um complexo com o alumínio, que é muito solúvel em água. Este complexo possui o máximo de

absorção na região do visível (580 nm) e o método é menos sensível a interferências, como a complexação pelas substâncias húmicas (Quitela, 1993).

O alumínio foi extraído do solo com solução de KCl 1 mol L⁻¹, na relação 1:10 (solo:solução), mediante agitação por 3 minutos e repouso por pernoite (≈ 12h). O sobrenadante foi recolhido e neste foram quantificados o Al total e o Al monomérico de acordo com o seguinte protocolo:

a.1) Determinação do alumínio total

Em 3,5 ml de amostra ou solução padrão foi adicionado 0,1 ml de mascarante de ferro (0,1 g de 1.10 fenantrolina + 10 g de hidroxilamida diluídos em água ao volume final de 100 ml), 0,2 ml de PCV (0,0966 g de PCV diluídos em água ao volume final de 50 ml). A solução foi homogeneizada e, em seguida, adicionou-se 1,0 ml de tampão (21,03 g de hexametilenotetramina diluído em água ao volume final de 100 ml). A solução foi novamente homogeneizada e, após 1 hora, adicionado 50 µL de HCl concentrado. Decorrido, novamente, o tempo de 1 hora foi feita a leitura da absorvância em espectrofotômetro modelo Spectrumbiol 22PC a 577 nm.

a.2) Determinação do alumínio monomérico

Para a determinação do alumínio monomérico, a marcha analítica foi igual à descrita para a determinação do alumínio total, porém, foi adicionado o ácido logo após o tampão, sendo feita a homogeneização e a solução deixada em repouso por 1 hora. Decorrido o tempo, foi feita a leitura em espectrofotômetro modelo Spectrumbiol 22PC a 577 nm.

b) Alaranjado de xilenol

O alaranjado de xilenol é um excelente indicador complexométrico e um reagente potenciométrico para a determinação de muitos íons metálicos, inclusive o alumínio (Otomo, 1963). Devido ao reduzido número de operações e a sua estabilidade e precisão, é facilmente utilizável, tanto para análises em série como para amostras isoladas, permanecendo estável num período de 18 a 120 h, mesmo em condições de temperatura ambiente (Duriez, 1982; Santos, 1991; Coscione, 2001).

b.1) Reagentes e preparo de soluções

b.1.1) Álcool etílico p.a., mínimo 99,5% v/v.

b.1.2) Solução estoque de alaranjado de xilenol (sal tetrassódico) 0,2 mmol L⁻¹, em tampão acetato de sódio/ácido acético, em pH 3,4.

Dissolveu-se 0,16g (± 0,01 g) de alaranjado de xilenol em 50 ml de água deionizada e transferiu-se quantitativamente para balão de 1 L contendo mais 100 ml de água deionizada. Separadamente, em um béquer de 1 L, adicionou-se 50 g de acetato de sódio p.a., dissolveu-se em cerca de 300 ml de água deionizada, acrescentou-se lentamente 450 ml de ácido acético glacial e homogeneizou-se. Em seguida, verificou-se o pH, que deve estar na faixa de 3,4 ± 0,1. Se não estiver, deve ser ajustado para esta faixa, utilizando-se gotas de HCl 1 mol L⁻¹ ou adicionar porções de aproximadamente 0,1 g de acetato de sódio até atingir o intervalo desejado de pH. Posteriormente, transferiu-se quantitativamente a solução-tampão (ácido acético/acetato de sódio) para balão volumétrico de 1 L, que continha a solução de alaranjado de xilenol, sendo adicionado 1 ml de clorofórmio (CHCl₃) como preservante e completou-se o volume com água. Finalmente, homogeneizou-se cuidadosamente e armazenou-se sob refrigeração, em frasco de polietileno.

b.1.3) Solução etanólica de alaranjado de xilenol.

Transferiu-se, com auxílio de uma proveta, 520 ml de etanol para um balão de 1 L, adicionando-se 200 ml da solução-estoque de alaranjado de xilenol em tampão ácido acético/acetato de sódio. As soluções foram colocadas exatamente nesta ordem para facilitar a

homogeneização. Em seguida, completou-se o volume para 1 L com água deionizada, lentamente e com agitação. Manteve-se em repouso por 30 minutos antes de usar.

b.2) Procedimento

b.2.1) Transferiu-se uma alíquota de 1 ml de extrato de solo para frascos plásticos de 100 ml. Procedeu-se igualmente com as soluções-padrão de trabalho.

b.2.2) Com auxílio de um dispensador, adicionou-se 25 ml da solução de alaranjado de xilenol e Homogeneizou-se. Deixou-se em repouso por duas horas.

b.2.3) Realizou-se as leituras no espectrofotômetro UV - Vis, em 555 nm, iniciando-se pelas soluções padrão.

c) Espectrometria de emissão por plasma

O teor de Al foi também quantificado pela técnica de espectrometria de emissão por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). Para isso, foi utilizado o equipamento Perkin-Elmer modelo OPTIMA 3000 da Embrapa-Solos, cujas condições de operação foram as seguintes: potência de radiofrequência de 1500W, vazão de argônio para o plasma de 15 L min⁻¹, vazão de argônio auxiliar de 0,5 L min⁻¹, vazão de argônio para o nebulizador de 0,7 L min⁻¹ e taxa de aspiração da amostra de 2,0 mL min⁻¹.

Foram utilizados como extratores: o KCl 1 mol L⁻¹ como extrator de alumínio do solo correspondendo ao Al adsorvido pelos mecanismos de complexação de esfera externa, em que as ligações do Al com a superfície sólida ocorrem por pontes de moléculas de água ou por atração eletrostática (Quaggio, 1987) e o cloreto de cobre 0,5mol L⁻¹, para a extração do alumínio ligado à matéria orgânica do solo, além daquele adsorvido pelos mecanismos de complexação de esfera externa.

Todas as amostras foram analisadas em triplicata e todos os passos analíticos foram controlados através do programa de computação ICP WinLab instalado em um computador Pentium. O sistema de nebulização utilizado foi o ultra-sônico a partir de equipamento CETAC modelo U-5000AT+.

A concentração dos elementos foi determinada com base em curva analítica obtida por diluição adequada do padrão analítico multielementar IV da Merck (diluído em HNO₃ 1 mol L⁻¹) e pelas respectivas áreas dos picos das linhas de emissão selecionadas, as quais foram: Fe – 238,199 nm; Al – 308,211 nm.

3.3. Caracterização da Matéria Orgânica do Solo (MOS)

3.3.1 Carbono orgânico total (COT)

Foram quantificados os teores de carbono orgânico total (COT) do solo segundo Embrapa (1997) e segundo Yeomans & Bremner (1988).

3.3.2 Extração e fracionamento químico da MOS

Para as análises foi utilizado o método proposto pela Sociedade Internacional de Substâncias húmicas (IHSS), com adaptações propostas por Benites et al. (2003). Este método de fracionamento da matéria orgânica baseia-se na extração da mesma com hidróxido de sódio e na dosagem das frações extraídas com dicromato de potássio. Um resumo simplificado deste procedimento é apresentado abaixo.

Pesou-se uma massa de solo igual a 1,0 g, submetendo-se ao contato com 20 ml de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA = FAF + FAH) e o resíduo foi feita por centrifugação a 5000 g por 30 minutos. Seguiu-se mais uma lavagem com a mesma solução anterior, juntando-se o extrato com o anteriormente obtido, resultando em volume final de aproximadamente 40 ml. O resíduo foi retirado dos tubos da centrífuga, acondicionados em placa de petri e secado a 65°C (secagem completa). O pH do extrato

alcalino (EA) foi ajustado a 1,0 ($\pm 0,1$) com H_2SO_4 20%, seguido de decantação por 18 horas em geladeira. O precipitado (FAH) foi separado da fração solúvel (FAF) por filtragem e ambos os volumes aferidos a 50 ml, com água destilada.

A quantificação do carbono orgânico nas frações FAF e FAH foi feita usando-se alíquotas de 5,0 ml de extrato, 1,0 ml de dicromato de potássio $0,042 \text{ mol L}^{-1}$ e 5,0 ml de H_2SO_4 concentrado, em bloco digestor a 150°C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$. No resíduo seco em estufa, foi determinado o carbono orgânico na humina (HUM), e adicionando 5,0 ml de dicromato de potássio $0,1667 \text{ mol L}^{-1}$ e 10,0 ml de H_2SO_4 concentrado, em bloco digestor a 150°C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ e indicador ferroin (Yeomans & Bremner, 1988).

Foram quantificados os teores de carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos (C-FAF), fração ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM). Foram calculadas as relações C-FAH/C-FAF, e a relação entre C-EA/C-HUM (Benites et al., 2003).

3.3.3 Extração, fracionamento químico e purificação do material húmico

A extração e o fracionamento do húmus para obtenção dos ácidos húmicos, bem como sua purificação, foram feitas conforme método da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS), cujo protocolo metodológico encontra-se descrito em Swift (1996), com uma modificação deste com pré-tratamento da amostra de solo com uma solução de HCl a pH entre 1 e 2 para redução do conteúdo de cinzas (remoção de metais adsorvidos), e utilização do K^+ para remoção dos sólidos em suspensão (Novotny, 2002), conforme descrição a seguir.

Após pré-tratamento dos solos com HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, foram adicionadas quantidades de amostras com cerca de 1000 mg de ácidos húmicos (estimado pelo fracionamento quantitativo) a 200 mL de solução de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ sob atmosfera de N_2 . Após agitação por 24 h, o material foi centrifugado a 10.000 g por 30 min. O sobrenadante foi recolhido e imediatamente o pH ajustado para 2,0, por gotejamento de solução aquosa de HCl 20%. O resíduo foi novamente submetido à extração, da mesma forma, e o sobrenadante juntado ao anterior, ajustando-se, imediatamente, o pH para 2,0. O extrato acidificado foi reservado para precipitação da FAH. Após 18 h, o excesso de sobrenadante foi sifonado e descartado. O restante do material foi centrifugado a 5.000 g por 10 min, eliminando-se o sobrenadante. Para remoção dos sólidos solúveis em suspensão, os ácidos húmicos foram redissolvidos em solução de KOH a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, onde se adicionou KCl para atingir-se uma concentração de $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ de K^+ e, em seguida, centrifugou-se a 4.000 g por 15 min. Após esta etapa os ácidos húmicos foram purificados com solução de HF + HCl 0,5% (Schnitzer, 1982) por 24 h e centrifugados a 5.000 g, repetindo-se o processo mais duas vezes. As amostras purificadas foram lavadas com água deionizada e transferidas para sacolas de celofane de aproximadamente 100 mL. A diálise das amostras foi realizada em água deionizada em recipiente coletivo de 20 L (12 sacolas por bateria), sendo a água trocada duas vezes ao dia, até que não haja aumento maior que $1 \mu\text{S}$ na medida de condutividade da água de diálise, 1 hora após a troca desta. As amostras foram então congeladas e liofilizadas. Após a liofilização foram acondicionadas em dessecador.

3.3.4 Análises espectroscópicas na região do infravermelho

Para a caracterização da matéria orgânica na região dos espectros de IV foi utilizada a fração ácidos húmicos liofilizada, compreendidos na faixa $4.000 - 400 \text{ cm}^{-1}$, em pastilhas de KBr (2 mg de ácido húmico liofilizado + 200 mg de KBr seco), utilizando-se um espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), modelo 1600 Series FTIR, fabricado pela Perkin Elmer. Os diferentes grupos funcionais de carbono foram identificados conforme as bandas de absorção de infravermelho apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais bandas de absorções dos ácidos húmicos.

Frequência (cm ⁻¹)	Descrição
3400 - 3300	estiramento O-H e N-H
3380	estiramento O-H de OH fenólico
3030	estiramento C -H aromático
2966	estiramento simétrico C -H de CH ₂ e CH ₃ alifático
2928	estiramento assimétrico C-H de CH ₂ e CH ₃ alifático
2852	estiramento simétrico C -H de CH ₂ e CH ₃ alifático
2600	estiramento O-H de COOH
1725 - 1720	estiramento C=O de COOH e parcialmente de outros C=O
1660 - 1630	estiramento C=O de amidas (amida I), C=C aromático, C=O de quinonas e/ou de cetonas conjugadas
1628	estiramento C=C aromático, estiramento assimétrico COO ⁻ e banda I de amida
1598	C=C aromático, amida e estiramento assimétrico COO ⁻
1542	banda II de amida (deformação de N-H), anel aromático (estiramento C=C)
1508	estiramento de C=C aromático
1475	estiramento de anel aromático
1460 - 1435	deformação C-H de grupamentos alifáticos
1378 - 1330	deformação O-H e estiramento C-O fenólico, estiramento simétrico COO ⁻ , deformação de CH ₂ e CH ₃
1250 - 1220	estiramento C-O, deformação O-H de COOH, parcialmente de estiramento C-O de aril éter
1150 - 1050	estiramento O-H alcoólico alifático e polissacarídeos
1030 - 900	estiramento Si-O
830	deformação C-H aromático
775	deformação C-H aromático (fora do plano)

Stevenson & Goh (1971), Orlov (1985), Paim et al. (1990), Silverstein et al. (1991), Niemeyer et al. (1992), Stevenson (1994), Pavia et al. (1996), Wander & Traina (1996).

3.3.5 Análises espectroscópicas na região do ultravioleta-visível

O extrato alcalino (EA) foi obtido colocando-se uma amostra de terra com teor de carbono no EA de 2 mg em 100 ml de solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ (20 mg COT de EA L⁻¹) por um período de 24 horas e separado por filtração (Canellas et al., 2000; Chen et al., 1977; Yonebayashi & Hattori, 1988).

Os espectros na faixa do UV-visível foram obtidos em espectrofotômetro digital modelo 22pc, da marca Spectrumbiolab, na faixa do visível para determinação das absorbâncias em 380, 465 e 665 nm. Para determinação da relação E4/E6, foi dividida a absorbância em 465 nm pela obtida em 665 nm (Kumada, 1987).

3.3.6 Frações oxidáveis do carbono orgânico

Para a quantificação das frações oxidáveis do carbono orgânico do solo foi utilizado o método proposto por Chan et al. (2001). No fracionamento do carbono por graus de oxidação pesou-se 0,5 g de solo e colocou-se em erlenmeyer de 250 mL, onde adicionaram-se 10 mL K₂Cr₂O₇, 0,167 mol L⁻¹ e quantidades de H₂SO₄, correspondentes às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L⁻¹. A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi feita com solução de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O 0,5 mol L⁻¹, utilizando-se como indicador a fenantrolina.

O fracionamento do carbono produziu quatro frações, com graus decrescentes de oxidação:

- Fração 1 (F1): C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido de 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;
- Fração 2 (F2): diferença do C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 6 e 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;
- Fração 3 (F3): diferença do C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 9 e 6 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;
- Fração 4 (F4): diferença do C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 12 e 9 mol L^{-1} de H_2SO_4 .

3.4. Análises Físicas do Solo

a) Composição granulométrica

As amostras de terra foram dispersas com NaOH 1 mol L^{-1} e agitadas, em baixa rotação, por 16 horas, conforme modificação proposta por Rezende (1979). O teor de argila total foi determinado na suspensão, pelo método da pipeta (Day, 1965). As frações areia grossa e areia fina foram separadas por tamisação, em peneiras de malhas 0,2 e 0,053 mm, respectivamente. O silte foi obtido por diferença.

b) Argila dispersa em água (argila natural)

O método é semelhante ao da argila total, usando água destilada como dispersante.

c) Superfície Específica (S.e.)

A superfície específica foi determinada em terra fina seca ao ar, previamente moída e passada em peneira de 60 'meshes'. A adsorção foi medida pelo uso do etileno glicol monometil éter (EMGE), segundo Carter et al. (1965), Heilman et al. (1965) e modificações de Cihac & Bremner (1979). Foram pesados 1,0g de amostra e em seguida adicionado 3,0 ml de EMGE e o material de solo submetido a vácuo em dessecador com $CaCl_2$, efetuando-se pesagens a intervalos pré-estabelecidos, até obtenção de peso constante. A superfície específica total (S.e.) foi calculada pela expressão: $S.e. = g \text{ EMGE/g (amostra)} \times 2,86 \times 10^{-4} g/m^2$

3.5. Análise Mineralógica

a) Fração areia e silte

As amostras foram previamente moídas em moinho de bolas para obtenção do pó cristalino (Azaroff e Buerger, 1958). Foi precedida a difração de raio-X (DRX) em pó não orientado, com a utilização de um difratômetro Bruker AXS, modelo D8 Advance, empregando-se radiação de $K\alpha$ de λ 0,015405 nm, produzida por tubo de cobre, 40 kv e 40 mA, com amplitude de varredura igual a 2θ por minuto (0,04°/s).

Com a análise de difração por raio X gerou-se difratogramas, que através do programa Xpoder Ver. 2004.04.67 PRO (acessível em <http://www.xpoder.com>), foi possível identificar os minerais e estimar suas proporções.

b) Fração argila

As amostras foram analisadas em condição "ao natural" e sob os seguintes tratamentos: desferriificação por CBD (citrito-bicarbonato-ditionito de sódio), de acordo com Mehra e Jackson (1960); saturação com K e aquecimento por duas horas, após montagem da lâmina, nas temperaturas de 110°, 350° e 550° C; saturação com Mg e solvatação com etileno glicol, conforme Embrapa (1997) e Calderano et. al. (2009). As lâminas foram preparadas de forma orientada, pelo método do esfregão.

Os difratogramas foram confeccionados usando o programa Microcal Origin 6.0. São apresentados na seguinte ordem: amostra não tratada (Am.total); amostra desferriificada e saturada com magnésio (Mg) e posteriormente solvatada com etileno glicol (MgEG); amostra

desferrificada e saturada com potássio, com varreduras executadas à temperatura ambiente (K25) e, após aquecimento, nas temperaturas assinaladas (K350 e K550).

Os difratogramas foram interpretados segundo as tabelas e critérios de Thorez (1976), Brindley e Brown (1984) e Moore e Reynolds (1997). A grafia dos nomes dos minerais está de acordo com Branco (1987).

3.6. Classificação dos Perfis de Solo

Os perfis de solo foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), o Soil Taxonomy (USDA, 2006) e o WRB (FAO, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os perfis estudados localizam-se no município de Sena Madureira (Topossequência 1) e Manoel Urbano (Topossequência 2) na região da regional do Purus e no município de Feijó (Topossequência 3) na regional do Tarauacá e Envira do estado do Acre, e estão representados nas Figuras 8, 9 e 10. Os perfis localizam-se em três pontos da topossequência: terço superior (Perfil 1), terço médio (Perfil 2) e terço inferior de encosta (Perfil 3).

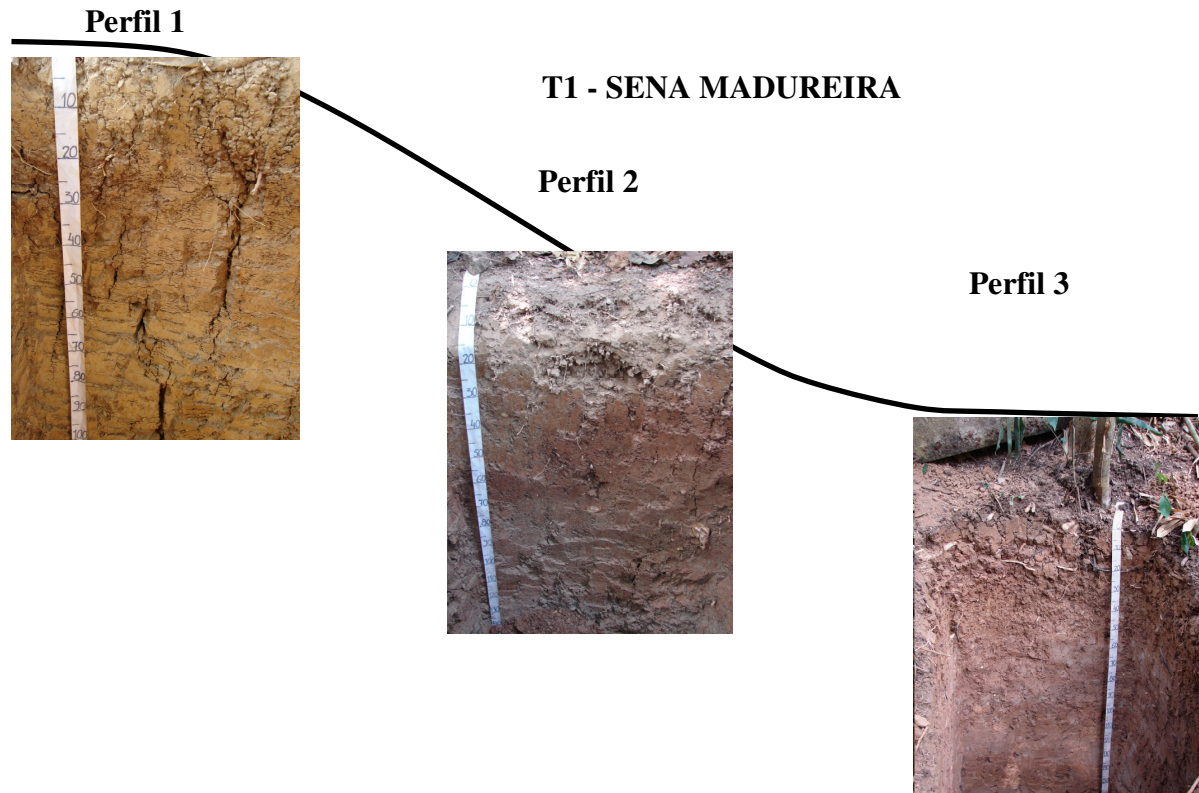


Figura 8. Perfis da topossequência 1, município de Sena Madureira, na regional do Purus, Acre.

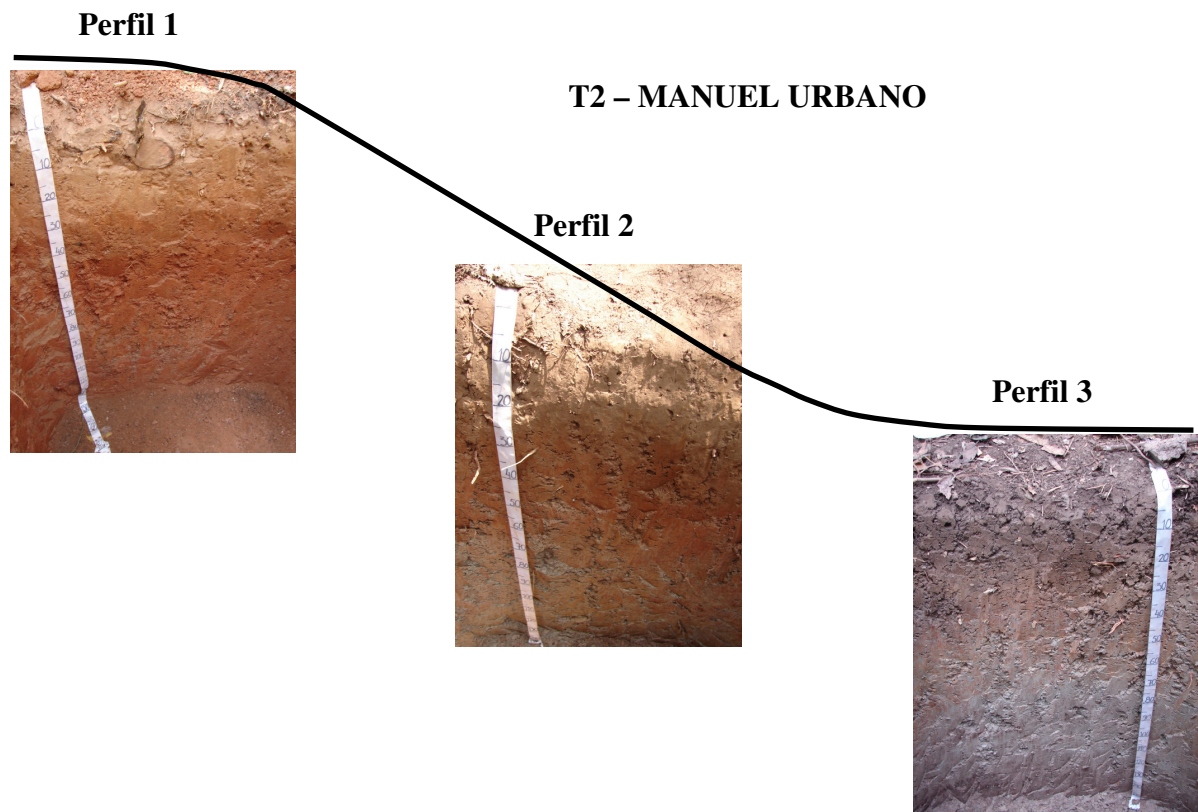


Figura 9. Perfis da topossequência 2, município de Manuel Urbano, na regional do Purus, Acre.

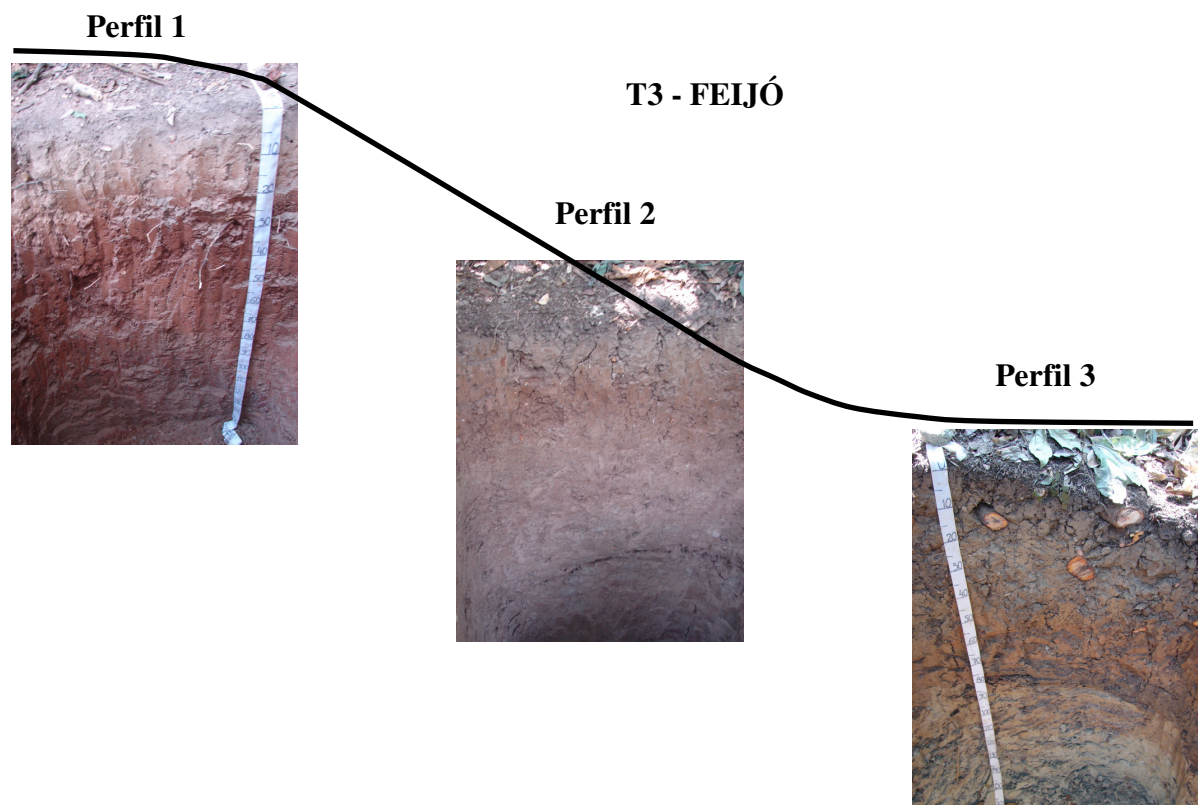


Figura 10. Perfis da topossequência 3, município de Feijó, regional do Tarauacá e Envira, Acre.

4.1. Atributos Morfológicos

A morfologia dos perfis (Tabelas 2, 3 e 4) mostrou sequência de horizontes A, B e C ou A e C. O horizonte superficial A apresentou pequena espessura, de no máximo 10 cm, e se incluído o AB, os valores são da ordem de 21 cm. A maioria dos horizontes subsuperficiais B apresentou espessura maior que 100 cm, chegando a mais de 148 cm. Para o perfil P1 da T1, o horizonte C está a 14 cm de profundidade (Tabela 2).

Tabela 2. Principais atributos morfológicos¹ dos solos da topossequência 1.

Tabela 2. Principais atributos morfológicos dos solos da toposequência 1.					
Horiz.	Prof. (cm)	Cor Munsell (úmida)		Textura	Estrutura
		Matriz	Mosqueado		
Perfil 1					
A	0-5	10YR 3/2		Franco siltosa	mod. peq. bl. ang.
CA	5-14	7,5YR 5/4		Franco arg. silt.	fo. méd. bl. ang.
Cv ₁	14-34	10YR 7/3	7,5YR 5/6, co. dis.	Argila	maciça.
Cv ₂	34-59	10YR 7/3	7,5YR 5/6, co. dis.	Argila	maciça
Cv ₃	59-96	10YR 7/3	7,5YR 5/6, co. dis.	Argila siltosa	maciça
Cv ₄	96-123	2,5Y 6/4	7,5YR 5/8, co. peq. dif.	Argila	maciça
2Cv	123-140+	10YR 6/3		Franco siltosa	maciça
Perfil 2					
A	0-3	10YR 3/2		Franco arg. silt.	fo. méd. gran.
AB	3-12	10YR 4/2		Franco arg. silt.	fo. gr. gran.
BA	12-21	10YR 5/3		Argila siltosa	mod. peq. bl. subang.
Bi ₁	21-42	10YR 5/3		Argila siltosa	mod. méd. bl. subang.
Bi ₂	42-62	10YR 6/3		Franco arg. silt.	mod. peq. bl. subang.
2Bg ₁	62-77	10YR 5/2	2,5YR 4/4, ab. peq. dis	Argila siltosa	mod. peq. pris. e fo. peq. bl. ang.
2Bg ₂	77-97	10YR 5/3	2,5YR 4/4, ab. peq. dis	Argila	mod. peq. pris. e bl. ang.
2Bg ₃	97-105	10YR 6/2	2,5YR 4/4, co. méd. pro.	Franco arg. silt.	fo. méd. pris. e mod. peq. bl. ang.
2Cg	105-136+	10YR 7/1	2,5YR 4/4, co. peq. pro.	Argila siltosa	maciça

Tabela 2. Principais atributos morfológicos¹ dos solos da topossequência 1 (contin.....).

Horiz.	Prof. (cm)	Cor Munsell	Textura	Estrutura	Horiz.
Perfil 3					
A	0-8	7,5YR 3/2		Franca	mod. gr. gran.
AB	8-18	7,5YR 4/2		Franco argilosa	mod. méd. bl. subang.
BA	18-43	7,5YR 5/4		Argila	fo. gr. bl. ang. e pris.
Bi ₁	43-58	7,5YR 5/4		Franco argilosa	fo. peq. pris. e mod. méd. bl. ang.
Bi ₂	58-79	7,5YR 5/2		Franco siltosa	mod. peq. bl. ang.
2Bi ₁	79-107	7,5YR 5/4		Franco argilo arenosa	mod. méd. bl. ang.
2Bi ₂	107-126	7,5YR 5/4		Franco siltosa	fo. méd. bl. ang.
2C ₁	126-143	7,5YR 5/4		Franco arenosa	maciça
2C ₂	143-166	7,5YR 5/4		Franco siltosa	maciça
2Cg	166-169+	7,5YR 5/2		Franco arenosa	maciça

Tabela 3. Principais atributos morfológicos¹ dos solos da topossequência 2.

Tabela de Perfil para solos arenosos microssólidos dos solos da toposequência 2:					
Horiz.	Prof. (cm)	Cor Munsell (úmida)		Textura	Estrutura*
		Matriz	Mosqueado*		
Perfil 1					
A	0-3	5YR 3/2		Franco siltosa	mod. gr. gran.
AB	3-9	7,5YR 5/4		Franco siltosa	fo. méd. bl. ang.
BA	9-20	2,5YR 5/2		Franco arg. silt.	mod. méd. bl. subang.
Bt	20-56	2,5YR 5/4		Muito argilosa	fo. méd. bl. ang. e mod. gr. pris.
Btg ₁	56-83	10YR 6/2	2,5YR 5/4, po. méd. pro.	Muito argilosa	mod. gr. bl. ang.
Btg ₂	83-117	5YR 7/1	2,5YR 3/6, ab. méd. pro.	Argila siltosa	mod. gr. bl. ang.
Bg	117-147+	5YR 7/1	10R4/6, ab. méd. pro.	Franco arg. silt.	mod. gr. bl. ang.
Perfil 2					
A	0-6	10YR 3/2		Franco argilosa	mod. gr. gran.
AB	6-18	10YR 5/2		Franco argilosa	fo. méd. bl. ang.
BA	18-29	7,5YR 5/4		Argila	fo. méd. bl. ang.
Bi ₁	29-43	5YR 5/3		Argila	fo. méd. bl. ang.
Bi ₂	43-80	5YR 6/3		Argila	mod. méd. bl. ang. e pris.
Cg ₁	80-114	10YR 7/1	5YR 5/3, co. peq. dif.	Franca	maciça
Cg ₂	114-166+	10YR 7/1	5YR 5/3, co. peq. dif.	Franca	maciça
Perfil 3					
A	0-6	5YR 3/1		Franco argilosa	mod. mt. gr. gran.
AB	6-21	7,5YR 5/4		Franco argilosa	fo. gr. bl. ang.
BA	21-42	10YR 5/4	7,5YR 5/4 e 5/2, co. peq. dif.	Argila	fo. gr. bl. ang. e mod. gr. pris.
Bg	42-81	10YR 6/2	5YR 4/8, co. peq. dif	Argila	fo. gr. bl. ang. e pris.
2Bg	81-106	5YR 6/1	5YR 5/2 e 4/6, ab. peq. dis.	Franco siltosa	mo. gr. bl. ang. e pris.
2Cg ₁	106-133	10YR 7/1	2,5YR 6/2 e 10YR 5/6, ab. peq. dis.	Franco siltosa	maciça
2Cg ₂	133-158+	5YR 6/1		Franco siltosa	maciça

¹ Horiz.: horizonte; Prof.: profundidade; po.: pouco; co.: comum; ab.: abundante; pro.: proeminente; dif.: difuso; dis.: distinto; franco arg. silt.: franco argilo siltosa; fr.: fraca; mod.: moderada; fo.: forte; gran.: granular; bl.: blocos; ang.: angulares; subang.: subangulares; peq.: pequena; méd.: média; gr.: grande.

Tabela 4. Principais atributos morfológicos¹ dos solos da topossequência 3.

Tabela 4. Principais atributos morfológicos dos solos da toposequência 5.					
Horiz.	Prof. (cm)	Cor Munsell (úmida)		Textura	Estrutura
		Matriz	Mosqueado		
Perfil 1					
A	0-3	7,5YR 3/2		Franco siltosa	mod. gr. gran.
AB	3-15	2,5YR 5/2		Franca	mod. peq. bl. subang.
BA	15-26	2,5YR 5/2		Franca	mod. peq. bl. subang.
Bt	26-40	2,5YR 5/4		Franco siltosa	mod. peq. bl. ang.
2Bt	40-88	2,5YR 4/4		Muito argilosa	mod. méd. bl. ang.
2Btg	88-148+	10YR 6/2	2,5YR 3/6, ab. méd. dis.	Argila	mod. méd. bl. ang.
Perfil 2					
A	0-5	7,5YR 3/2		Franco argilo arenosa	mod. gr. gran.
AB	5-11	7,5YR 4/4		Franco argilo arenosa	fr. peq. bl. ang.
BA	11-21	5YR 3/3		Franco argilo arenosa	mod. peq. bl. subang.
Btg ₁	21-29	10YR 4/3		Argila arenosa	mod. méd. bl. ang.
Btg ₂	29-41	10YR 6/2	2,5YR 5/4 e 3/6	Argila	mod. méd. bl. ang.
Btg ₃	41-54	10YR 6/2	2,5YR 3/6, ab. peq. dis.	Muito argilosa	fo. méd. bl. ang.
Btg ₄	54-102	10YR 7/1	2,5YR 4/4, ab. peq. dis.	Argila	fo. méd. bl. ang.
2Btg	102-140+	10YR 7/1	5YR 4/6, ab. peq. pro.	Argila siltosa	mod. gr. bl. ang.
Perfil 3					
A	0-10	10YR 3/1		Argila siltosa	mod. gr. gran.
AB	10-18	10YR 4/2		Franco argilosa	fo. méd. bl. ang.
BA	18-35	10YR 4/2		Argila	fo. méd. bl. ang.
Bfg	35-66	10YR 7/1	5YR 4/6 e 7,5YR 6/6, ab méd. pro. (plintita)	Argila siltosa	mod. méd. bl. ang.
Cg ₁	66-114	10YR 7/1	5YR 4/6, co. peq. pro.	Argila	maciça
Cg ₂	114-150+	10YR 7/2	5YR 6/2, 3/2 e 5/4,co. peq. pro.	Argila	maciça

Horiz.: horizonte; Prof.: profundidade; po.: pouco; co.: comum; ab.: abundante; pro.: proeminente; dif.: difuso; dis.: distinto; franco arg. silt.: franco argilo siltosa; fr.: fraca; mod.: moderada; fo.: forte; gran.: granular; bl.: blocos; ang.: angulares; subang.: subangulares; peq.: pequena; méd.: média; gr.: grande.

Em levantamento pedológico de área-piloto no Município de Benjamin Constant, Alto Solimões (AM), Coelho et al. (2005), observaram solos em estágio incipiente de desenvolvimento, classificados como Cambissolos e Gleissolos, com pequena espessura, destacando-se o horizonte A, com valores variando de 6 a 21 cm, e elevados teores de silte. Em estudo sobre a gênese, morfologia e classificação de solos do baixo vale do rio Iaco, Acre, Bardales (2005) também relatou que os horizontes A superficiais dos perfis são muito pouco espessos.

Ainda de acordo com Bardales (2005), no Estado do Acre, deve-se atentar que a instalação recente do bioclima mais ativo nesta parte da Amazônia (Quaternário recente-10.000 anos) e o lençol freático elevado (atualmente ou no passado geológico), associado às condições peculiares de reduzida permeabilidade do substrato, podem conduzir à permanência de solos jovens, pouco profundos, em condições que seriam em princípio, favoráveis a uma intemperização alta.

O horizonte A dos perfis nesse estudo apresentou cores mais escuras que os demais, devido a presença da matéria orgânica, com matizes variando entre 5YR e 10YR, valor 3 e croma entre 1 e 2 (Tabela 2, 3 e 4). As cores predominantes dos horizontes subsuperficiais foram brunadas e/ou acinzentadas, com valor tendendo a diminuir em profundidade e croma variando entre 1 e 4. Nestes horizontes, é evidenciada a relação entre as cores acinzentadas e a

drenagem dos perfis, que variou de moderadamente a mal drenado, caracterizando pedoambiente de permeabilidade lenta, cores com baixo croma, independente da posição que estes se encontram na paisagem. Também foram observados mosqueados, com matizes variando entre 2,5YR e 7,5YR, na maioria dos perfis, exceto no perfil P3 da T1 (Tabela 2).

Resultados semelhantes foram observados por Bardales (2005), onde em todos os perfis estudados o autor verificou predomínio de cores brunadas e acinzentadas, ocorrendo cores mais escuras no horizonte A, em virtude da matéria orgânica, e cores mais acinzentadas e caráter plíntico em subsuperfície, evidenciando drenagem deficiente, justificado pela presença de argilas de alta atividade e a baixa permeabilidade dos substratos.

Em estudo com solos da Formação Solimões no município de Rio Branco-AC, Araújo (2008) observou evidências de restrição de drenagem, destacando-se as cores mescladas com mais de uma cor, descritas nos horizontes B e C, com mosqueados e variegados, caracterizados pela segregação de ferro e manganês em condições redutoras do meio.

A textura nos horizontes A variou entre as classes franca, franca siltosa e franca argilosa e, nos horizontes subsuperficiais, foram verificadas as classes texturais siltosa e argilosa, principalmente (Tabelas 2, 3 e 4).

O horizonte A dos perfis apresentou em geral estrutura granular, exceto o perfil 1 da T1, que tem estrutura em blocos angulares, justificada pela presença de argilas de alta atividade (Tabela 2). Diferindo dos demais perfis, o perfil 1 da T1 apresentou estrutura pequena, com o menor tamanho de estrutura no horizonte A. Nos horizontes B, foram observadas estruturas em forma de blocos angulares e subangulares e prismática. Quanto ao grau de desenvolvimento e tamanho houve grande variação, de moderado a forte e com tamanho pequeno a grande. Todos os horizontes C apresentaram estrutura maciça, devido à influência do lençol freático, que mantém o horizonte com alta umidade, favorecendo a elevada coesão das partículas e impedindo a formação da estrutura com agregação.

4.2. Atributos Físicos

As frações silte e argila predominaram em relação à fração areia (Tabelas 5, 6 e 7). De forma geral, os teores de argila tenderam a aumentar em profundidade, evidenciando o acúmulo de argila nos horizontes subsuperficiais, exceto para o perfil P3 da T1. Contudo, somente o perfil 1 da T2 e os perfis da T3 apresentaram gradiente textural permitindo a identificação de horizonte B textural, conforme os critérios estabelecidos pelo SiBCS (Embrapa, 2006). Os teores de silte variaram entre 102 g kg⁻¹ no perfil P3 da T2 e 612 g kg⁻¹ no perfil P3 da T1. Os maiores teores de silte foram encontrados nas posições superiores da topossequência, sendo observada diminuição dos teores em profundidade. A fração areia fina apresentou elevados valores, chegando a 681 g kg⁻¹ no perfil P3 da T1, em relação à areia grossa, que variou de 3 a 229 g kg⁻¹, nos perfis P2 da T3 e P3 da T1, respectivamente.

Resultados semelhantes foram observados por Amaral (2007), em solos de Rio Branco-AC, em que houve predomínio da fração silte nos primeiros horizontes e com aumento do teor de argila em profundidade.

Os horizontes superficiais apresentaram valores altos da relação silte/argila, evidenciando o aumento relativo de material mais grosseiro na superfície. Segundo Duarte et al. (1996), a variação na relação silte/argila pode ser causada por processos de destruição preferencial de argila em superfície, remoção superficial do material mais fino por escoamento difuso e/ou iluviação de argila do horizonte A para o B. No entanto, quando comparada com os outros valores da relação em profundidade, foi observada distribuição errática de argila em profundidade. Assim, esse padrão pode ser decorrente da natureza do material de origem, sedimentos colúvio-aluviais, depositados possivelmente no Holoceno.

A relação areia fina/areia grossa também mostrou irregularidade (Tabelas 4, 5 e 6), sugerindo que as variações em profundidade são devidas à heterogeneidade do material de

origem. Os valores da relação foram maiores 1, demonstrando o predomínio da granulometria mais fina da fração areia.

Em estudo com solos dos municípios de Sena Madureira e Rio Branco, Estado do Acre, Gama (1986) observou tendências semelhantes da distribuição granulométrica, com maiores teores de silte nos horizontes superficiais e aumento dos teores de argila em profundidade, com conseqüente diminuição da relação silte/argila.

Em relação à argila dispersa em água, observou-se grande variação, com valores entre 39 g kg⁻¹ no perfil 3 da T1 e 578 g kg⁻¹ no perfil 1 da T1, sendo os menores valores encontrados, principalmente, nos horizontes superficiais, tendendo a aumentar em profundidade, com conseqüente diminuição do grau de floculação (GF).

Os valores de superfície específica (S.e.) foram relativamente altos, entre 79 m² g⁻¹ no perfil 2 da T2 e 315 m² g⁻¹ no perfil 1 da T1 (Tabelas 5, 6 e 7). Estes valores caracterizam a presença de minerais de argila com elevada S.e., como ilita e esmectita. Resultados semelhantes também foram encontrados por Gama (1986), com valores de Se variando entre 120 a 386 m² g⁻¹, mostrando íntima relação com a capacidade de troca cátions do solo.

Segundo Volkoff et al. (1989), o material de origem do solo de alguns dos do Estado do Acre, é composto de argila rica em montmorilonita, com presença variável de ilita e de vermiculita e pouca caulinita, o que confere elevados valores de S.e. ao solo.

Tabela 5. Atributos físicos dos solos da topossequência 1.

Hor. ⁽¹⁾	Prof. ⁽²⁾ cm	Granulometria				Argila dispersa em água	Grau de floculação %	Silte/ Argila	AF/AG ⁽³⁾	S.e. ⁽⁴⁾ m ² g ⁻¹
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila					
				g kg ⁻¹	TFSE					
Perfil 1										
A	0-5	44	176	541	240	82	66	2,3	4,0	
CA	5-14	15	95	554	336	265	21	1,6	6,3	
Cv ₁	14-34	5	55	390	549	489	11	0,7	11,0	
Cv ₂	34-59	11	41	366	582	432	26	0,6	3,7	260
Cv ₃	59-96	4	27	442	527	522	1	0,8	6,8	
Cv ₄	96-123	4	19	395	581	578	1	0,7	4,8	315
2Cv	123-140+	74	108	355	463	446	4	0,8	1,5	
Perfil 2										
A	0-3	53	104	550	293	88	70	1,9	2,0	
AB	3-12	21	94	550	335	109	68	1,6	4,5	
BA	12-21	24	73	477	426	139	67	1,1	3,0	
Bi ₁	21-42	35	72	458	435	264	39	1,1	2,1	
Bi ₂	42-62	50	66	505	379	315	17	1,3	1,3	
2Bg ₁	62-77	15	69	245	671	459	32	0,4	4,6	
2Bg ₂	77-97	18	85	197	700	494	29	0,3	4,7	209
2Bg ₃	97-105	67	125	150	659	335	49	0,2	1,9	
2Cg	105-136+	29	91	432	448	432	3	1,0	3,1	213
Perfil 3										
A	0-8	229	248	320	203	139	31	1,6	1,1	
AB	8-18	32	255	327	386	122	68	0,8	8,0	
BA	18-43	31	248	264	458	254	44	0,6	8,0	
Bi ₁	43-58	22	350	265	363	193	47	0,7	15,9	161
Bi ₂	58-79	65	536	150	249	86	65	0,6	8,2	
2Bi ₁	79-107	41	472	264	223	108	52	1,2	11,5	
2Bi ₂	107-126	8	276	510	206	154	25	2,5	34,5	
2C ₁	126-143	39	574	283	104	65	37	2,7	14,7	
2C ₂	143-166	24	216	612	148	95	36	4,1	9,0	125
2Cg	166-169+	31	681	224	65	39	40	3,4	22,0	

⁽¹⁾Hor= horizonte; ⁽²⁾Prof= profundidade; ⁽³⁾AF/AG= relação areia fina / areia grossa; ⁽⁴⁾S.e.= superfície específica.

Tabela 6. Atributos físicos dos solos da topossequência 2.

Tabela 3. Análises físicas dos solos da toposequência 2.										
Hor. ⁽¹⁾	Prof. ⁽²⁾	Granulometria				Argila dispersa em água	Grau de flocculação	Silte/Argila	AF/AG ⁽³⁾	S.e. ⁽⁴⁾
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila					
cm		g kg ⁻¹ TFSE				%		m ² g ⁻¹		
Perfil 1										
A	0-3	127	158	525	189	52	73	2,8	1,2	219
AB	3-9	21	177	576	226	77	66	2,5	8,4	
BA	9-20	20	182	476	323	129	60	1,5	9,1	
Bt	20-56	4	57	242	697	313	55	0,3	14,3	
Btg ₁	56-83	4	73	309	614	337	45	0,5	18,3	
Btg ₂	83-117	6	6	422	565	299	47	0,7	1,0	223
Bg	117-147+	16	107	500	377	270	28	1,3	6,7	
Perfil 2										
A	0-6	83	245	352	320	298	7	1,1	3,0	245
AB	6-18	21	263	408	308	133	57	1,3	12,5	
BA	18-29	11	121	361	506	260	49	0,7	11,0	
Bi ₁	29-43	12	86	349	552	343	38	0,6	7,2	
Bi ₂	43-80	68	83	390	460	346	25	0,8	1,2	
Cg ₁	80-114	19	241	465	275	246	11	1,7	12,7	79
Cg ₂	114-166+	47	324	465	164	151	8	2,8	6,9	
Perfil 3										
A	0-6	134	295	293	278	46	83	1,1	2,2	201
AB	6-21	41	276	332	351	203	42	0,9	6,7	
BA	21-42	13	119	331	537	361	33	0,6	9,2	
Bg	42-81	18	205	351	425	252	41	0,8	11,4	
2Bg	81-106	18	151	574	257	244	5	2,2	8,4	
2Cg ₁	106-133	110	174	357	359	347	3	1,0	1,6	254
2Cg ₂	133-158+	258	98	102	542	525	3	0,2	0,4	

⁽¹⁾Hor= horizonte; ⁽²⁾Prof= profundidade; ⁽³⁾AF/AG= relação areia fina / areia grossa; ⁽⁴⁾S.e.= superfície específica.

Tabela 7. Atributos físicos dos solos da topossequência 3.

Tabela 7: Parâmetros físicos dos solos da toposequência 3.										
Hor. ⁽¹⁾	Prof. ⁽²⁾	Granulometria				Argila dispersa em água	Grau de flocculação	Silte/ Argila	AF/AG ⁽³⁾	S.e. ⁽⁴⁾
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila					
	cm	g kg ⁻¹ TFSE					%			m ² g ⁻¹
Perfil 1										
A	0-3	58	162	593	187	41	78	3,2	2,8	200
AB	3-15	27	289	453	232	95	59	2,0	10,7	
BA	15-26	15	283	463	239	197	17	1,9	18,9	
Bt	26-40	10	215	388	387	153	60	1,0	21,5	
2Bt	40-88	7	92	230	671	355	47	0,3	13,1	
2Btg	88-148+	6	137	310	548	293	47	0,6	22,8	
Perfil 2										
A	0-5	42	509	200	248	78	69	0,8	12,1	274
AB	5-11	11	575	190	224	90	60	0,8	52,3	
BA	11-21	12	528	178	282	141	50	0,6	44,0	
Btg ₁	21-29	4	462	187	348	201	42	0,5	115,5	
Btg ₂	29-41	3	237	163	597	376	37	0,3	79,0	
Btg ₃	41-54	6	174	210	611	455	26	0,3	29,0	
Btg ₄	54-102	17	145	292	546	444	19	0,5	8,5	
2Btg	102-140+	35	99	406	460	405	12	0,9	2,8	
Perfil 3										
A	0-10	15	171	410	404	168	58	1,0	4,0	217
AB	10-18	11	268	338	383	174	55	0,9	6,3	
BA	18-35	9	172	366	454	279	38	0,8	11,0	
Bfg	35-66	4	42	448	506	406	20	0,9	3,7	
Cg ₁	66-114	16	58	329	597	374	37	0,6	6,8	
Cg ₂	114-150+	48	64	329	560	361	35	0,6	4,8	266

⁽¹⁾Hor= horizonte; ⁽²⁾Prof= profundidade; ⁽³⁾AF/AG= relação areia fina / areia grossa; ⁽⁴⁾S.e.= superfície específica.

4.3. Atributos Químicos

Os resultados das análises químicas nas Tabelas 8, 9 e 10, indicam os maiores valores de carbono orgânico total (COT) no horizonte superficial, com teores variando entre $21,3 \text{ g kg}^{-1}$ (P2 da T3) e $52,3 \text{ g kg}^{-1}$ (P1 da T2). Verificou-se decréscimo brusco nos teores de carbono dos horizontes superficiais (A) para os transicionais (AB ou AC), demonstrando a rápida ciclagem de nutrientes no horizonte superficial. Provavelmente, este padrão está relacionado com as elevadas taxas de mineralização da matéria orgânica, em decorrência das condições edafoclimáticas da região, ou seja, elevada temperatura, umidade e pluviosidade (Acre, 2000b). Este resultado pode ser um indicativo da fragilidade do sistema em relação à manutenção dos teores de carbono orgânico nos solos dessa região (Araújo, 2000).

Avaliando a distribuição do carbono orgânico em solos da Floresta Amazônica na região do rio Madeira, Volkoff & Cerri (1981) verificaram teores elevados de COT somente no horizonte A, pouco espesso (5 cm), logo abaixo, decresce bruscamente, desaparecendo quase que totalmente em profundidade.

Os perfis apresentaram alto Valor T, variando entre $14,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (P2 da T3) a $37,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (P3 da T1) nos primeiros horizontes (A), acompanhando a variação do Valor S (soma de bases), $9,4$ a $32,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente. Em sub-superfície, o Valor T variou entre $7,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (P1 da T3) a $45,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (P1 da T1).

Foi observada alta saturação por bases nos horizontes A, com pequenas variações, sendo verificados valores de 65% no perfil P1 da T2 e P2 da T3, e 88% no perfil P3 da T2. Já nos subsuperficiais, verificou-se grande variação, entre 13% no perfil P1 da T3 e 100% no perfil P1 da T1.

Foram encontrados elevados valores de Ca e Mg, sendo estes cátions predominantes na soma de bases trocáveis (Valor S), variando entre $0,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no perfil P1 da T3 e $23,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no perfil P3 da T2 e entre $0,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ do perfil P2 da T3 e $23,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ do perfil P1 da T1, respectivamente. Nos solos mais desenvolvidos há redução dos teores em profundidade, em função do processo de lixiviação e intemperização.

A grande variação e os elevados valores de Ca e Mg também foram observados por Amaral (2003), em solos da Formação Solimões na bacia do rio Iaco-Acre. Embora estes elevados valores sugiram boa fertilidade natural, o desbalanço entre os níveis de Ca e Mg, pode favorecer a deficiência de algum nutriente, mesmo em perfis com alta saturação por bases (V%).

Os teores de potássio (K) variaram de $0,1$ a $1,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, sendo os menores teores encontrados em sub-superfície. Observaram-se valores de K mais elevados em superfície, provavelmente devido ao maior aporte de serapilheira, e posterior ciclagem de nutrientes. Além disso, o K^+ é prioritariamente lixiviado, em função da sua carga monovalente, em detrimento a outros cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} (bivalente) e Al^{3+} (trivalentes), podendo estar mais fortemente adsorvido aos colóides do solo. Resultados semelhantes a estes foram verificados por Araújo (2000), avaliando as características de solos da região do Purus-AC. O autor observou baixos teores de K, sendo os maiores, nos primeiros 10 cm e decrescendo exponencialmente em profundidade.

O horizonte A dos perfis, em geral, apresentou baixos teores de Al, sendo o maior valor de $0,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ observado no perfil 2 da T1 e nos perfis 2 e 3 da T3, justamente os que apresentaram pH inferior a 5,3. A saturação por alumínio (m%) apresentou valores menores ou iguais a 1%, indicando que o alumínio trocável é praticamente nulo nos primeiros centímetros do solo. No entanto, em trabalho com solos do Alto Solimões, Coelho et al. (2005) observaram teores altos de alumínio extraível em superfície (profundidade média de 0-10 cm) com teores variando de $1,4$ a $9,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo (média de $4,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo).

Tabela 8. Atributos químicos dos solos da topossequência 1.

Hor ⁽¹⁾	Prof ⁽²⁾	pH		Complexo Sortivo ⁽³⁾								V ⁽⁵⁾	m ⁽⁶⁾	P ⁽⁷⁾	COT ⁽⁸⁾
		H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB ⁽³⁾	Al ³⁺	H ⁺	T ⁽⁴⁾				
cm	cmol _c kg ⁻¹								%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹				
Perfil P1															
A	0-5	6,2	6,3	11,0	12,0	0,7	0,0	23,7	0,0	3,5	27,2	87	0	57	36,7
CA	-14	3,9	3,5	4,9	11,6	0,2	0,1	16,7	5,4	6,3	28,5	59	25	1	6,7
Cv ₁	-34	4,2	3,5	8,2	15,3	0,2	0,3	24,0	9,4	6,1	39,5	61	29	0	2,9
Cv ₂	-59	4,5	3,7	11,4	16,2	0,2	0,3	28,1	7,7	4,7	40,5	69	22	0	2,6
Cv ₃	-96	5,3	4,0	18,0	21,5	0,2	0,5	40,2	1,5	3,9	45,6	88	4	1	1,8
Cv ₄	-123	6,7	5,5	20,2	23,5	0,1	0,6	44,4	0,0	1,3	45,7	97	0	3	1,6
2Cv	-140 +	8,0	6,9	21,4	22,6	0,1	0,8	44,9	0,0	0,2	45,1	100	0	19	0,7
Perfil P2															
A	0-3	5,1	4,9	8,0	8,5	0,5	0,0	17,0	0,1	7,0	24,1	71	1	14	29,2
AB	-12	4,5	4,0	5,3	8,2	0,2	0,0	13,7	0,6	5,7	20,0	69	4	2	9,7
BA	-21	4,2	3,8	4,5	5,5	0,2	0,0	10,2	2,6	5,8	18,6	55	21	2	6,6
Bi ₁	-42	4,2	3,8	6,4	5,8	0,2	0,0	12,4	3,1	4,5	20,0	62	20	1	4,8
Bi ₂	-62	4,2	3,8	3,4	8,3	0,2	0,0	11,9	5,0	4,4	21,3	56	30	0	3,9
2Bg ₁	-77	4,1	3,8	2,4	11,0	0,2	0,1	13,7	10,1	6,1	29,9	46	43	0	4,9
2Bg ₂	-97	4,0	3,8	1,5	9,9	0,2	0,1	11,7	11,8	6,7	30,1	39	51	0	4,5
2Bg ₃	-105	4,4	3,7	1,5	10,2	0,2	0,1	12,1	11,9	5,9	29,9	40	50	0	2,7
2Cg	-136 +	4,2	3,8	1,4	16,3	0,3	0,2	18,2	13,5	4,8	36,5	50	43	0	1,9
Perfil P3															
A	0-8	6,0	6,0	16,2	15,7	0,8	0,0	32,7	0,0	5,0	37,7	87	0	24	46,0
AB	-18	5,4	5,0	10,6	12,5	0,3	0,0	23,4	0,1	4,2	27,6	84	0	2	11,2
BA	-43	4,6	3,9	8,9	14,2	0,2	0,0	23,3	4,5	4,2	32,1	73	16	0	3,2
Bi ₁	-58	4,3	3,8	3,5	15,0	0,2	0,0	18,7	8,4	5,0	32,1	58	31	0	2,7
Bi ₂	-79	4,2	3,7	4,4	14,2	0,2	0,1	18,8	7,7	4,0	30,6	62	29	1	1,7
2Bi ₁	-107	4,6	3,7	8,0	13,3	0,2	0,1	21,6	5,1	2,5	29,2	74	19	2	1,4
2Bi ₂	-126	4,9	3,7	10,0	13,7	0,2	0,1	24,0	4,7	1,7	30,5	79	17	6	0,9
2C ₁	-143	5,1	3,9	9,7	11,4	0,2	0,1	21,4	2,0	3,0	26,3	81	9	18	0,9
2C ₂	-166	5,9	3,9	13,8	7,5	0,2	0,2	21,7	0,6	2,5	24,8	87	3	65	0,4
2Cg	-169 +	5,7	4,0	8,7	4,2	0,1	0,1	13,2	0,6	1,4	15,1	87	4	57	0,9

⁽¹⁾Hor= horizonte; ⁽²⁾Prof= profundidade; ⁽³⁾SB= soma de bases trocáveis; ⁽⁴⁾T= CTC a pH 7,0; ⁽⁵⁾V= índice por saturação de bases; ⁽⁶⁾m= índice de saturação por alumínio; ⁽⁷⁾P= fósforo assimilável; ⁽⁸⁾COT= carbono orgânico total.

Nos horizontes subsuperficiais B ou C, observou-se grande variação nos teores de Al, sendo 0,0 cmol_c kg⁻¹ (P1 de T1 e P3 de T2) e 14,6 cmol_c kg⁻¹ (P1 da T2), tendendo a aumentar em profundidade. Esta variação também foi observada na saturação por alumínio, como no perfil P1 da T1 e P3 da T2 com 0% e no perfil P1 da T2, com 84%, acompanhando de forma inversa os valores de saturação por bases, e diminuindo em direção ao terço inferior. Coelho et al. (2005) também observaram nas camadas subsuperficiais os teores do elemento com valores mínimos, máximos e médios de, respectivamente, 0,6, 15,3 e 8,9 cmol_c kg⁻¹ de solo.

Embora estes solos possuam elevada acidez ativa (baixos valores de pH em água) e elevados teores de alumínio trocável, verificou-se baixa fitotoxicidade, promovida pelos teores de Al, mesmo para plantas sensíveis a este (Araújo et al., 2005). Segundo Araújo (2008), para as condições de alguns solos do Acre, que apresentam altos teores de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, não há prejuízo para o desenvolvimento radicular, em razão da elevada atividade do cálcio em solução, que pode diminuir problemas decorrentes da acidez.

Tabela 9. Atributos químicos dos solos da topossequência 2.

Hor ⁽¹⁾	Prof ⁽²⁾	pH		Complexo Sortivo ⁽³⁾								V ⁽⁵⁾	m ⁽⁶⁾	P ⁽⁷⁾	COT ⁽⁸⁾
		H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB ⁽³⁾	Al ³⁺	H ⁺	T ⁽⁴⁾				
cm	cmol _c kg ⁻¹										%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹		
Perfil P1															
A	0-3	5,9	5,4	11,0	2,6	0,7	0,0	14,3	0,0	7,8	22,0	65	0	24	59,9
AB	-9	4,7	3,9	4,0	0,8	0,1	0,0	4,9	0,5	4,6	10,0	49	9	2	7,1
BA	-20	4,2	3,6	2,3	2,0	0,1	0,0	4,4	3,0	4,9	12,3	36	41	0	4,3
Bt	-56	3,9	3,5	1,2	7,6	0,2	0,0	9,0	14,0	7,3	30,3	30	61	1	4,6
Btg ₁	-83	4,0	3,6	1,2	6,6	0,2	0,0	8,1	14,5	7,4	30,0	27	65	2	3,6
Btg ₂	-117	4,2	3,6	2,1	6,4	0,2	0,0	8,7	14,6	6,9	30,2	29	63	3	2,6
Bg	-147 +	4,3	3,6	1,4	9,7	0,2	0,1	11,4	13,6	5,4	30,4	38	55	6	1,5
Perfil P2															
A	0-6	5,9	5,6	14,4	3,8	0,6	0,0	18,8	0,0	6,6	25,4	74	0	36	59,1
AB	-18	5,0	4,0	8,5	2,5	0,3	0,0	11,3	0,7	4,6	16,6	68	6	1	5,9
BA	-29	4,1	3,5	4,7	8,9	0,3	0,1	14,0	8,7	4,7	27,4	51	39	0	4,1
Bi ₁	-43	4,1	3,5	4,5	9,5	0,2	0,1	14,4	12,1	5,6	32,0	45	46	1	3,2
Bi ₂	-80	4,5	3,5	9,7	6,3	0,2	0,3	16,5	10,3	4,4	31,2	53	39	7	1,8
Cg ₁	-114	5,1	3,5	13,9	6,1	0,2	0,4	20,6	4,0	3,1	27,7	74	17	26	0,8
Cg ₂	-166 +	5,5	3,7	16,7	5,4	0,1	0,4	22,7	1,3	2,7	26,6	85	6	53	0,7
Perfil P3															
A	0-6	6,7	6,5	23,0	5,0	1,6	0,1	29,7	0,0	6,6	33,6	88	0	64	78,4
AB	-21	6,6	5,3	17,5	5,3	0,7	0,0	23,6	0,0	4,6	25,7	92	0	2	5,1
BA	-42	5,7	4,0	18,2	8,8	0,8	0,1	27,9	0,6	4,7	32,2	87	2	1	3,0
Bg	-81	5,5	3,7	12,6	7,4	0,5	0,2	20,7	2,2	5,6	25,8	80	10	0	1,3
2Bg	-106	6,0	4,0	16,0	6,3	0,5	0,5	23,3	0,6	4,4	25,1	93	3	2	1,2
2Cg ₁	-133	6,6	4,5	23,2	11,8	0,4	0,7	36,1	0,0	3,1	37,6	96	0	1	1,2
2Cg ₂	-158 +	8,7	7,6	23,8	1,2	0,4	1,2	26,6	0,0	2,7	27,1	98	0	9	1,1

⁽¹⁾Hor= horizonte; ⁽²⁾Prof= profundidade; ⁽³⁾SB= soma de bases trocáveis; ⁽⁴⁾T= CTC a pH 7,0; ⁽⁵⁾V= índice por saturação de bases; ⁽⁶⁾m= índice de saturação por alumínio; ⁽⁷⁾P= fósforo assimilável; ⁽⁸⁾COT= carbono orgânico total.

Resultados semelhantes foram observados por Gama (1986), em estudo com solos de argila de atividade alta do Estado do Acre, em que apresentaram altos teores de Ca e Mg, cátions predominantes da soma de bases, e elevados teores de Al, até mesmo nos horizontes superficiais. Segundo Gama & Kiehl (1999), isso ocorre devido à conjugação de, basicamente, dois fatores: os teores de cálcio na solução do solo podem estar mitigando a toxicidade do alumínio e o método padrão para extração de Al (KCl 1 mol L⁻¹) pode não ser adequado para tais solos.

Volkoff et al. (1989) citam que os valores de alumínio trocável, nos solos de argila de atividade alta do Acre, estão diretamente relacionados com o processo de alteração dos minerais de argila, uma vez que os valores mais elevados ocorrem em locais de maior intensidade de intemperismo, como o horizonte C.

Os valores de saturação por bases indicam que os perfis 1 da T2 e T3 e perfis 2 da T1 e T2 apresentam menor contribuição percentual de bases trocáveis, sendo, neste caso, o complexo sortivo ocupado por Al, conforme os dados de saturação por Al. Os perfis 1 e 3 da T1, 2 e 3 da T2 e 3 da T3, são os mais enriquecidos em bases trocáveis no complexo sortivo, uma vez que apresentam valores mais elevados de V% e menores valores de saturação por Al.

Tabela 10. Atributos químicos dos solos da topossequência 3.

Hor ⁽¹⁾	Prof ⁽²⁾ cm	pH		Complexo Sortivo ⁽³⁾								V ⁽⁵⁾ %	m ⁽⁶⁾ mg kg ⁻¹	P ⁽⁷⁾ mg kg ⁻¹	COT ⁽⁸⁾ g kg ⁻¹
		H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB ⁽³⁾	Al ³⁺	H ⁺	T ⁽⁴⁾				
Perfil P1															
A	0-3	5,8	5,7	16,1	1,4	1,9	0,0	19,5	0,0	6,4	25,9	75	0	59	77,8
AB	-15	5,0	4,3	2,2	0,8	0,3	0,0	3,3	0,2	3,0	6,4	51	5	1	4,7
BA	-26	4,5	3,9	1,0	1,5	0,3	0,0	2,8	1,0	4,0	7,8	36	28	1	3,5
Bt	-40	4,4	3,7	1,0	1,2	0,3	0,0	2,5	5,5	1,6	9,6	26	71	1	2,3
2Bt	-88	4,7	3,6	1,1	2,0	0,3	0,0	3,4	10,8	5,0	19,2	18	78	1	3,0
2Btg	-148+	4,8	3,6	0,8	1,6	0,3	0,0	2,7	13,1	4,9	20,7	13	84	1	1,4
Perfil P2															
A	0-5	5,0	4,8	8,5	0,2	0,7	0,0	9,4	0,1	5,0	14,6	65	1	12	26,5
AB	-11	5,0	4,1	4,4	0,6	0,2	0,0	5,2	0,2	2,3	7,7	68	4	2	3,2
BA	-21	5,0	4,0	5,0	1,1	0,2	0,0	6,3	0,7	2,3	9,3	68	10	0	3,1
Btg ₁	-29	4,9	3,8	4,9	3,1	0,3	0,0	8,3	2,4	3,0	13,7	60	23	0	3,4
Btg ₂	-41	4,9	3,6	2,5	8,8	0,4	0,0	11,8	9,9	6,4	28,1	42	47	0	2,6
Btg ₃	-54	4,9	3,5	1,5	8,7	0,5	0,0	10,7	13,2	7,3	31,2	34	56	0	2,1
Btg ₄	-102	5,1	3,5	1,2	10,0	0,5	0,1	11,7	15,1	7,3	34,2	34	57	0	1,4
2Btg	-140+	5,2	3,5	14,0	1,3	0,4	0,2	15,9	9,0	5,0	29,9	53	37	10	1,2
Perfil P3															
A	0-10	4,9	4,8	12,8	2,7	0,4	0,0	15,9	0,1	6,5	22,5	71	1	4	29,6
AB	-18	5,1	4,0	9,9	3,2	0,2	0,0	13,3	0,8	4,0	18,1	74	6	0	6,7
BA	-35	4,9	3,7	11,0	4,7	0,4	0,1	16,2	4,3	4,1	24,7	66	21	0	3,8
Bfg	-66	5,3	3,6	16,3	12,3	0,2	0,5	29,3	9,6	5,9	44,8	65	25	0	2,0
Cg ₁	-114	5,6	3,6	19,3	8,2	0,5	0,6	28,6	6,8	4,9	40,3	71	20	0	1,1
Cg ₂	-150+	6,1	4,8	22,5	14,9	0,6	1,1	39,1	1,0	3,0	43,1	91	3	2	1,0

⁽¹⁾Hor= horizonte; ⁽²⁾Prof= profundidade; ⁽³⁾SB= soma de bases trocáveis; ⁽⁴⁾T= CTC a pH 7,0; ⁽⁵⁾V= índice por saturação de bases; ⁽⁶⁾m= índice de saturação por alumínio; ⁽⁷⁾P= fósforo assimilável; ⁽⁸⁾COT= carbono orgânico total.

Os valores de pH em H₂O e KCl tenderam a diminuir em profundidade. No Acre, maiores valores de pH estão associados a solos menos desenvolvidos (Amaral, 2003). Todos os valores de pH em KCl foram menores que os valores de pH em H₂O, sendo os maiores valores de ΔpH (pH KCl - pH H₂O) encontrados nos horizontes subsuperficiais, com valores chegando a -2,0 no perfil P3 da T2, indicando uma grande quantidade de cargas líquidas negativas. Resultados semelhantes foram observados por Amaral (2003), em estudo com solos da Bacia do Iaco no Estado do Acre, com valores negativos de ΔpH em todos os horizontes dos perfis estudados, com uma média de -0,8.

Lima et al. (2006) encontraram valores de ΔpH negativos, indicando predomínio de carga superficial líquida negativa em todos os solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões no Estado do Acre.

Todos os horizontes subsuperficiais B e C são caracterizados por apresentarem argilas de alta atividade (CTC argila ≥ 27 cmol_c kg⁻¹) (Tabela 11) com valores entre 28,7 cmol_c kg⁻¹ no perfil P1 da T3 e 167,7 cmol_c kg⁻¹ no perfil P3 da T1, sendo os maiores valores encontrados nas posições inferiores da topossequência.

Os maiores teores de P foram encontrados em superfície, quando comparados com os horizontes subsuperficiais, valores variando entre 4 mg kg⁻¹ no perfil 3 da T3 e 64 mg kg⁻¹ no perfil 3 da T2. Em sub-superfície destacam-se os perfis 3 da T1 e 2 da T2 com 65 e 53 mg kg⁻¹, respectivamente. A maior concentração de P no horizonte A pode estar associada à deposição da matéria orgânica via serapilheira (Luizão, 2007).

Os teores de sílica (SiO_2) quantificados pelo ataque sulfúrico (Tabela 11) encontram-se entre 250 e 310 g kg^{-1} . Quanto aos teores de Al_2O_3 , estes variaram entre 180 e 211 g kg^{-1} , sendo maiores em relação aos teores de ferro (Fe_2O_3), que variaram entre 53 a 70 g kg^{-1} (P1 da T3). Os baixos teores de Fe_2O_3 podem ser devidos à alta pluviosidade associada à baixa permeabilidade do solo criando condições favoráveis à redução do ferro e sua remoção do solo (Araújo, 2004).

Tabela 11. Ataque sulfúrico e atividade da argila de horizontes representativos de cada perfil.

Perfil Horiz.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	$\text{Ki}^{(1)}$	$\text{Kr}^{(2)}$	Atividade da argila ⁽³⁾
	g kg^{-1}						$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$
T1P1 Cv ₃	306	204	53	5,4	2,55	2,19	86,5
2Cv	294	193	56	4,9	2,59	2,18	97,6
T1P2 2Bg ₂	276	210	50	5,3	2,23	1,94	57,7
2Cg	282	205	57	5,3	2,34	1,99	81,4
T1P3 Bi ₁	256	204	55	5,3	2,13	1,82	88,5
2C ₂	256	197	66	4,2	2,21	1,82	167,7
T2P1 Bt	254	211	66	5,3	2,05	1,71	43,5
Bg	310	200	63	5,4	2,64	2,19	80,6
T2P2 Bi ₁	254	196	63	5,0	2,20	1,83	58,0
Cg ₂	288	185	62	4,9	2,65	2,18	162,3
T2P3 2Bg	288	187	69	5,0	2,62	2,12	97,7
2Cg ₁	294	186	65	5,2	2,69	2,20	104,8
T3P1 2Bt	278	211	70	5,8	2,24	1,85	28,7
T3P2 Btg ₃	278	196	67	4,9	2,41	1,98	51,0
T3P3 Bfg	250	195	57	4,9	2,18	1,84	88,5
Cg ₂	308	180	67	5,2	2,91	2,35	76,9

⁽¹⁾Ki: $1,70 \times \text{SiO}_2 (\%) / \text{Al}_2\text{O}_3 (\%)$; ⁽²⁾Kr: $(1,70 \times \text{SiO}_2 \%) / \text{Al}_2\text{O}_3 \% + (0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 \%)$. ⁽³⁾Calculada segundo Embrapa (2006)

Os valores das relações moleculares Ki e Kr (Tabela 11) foram elevados, com valores variando entre 2,05 no horizonte B1 do P1 da T2 e 2,91 no horizonte C2 do perfil P3 da T3 e entre 1,82 no perfil P3 de T1 e 2,35 no horizonte C2 do perfil P3 de T3, respectivamente. Estes valores sugerem um menor grau de intemperismo nesses perfis. Gama (1986), em estudo com solos de argila de atividade alta do Estado do Acre, observou altos valores na relação ki e kr, inferindo baixo grau de intemperismo e predominância de argilominerais do tipo 2:1 ou similares.

4.4. Avaliação da MOS dos Horizontes Superficiais

3.1.4 Carbono orgânico total e carbono das substâncias húmicas

Nos horizontes superficiais A dos perfis avaliados os teores de carbono orgânico total (COT) variaram de 26,5 a 78,4 g kg^{-1} (Tabela 12). O menor teor de COT foi encontrado no horizonte A do perfil P2 da T3 (26,5 g kg^{-1}) e pode ser função da textura mais arenosa (55,1% de areia), ocasionando a perda para a parte baixa da paisagem. De maneira geral, os teores de COT no T1 e T2 aumentam em direção ao terço inferior da encosta (P3), enquanto no T3 o maior valor foi observado no terço superior (P1). Os maiores teores de COT encontrados no perfil P3 podem ser decorrentes da deposição de sedimentos da parte superior acumulando-se no terço inferior (P3).

Os teores de carbono orgânico das substâncias húmicas apresentaram comportamento semelhante entre os transectos para o C-FAF e C-FAH, sendo os menores valores observados

no terço superior (P1 da T1 e P1 da T2), e maiores no terço inferior da encosta (P3 da T2 e P3 da T3). O padrão verificado no terço superior da topossequência pode estar relacionado ao maior fluxo de água neste ponto, ocasionando a translocação destas frações para maiores profundidades ou perda para a parte baixa da paisagem, uma vez que no terço inferior foram observados os maiores teores dessas frações nas três topossequências.

Tabela 12. Teores de carbono orgânico total, carbono das substâncias húmicas, relações entre as frações húmicas e taxa de recuperação (TxRec) destas em relação ao COT dos horizontes superficiais.

Topossequência Perfil	COT	C-FAF	C-FAH	C-HUM	C-FAH/ C-FAF	C-EA/ C-HUM	TxRec ⁽¹⁾
	g kg ⁻¹						%
T1P1	36,7	2,6	3,4	25,7	1,31	0,23	86
T1P2	29,2	3,7	4,4	14,7	1,18	0,55	78
T1P3	46,0	4,2	3,9	30,8	0,93	0,26	85
T2P1	59,9	3,3	4,4	37,5	1,33	0,20	75
T2P2	59,1	3,6	5,3	43,3	1,47	0,21	88
T2P3	78,4	5,6	5,7	52,0	1,01	0,22	81
T3P1	77,8	5,0	6,7	52,0	1,35	0,22	82
T3P2	26,5	2,3	4,4	15,9	1,89	0,42	86
T3P3	29,6	7,0	7,0	15,8	1,00	0,89	101

⁽¹⁾TxRec = (C-FAF+ C-FAH+ C-HUM) x 100 / COT

De maneira geral, foram observados maiores valores de C-FAH do que C-FAF (Tabela 12), o que pode estar relacionado à maior quantidade de resíduos vegetais provenientes da cobertura vegetal de floresta e, ao fato de o C-FAF possuir maior mobilidade no solo quando comparado ao C-FAH, podendo ser perdido para maiores profundidades.

No C-HUM, os teores aumentaram em direção ao perfil P3 na T1 e T2, e diminuíram nesta direção na T3, assim como os teores de COT. Estes resultados demonstram que a maior parte do COT dos solos estudados, assim como na maioria dos solos minerais, é composta pelo C-HUM. Em estudo com Latossolos não antropogênicos da Bacia do Amazonas, Cunha et al. (2007) observaram maiores teores da fração humina entre as frações húmicas. Este fato também foi observado por Melo & Schaefer (2009), em estudo com solos do Norte Amazônico, Roraima. O autor verificou que a fração humina predominou em todos os solos, com decréscimo em profundidade.

Segundo Amaral (2003), a maior proporção da fração humina entre as frações húmicas nestes solos, poderia dar um indicativo do estoque potencial de carbono em longo prazo. Stevenson (1982) afirma que o predomínio da fração humina nos solos está relacionado à estabilidade da ligação entre esse componente e a fase mineral do solo, assim como devido à maior resistência à decomposição desta fração.

Os valores da relação C-FAH/C-FAF variaram de 0,93 no perfil P3 da T1 a 1,89 no Perfil P2 da T3. Estes valores demonstram que o C-FAH está predominando nos horizontes superficiais dos solos sob floresta no Acre em relação ao C-FAF. Os valores da relação C-EA/C-HUM foram todos inferiores a 1,0, com destaque para a T2, com os menores valores desta relação. Este comportamento indica a predominância da fração humina neste perfil.

Resultados similares a estes foram encontrados por Araújo et al. (2004), avaliando as substâncias húmicas em solo da Amazônia Ocidental. Os autores observaram que a fração humina (C-HUM) compõe a maior parte do carbono orgânico total e as variações entre C-FAF e C-FAH são pequenas.

Os valores de TxRec para as toposequências estudadas variaram de 75 a 101% em relação ao COT. Estes valores demonstram que o método utilizado para o fracionamento da frações húmicas apresentou resultados consistentes.

3.1.5 Frações oxidáveis do COT

Os dados referentes ao fracionamento do carbono, em função da suscetibilidade das frações orgânicas à oxidação por $K_2Cr_2O_7$ e doses crescentes de H_2SO_4 , do horizonte superficial, são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Frações de carbono orgânico oxidáveis do horizonte superficial das toposequências estudadas.

Toposequência Perfil	F1	F2	F3	F4	Soma ⁽¹⁾	COT
g kg⁻¹						
T1P1	28,50(79)	1,50(4)	4,50(12)	1,50(4)	36,00	36,71
T1P2	11,25(48)	3,00(12)	3,00(12)	6,00(25)	23,25	29,21
T1P3	16,50(39)	12,75(30)	11,25(26)	1,50(3)	42,00	46,02
T2P1	19,50(38)	10,50(20)	19,50(38)	1,50(2)	51,00	59,92
T2P2	25,50(43)	6,00(10)	13,50(23)	13,50(23)	58,50	59,14
T2P3	27,00(36)	19,50(26)	15,00(20)	12,00(16)	73,50	78,42
T3P1	20,25(27)	15,00(20)	30,00(40)	9,00(12)	74,25	77,77
T3P2	8,25(35)	7,50(32)	6,00(25)	1,50(6)	23,25	26,51
T3P3	8,25(33)	6,00(24)	7,50(30)	3,00(12)	24,75	29,57

⁽¹⁾Soma = Somatório das frações F1+F2+F3+F4. Valores entre parênteses representam a proporção de cada fração (F1, F2, F3, F4) em relação ao COT.

A fração F1 (carbono lábil) é a fração que representa a maior parte do carbono orgânico total (COT), nos horizontes superficiais dos perfis de solo estudados, com destaque para o perfil P1 da T1, com 79% do COT. Este comportamento demonstra que neste horizonte a maior parte do carbono está na forma biodisponível, sendo composto do aporte dos resíduos vegetais provenientes da cobertura de floresta. Nas áreas onde há aporte de matéria orgânica via resíduos vegetais os valores da fração F1 foram maiores (Blair et al., 1995; Chan et al., 2001; Rangel et al., 2008).

Frações lábeis da matéria orgânica normalmente têm influência maior sobre a agregação do solo, devido tratar-se de uma fonte mais facilmente assimilável de C e de energia pelos microrganismos heterotróficos (Chan, 1997), cujos compostos do metabolismo microbiano atuam na estabilização de macro agregados do solo.

A fração F4 apresentou as menores proporções de carbono referentes ao COT, com exceção aos horizontes do perfil P2 da T1 e T2. Nestes, observaram-se maiores proporções da fração F4 quando comparada a F3. Este comportamento pode ser devido ao acúmulo de compostos orgânicos de maior estabilidade química e alto peso molecular oriundos da decomposição e humificação da MOS no ambiente de floresta (Stevenson, 1994). Resultados semelhantes a este foram encontrados por Rangel et al. (2008) avaliando as frações oxidáveis de carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro e comparado a uma área de mata nativa, em MG. Os autores verificaram que na área com mata, a fração F4 apresentou maiores proporções do COT quando comparado com a área cultivada. A fração mais resistente (F4) é denominada de compartimento passivo do carbono, nos modelos de simulação da dinâmica da MOS, com um tempo de reciclagem de até 2000 anos (Chan et al., 2001).

Nos horizontes dos perfis no terço superior (P1), a maior proporção do COT esteve presente nas frações F1 e F3. Enquanto no terço médio e inferior (P2 e P3, respectivamente),

ocorreu maior distribuição do carbono nas quatro frações. Este padrão pode decorrer da condição de drenagem, onde no terço superior observa-se melhor condição de drenagem em comparação ao terço médio e inferior. Em ambientes com melhor drenagem tem-se a decomposição mais acentuada da matéria orgânica do que naqueles com drenagem moderada a imperfeita. Este fato pode ter ocasionado às diferenças encontradas entre as frações.

Em geral, a maior proporção do COT, entre as frações oxidáveis, esteve presente nas frações F1 e F2, o que implica em uma maior disponibilidade de matéria orgânica facilmente mineralizada, acelerando o processo de ciclagem de nutrientes no ambiente de floresta.

Os horizontes dos perfis P1 da T1 e P3 da T2 apresentaram a soma das frações (Taxa de recuperação do carbono - TxRec) próximas de 100% do COT, sendo 98 e 99%, respectivamente. Enquanto que o perfil P2 da T1 apresentou a menor TxRec, sendo 79%. Estes resultados demonstram que os horizontes que apresentaram as maiores TxRec possuem matéria orgânica de maior labilidade, sendo mais facilmente extraída de acordo com o aumento da dose de H_2SO_4 .

Comparando as topossequências, foi observado que nos solos da topossequência 1, para a fração F1, quantificaram-se maiores proporções de carbono referente ao COT quando comparada com a topossequência 2 e 3, nos três pontos de coleta (terço superior (P1), terço médio (P2) e terço inferior de encosta (P3)). Este padrão sugere que a maior parte da matéria orgânica presente nos perfis dessa área tem maior labilidade, quando comparados aos solos das outras topossequências.

3.1.6 Análises espectroscópicas na região do ultravioleta-visível

Através dos resultados obtidos dos espectros de ultravioleta visível (UV) em absorbância do extrato alcalino (EA) (Tabela 14), observa-se menor intensidade de absorção com o aumento do comprimento de onda. Contudo, os menores valores dos espectros foram verificados no perfil 3 da T3 para 380nm e 465nm e no perfil 1 da T3 para 665nm e os maiores no perfil 2 da T3, para todos os comprimentos de onda.

Tabela 14. Espectros de ultravioleta visível em absorbância do extrato alcalino (EA) dos horizontes A.

Topossequência Perfil	EA g kg ⁻¹	380nm	465nm	665nm	E4/E6
T1P1	6,0	1,336	0,853	0,298	2,9
T1P2	8,1	1,270	0,810	0,388	2,1
T1P3	8,1	1,379	0,830	0,303	2,7
T2P1	7,7	1,357	0,868	0,202	4,3
T2P2	8,9	1,323	0,746	0,247	3,0
T2P3	11,3	1,264	0,655	0,170	3,9
T3P1	11,7	1,275	0,676	0,154	4,4
T3P2	6,7	1,417	1,024	0,488	2,1
T3P3	14,0	0,918	0,653	0,328	2,0

Os menores valores dos espectros no perfil T3P3 podem estar relacionados ao baixo valor de pH desse horizonte ($pH_{H_2O} = 4,9$), o qual apresenta o maior teor de EA. A absorbância na região do UV-visível pode ser influenciada pelo pH (Fontana, 2006), onde o aumento da concentração de H^+ ou de sais resulta em decréscimo na absorvância. Segundo Ghosh & Schnitzer (1980) a diminuição da absorvância pode ser atribuída à contração das moléculas com o aumento da força iônica ou da acidez. Estas se contraem cada vez mais até

assumirem uma configuração semelhante a de um colóide esférico rígido, assumindo o menor tamanho possível de um colóide orgânico (Fontana, 2006).

Os valores obtidos da relação E4/E6 (Tabela 14) foram menores que 5,0, variando entre 2,0 e 4,4, o que sugere um elevado grau de condensação aromática e maior massa molecular, uma vez que o decréscimo da razão E4/E6 está diretamente relacionado com o aumento do peso molecular e a condensação dos carbonos aromáticos, e a aromaticidade é inversamente relacionada à quantidade de grupos alifáticos (Saab e Martin-Neto, 2007). Segundo Kononova (1982), valores da relação E4/E6 menores que 5,0 são observados para os ácidos húmicos, enquanto para os ácidos fúlvicos os valores estiveram entre 6,0 e 8,0.

A razão E4/E6 está diretamente relacionada à condensação estrutural, sendo indicativo do grau de humificação, aromaticidade, peso molecular e conteúdo ácido das substâncias húmicas (Stevenson, 1994).

Segundo Santos Jr. (2003), tem sido observada uma relação inversa entre a razão E4/E6 e o tempo significativo de resistência do material húmico; especialmente substâncias húmicas com razões mais altas têm menores tempos de resistência significativos. Portanto, os baixos valores de E4/E6 observados nos perfis T1P2, T3P2 e T3P3 podem indicar maior resistência das substâncias húmicas ao processo de decomposição.

Na Figura 11, é apresentada a relação entre os valores de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ e a relação E4/E6. Observa-se correlação positiva ($p < 0,05$), onde com o aumento do pH, verifica-se uma tendência no aumento dos valores da relação E4/E6, indicando uma possível influência da acidez na estrutura das substâncias húmicas. Segundo Stevenson (1982), a razão E4/E6 é influenciada pelo tamanho da molécula, pH do meio, pelo conteúdo de oxigênio, carbono, grupos carboxílicos, origem e idade.

Analisando o diagrama de dispersão entre os valores de C-EA/C-HUM e E4/E6, observam-se correlação negativa e significativa a 5% entre os mesmos (Figura 12), indicando certa correspondência entre as proporções do carbono das substâncias húmicas e os espectros. Portanto, nos horizontes superficiais em que a formação dos ácidos húmicos e fúlvicos foi favorecida na humificação da matéria orgânica do solo, estes apresentaram valores da relação E4/E6 do EA menores, indicando maior aromaticidade, quando comparados aqueles com maiores proporções da fração humina.

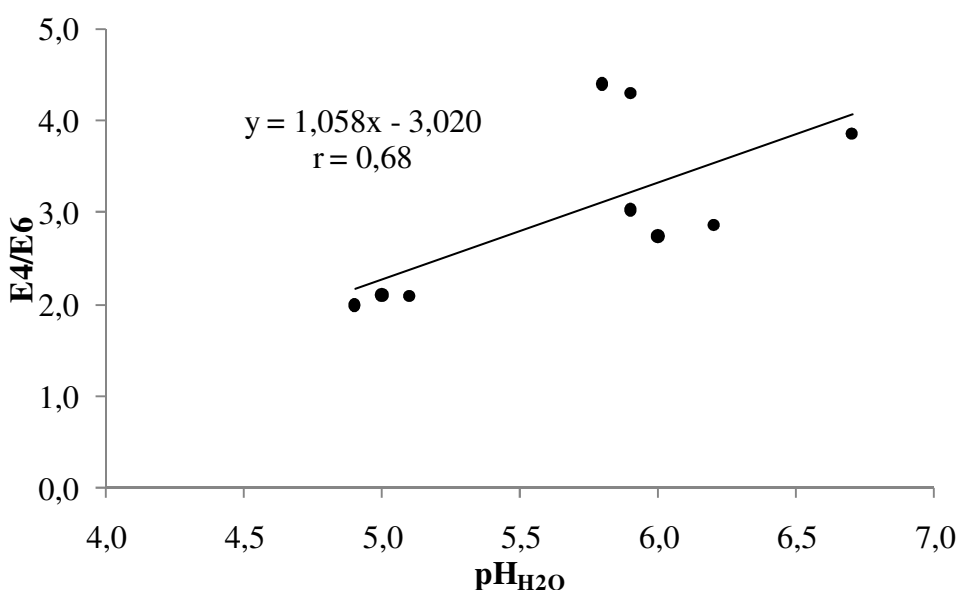


Figura 11. Correlação entre o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ e a relação E4/E6 dos horizontes A.

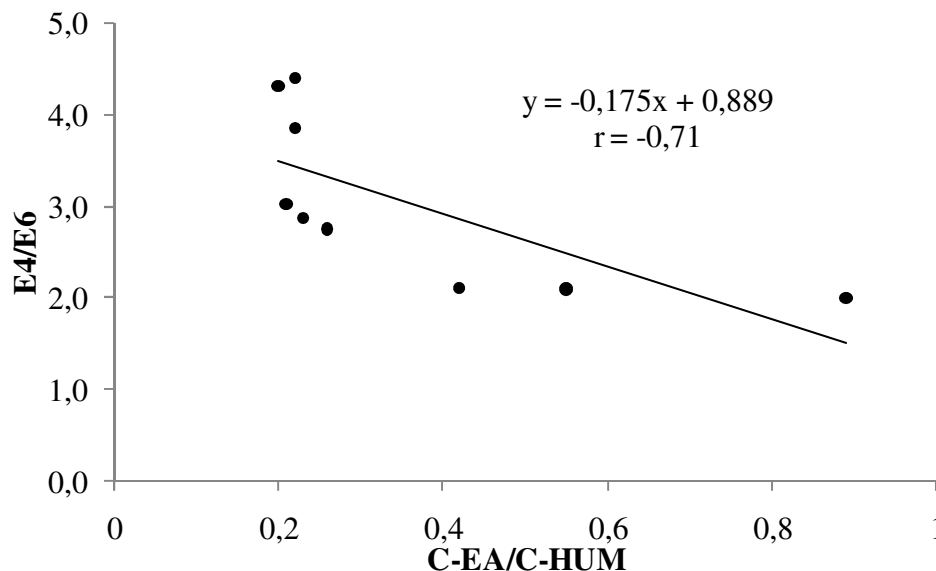


Figura 12. Correlação entre as relações C-EA/C-HUM e E4/E6 dos horizontes A.

3.1.7 Análises espectroscópicas na região do infravermelho

Os espectros no infravermelho, obtidos para os ácidos húmicos purificados (Figuras 13 a 21), demonstraram padrões muito similares, com picos fortes e evidentes na região em torno de $3440 - 3300 \text{ cm}^{-1}$ (estiramento O-H e N-H), 2928 (estiramento assimétrico C-H de CH_2 e CH_3 alifático), $1660 - 1630$ (estiramento C=O de amidas (amida I), C=C aromático, C=O de quinonas e/ou de cetonas conjugadas) e $1030 - 900 \text{ cm}^{-1}$ (estiramento Si-O).

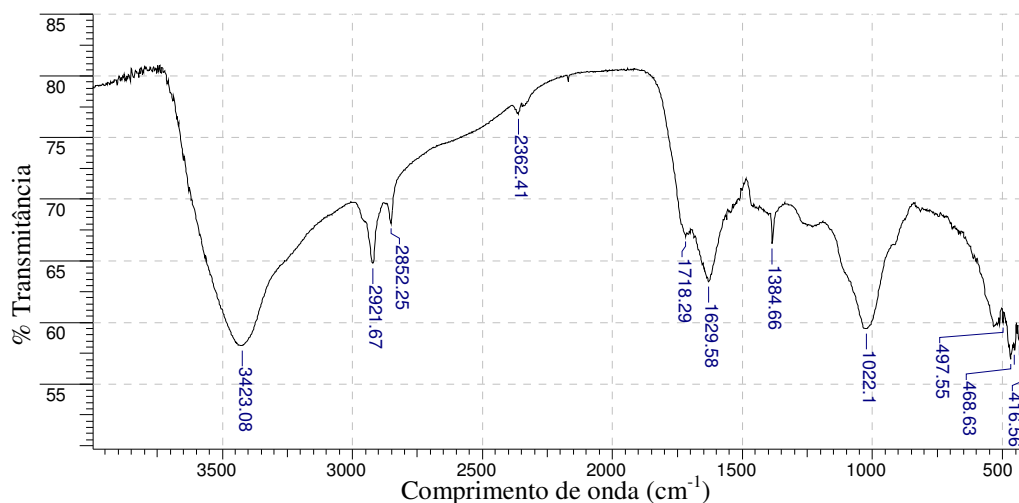


Figura 13. Espectro do AH da região do IV para o horizonte A do perfil T1P1.

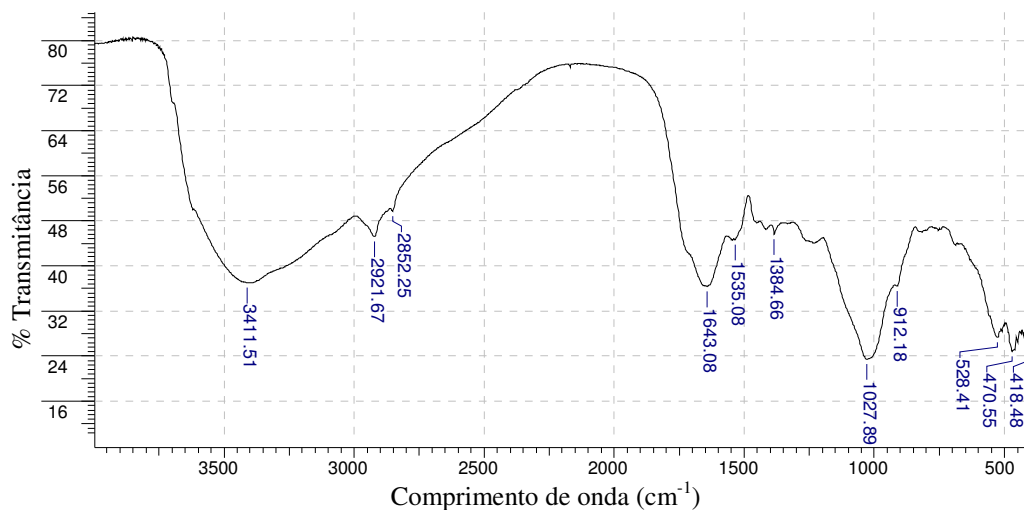


Figura 14. Espectro do AH da região do IV para o horizonte A do perfil T1P2.

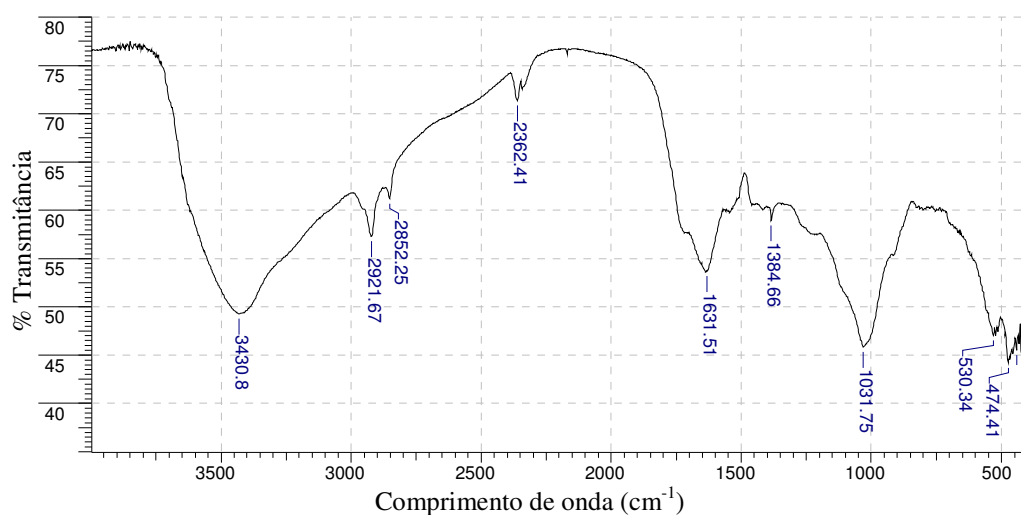


Figura 15. Espectro do AH da região do IV para o horizonte A do perfil T1P3.

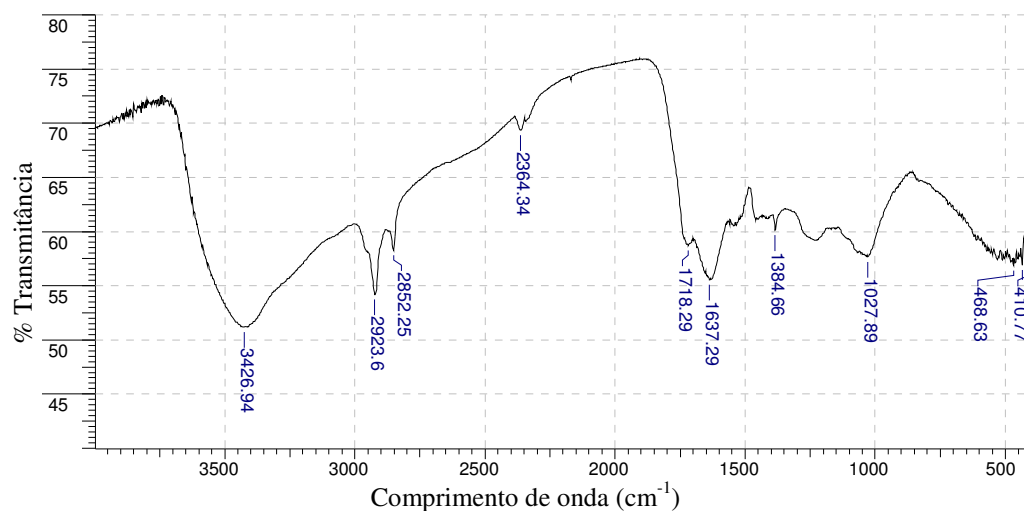


Figura 16. Espectro do AH da região do IV para o horizonte A do perfil T2P1.

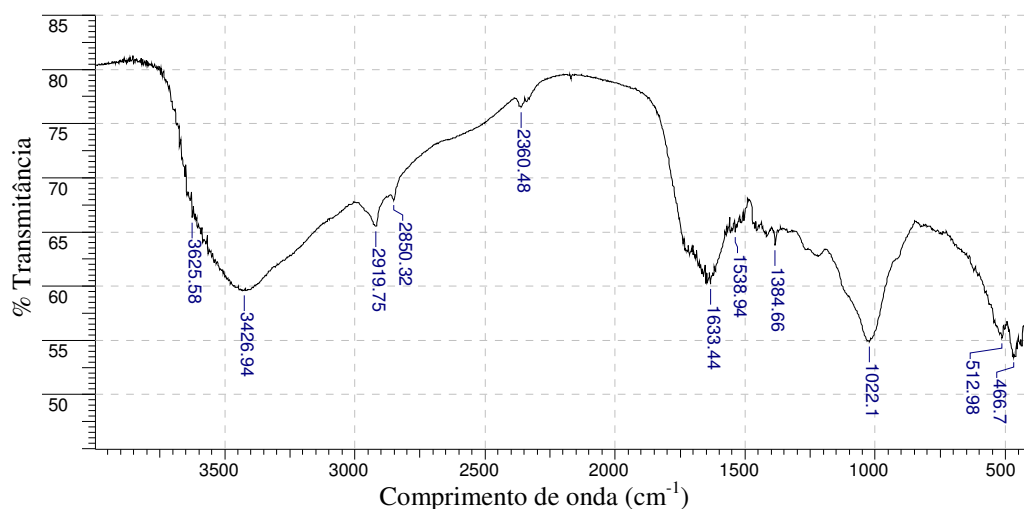


Figura 17. Espectro do AH da região do IV para o horizonte A do perfil T2P2.

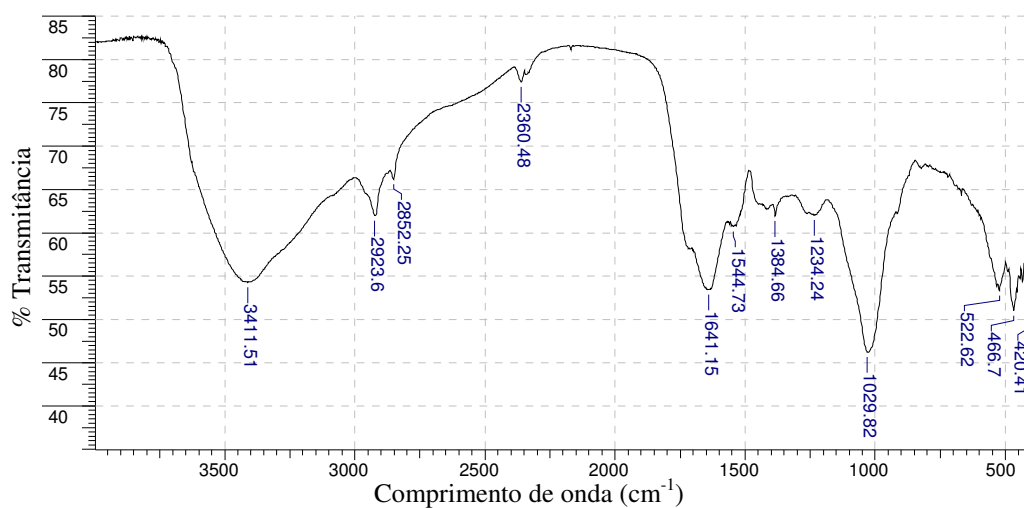


Figura 18. Espectro do AH da região do IV para o horizonte A do perfil T2P3.

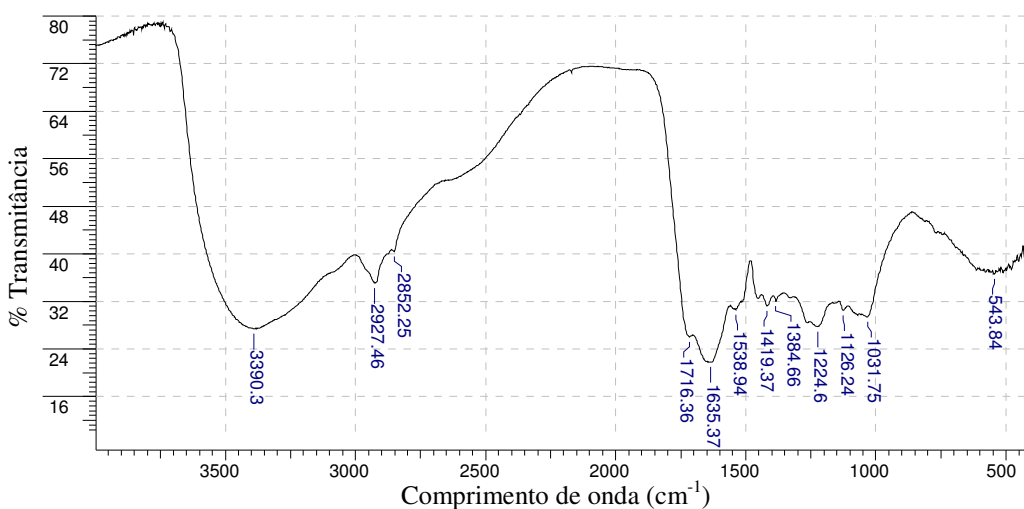


Figura 19. Espectro do AH da região do IV para o horizonte A do perfil T3P1.

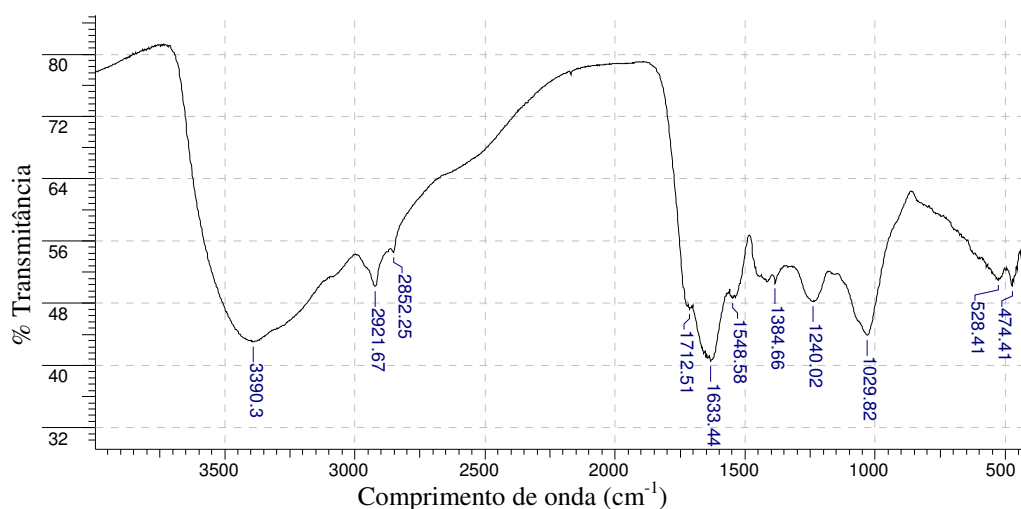


Figura 20. Espectro do AH da região do IV para o horizonte A do perfil T3P2.

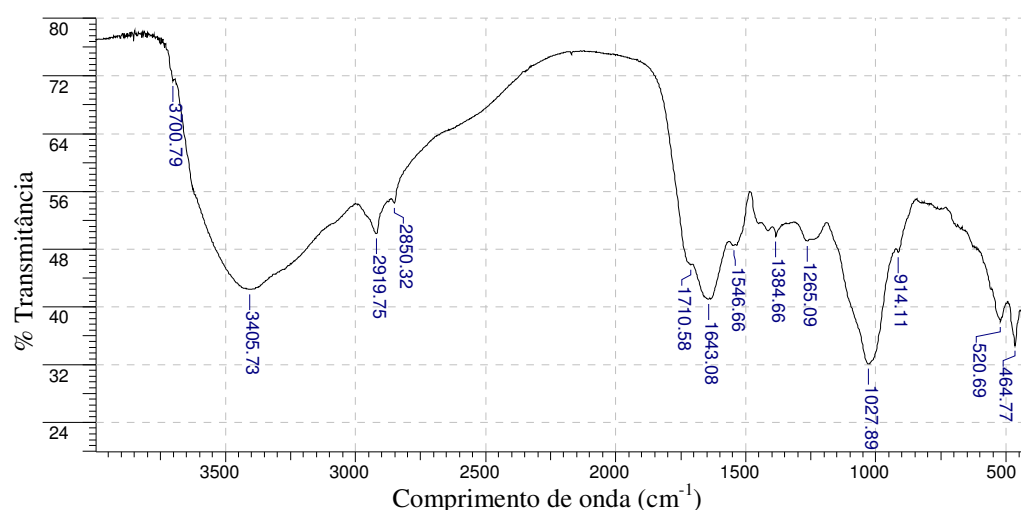


Figura 21. Espectro do AH da região do IV para o horizonte A do perfil T3P3.

Na faixa espectral de comprimentos em torno de 3400 cm^{-1} , observou-se a presença de uma banda de absorção larga, de modo que a força das ligações intramoleculares indica a extensão do alargamento. Quanto maior o número de ligações de hidrogênio, mais ácido é o material analisado e mais larga é a absorção nessa região (Dias et al., 2009). Segundo Freixo (2002), as ligações entre o grupamento O-H são muito fortes (ligações de H^+), com menor vibração das moléculas, que resulta em uma banda larga, quando as amostras são analisadas no infravermelho.

Os ácidos húmicos do perfil 1 da T1 e T2 apresentaram banda um pouco mais nítida na região de 2928 cm^{-1} , juntamente com a banda próxima a 2854 cm^{-1} , que pode ser atribuído ao estiramento simétrico C-H de CH_2 e CH_3 alifático (Figuras 13 e 16). A baixa intensidade dos picos em 2928 cm^{-1} indica baixa alifaticidade, portanto, maior aromaticidade dos ácidos húmicos purificados, enquanto em 2854 cm^{-1} revelam maior presença de ramificações nas cadeias alifáticas, maior alifaticidade (Canellas et al., 2000). Tan (2003) relata que os espectros com fraca absorção em 1720 cm^{-1} e mais uma banda de absorção entre 2900 e 2840 cm^{-1} seriam semelhantes aos espectros das huminas.

Nos espectros dos perfis 1 e 3 da T1 e em todos os perfis da T3, verificou-se a presença de ligeiros picos na região de absorção em torno de 2364 cm^{-1} . Absorções

semelhantes foram encontradas por Garcés (1987), *apud* Canellas et al. (2001), e atribuídas a vibrações de grupos COOH não-ionizados.

A banda de absorção mais acentuada entre 1660 - 1630 cm^{-1} , que pode ser atribuída ao aumento de duplas ligações conjugadas, indica maior condensação das moléculas, caracterizando um material mais humificado (Stevenson, 1994).

A banda de absorção próxima de 1384 cm^{-1} aparece em todos os espectros, podendo ser decorrente da deformação O-H e estiramento C-O fenólico, estiramento simétrico COO^- , deformação de CH_2 e CH_3 , sendo que na topossequência 3 apresentam baixa intensidade. Ainda na topossequência 3, a presença dos picos em torno de 2928, 1628 e 1244 cm^{-1} e apenas um ombro em 1720 cm^{-1} , podem indicar que os mesmos apresentam ácidos húmicos mais evoluídos (Fontana, 2006).

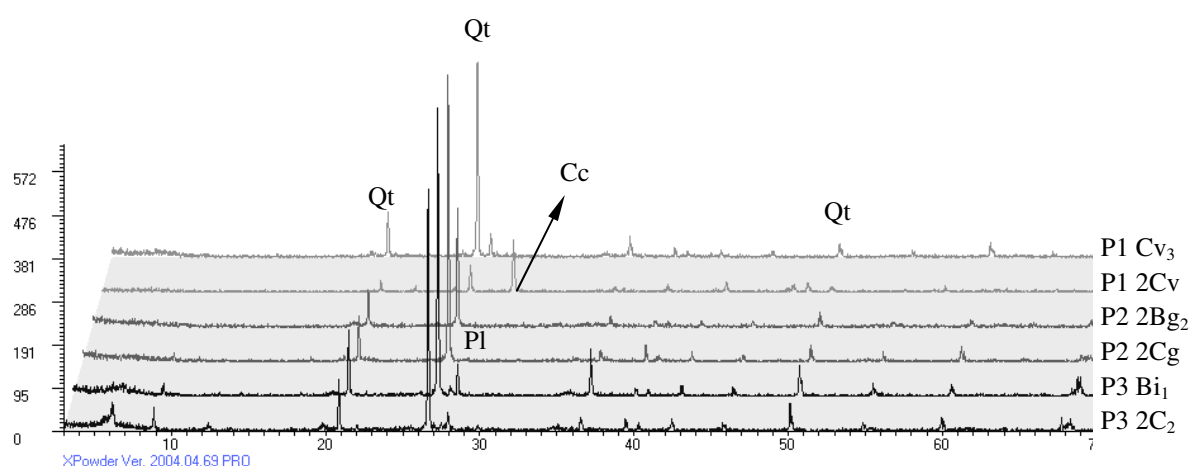
A ocorrência de bandas na região de 1250 - 1220 cm^{-1} , associada ao estiramento C-O, deformação O-H de COOH, e parcialmente o estiramento C-O de aril éter, foi mais evidente nas topossequências 2 e 3. De acordo com Piccolo & Stevenson (1982), citado por Dias et al. (2009), a conversão de COOH para COO^- causa a perda de absorção na faixa próxima a 1230 cm^{-1} .

Em trabalhos com a caracterização dos ácidos húmicos com diferentes origens, Miikki et al. (1997), Santos Jr. (2003) e Ferreira (2008) atribuíram a banda em torno de 1030 cm^{-1} ao estiramento de C-O de polissacarídeos, além do estiramento Si-O devido a impurezas. Portanto, uma menor absorção nesta região dos espectros do perfil 1 da T2 e T3, no terço superior de elevação, pode estar relacionada às condições mais favoráveis a decomposição da MOS, devido a melhor drenagem, gerando maior consumo de carboidratos por parte dos microorganismos.

4.5. Mineralogia dos Solos

4.5.1 Fração areia

Os difratogramas de raio X da fração areia são apresentados nas Figuras 22, 23 e 24. A partir dos difratogramas foi possível a identificação e quantificação dos minerais presentes nesta fração (Tabela 15).



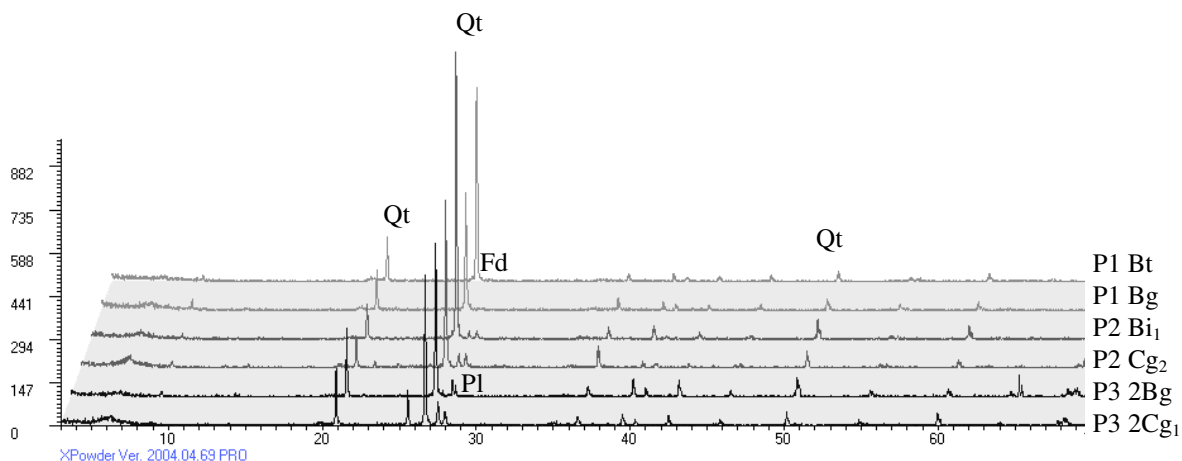


Figura 23. Difratomogramas de Raio X da fração areia dos horizontes subsuperficiais selecionados da topossequência 2. Qt= quartzo; Fd= feldspato; Pl= plagioclásio.

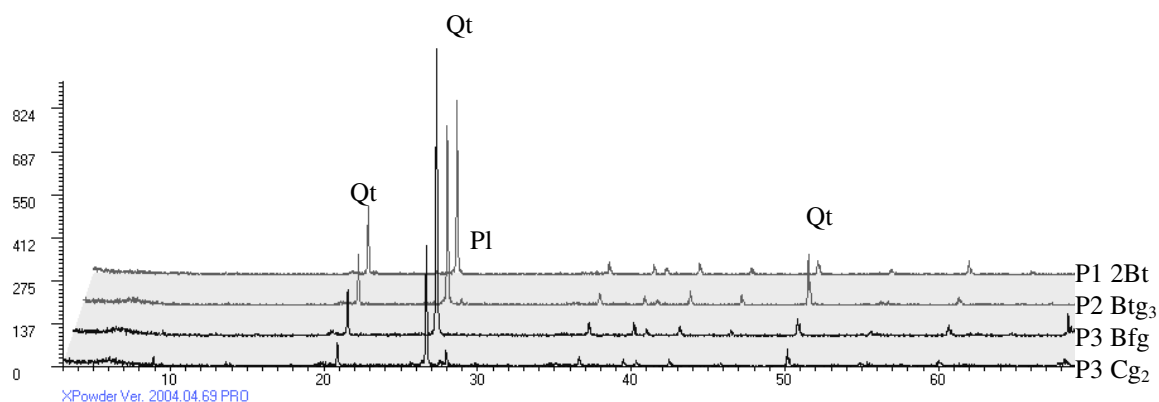


Figura 24. Difratomogramas de Raio X da fração areia dos horizontes subsuperficiais selecionados da topossequência 3. Qt= quartzo; Fd= feldspato; Pl= plagioclásio.

A mineralogia indicou predomínio de quartzo (4,21, 3,31 e 1,82 Å) na fração areia, com mais de 50%, exceto no horizonte 2Cv do perfil 1 da T1, que apresentou como principal mineral a calcita (3,01 Å) com 60%. Os difratogramas da fração areia (Figura 22, 23 e 24) também mostram a presença de feldspatos (3,23 Å) e plagioclásios (3,19 Å), além de alguns filossilicatos, indicando que mesmo as maiores frações granulométricas de solos têm uma reserva de minerais primários que poderiam liberar nutrientes e Al no solo, com os processos intempéricos. Segundo Lima et al. (2006), a menor diversidade e quantidade de minerais nesta fração podem indicar menor reserva de nutrientes.

Constatou-se a ocorrência de pequenas quantidades de hematita nos horizontes 2Cv do perfil 1 da T1 e 2Cg₁ do perfil 3 da T2, sugerindo a presença de traços deste mineral. A ocorrência de hematita nestes solos, com drenagem de moderada a deficiente estaria associada, respectivamente, ao elevado pH devido à presença da calcita e à presença de mosqueados (ambiente oxidado).

Nos difratogramas observaram-se picos de plagioclásio mais expressivos nos perfis localizados nas partes mais baixa das topossequências, com maiores teores quando comparados às outras posições da paisagem. A má condição de drenagem funciona como impedimento às alterações possibilitando a ocorrência de minerais facilmente alteráveis neste pedoambiente. Em estudo da mineralogia de três solos de uma topossequência da Amazônia Ocidental, Lima et al. (2006) verificaram na fração areia, além da presença do quartzo, plagioclásios, micas e feldspatos potássicos, além da presença de calcita no horizonte C do Argissolo Amarelo e filossilicatos no Neossolo Flúvico.

Tabela 15. Proporções da mineralogia da fração areia por difração de raio X (DRX).

Topossequência Perfil	Horiz.	Quartzo	Feldspato	Plagioclásio	Filossilicatos		Outros
					14 Å	10 Å	
%							
T1P1	Cv ₃	68	20	7	5	<1	76 ^A
	2Cv	16	0	3	5	0	
T1P2	2Bg ₂	84	<1	<1	4	12	10 ^B
	2Cg	90	<1	<1	<1	10	
T1P3	Bi ₁	59	8	18	4	11	
	2C ₂	55	8	14	8	15	
T2P1	Bt	79	8	<1	4	9	
	Bg	64	9	<1	7	20	
T2P2	Bi ₁	74	8	8	3	7	
	Cg ₂	51	15	16	4	14	
T2P3	2Bg	64	7	15	4	10	
	2Cg ₁	51	20	12	7	<1	
T3P12	Bt	93	<1	<1	7	<1	
T3P2	Btg ₃	82	12	<1	6	<1	
T3P3	Bfg	83	<1	3	3	11	
	Cg ₂	52	11	22	5	10	

A = Calcita (60%), Hematita (3%) e mineral a 3,47 Å (13%).

B = mineral a 3,47 Å (10%) e Hematita (<1%).

4.5.2 Fração silte

A difratometria de raios-X revelou composição mineralógica semelhante da fração areia, com a presença de quartzo (4,21, 3,31 e 1,82 Å), plagioclásio (3,19 Å) e feldspato (3,23 Å) em todos os horizontes subsuperficiais estudados (Figuras 25, 26 e 27). Além dos picos característicos dos minerais já citados, a estimativa das proporções dos minerais indicou a presença de filossilicatos de 14Å e 10Å (Tabela 16). Nesta fração e também na fração areia destaca-se a presença de mica como indicam as suas reflexões diagnósticas a ~8,85° (2θ).

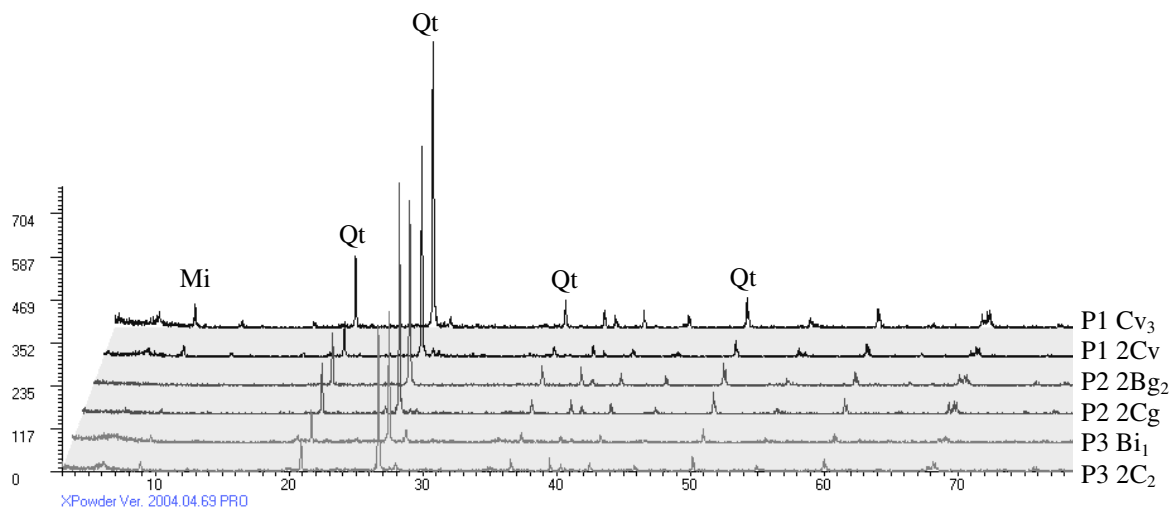


Figura 25. Difratogramas de raio-X da fração silte dos horizontes subsuperficiais selecionados da topossequência 1. Qt= quartzo; Mi= micas.

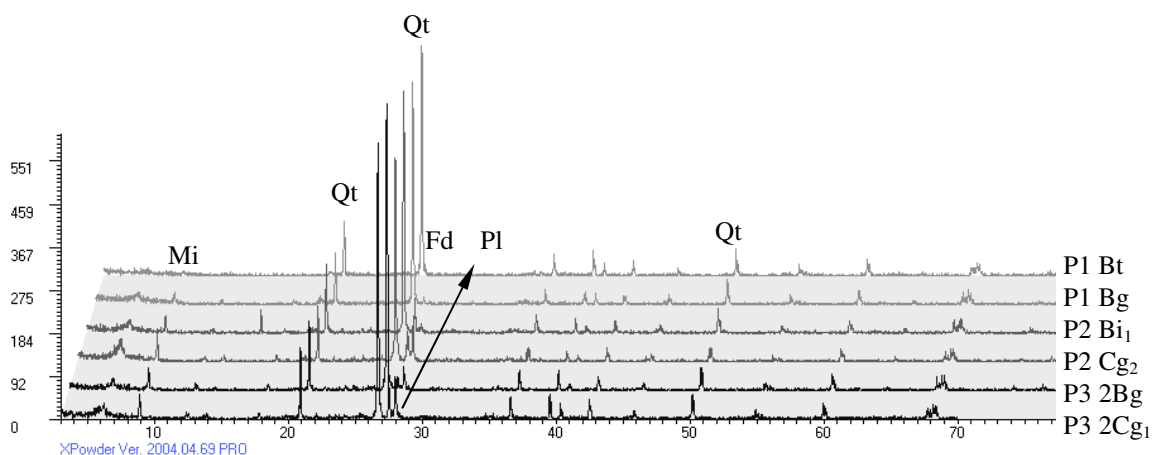


Figura 26. Difractogramas de raio X da fração silte dos horizontes subsuperficiais selecionados da topossequência 2. Qt= quartzo; Fd= feldspato; Pl= plagioclásio; Mi= micas.

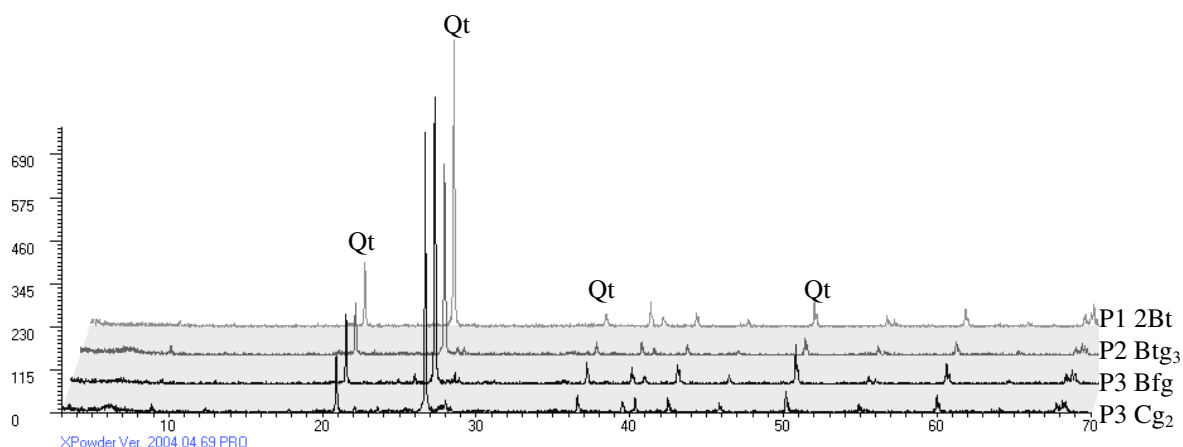


Figura 27. Difractogramas de raio X da fração silte dos horizontes subsuperficiais selecionados da topossequência 3. Qt= quartzo.

Tabela 16. Proporções da mineralogia da fração silte por difração de raio-X (DRX).

Topossequência Perfil	Horiz.	Quartzo	Feldspato	Plagioclásio	Filossilicatos	
					14Å	10Å
				%		
T1P1	Cv ₃	75	<1	4	4	17
	2Cv	66	12	4	4	14
T1P2	2Bg ₂	97	<1	1	2	<1
	2Cg	87	4	3	2	4
T1P3	Bi ₁	64	8	12	4	12
	2C ₂	67	9	8	4	12
T2P1	Bt	92	<1	<1	3	5
	Bg	72	12	1	4	11
T2P2	Bi ₁	61	17	5	4	13
	Cg ₂	35	15	17	8	25
T2P3	2Bg	62	11	9	4	14
	2Cg ₁	48	16	16	4	16
T3P1	2Bt	95	<1	<1	<1	5
T3P2	Btg ₃	67	13	5	3	12
T3P3	Bfg	79	11	4	1	5
	Cg ₂	68	13	6	3	10

Assim como na fração areia, o quartzo foi o principal constituinte da fração silte. De maneira geral, foi observada tendência na diminuição dos feldspatos, plagioclásios e filossilicatos com a intemperização e pedogênese dos perfis, ou seja, maiores quantidades no horizonte C e menores nos B. Esta diminuição se refletiu em incremento relativo de quartzo nos horizontes de alteração. Os horizontes Bt (sem hidromorfismo) dos perfis T3 P1 e T2 P1, apresentaram o grau de desenvolvimento mais elevado, portanto o maior conteúdo de quartzo e menor quantidade dos outros minerais.

4.5.3 Fração argila

Os resultados das análises por difração de raios X, obtidos da fração argila (Figuras 28, 29 e 30), revelaram a presença dos seguintes minerais: esmectita, mica e caulinita, que têm maior dominância, além de quartzo e lepidocrocita, em proporções reduzidas e ausentes em algumas amostras. Foram também observadas evidências da presença de interstratificado caulinita-esmectita apenas na amostra do horizonte 2Bt do perfil T3P1, apresentando uma “constituição mista”, onde temos uma aparente equivalência de proporções, porém com predominância dos argilominerais 2:1 sobre a caulinita ($E+Mi>Ct$).

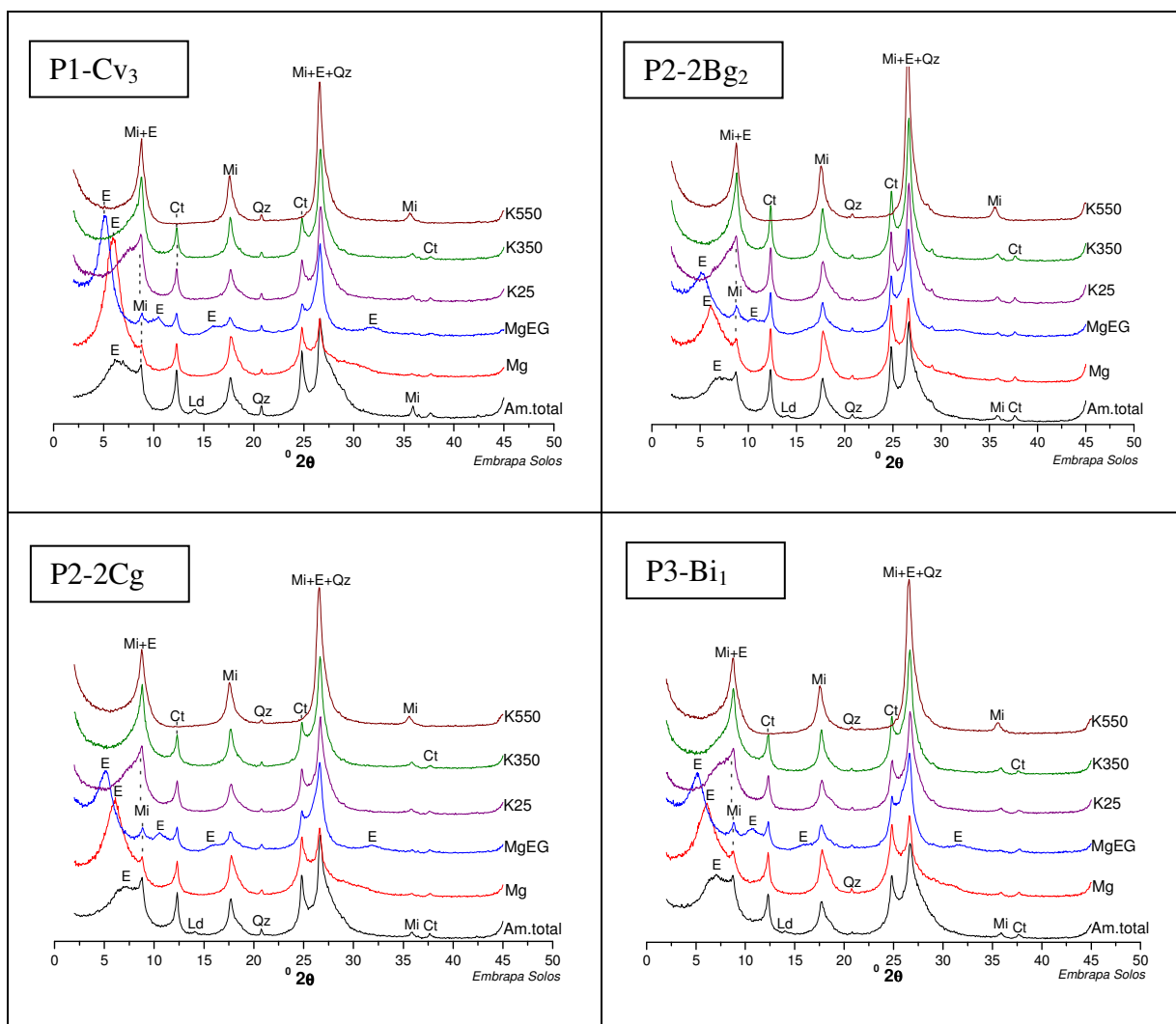


Figura 28. Difrátogramas de raio-X da fração argila dos horizontes subsuperficiais selecionados da topossequência 1. E – esmectita; Mi - mica; Ct - caulinita; Ld – lepidocrocita; Qz – quartzo.

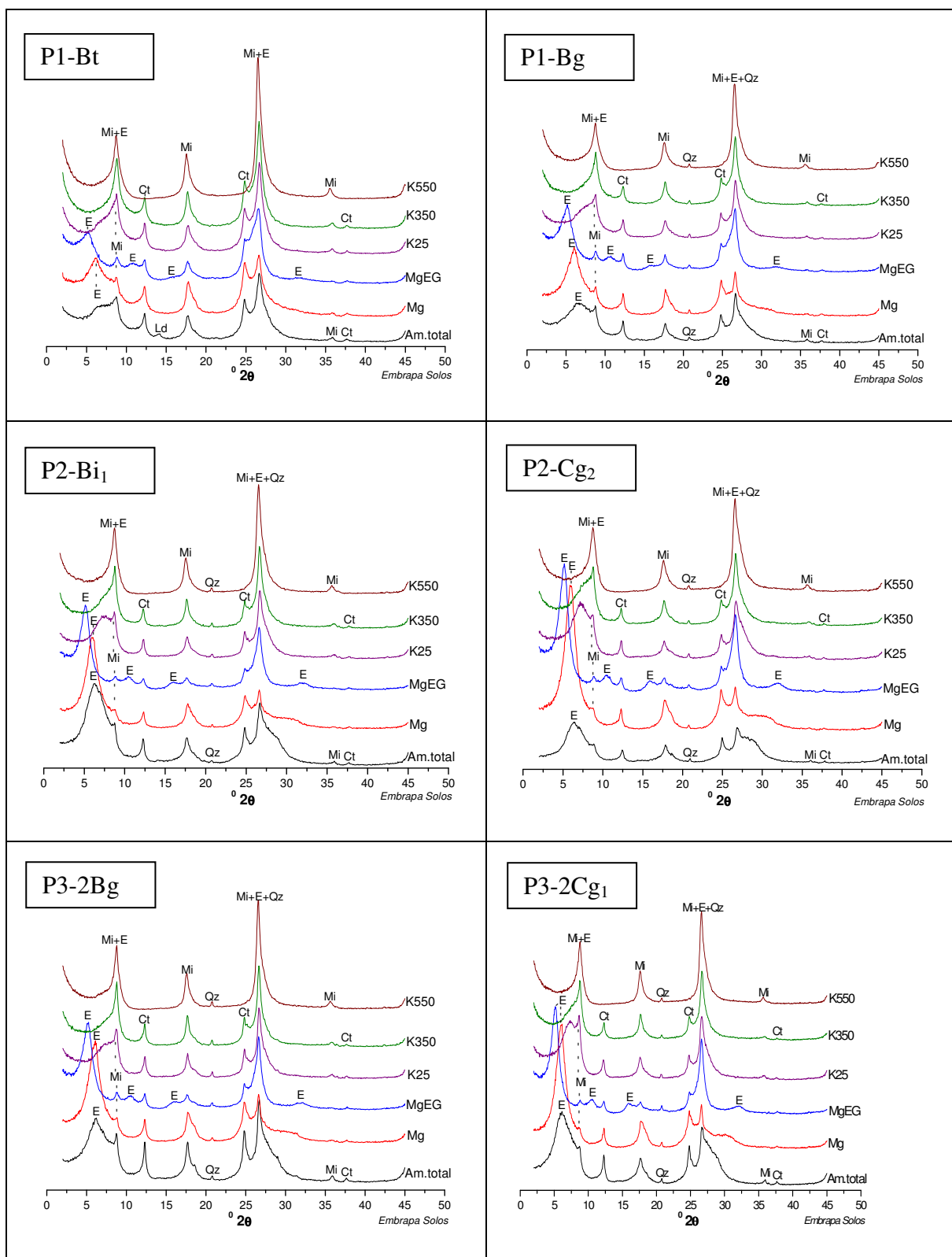


Figura 29. Difratomogramas de raio-X da fração argila dos horizontes subsuperficiais selecionados da topossequência 2. E - esmetita; Mi - mica; Ct - caulinita; Qz - quartzo; Ld - lepidocrocita.

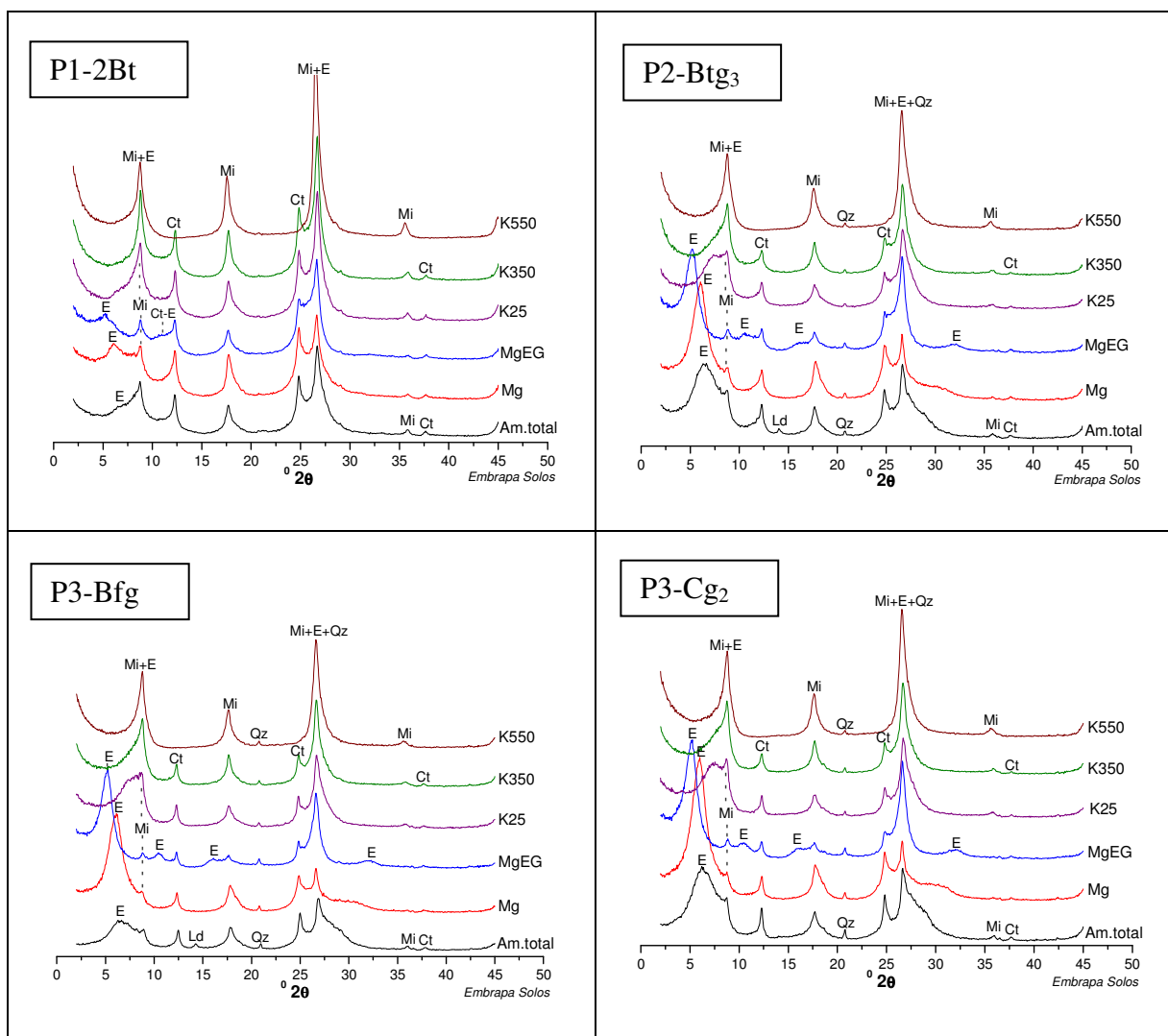


Figura 30. Difratomogramas de raio-X da fração argila dos horizontes subsuperficiais selecionados da topossequência 3. E - esmectita; Mi - mica; Ct-E - interestratificado caulinita-esmectita, Ct - caulinita; Ld - lepidocrocita; Qz - quartzo.

Foi verificada grande semelhança entre os difratogramas dos horizontes analisados, seja de um mesmo perfil de solo ou de perfis diferentes, o que indica homogeneidade da constituição mineralógica e condições geoquímicas similares.

A esmectita ocorreu de forma expressiva nas amostras, sendo predominante nos horizontes analisados, a exceção da amostra do horizonte 2Bt do perfil T3P1. A sua presença é indicada por sua reflexão principal, na região $6,5^\circ$ (2θ) de $\sim 1,40$ nm, na amostra saturada com magnésio (Mg), que se desloca (indicando expansão) após o tratamento com etileno glicol (MgEG). Merece destaque a intensidade e a forma desta reflexão nos difratogramas da amostra Mg-saturada.

Segundo Lima et al. (2006) a ocorrência de esmectita pode ser atribuída aos teores elevados de bases (cálcio e magnésio) e sílica, suficientes para a síntese e estabilização deste mineral.

A mica (termo inclusivo para illita) ocorreu em todos os horizontes analisados, como indicam as suas reflexões diagnósticas a $\sim 8,85^\circ$, $17,65^\circ$ e $26,70^\circ$ (2θ), que permaneceram estáveis aos tratamentos aplicados. O aumento de intensidade, observado após aquecimento a 350° e 550°C , foi devido ao colapso dos outros argilominerais 2:1 presentes. Sua ocorrência

foi expressiva em todos os horizontes, com aparente predomínio sobre a caulinita em quase todos.

Em estudo com solos de Rio Branco e Manuel Urbano no Acre, Volkoff et al. (1989) observaram que as esmectitas são predominantes em horizontes incipientes e mais profundos, sendo característicos dos Cambissolos, e predomínio de illita nos horizontes mais desenvolvidos, como no Argissolo, provavelmente devido à degradação das esmectitas.

A caulinita, também ocorreu em todos os horizontes analisados e, em proporções inferiores aos anteriores. Sua presença foi evidenciada pelas reflexões bem formadas, que ocorrem na região de 12,3°, 24,8° e 37,7° (2θ) e que desaparecem após o aquecimento da amostra a 550° C (K 550).

No horizonte 2Bt do perfil T3P1 verificaram-se indícios da presença de mineral interestratificado caulinita-esmectita. A sua presença foi evidenciada por uma banda ou “ombro” ao lado das reflexões da caulinita na amostra saturada com magnésio após o tratamento com etileno glicol (MgEG). Essa característica é mais bem visualizada junto à reflexão a 12,3° (2θ). Não deve ser confundida com a segunda reflexão da esmectita que também ocorre nesta região, porém de forma individualizada, como foi observado nas outras amostras. Em algumas amostras foi notada também a presença de lepidocrocita, cuja reflexão é perceptível apenas na amostra não tratada, desaparecendo após o tratamento de desferificação (CBD), e de quartzo, ambos em proporções reduzidas.

Em estudo com Neossolos Flúvicos e Vertissolos na bacia do Rio Juruá, no Estado do Acre, Portugal et al. (2009) observaram na fração argila conteúdo significativo de esmectitas, vermiculitas, illita, caulinita e quartzo, atribuindo esse padrão a origem geológica andina.

A mineralogia indica que os solos ainda estão em fase de baixo intemperismo, com a presença de quantidades significativas de minerais 2:1 (Tabela 17). Estes resultados corroboram a indicação de argilas de alta atividade das análises químicas e físicas, com altos valores de CTC da argila e de superfície específica, respectivamente.

Tabela 17. Estimativa da proporção relativa dos minerais constituintes da fração argila dos horizontes analisados.

Perfil	Horizonte	Mineralogia
T1P1	Cv ₃	Esmectita > mica > caulinita, lepidocrocita, quartzo.
T1P2	2Bg ₂	Esmectita > caulinita > mica, lepidocrocita, quartzo
T1P2	2Cg	Esmectita > mica > caulinita, lepidocrocita, quartzo.
T1P3	Bi ₁	Esmectita > mica > caulinita, lepidocrocita, quartzo.
T2P1	Bt	Esmectita > mica > caulinita, lepidocrocita.
T2P1	Bg	Esmectita > mica > caulinita, quartzo.
T2P2	Bi ₁	Esmectita > mica > caulinita, quartzo.
T2P2	Cg ₂	Esmectita > mica > caulinita, quartzo.
T2P3	Bg	Esmectita > mica > caulinita, quartzo.
T2P3	2Cg ₁	Esmectita > mica > caulinita, quartzo.
T3P1	2Bt	Esmectita ≅ mica ≅ caulinita > interestratificado Ct-E.
T3P2	Btg ₃	Esmectita > mica > caulinita, lepidocrocita, quartzo
T3P3	Bfg	Esmectita > caulinita > mica, lepidocrocita, quartzo
T3P3	Cg ₂	Esmectita > mica > caulinita, quartzo.

Segundo Kämpf & Curi (2003), nos solos, as esmectitas estão geralmente saturadas com Ca e Mg. Entretanto, com a acidificação do meio há liberação de Al da estrutura, o qual forma polímeros de Al-OH, que precipitam nas entrecamadas, originando esmectitas com hidróxi-Al entrecamadas (Kämpf et al., 1995a). Além disso, a presença de minerais de argila 2:1 com hidróxi entrecamadas pode ser responsável pelos altos teores de Al nestes solos.

Segundo Rich (1968), destaca que o ambiente moderadamente ácido e baixos teores de matéria orgânica, evitam a complexação do Al, favorecendo a formação da EHE.

A alta precipitação pluviométrica na área em estudo, aliada à deficiência de drenagem (decorrência da textura, posição no relevo e, ou, estratificação horizontal do material de origem), resultou na ocorrência de argilominerais 2:1 expansíveis em todos os solos estudados (Figuras 28, 29 e 30). Sendo a esmectita e a mica os principais constituintes da fração argila, estes minerais são responsáveis por características dos solos como fendilhamento, superfície de compressão, consistência muito dura a extremamente dura quando seco alta plasticidade e pegajosidade, baixa condutividade hidráulica. Além disso, a expansão e a fácil dispersão da esmectita em água conferem aos solos esmectíticos alta suscetibilidade à degradação e erosão hídrica (Kämpf & Curi, 2003).

Segundo Borchardt (1989), as esmectitas podem-se formar a partir da transformação de illita. Portanto, a presença relevante de mica, propõe-se como hipótese a transformação da illita, que pode ser de origem andina, em esmectita. Por outro lado, a caulinita, que também pode ter sido transportada diretamente dos Andes, em meios concentrados especialmente em Si(OH)_4 , Mg e/ou K, foi submetida ressilicatização, transformando-se em esmectitas e micas (Buol et al., 1997). Este processo pode explicar os baixos teores de caulinita nos solos estudados.

Além da hipótese da transformação, a neogênese consistiria em uma segunda fonte geradora da esmectita. Neste caso, o ambiente de alteração, caracterizado por um meio com acúmulo de sílica e bases e hidromorfismo, como o encontrado neste estudo, permitindo a bissialitização, e conseqüentemente, a formação de argilominerais do tipo 2:1. As condições restritas de drenagem, resultantes das características topográficas e da granulometria dos sedimentos, condicionaram um processo de intemperismo menos acentuado.

Em estudo da mineralogia de três solos de uma topossequência da Amazônia Ocidental, Lima et al. (2006) observaram a ocorrência de esmectita em um Argissolo Amarelo Ta aluminoso, especialmente no horizonte 2C₂ (mais profundos), onde os teores elevados de bases e sílica são suficientes para a síntese e estabilização desse mineral, ao contrário dos horizontes superficiais, onde a atuação dos agentes bioclimáticos é mais intensa e a acidez é mais elevada. Nestas condições a esmectita torna-se instável, degradando-se e liberando alumínio para o meio, podendo resultar em elevados teores de alumínio trocável. Irion (1984), observou que na parte inferior do pedon da mesma formação geológica, onde o processo de intemperismo é menos intenso, a esmectita é mais estável, podendo ser o componente predominante da fração argila.

Avaliando a mineralogia de solos da região da Amazônia Ocidental, Marques et al. (2002) observaram que a argila era constituída de esmectita, vermiculita e esmectita com hidróxi entrecamada resultante da adição de sedimentos, precipitação da solução e transformação dos minerais primários.

4.6. Quantificação do Alumínio

Os teores de alumínio de horizontes subsuperficiais representativos dos perfis estudados, extraído com KCl e determinado por diferentes métodos, são apresentados na Tabela 18. Observa-se a grande variação dos resultados entre os diferentes métodos. De maneira geral, os teores de alumínio quantificados por espectroscopia com Alaranjado de Xilenol (Al_AX) foram mais elevados quando comparados ao demais, com valores variando entre 0,2 e 17,8 cmol_c kg⁻¹, com média de 8,5 cmol_c kg⁻¹.

Tabela 18. Teores de alumínio de horizontes subsuperficiais determinados por diferentes métodos.

Perfil	Horiz.	Al_Na	Al_AX	Al_PL	Al_VPM	Al_VPT
		cmol _c kg ⁻¹				
T1P1	Cv ₃	1,5	1,7	2,5	0,7	0,8
	2Cv	0,0	0,2	0,0	0,1	0,2
T1P2	2Bg ₂	11,8	13,1	11,4	6,7	7,5
	2Cg	13,5	14,6	12,2	7,7	8,2
T1P3	Bi ₁	8,4	9,6	7,8	6,6	6,3
	2C ₂	0,6	0,5	0,4	0,3	0,5
T2P1	Bt	14,0	17,3	12,1	8,0	7,1
	Bg	13,6	16,8	12,5	5,1	7,1
T2P2	Bi ₁	12,1	14,7	11,7	7,9	8,0
	Cg ₂	1,3	1,6	1,2	0,7	0,8
T2P3	2Bg	0,6	0,3	0,2	0,3	0,4
	2Cg ₁	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2
T3P1	2Bt	10,8	14,1	11,5	7,0	8,2
T3P2	Btg ₃	13,2	17,8	14,2	5,3	8,0
T3P3	Bfg	9,6	12,4	9,9	5,8	8,1
	Cg ₂	1,0	1,0	0,6	7,7	7,7
Média		7,0	8,5	6,8	4,4	4,9

Al_Na= Alumínio determinado por titulação com NaOH; Al_AX= Alumínio determinado por espectrometria com Alaranjado de Xilenol; Al_PL= Alumínio determinado por Emissão de Plasma (ICP-OES); Al_VPM= Alumínio monomérico determinado por espectrometria com Violeta de Pirocatecol; Al_VPT= Alumínio total determinado por espectrometria com Violeta de Pirocatecol.

Pode-se destacar na Tabela 18, que os horizontes com os maiores valores de Al foram os que ocorrem em perfis que apresentavam as melhores condições de drenagem. Este padrão pode ser decorrente, das melhores condições de lixiviação de sílica e bases, o que favoreceu o intemperismo mais acentuado, promovendo maior liberação do Al da estrutura cristalina dos minerais secundários e/ou primários. Já no horizonte 2Cv do perfil 1 da T1 e nos horizontes mais profundos do terço inferior das elevações (P3), a má drenagem e a posição na paisagem favoreceram a neoformação, sendo o alumínio utilizado para formação destes novos minerais.

A determinação do alumínio por espectrometria com Violeta de Pirocatecol mostrou-se ineficaz, com pouca variação e coerência entre os valores de alumínio monomérico (Al_VPM) e total (Al_VPT), apresentando, como no horizonte Bt do perfil 1 da T2 (Tabela 18), valores de alumínio monomérico maiores que o total. Este resultado pode ser devido ao método não ser capaz de determinar altas concentrações de alumínio, sendo necessária grande diluição do extrato, o que pode levar a maior erro. Em estudo com Organossolos de várias regiões do Brasil, solos que apresentam também elevados teores de Al, Ebeling (2006) observou que os teores de Al quantificados pelo método com Violeta de Pirocatecol foram pouco consistentes com os valores encontrados para os demais métodos, titulação com NaOH, pelo Alaranjado de Xilenol e pelo plasma.

Segundo Coscione et al. (1998), o método por titulação apresenta menor sensibilidade na determinação do Al³⁺ trocável. Bertsch & Bloom (1996), afirmam que a determinação do Al por métodos espectrofotométricos, tais como ICP-OES, é, sem dúvida, mais sensível e confiável. Na análise de correlação do Al_PL com Al_Na e Al_AX foi observada alta correspondência entre os métodos, com valores de r=0,99, significativos a 5% (Figura 31 e 32), demonstrando que estes métodos são comparáveis entre si. Contudo, o Al_Na apresentou,

de maneira geral, menor diferença entre seus valores e o Al_PL, quando comparado com o Al_AX. Este resultado pode ser devido a necessidade de diluição do extrato para a determinação por espectrometria com Alaranjado de Xilonol, diminuindo, com isso, a credibilidade na determinação. Mas este fato, não o exclui de ser um método recomendado para a determinação do alumínio.

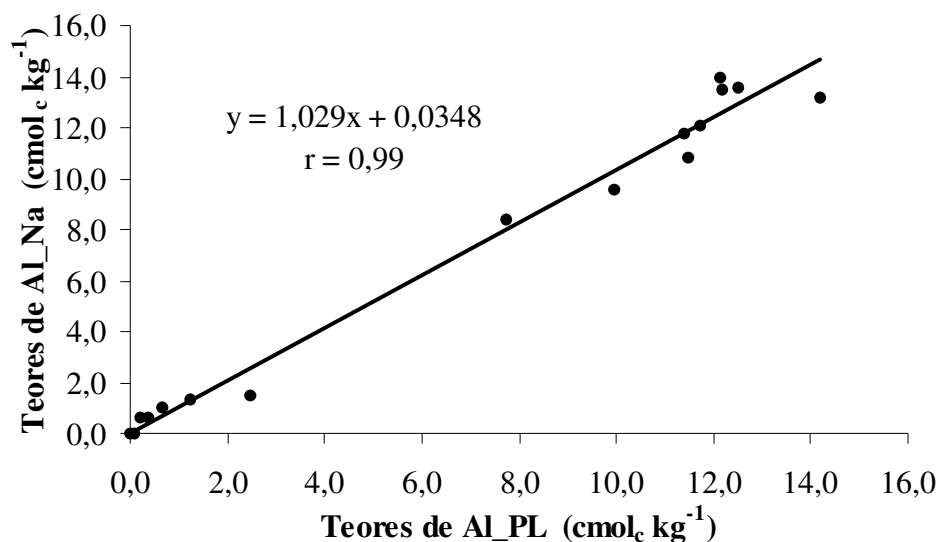


Figura 31. Correlação entre teores de alumínio determinados pelo ICP-OES (Al_PL) e pela titulação com NaOH (Al_Na).

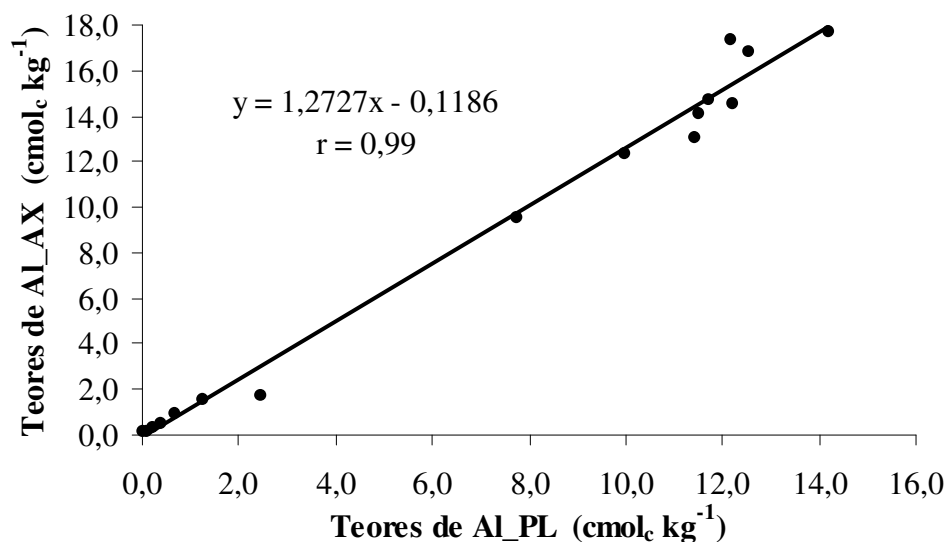


Figura 32. Correlação entre teores de alumínio determinados pelo ICP-OES (Al_PL) e por espectrometria com alaranjado de xilenol (Al_AX).

Segundo Pérez (2009), o procedimento da extração com KCl e titulação com NaOH determina H^+ , identificado como acidez trocável (Sposito, 1989). Neste contexto, não há, portanto, diferenciação entre o " H^+ trocável" e o H^+ desenvolvido pela hidrólise do Al^{3+} . Portanto, estes resultados demonstram que praticamente todo o H^+ determinado por titulação com NaOH foi proveniente da hidrólise do alumínio, não apresentando grande interferência de outras fontes de H^+ , como as cargas dependentes de pH, devido ao predomínio de argilominerais 2:1 e baixos teores de matéria orgânica. Os resultados demonstraram que a

acidez trocável esteve constituída na maior parte de alumínio, mesmo naquelas amostras com valores de pH inferior a 4,5. Estes resultados divergiram dos observados por Ross et al. (2008), em revisão sobre cátions trocáveis em solos sobre florestas, que mostraram que a quantidade de H^+ pode ser insignificante em pH acima de 4,5.

Na determinação do alumínio em 18 horizontes de solos minerais, onde o principal mineral da fração argila era caulinita e/ou oxi-hidróxidos de ferro/alumínio, Pérez et al. (2009) concluíram que a maioria dos prótons medidos no extrato dos solos minerais, ou seja, a acidez trocável foi proveniente da hidrólise do Al^{3+} trocável.

Em estudo com amostras de terra provenientes de diferentes solos da Região Nordeste e de Jaguariúna-SP, Boeira et al. (2004) observaram que o método titulométrico resultou em teores de Al significativamente maiores que os do método espectrofotométrico com Alaranjado de Xilenol. Os autores atribuem os resultados encontrados a titulação com NaOH que neutraliza outras formas de acidez, além daquela devida ao Al trocável.

Mesmo apresentando resultados semelhantes, os diferentes métodos de determinação do alumínio não foram capazes de quantificar somente o Al trocável, tóxico as plantas, devido a capacidade do KCl em extrair formas não trocáveis de alumínio (Abreu Jr. et al., 2003). Segundo Ross et al. (2008), a extração repetida com um sal neutro continuará a remover Al, em quantidade dependente do pH da combinação solo e solução. Segundo Wadt (2002) e Marques et al. (2002), esta distorção no teor de alumínio trocável, como um índice da acidez do solo, é agravada porque o KCl, utilizado como extrator, provoca a dissolução do alumínio amorfo e do alumínio interestratificado, que são formas não trocáveis e, portanto, apresentam um equilíbrio muito tênue com a solução do solo. Com isso, a presença de argilominerais 2:1 com alumínio fortemente aderido as entrecamadas acarreta na superestimativa do alumínio trocável, ou seja, o extrato é constituído principalmente de Al não-trocável, não fitotóxico.

Em explicação ao efeito da não fitotoxicidade do alumínio, Wadt (2002) descreve que no caso dos solos do Estado do Acre, a superfície adsorvente possui elevada eletronegatividade atraindo mais efetivamente os cátions de menor raio iônico hidratado e maior valência. Os cátions assim adsorvidos apresentam uma menor atividade na solução do solo. Enquanto que outros cátions de maior raio iônico hidratado e menor valência são expulsos para a solução do solo, onde apresentam maior atividade. Estes mecanismos, na prática, diminuem a quantidade de alumínio que pode atingir o sistema radicular das plantas e, portanto, seu efeito fitotóxico.

Em trabalho com solos da mesma região do Acre, Volkoff et al. (1989), constataram que a distribuição dos teores de alumínio trocável acompanhou a variação do teor de argila, atribuindo a desestabilização da argila para a ocorrência dos altos teores de alumínio. Contudo, pode-se destacar que os teores de alumínio, não somente, acompanham os teores de argila, mas sim o tipo de argila.

A superfície das esmectitas (argilominerais 2:1) possui carga permanente negativa, que permite a adsorção de hidróxi-Al, polímeros de carga positiva (Kämpf e Curi, 2003). Devido a sua baixa estabilidade, sujeitos a liberação pelo intemperismo, pode ser atribuído ao hidróxi-Al a causa de elevados teores de alumínio.

Nos solos minerais ácidos, o H^+ titulado no extrato do solo na solução não-tamponada de KCl não representa a acidez trocável do solo, mas a baixa estabilidade das formas de hidróxi-Al, exceto em solos com teores elevados da matéria orgânica (Raij et al., 2001).

4.7. Classificação dos Solos

Na Tabela 19 é apresentada a classificação dos perfis segundo o SiBCS (Embrapa, 2006), o Soil Taxonomy (USDA, 2006) e o WRB (FAO, 2006).

Nos perfis estudados, todos os horizontes superficiais apresentaram cores escuras porém com pequena espessura, sendo portanto classificados como A moderado, pois não se

enquadram nos conjuntos das definições dos demais horizontes diagnósticos superficiais. Já quanto aos subsuperficiais, os perfis apresentaram horizontes genéticos classificados como: B incipiente, B textural, B plíntico, B e C glei e C vértico (Embrapa, 2006).

Tabela 19. Classificação dos perfis dos solos das topossequências estudadas de acordo ao SiBCS, Soil Taxonomy e WRB.

Topossequências Perfis	SiBCS	Soil Taxonomy	WRB
Topossequência 1 – Sena Madureira			
T1P1	Vertissolo Háptico Órtico típico	Chromic Hapludert	Haplic Vertisol Eutric
T1P2	Cambissolo Háptico Alítico gleissólico	Typic Eutrudept	Endogleyic Alisol Profondic Epieutric Episiltic
T1P3	Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico	Typic Eutrudept	Haplic Luvisol Epieutric Episiltic
Topossequência 2 – Manuel Urbano			
T2P1	Argissolo Vermelho Alítico típico	Oxyaquic Hapludults	Endogleyic Alisol Endodystic Chromic
T2P2	Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico	Typic Eutrudept	Endogleyic Alisol Endoclayic
T2P3	Gleissolo Háptico Ta Eutrófico típico	Aquic Dystric Eutrudepts	Haplic Gleisol Eutric Endoclayic
Topossequência 3 - Feijó			
T3P1	Argissolo Vermelho Alítico típico	Typic Hapludult	Haplic Alisol Hyperdystric Chromic
T3P2	Gleissolo Háptico Alítico argissólico	Aquic Dystric Eutrudepts	Haplic Gleisol Aluminic Endoclayic
T3P3	Plintossolo Háptico Eutrófico típico	Aquic Dystric Eutrudepts	Plinthic Lixic Gleisol Endoclayic

SiBCS (Embrapa, 2006); Soil Taxonomy (USDA, 2006) e WRB (FAO, 2006).

Na topossequência 1 o perfil P1 apresentou superfícies de compressão e rachaduras com 1,5 cm de largura em toda profundidade, originadas pela alternância dos mecanismos de expansão e contração do solo, devido à presença de argilas de atividade alta ($CTC > 27 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ argila) (Tabela 11). Essa morfologia foi corroborada pela análise dos difratogramas da fração argila (Figura 28). Esses atributos associados à espessura maior que 15 cm, faz com que o horizonte diagnóstico seja classificado como vértico (Cv), assim identificando o perfil como Vertissolo. No segundo nível categórico, não foram verificadas propriedades diferenciais para que o perfil fosse classificado como Hidromórfico ou Ebânico, sendo então classificado como Vertissolo Háptico. Para o terceiro e quarto nível categórico, a ausência de propriedades diferenciais fez com que o perfil fosse classificado como Órtico (3º nível) e típico no 4º nível. O perfil possui caráter eutrófico, saturação por bases maior que 50% em todos os horizontes, podendo este atributo ser usado para criação da classe do Vertissolo Háptico Eutrófico típico.

Para o perfil P2 localizado no terço médio de paisagem, verificou-se a ocorrência de um horizonte B, sem expressão de nenhum processo pedogenético atuante, associado a atributos tais como: k_i maior que 2,2, CTC da argila $> 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila, relação silte/argila

maior que 0,7 e relação textural B/A menor que 1,5. Essas características fizeram com que o perfil fosse identificado como B incipiente, sendo o perfil classificado no nível de ordem como Cambissolo. No nível de subordem a ausência de propriedades diferenciais levou a classificação como Háplico. Para o terceiro nível, a maior parte do horizonte dos primeiros 100 cm do horizonte B apresentou caráter alítico ($Al^{3+} \geq 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, atividade de argila $\geq 20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila) e saturação por alumínio $\geq 50\%$ e/ou saturação por bases $\leq 50\%$), fazendo com que esse perfil fosse classificado como Alítico neste nível categórico. No perfil verificou-se a presença de horizontes subsuperficiais, abaixo do B incipiente, que apresentavam cores amareladas, matiz 10 YR e croma baixo (≤ 3), com espessura de 15 cm, dentro dos primeiros 120 cm contados a partir da superfície, fazendo com que o perfil fosse classificado como gleissólico no quarto nível categórico.

O perfil 3 da T1, terço inferior da elevação, apresentou horizonte B espesso, com cores bruno (7,5YR) e croma 4, estruturas com grau de desenvolvimento forte a moderado (Tabela 2). Porém, a ausência de cerosidade e de acúmulo de argila e a presença de argilas de alta atividade (esmectita, ilita e interestratificados ilita-esmectita) observadas através da mineralogia (Figura 28), demonstram o baixo grau de desenvolvimento pedogenético, identificando o horizonte como B incipiente, sendo o perfil classificado no nível de ordem como Cambissolo. Quanto à subordem a ausência de outras propriedades diferenciais levou a classificação como Háplico. No nível de grande grupo observou-se que a CTC da argila em todos os horizontes subsuperficiais foi maior que $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e a saturação por bases $> 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (Tabela 8), classificando o perfil como Ta Eutrófico e no 4º nível como típico, pela ausência de outras propriedades relevantes.

No perfil 1 da T2 o gradiente textural B/A foi igual a 2,5, evidenciando o acúmulo de argila nos horizontes subsuperficiais, além da cerosidade moderada e comum, classificando o horizonte B como textural, sendo este formado pelo processo pedogenético de eluviação e iluviação de argila. A posição topográfica no terço superior de encosta, pode também estar favorecendo a remoção seletiva de argila através de remoção diferencial. O perfil apresenta argila de alta atividade (Tabela 11) conjugado a saturação por bases baixa ($< 50\%$) e/ou caráter alítico, o que faz com que seja classificado na ordem dos Argissolos. Devido ao ambiente de melhor drenagem, verificou-se a melhor expressão das cores, com matizes mais vermelhas que 5YR e croma 4, classificando o perfil no 2º nível categórico como Vermelho. Como já relatada à presença de caráter alítico, fez com que o perfil fosse classificado como Alítico e, a ausência de propriedades diferenciais o identificou como típico no 4º nível. O perfil também possui horizonte B com cores acinzentadas e croma < 2 com presença de mosqueados, identificando-o como glei (Btg e Bg), subjacente ao Bt, podendo este atributo ser utilizado na criação da classe dos Argissolos Vermelhos Alítico gleissólico.

O perfil 2 da T2 apresentou caráter eutrófico acompanhado de CTC da argila $> 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila, com acréscimo de argila no B, embora sem caracterizar o gradiente textural típico dos Argissolos (relação B/A $< 1,7$). Como não foi observada a expressão de nenhum processo pedogenético, o horizonte foi classificado como B incipiente, levando o perfil a ser identificado como Cambissolo. Assim como os outros Cambissolos na topossequência 1 (P2 e P3), não foram observadas propriedades diferenciais para que o perfil fosse classificado no 2º nível categórico como Húmico ou Flúvico, sendo identificado como Cambissolo Háplico. Apresentando CTC da argila $> 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila em todos os horizontes subsuperficiais e saturação por bases $> 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (Tabela 9), o perfil foi identificado como Ta Eutrófico (3º nível) e no 4º nível como típico, pela ausência de outras propriedades diferenciais. O perfil também possui horizonte C com cor cinzento-claro (10YR) e croma 1 com presença de mosqueados bruno-avermelhados, identificando-o como glei, subjacente ao Bi, sendo assim proposta a classe dos Cambissolos Háplicos Ta eutróficos gleissólicos.

No perfil 3 da T2 foram observados, imediatamente abaixo do horizonte A, horizontes de cores acinzentadas com zonas de mosqueados em todo o perfil e estrutura maciça, o que devido a posição no relevo e a constituição do material mineral, com presença de argilas de alta atividade, evidenciadas nas análises química (Tabela 9) e mineralógica (Tabela 17), condicionaram a má drenagem, favorecendo o hidromorfismo com ambiente de redução e solubilização e remoção do ferro, e desenvolvendo cores acinzentadas. O conjunto de atributos faz com que os horizontes B e C sejam classificados como glei, identificando esse perfil na ordem dos Gleissolos. No nível de subordem a ausência de propriedades diferenciais levou a sua classificação como Háplico. No nível de grande grupo observou-se CTC da argila $> 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila e saturação por bases $> 50\%$ em todos os horizontes subsuperficiais (Tabela 9), classificando o perfil como Ta Eutrófico. A ausência de atributos diagnósticos fez com que o perfil fosse classificado no 4º nível como típico.

O perfil 1 da T3 apresentou características semelhantes ao perfil 1 da T2, com gradiente textural B/A igual a 2,1, cerosidade moderada e comum e cores e espessura maior que 15 cm, definindo o horizonte B como textural. Foram encontradas argilas de alta atividade em todos os horizontes subsuperficiais, juntamente com caráter alítico, identificando o perfil como Argissolo. As cores com matizes mais vermelhas que 5YR na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, identificam o perfil como Vermelho (subordem). A presença de caráter alítico, atribuiu ao perfil à classificação de Alítico (grande grupo) e, a ausência de propriedades diferenciais o identificou como típico no 4º nível. O perfil também possui horizonte B com cores acinzentadas e croma 2 com presença de mosqueados abundante vermelho-escuro, identificando-o como glei (Btg), subjacente ao Bt, podendo este atributo ser utilizado na criação da classe dos Argissolos Vermelhos Alíticos gleissólicos.

O perfil 2 da T3 apresentou gradiente textural B/A igual a 1,8, conjugado a cores acinzentadas com matizes 10YR e croma ≤ 3 (Tabela 4) e argila de alta atividade em todos os subhorizontes B, o que sugere que o perfil apresenta horizonte B textural e glei, porém quando identificado como horizonte glei e também como B textural, terá precedência taxonômica o horizonte diagnóstico glei, atribuindo-se à condição de gleização maior importância para a identificação do horizonte diagnóstico (Embrapa, 2006), sendo o perfil então classificado como Gleissolo. Para o 2º nível categórico, não foram verificadas propriedades diferenciais para que o perfil fosse classificado como Sáfico, Tiomórfico ou Melânico, sendo assim classificado como Gleissolo Háplico. Foi verificado também o caráter alítico na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, e por essa característica foi classificado como Alítico no 3º nível categórico. Já a presença do acúmulo de argila em subsuperfície levou a identificação no nível de subgrupo como Gleissolo Háplico Alítico argissólico.

O perfil 3 da T3 apresentou horizonte subsuperficial B com cores e padrão indicativo da presença de plintita em quantidade que indica a expressão do processo de plintitização (Embrapa, 2006), com mosqueados vermelho-amarelados em quantidade abundante, de contraste proeminente em relação à cor de fundo e tamanho médio, classificando o horizonte B como plíntico. Além disto, apresentou cores acinzentadas, caracterizando a influência de ambiente de redução (B e C glei). A presença do horizonte B plíntico dentro de 40 cm da superfície, levou o perfil a ser classificado como Plintossolo Háplico. Em decorrência da alta precipitação dessa região da Amazônia (1800 a 2400 mm por ano), associada aos altos teores de argila e a presença de argila de alta atividade, a expansão do solo é favorecida e, conseqüentemente, observa-se a redução da condutividade hidráulica do solo. Este fato propiciou ambiente que favoreceu a redução e solubilização do ferro, com a formação de mosqueados e da plintita. Apesar dos altos teores de alumínio no horizonte diagnóstico, os valores de saturação por bases foram maiores que 50%, enquadrando o perfil como Eutrófico (3º nível) e típico (4º nível). Da mesma forma que o perfil P1 da T2 e T3, a presença do

horizonte glei não foi destacada na classificação até o 4º nível categórico, podendo este atributo ser utilizado na criação da classe Plintossolo Háptico Eutrófico gleissólico.

4.8. Gênese dos Solos

Os resultados obtidos permitiram inferências sobre os principais fatores de formação dos solos estudados no Estado do Acre, apresentadas a seguir.

a) Material de Origem e Tempo

A Formação Solimões, datada do Cenozóico, apresenta estratificações plano-paralelas e cruzadas tabulares e acanaladas de pequena, média e grande amplitude. Sua sedimentação esteve associada à subsidência geral da bacia, com afundamentos e soerguimentos de intensidade variável, resultantes da reativação de falhamentos antigos (Cavalcante, 2006). Maia et al. (1977) subdividiram a Formação Solimões em dois pacotes distintos. Para o pacote inferior, pelítico e de ambiente redutor, sugeriram restringir o uso da denominação Formação Solimões. Com base em seu conteúdo fossilífero, estabeleceram o intervalo de idade Mioceno-Plioceno. Para o pacote superior, com sedimentos mais arenosos, propuseram o nome Formação Içá.

A área de estudo está situada na Formação Solimões Inferior, composta por rochas pelíticas, na forma de argilitos, com intercalações de siltitos e arenitos finos em ordem decrescente de abrangência (Bardales, 2007). A geologia bastante recente proporcionou pequeno tempo para a exposição do material de origem à ação dos agentes intempéricos, apesar das condições climáticas, levando a formação de solos com baixo grau de evolução pedogenética. Essa afirmação pode ser constatada pelos atributos dos solos tais como: atividade da fração argila, mineralogia da fração argila e areia, altos valores de k_i e a elevada relação silte/argila. A presença desse conjunto de atributos nos perfis de solos indica que os mesmos ainda preservam muitas características do material de origem sedimentar (Frailey, 1998).

Nos perfis ocorreram classes de textura variadas, entre os solos e em profundidade, desde argilosas a siltosas, e expressivos teores da fração areia fina. A variação na granulometria deveu-se a força do agente de transporte dos sedimentos, sendo os de granulometria mais fina depositados em regimes de águas mais calmas (ambiente flúvio-lacustre) (Kronberg & Benchimol, 1992). A heterogeneidade do material sedimentar foi também evidenciada através das relações areia fina/areia grossa (AF/AG) e silte/argila, que apresentam distribuição irregular dos seus valores, principalmente na AF/AG que possui variações abruptas. O ambiente redutor, destacado por Maia et al. (1977), identificado na Formação Solimões parece estar contribuindo para que o ferro esteja predominantemente em forma reduzida, com o processo de gleização e a formação de horizontes glei (Bg ou Cg).

b) Clima

Em decorrência da alta precipitação dessa região da Amazônia (1800 a 2400 mm por ano) espera-se a transformação de minerais de argila como as esmectitas em minerais mais estáveis nestas condições, como caulinitas e argilas interestratificadas. Volkoff et al. (1989) verificaram que nas condições climáticas do Acre, as montmorilonitas e as beidelitas eram instáveis. Já a illita, aparentemente, poderia permanecer por certo tempo nos solos, sendo a caulinita o único mineral estável nas condições de clima vigentes. Os autores também destacam que a desestabilização das esmectitas (montmorilonita e beidelita) poderia explicar os altos teores de alumínio trocável, sendo a taxa de alumínio trocável diretamente relacionada com o processo de alteração dos minerais argilosos.

As elevadas taxas de precipitação associadas à presença de argilas de alta atividade contribuíram para a redução da condutividade hidráulica dos solos, favorecendo as reações de

redução e/ou a segregação do ferro, assim contribuindo para a formação de mosqueados e também de plintita.

c) Relevô

Quanto ao relevô verificou-se que nos perfis localizados nos pontos mais altos da paisagem, em condição de melhor drenagem (P1, nas topossequências T2 e T3), o processo de translocação de argila, bem como a ação intempérica ocorreu de forma mais intensa. Volkoff et al. (1989) relataram para perfil de Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo Vermelho-Amarelo), localizado na parte alta de encosta, que a argiluviação e a transformação dos minerais ocorreria de maneira mais intensa em função das melhores condições de drenagem. Esses perfis, juntamente com o perfil P2 da topossequência T3, apresentaram horizontes Bt mais espessos, sendo, provavelmente, os solos de maior evolução genética.

Os mesmos perfis apresentaram aumento dos teores de alumínio trocável com a profundidade, sendo neles identificado o caráter alítico. No Estado do Acre, os teores de alumínio estão correlacionados com o incremento dos teores de argila, o que para os Argissolos é uma característica inerente a sua gênese (Amaral, 2007).

As condições restritas de drenagem, observadas para os perfis P1 da topossequência 1, P3 da topossequência 2 e P2 topossequência 3, resultantes das características topográficas e/ou granulometria fina dos sedimentos originais e/ou atividade da argila ($CTC > \text{que } 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ de argila}$), condicionaram um processo de intemperismo menos acentuado do que aquele normalmente observado nos solos bem drenados da Amazônia. Além disto, o ambiente redutor (mal ou imperfeitamente drenado) contribuiu para a formação dos horizontes glei e plântico.

A partir do exposto verifica-se que os quatro fatores de formação acima listados foram os principais responsáveis pela pedogênese.

Em estudo de solos de Rio Branco-AC, Araújo (2008) sugere que o baixo desenvolvimento pedogenético dos solos desta região da Amazônia, pode estar mais relacionado à natureza do terreno (morfogênese) do que o processo de formação do solo (pedogênese). Volkoff et al. (1989) em seus estudos com os solos do Acre identificaram os solos como jovens, formados a partir de material esmectítico, exposto à pedogênese após os períodos erosivos associados às últimas fases da epirogênese andina e à regressão marinha do último período interglacial. Nas condições ambientais atuais, este material se encontra em completo desequilíbrio e está sendo submetido à intensa transformação geoquímica: degradação mineralógica-hidrólise de parte das argilas, concentração relativa das ilitas e da caulinita. Os autores atribuem à desestabilização da argila a ocorrência do alumínio trocável.

5. CONCLUSÕES

Todos os perfis apresentaram atributos morfológicos, físicos e químicos, que demonstram a influência predominante dos fatores de formação material de origem e relevo, com destaque para a textura, a distribuição irregular da relação areia fina/ areia grossa, a presença de mosqueados e horizonte glei e os elevados teores de cálcio, magnésio e alumínio.

Quanto aos teores de carbono orgânico, verificaram-se maiores valores de carbono no horizonte superficial, que reduzem abruptamente em subsuperfície, indicando a rápida mineralização da matéria orgânica do solo. Quanto à variação dos teores entre as topossequências, verificou-se padrão distinto, em T1 e T2 observou-se aumento em direção ao terço inferior de drenagem, enquanto na T3 o maior valor foi observado no terço superior (P1). A fração húmica predominou em relação às demais, apresentando o mesmo padrão que o COT. De maneira geral, observaram-se maiores valores de C-FAH do que C-FAF.

Os valores da relação E4/E6, menores que 5, sugerem elevado grau de condensação aromática e maior massa molecular da material húmico do extrato alcalino. Os espectros de infravermelho indicaram que a qualidade dos ácidos húmicos purificados foi semelhante entre os perfis, diferenciando-se apenas na intensidade dos picos.

Os teores de alumínio determinados pelos métodos de titulação com NaOH, espectrometria com alaranjado de xilenol e ICP-OES foram semelhantes. Já o método do violeta de pirocatecol não apresentou dados consistentes. A extração com KCl superestimou os teores de alumínio trocável, devido a sua capacidade de extrair o alumínio não-trocável nas entrecamadas das esmectitas.

Foi observada a presença de argilas de alta atividade, com predomínio de esmectitas, ilitas e minerais interestratificados de ilita/esmectita. Além das argilas do tipo 2:1, a presença de quantidades expressivas de minerais primários, como feldspato e plagioclásio, na fração areia, indicam que os solos possuem um baixo grau de intemperismo, apesar das condições climáticas (altas precipitação e temperatura) atuantes.

Todos os perfis apresentaram horizontes superficiais classificados como A moderado e, em subsuperfície ou abaixo da seção de controle para classificação dos solos, apresentaram cores acinzentadas, com a presença de horizonte glei, coincidente ou não com outro horizonte diagnóstico. Além desse horizonte diagnóstico, os perfis também apresentaram horizontes classificados como: B textural, B incipiente, B plúntico, B ou C glei e C vértico. Os perfis T2P1, T3P1 e T3P2 foram os mais desenvolvidos, com presença de horizontes Bt mais espessos e associados a caráter alítico. Foram identificadas as seguintes classes de solo, Argissolos, Cambissolos, Plintossolos, Gleissolos e Vertissolos.

De maneira geral verificou-se que os solos apresentaram baixo grau de pedogênese, tendo como principais fatores de formação o material de origem, relevo e tempo (solos jovens). Nas condições climáticas atuais (elevados índices pluviométricos e altas temperaturas), verifica-se que os solos estão sendo submetidos a processo de desestabilização das argilas silicatadas do tipo 2:1 (esmectitas), com a formação de minerais secundários mais estáveis nestas condições, como caulinitas e óxidos. Em conjunto com essas transformações ocorre também a liberação do Al da estrutura cristalina dos minerais de argila, o que contribui para o aumento dos valores de alumínio na solução do solo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deve ser estudada a influência da mineralogia na determinação do Al^{3+} trocável segundo o método da Embrapa, do alaranjado de xilenol e o ICP-OES, devido a provável interferência pelo alumínio não trocável, ao utilizar o KCl como extrator. Já o método de análise com violeta de pirocatecol deve ser testado em solos com menor teor de alumínio.

Com base na caracterização dos solos do Acre na região estudada, com atributos peculiares para a região Amazônica, propõe-se a criação e subdivisão da classe eutrófico, nos níveis categóricos de família e série para os Vertissolos. Bem como, o caráter gleissólico aplicado aos Argissolos, nos níveis categóricos de família e série, ou ainda a criação da classe dos Argissolos Vermelhos Alíticos gleissólicos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU JR., C.H.; MURAOKA, T. and LAVORANTE, A.F. Exchangeable aluminum evaluation in acid soils. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, vol. 60, n.3, pp. 543-548. 2003
- ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico – ZEE/AC 2ª fase. Rio Branco: SECTMA, 2006 (CD-ROM)
- ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico – ZEE/AC 2ª fase. Rio Branco: SECTMA, 2005. (CD-ROM)
- ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre. Zoneamento ecológico – econômico: recursos naturais e meio-ambiente. Documento final. Rio Branco: SECTMA, 2000. v.1, 178p.
- ACRE. Governo do Estado. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico e Econômico do Acre: recursos naturais e meio ambiente. Rio Branco, 2000b. v.1. 116p.
- AIKEN, G.R.; MCKNIGHT, D.M.; WERSHAW, R.L.; MACCARTHY, P. Humic substances in soil, sediments, and water: Geochemistry, Isolation, and characterization. Wiley, New York. p. 363-385. 1985.
- AMARAL, E. F. do; MELO, A. W.; LUNZ, A. M. P.; ANDRADE, E. P.; ARAÚJO, E. A.; FRANKE, I. L. Metodologia simplificada de zoneamento agroflorestal. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 19p. (Embrapa Acre. Circular Técnica, 35).
- AMARAL, E.F. do. Ambientes, com ênfase nos solos e indicadores ao uso agroflorestal das bacias dos rios Acre e Iaco, Acre, Brasil. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003.129p (Tese de Mestrado).
- AMARAL, E.F. do. Estratificação de ambientes para gestão ambiental e transferência de conhecimento, no Estado do Acre. Viçosa-MG. Universidade Federal de Viçosa, 2007. 185p. (Tese de Doutorado)
- ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 307-315, 2004.
- ARAÚJO, E.A. 2008. Qualidade do solo em sistema de mata nativa e pastagens na região leste do Acre, Amazônia Ocidental. Viçosa-MG. Universidade Federal de Viçosa, UFV. 233f. (Tese de Doutorado).
- ARAÚJO; E. A. de; AMARAL, E. F.; WADT, P. G.; LANI, J. L. Aspectos Gerais dos Solos do Acre com Ênfase ao Manejo Sustentável. In: WADT, P. G. S. (Ed) Manejo do Solo e Recomendação de Adubação para o Estado do Acre. Rio Branco: EMBRAPA Acre, 2005, p.27-62.
- BACHE, B.W. Aluminium mobilization in soils and waters. *J. Geol. Soc.* 143: 699-706. 1986.
- BAKKER, A.P. & ALFAIA, S.S. Caracterização mineralógica da fração argila de um Gleissolo da região do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Fortaleza-CE. 2009

- BARDALES, N.G. Gênese, morfologia e classificação de solos do baixo vale do rio Iaco, Acre, Brasil. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2005.133p (Tese de Mestrado).
- BARNHISEL, R.I. & BERTSCH, P.M. Chlorites and hydroxyinterlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. (eds.) Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.729-788.
- BARNHISEL, R. & BERTSCH, P.M. Aluminum, in methods of soil analysis, Part 2. In: PAGE, A.L., MILLER, R.H., & KENNEY, D.R. (eds.). Chemical and microbiological properties, 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, chap. 16. 1982.
- BATJES, N. H.; DIJKSHOORN, J. A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon region. *Geoderma*, v. 89, p. 273–286, 1999.
- BENITES, V.M. Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata mineira. 1998. 125f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2003. 7p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 16).
- BERTSCH, P.M. & BLOOM, P.R. Aluminum. In: SPARKS, D.L., ed. Methods of soil analysis. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.517-550. (Book Series, 5)
- BLAIR, N. Impact of cultivation and sugarcane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. *Soil & Tillage Research*, v. 55(1):183-191. 2000.
- BOEIRA, R.C.; MAXIMILIANO, V.C.B.; VAN RAIJ, B. Comparação de dois métodos de determinação de alumínio trocável em solos tropicais. 2004. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/item/12270/3/artcongresA57.pdf>
- BRASIL. Ministério das Minas e Energias. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL - Levantamento de recursos naturais. Folhas SC. 19 Rio Branco: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Divisão de Publicação, 1976, 464 p. 12 v.
- BRAUNER, J.L. Extração e determinação do alumínio trocável do solo; variação no seu teor influenciado pela aplicação de carbonato de cálcio. Piracicaba: USP/ESALQ, 1966. 34p. (Dissertação - Mestrado)
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J. & SOUTHARD, R.J. Soil genesis and classification. Iowa, 1997. 527p.
- CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G.; BARROS E SILVA, M. & SANTOS, G.A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no estado do Rio de Janeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:133-143, 2000.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G. A.; SOBRINHO, N.M.B.B. Reações da matéria orgânica do solo. In: Santos, G. A.; Camargo, F.A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Genesis, Porto Alegre. p.69-89. 1999.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G. DE A.; RUMJANEK, V.M.; MORAES, A.A. & GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, dez. 2001

- CANELLAS, L.P.; ZANDONADI, D.B.; BUSATO, J.G.; BALDOTTO, M.A.; SIMOES, M.L.; MARTIN-NETO, L.; FAÇANHA, A.R.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A. Bioactivity and chemical characteristics of humic acids from tropical soils sequence. *Soil Science*, v. 173, p. 624-637, 2008.
- CAVALCANTE, L. M. Relatório sobre a Geologia do Estado do Acre. Rio Branco: SEMA/IMAC. (texto integrante do eixo recursos naturais do ZEE Fase II). 2006. 25 p.
- CERRI, C. C; MORAES, J. F. L de. Consequências do uso e manejo do solo no teor de matéria orgânica. In: GUERRINI, I.A. Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, 1992. 203p.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Oxic Paleustalf under different pasture lay. *Soil Science*, 166: 61-67, 2001.
- CHEN, Y.; SENESI, N.; SCHNITZER, M. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 41, p. 352-358, 1977.
- COELHO, M.R.; FIDALGO, E.C.C.; ARAÚJO, F.O.; SANTOS, H.G.; SANTOS, M.L.M.; PÉREZ, D.V.; MOREIRA, F.M.S. Levantamento Pedológico de uma Área-Piloto Relacionada ao Projeto BiosBrasil (Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity: Phase I), Município de Benjamin Constant (AM): Janela 6. Embrapa: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 68. Rio de Janeiro, 2005. 95p.
- COSCIONE, A. R., O uso de calibração multivariada para a determinação espectrofotométrica simultânea de alumínio e ferro: aplicação na análise de plantas e solo. Tese de Doutorado, Unicamp, 2001. 129 p.
- COSCIONE, A.R.; ANDRADE, J.C. de; RAIJ, B. van & ABREU, M.F. de. An improved analytical protocol for the routine spectrophotometric determination of exchangeable aluminum in soil extracts. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 31:2027-2037, 2000.
- COSCIONE, A.R.; ANDRADE, J.C.; RAIJ, B. van. Revisiting titration procedures for the determination of exchangeable acidity and exchangeable aluminum in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.29, p.1973-1982, 1998.
- COULOMBE, C.E.; DIXON, J.B.; WILDING, L.P. Mineralogy and chemistry of Vertisols. In: AHMAD, N.; MERMUT, A. (Eds), *Vertisols and technologies for their management*. Developments in Soil Science, 1986. p115-200.
- CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; CANELLAS, L.P.; NOVOTNY, E.H.; MOUTTA, R.O.; TROMPOWSKY, P.M.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da Amazônia (Terra Preta). *Acta Amaz.*, 2007, vol.37, no.1, p.91-98.
- DALAL, R.C. Soil microbial biomass – what do the numbers really mean? *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v.38, p.649-665, 1998.
- DAVIS, J.A. Adsorption of natural dissolved organic matter at the oxide/water interface. *Geochemica Cosmochimica Acta*, 46:2381-2393. 1982.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C.A. (ed.) *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: American Society of Agronomy, Pt.1, 1965. p.545-567.

- DENG, Y. & DIXON, J.B. Soil organic matter and organic-mineral interaction. In: DIXON, J.B. & SCHULZE, D.G. (Eds.). *Soil Mineralogy with Environmental Applications*, Madison: Soil Science Society of America. p.69-107, 2002.
- DIAS, B. DE O.; SILVA, C.A.; SOARES, E.M.B.; BETTIOL, W.; GUERREIRO, M.C. & BELIZÁRIO, M.H. Infravermelho na caracterização de ácidos húmicos de latossolo sob efeito de uso contínuo de lodo de esgoto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 2009, vol.33, n.4, pp.
- DOUGAN, W. K. & WILSON, A. L. The absorptiometric determination of aluminum in water. A comparison of some chromogenic reagents and the development of an improved method. *Analyst*, 1974, 99, 413-430.
- DUARTE, M.N.; RAMOS, D.P.; LIMA, P.C. Caracterização e gênese de solos desenvolvidos de cobertura quaternária sobre embasamento cristalino, na baixada litorânea do Estado do Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v.20: 291-304. 1996.
- DURIEZ, M.A.M., JONHAS, R.A.L. Alumínio extraível em solos. Determinação espectrométrica pelo alaranjado de xilenol. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS, 1982. 16p. (Embrapa-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 6).
- EBELING, A.G. Caracterização analítica da acidez em Organossolos. Seropédica: UFRRJ, 2006. 88f. (Dissertação, Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, 1997. p. 212
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 312p. 2006.
- FERREIRA, F.P. Característica das substâncias húmicas extraídas do solo do manguezal de Pai Matos (Cananéia, SP, BR) e de marismas da Espanha (Galícia e Valência). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 125p. 2008. (Tese de Doutorado)
- FONTANA, A. Caracterização Química e Espectroscópica da Matéria Orgânica em Solos do Brasil. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Brasil. 2006. 60 p. (Dissertação de Mestrado).
- FRAILEY, C.D.; LAVINA, E.L.; RANCY, A. SOUZA FILHO, J.P. de. A proposed Pleistocene/Holocene lake in the Amazon basin and its significance to amazonian geology and biogeography. *Acta Amazônica*, 18 (3-4): 119-143, 1998.
- FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M. A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.231, p.55-63, 2001.
- FREIXO, A.A.; CANELLA, L.P. & MACHADO, P.L.O.A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve-intra-agregado de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:445-453, 2002.
- GAMA, J.R.N.F. & KIEHL, J.C. Influência do alumínio de um Podzólico Vermelho-Amarelo do Acre sobre o crescimento das plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n 2, p 475-482, 1999.
- GAMA, J.R.N.F. Caracterização e formação de solos com argila de atividade alta do Estado do Acre. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1986. 150 p. (Dissertação de Mestrado).
- GAMA, J.R.N.F.; KUSABA, T.; OTA, T.; AMANO, Y. Influência de material vulcânico em alguns solos do Estado do Acre. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 16: 103-106, 1992.

- GARCÉS, N.P. Características actuales del humus en los principales tipos de suelos de Cuba. Nitra: Universidad de Agricultura de Nitra, 1987. 200 p. Tesis Doctoral.
- GHOSH, K. & SCHNITZER, M. Macromolecular structures of humic substances. *Soil Science*, 129, 266-276, 1980.
- HERRERA, R.; JORDAN, C. F.; KLINGE, H.; MEDINA, E. Amazon ecosystems. Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciencia*, v. 3, n. 4, p. 223-232, 1978.
- HIRADATE, S.; TANIGUCHI, S.; SAKURAI, K. Aluminum speciation in aluminum-silica solutions and potassium chloride extracts of acidic soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.62, p.630-636, 1998.
- HISSA, H.R. Dinâmica da matéria orgânica em solos Glei pouco húmicos cultivados com arroz inundado no vale do São João (RJ). Seropédica: UFRJ, 1990. (Tese de Mestrado).
- HUE, N.V.; CRADDOCK, G.R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. *Soil Science of America Journal*, Madison, 50:28-34, 1986.
- IRION, G. Clay minerals of Amazonian soils. In: SIOLI, H. (ed.) *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, 1984. p.537-579 (Monographiae biologicae, v. 56)
- IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources 2006. *World Soil Resources Reports No. 103*. FAO, Rome. 132 p. 2006.
- JONES, D.L. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.205, p.25-44, 1998.
- KÄMPF, N. & CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.1-54.
- KINRAIDE, T.B. & PARKER, D.R. Non-phytotoxicity of the aluminum sulfate ion, $AlSO_4^+$. *Physiologia Plantarum*. Copenhagen, 71 :207-212, 1987.
- KINRAIDE, T.B. Identity of the rhizotoxic aluminum species. *Plant and Soil*, Netherlands, v.134, p.167- 178, 1991.
- KISSEL, D.E.; GENTZSCH, E.P.; THOMAS, G.W. Hydrolysis of nonexchangeable acidity in soils during salt extractions of exchangeable acidity. *Soil Science*, v.111, p.293-297, 1971.
- KONONOVA, M.M. *Matéria orgânica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigacion*. Barcelona: Oikos-Tau, 1982. 365p.
- KRONBERG B. I. ; BENCHIMOL R. E. Geochemistry and geochronology of surficial Acre Basin sediments (Western Amazonia): key information for climate reconstruction. *Acta Amazônica*, 1992, vol. 22, no1, pp. 51-69.
- KUMADA, K. *Chemistry of soil organic matter*. Tokyo: Japan Scientific Societies, 1987. 241 p.
- LAWRENCE, G.B., DAVID, M.B., SHORTLE, W.C. A new mechanism for calcium loss in forest-floor soils. *Nature*, 378:162– 164. 1995.
- LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V. DE; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma toposequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.1, p.59-68, 2006.

- LOGAN, K.A.B.; FLOATE, M.J.S.; IRONSIDE, A.D. Determination of exchangeable acidity and exchangeable aluminum in hill soils: Part II. Exchangeable aluminum. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.16, p.309-314, 1985.
- LUIZÃO, F.J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Ciência e Cultura*, v.59:31-36. 2007.
- MAIA, R. G. N.; GODOY, H. de O.; YAMAGUTI, H. S.; MOURA, P. A.; COSTA, F. S. F. da; HOLANDA, M. A.; COSTA, J. A. Projeto Carvão no Alto Solimões; relatório final. Manaus, CPRM/DNPM, 1977. v. 1, 142 p.
- MALAVOLTA, E. Fertilidade dos solos da Amazônia. In: VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C. (Ed.). *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. p.374-416.
- MARQUES, J. J.; TEIXEIRA, W. G.; SCHULZE, D. G.; CURI, N. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. *Clay Minerals*, v. 37, p. 651-661. 2002.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press, 1997. 889p.
- MATSUMOTO, H. Cell biology of aluminium toxicity and tolerance in higher plants. *Int. Rev. Cytol.* 200: 1-46. 2000.
- MCCORMICK, L.H., STEINER, K.C. Variation in aluminum tolerance among six genera of trees. *For. Sci.* 24, 565-568. 1978.
- MELLO, F.A.F.; SOBRINHO, M. de; BRASIL, O.C. do; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J. de C. Fertilidade do solo. 3a ed. São Paulo: Nobel, 400p. 1985.
- MELO, V.F.; SCHAEFER, C.E.G.R. Matéria orgânica em solos desenvolvidos de rochas máficas no nordeste de Roraima. *Acta Amazônica*, v.39(1):53-60, 2009.
- MIKKI, V., SENESI, N., HANNINEN, K. Characterization of humic material formed by composting of domestic and industrial biowastes. 2. Spectroscopic evaluation of humic acid structures. *Chemosphere* 34, 1639-1651, 1997.
- MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. *Rev Bras Ci Solo*, Campinas, v.17, p.411-416, 1993.
- MOREIRA, A. & COSTA, D.G. Dinâmica da matéria orgânica na floresta amazônica. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.10, p.1013-1019, 2004
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistema da Amazônia Ocidental (Amazonas). Piracicaba: USP-CENA, 2002. 79p.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: Editora UFLA, 2006, 729p.
- NIEMEYER, J.; CHEN, Y.; BOLLAG, J.M. Characterization of humic acids, composts, and peat by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.56, p.135-140, 1992.
- NOVOTNY, E.H. Estudos espectroscópicos e cromatográficos de substâncias húmicas do solo sob diferentes sistemas de preparo. 2002. 215p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

- OADES, J.M. An overview of processes affecting the cycling of organic carbon in soils. In: ZEPP, R.G.; SONNTAG, C. (Eds). Role of Non Living Organic Matter in the Earth's Carbon Cycle. John Wiley, New York. 1995. p.55-94,
- OATES, K.M.; KAMPRATH, E.J. Soil acidity and liming: I. Effect of the extracting solution cation and pH on the removal of aluminum from acid soils. Soil Science Society of America Journal, v.47, p.686-689, 1983.
- ORLOV, D.S. Humus acids of soils. Moscow University Press. Translated from Russian. TAN, K.H (Ed.). Amerind Publ. New Delhi, India, 1985.
- OTOMO, M. The spectrophotometric determination of aluminum with xylenol orange. Bulletin of Chemical Society of Japan, Tokyo, v.36, p. 809 – 813, 1963.
- PAIM, S.; LINARES, L.F.; MANGRICH, A.S.; MARTIN, J.P. Characterization of fulgal melanins and soil humic acids by chemical analysis and infrared spectroscopy. Biology and Fertility of Soils, v.10, p.72-76, 1990.
- PAVAN, M.A. Alumínio em solos ácidos do Paraná: relação entre o alumínio não-trocável, trocável e solúvel, com o pH, CTC, porcentagem de saturação de Al e matéria orgânica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p.39-46, 1983.
- PAVIA, D.L.; LAMPMAN, G.M.; KRIZ, G.S. Introduction to spectroscopy. 2th Edition, New York, Saunders, 511 p. 1996.
- PEREZ, D.V.; ANJOS, L.H.C. dos; EBELING, A.G. e PEREIRA, M.G. Comparison of H/Al stoichiometry of mineral and organic soils in Brazil. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2009, vol.33, n.4, pp. 1071-1076.
- PICCOLO, A. & STEVENSON, FJ. Infrared spectra of Cu^{2+} , Pb^{2+} , and Ca^{2+} complexes of soil humic substances. Geoderma, v.27:195–208, 1982.
- POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Nutrient cycling in native forests. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). Forest nutrition and fertilization. Piracicaba: IPEF, 2004. p.285-306.
- PORTUGAL, A.F.; LANI, J.L.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, L.E.F.; AMARAL, E.F. Caracterização mineralógica de Neossolos Flúvicos e Vertissolos da várzea da região do Juruá no noroeste do Acre. XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Fortaleza-CE. 2009
- QUAGGIO, J.A.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A.; YANAI, K. Resposta da abobrinha-italiana a doses de calcários com diferentes teores de magnésio em solo orgânico do Vale do Ribeira (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas – SP. 11(2):67 -173, 1987.
- QUITELA, M.J., GALLEGO, M.; VALCÁRCEL, M., Flow injection spectrophotometric method for the speciation of aluminum in river and tap waters. Analyst, p. 1199-1203. 1993.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARAES, P.T.G.; GUILHERME, L.R.G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de latossolo cultivado com caféiro em diferentes espaçamentos de plantio. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 2, p. 429-437, mar./abr., 2008.

- REIS, B.F. Determinação colorimétrica de alumínio em águas naturais, plantas e solos por injeção em fluxo contínuo. Piracicaba: USP/ESALQ, 1978. 64p. (Dissertação - Mestrado)
- REZENDE, J. de O. Consequências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo aluvial (estudo de caso). Piracicaba, SP, 1979. 112 p. Originalmente apresentada como tese de doutorado, ESALQ/USP.
- ROSS, D.S.; MATSCHONAT, G.; SKYLLBERG, U. Cation exchange in forest soils: the need for a new perspective. *Eur. J. Soil Sci*, 59, 1141-1159. 2008.
- ROUT G.R., SAMANTARAY S., DAS, P. Aluminium toxicity in plants: a review. *Agronomie*, 21: 3- 21. 2001.
- SAAB, S. da C. & MARTIN-NETO, L. Anéis aromáticos condensados e relação E4/E6: estudo de ácidos húmicos de gleissolos por RMN de ^{13}C no estado sólido utilizando a técnica CP/MAS desacoplamento defasado. *Química Nova*, vol.30, n.2, pp. 260-263, 2007.
- SALET, R. L.; ANGHINONI, I; KOCHHANN, R.A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. *Revista Científica Unicruz, Cruz Alta*, v.1, p.9-13, 1999.
- SALET, R.L. Toxidez de alumínio no sistema de plantio direto. Porto Alegre. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 109p. 1998.
- SANTOS Jr., L.F. dos. Estudo das frações obtidas no processo de extração alcalina de substâncias húmicas da turfa. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 89 p. (Dissertação de Mestrado).
- SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. 544p.
- SANTOS, M.L.M. Estudo do mecanismo de tolerância ao alumínio e sua variabilidade genotípica em arroz (*Oryza sativa* L.). Dissertação de mestrado, UFRRJ, Itaguaí/Seropédica, p. 144, 1991.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5ª ed. Revista e ampliada, Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Embrapa Solos. 2005, 100p.
- SCHIER, G.A., Response of red spruce and balsam fir to aluminum toxicity in nutrient solutions. *Can. J. For. Res.* 15, 29– 33. 1985.
- SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: PAGE, A.L. (Ed.). *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison: ASA/SSSA. (Agronomy Monograph, 9). v.2, p.581-594. 1982.
- SILVA, J.R.T. Solos do Acre: caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 117p. (Tese de Doutorado)
- SILVERSTEIN, R.M.; BASSLER, G.C.; MORRIL, T.C. *Spectrometric identification of organic compounds*. 5th Edition, New York: John Wiley e Sons, 1991.
- SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York, Oxford University Press, 1989. p.209-225.
- STEVENSON, F.J. & GOH, K.M. Infrared spectra of humic acids and related substances. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.35, n.5, p. 471-483, 1971. STEVENSON, F. J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2. ed. New York: J. Wiley & Sons, 1994. 496 p.
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry, genesis, composition, reaction*. New York: J. Wiley, 1982. 443p.

- STEVENSON, F.J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1994. 496p.
- STROBEL, B.J.; BERNHOLF, I.; BORGGAARD, O.K. Low molecular weight aliphatic acids in soil solution under different vegetations determined by capillary zone electrophoresis. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.212, p.115-121, 1999.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L., ed. *Methods of soil analysis*. Part 3. Madison, America Society of Agronomy, 1996. p.1011-1020 (SSSA Book Series, 5)
- TAN, K.H. Characterization of humic substance. In: TAN, K.H. *Humic Matter in soil and the environment*. Madison Avenue, New York: Marcel Decker, 2003. 408p.
- TAYLOR, G.J. The physiology of aluminum phytotoxicity. In: SIEGAL, H.; SIEGAL, A. (Eds). *Metals ions in biological systems*. New York: Marcel Dekker, 1988. p.123-163.
- THENG, B.K.G.; CHURCHMAN, G.J.; NEWMAN, R.H. Clay-humic interactions and soil aggregate stability. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (eds.), *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, University of Hawaii, NifTAL Project, p.5-32, 1987.
- THOMAS, G.W.; HARGROVE, W.L. The chemistry of soil acidity. In: ADAMS, F. (Ed.) *Soil acidity and liming*. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1984. cap.1, p.3-56.
- ULRICH, B. Effects of acidic precipitation on forest ecosystems in Europe. In: ADRIANO, D.C., JOHNSON, A.H. (Eds.), *Acidic Precipitation. Biological and Ecological Effects*, vol. 2. Springer-Verlag, New York, pp. 189– 272. 1989.
- USDA. Soil Survey Staff. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2ed. USDA-SCS Agric. Handbook 436. 869p. 1999 (U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.).
- VANCE, G.F., A.A. FADLELMAWLA, R.B. SEE & K.J. REDDY. 1995. Role of natural organic solutes on the sorption of selenium by coal mine backfill-core samples from the Powder River Basin, Wyoming. In: G.E. Schuman & G.F. Vance (eds. *Decades Later: A Time for Reassessment*. American Society for Surface Mining and Reclamation, Princeton, WV. Vol I:246-257.
- VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Húmus em solos da floresta Amazônica na região do rio Madeira. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, Campinas, v. 5, n. 1, p. 15-21, jan./abr.1981.
- VOLKOFF, B.; MELFI, A. J.; CERRI, C. C. Solos Podzólicos e Cambissólicos Eutróficos do Alto Purus (Estado do Acre). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 13, p. 363-372, 1989.
- WADT, P. G. S. Estoque de carbono em um Plintossolo Argilúvico da Formação Solimões, Amazônia, Brasil. Rio Branco: Embrapa Acre, 2004. 22 p. (Embrapa Acre. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 41).
- WADT, P. G. S. Manejo de solos ácidos do estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2002, 28p. (Embrapa Acre. Documentos, 79).
- WADT, P. G. S. Minerais da fração argila de relevância para os solos do Estado do Acre. In: WADT, P. G. S. (Ed.). *Manejo do Solo e Recomendação de Adubação para o Estado do Acre*. 1 ed. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. p. 63-92.
- WADT, P.G.S. et al. Práticas de conservação de solos e recuperação de áreas degradadas. Rio Branco: Embrapa Acre, 2003. 29p. (Embrapa Acre. Documentos, 90).

WANDER, M.M. & TRAINA, S.J. Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils. I. Carbon and Nitrogen Distribution. Soil Science Society of American Journal, v.60, p.1081-1087, 1996.

WESSELINK, L.G., VAN BREEMEN, N., MULDER, J., JANSSEN, P.H. A simple model of soil organic matter complexation to predict the solubility of aluminum in acid forest soils. Eur. J. Soil Sci. 47, 373–384. 1996.

WRIGHT, R.J. Soil aluminum toxicity and plant growth. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, 20:1479-1497, 1989.

YONEBAYASHI, K. & HATTORI, T. Chemical and biological studies on environmental humic acids: I. Composition of elemental and functional groups of humic acids. Soil Sci. Plant Nutr., 34:571-584, 1988.

ZATORRE, N.P.Z. Influência da mudança no uso do solo nas propriedades edáficas em ecossistema da Amazônia Sul Ocidental. 2009. 92f Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMAN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. Geoderma, 79:117-161. 1997

8. ANEXOS

Perfil T1P1 (Sena Madureira)

CLASSIFICAÇÃO - VERTISSOLO HÁPLICO Órtico típico

LOCALIZAÇÃO: Terço superior de elevação

RELEVO: Plano

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado

PEDREGOSIDADE: Ausente

ROCHOSIDADE: Ausente

EROSÃO: Não aparente

VEGETAÇÃO: Floresta Ombrófila Aberta

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-5 cm, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); franco siltosa; moderada pequena blocos angulares; dura, friável, plástico e ligeiramente pegajoso.

CA 5-14 cm, bruno (7,5YR 5/4); franco argilo siltosa; forte média blocos angulares; dura, firme, muito plástico e ligeiramente pegajoso.

Cv₁ 14-34 cm, bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3) e mosqueado comum distinto bruno-forte (7,5YR 5/6); argila; maciça; muito firme, friável, muito plástico e pegajoso.

Cv₂ 34-59 cm, bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3) e mosqueado comum distinto bruno-forte (7,5YR 5/6); argila; maciça; muito dura, muito firme, plástico e pegajoso.

Cv₃ 59-96 cm, bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3) e mosqueado comum distinto bruno-forte (7,5YR 5/6); argila siltosa; maciça; muito dura, muito firme, plástico e ligeiramente pegajoso.

Cv₄ 96-123 cm, bruno-amarelado-claro (2,5Y 6/4) e mosqueado bruno-forte (7,5YR 5/8), comum pequeno difuso; argila; maciça; presença de superfícies de compressão e slickensides; muito dura, muito firme, plástico e ligeiramente pegajoso.

2Cv 123-140+ cm, bruno claro-acinzentado (10YR 6/3); maciça; presença de superfícies de compressão; franco siltosa; muito dura, muito dura, plástico e ligeiramente pegajoso.

Obs: Presença de pontuações brancas nos horizontes Cv3 e Cv4.

Rachaduras com 1,5 cm de largura em toda profundidade do perfil.

Perfil T1P2 (Sena Madureira)

CLASSIFICAÇÃO - CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico gleissólico

LOCALIZAÇÃO: Terço médio de elevação

RELEVO: Suave ondulado

DRENAGEM: Moderadamente drenado

PEDREGOSIDADE: Ausente

ROCHOSIDADE: Ausente

EROSÃO: Não aparente

VEGETAÇÃO: Floresta Ombrófila Aberta

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-3 cm, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); franco argilo siltosa; forte média granular; dura, firme, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

AB 3-12 cm, bruno-acinzentado escuro (10YR 4/2, úmido) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seco); franco argilo siltosa; forte grande granular; dura, firme, plástico e pegajoso; transição clara e plana.

BA 12-21 cm, bruno (10YR 5/3); argila siltosa; moderada pequena blocos subangulares; dura, firme, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

Bi₁ 21-42 cm, bruno (10YR 5/3); argila siltosa; moderada média blocos angulares; muito dura, firme, muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

Bi₂ 42-62 cm, bruno-claro (10YR 6/3); franco argilo siltosa; média blocos angulares; dura, firme, muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

2Bg₁ 62-77 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2) e mosqueado abundante pequeno distinto bruno-avermelhado (2,5YR 4/4); argila siltosa; moderada pequena prismática, forte pequena blocos angulares; dura, firme, muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

2Bg₂ 77-97 cm, bruno (10YR 5/3) e mosqueado abundante pequeno distinto bruno-avermelhado (2,5YR 4/4); argila; moderada pequena prismática e blocos angulares; dura, firme, muito plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

2Bg₃ 97-105 cm, cinzento-brunado-claro (10YR 6/2) e bruno-avermelhado (2,5YR 4/4), mosqueado proeminente médio comum; franco argilo siltosa; forte média prismática, moderada pequena blocos angulares; dura, firme, muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

2Cg 105-136+ cm, cinzento-claro (10YR 7/1) e mosqueado comum pequeno proeminente bruno-avermelhado (2,5YR 4/4); argila siltosa; maciça ; muito dura, firme, muito plástico e pegajoso.

Perfil T1P3 (Sena Madureira)

CLASSIFICAÇÃO - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico

LOCALIZAÇÃO: Terço inferior de elevação

RELEVO: Suave ondulado

DRENAGEM: Moderadamente drenado

PEDREGOSIDADE: Ausente

ROCHOSIDADE: Ausente

EROSÃO: Não aparente

VEGETAÇÃO: Floresta Ombrófila Aberta

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-8 cm, bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido); franca; moderada grande granular; dura, firme, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição gradual e plana.

AB 8-18 cm, bruno-escuro (7,5YR 4/2, úmido); franco argilosa; moderada média blocos subangulares; muito dura, firme, muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

BA 18-43 cm, bruno (7,5YR 5/4); argila; forte grande blocos angulares e prismática; muito dura, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana.

Bi₁ 43-58 cm, bruno (7,5YR 5/4); franco argilosa; forte pequena prismática e moderada média blocos angulares; muito dura, firme, muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

Bi₂ 58-79 cm, bruno (7,5YR 5/2); franco siltosa; moderada pequena blocos angulares; muito dura, firme, muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

2Bi₁ 79-107 cm, bruno (7,5YR 5/4); franco argilo arenosa; moderada média blocos angulares; ligeiramente dura, friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

2Bi₂ 107-126 cm, bruno (7,5YR 5/4); franco siltosa; forte média blocos angulares; dura, muito firme, plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana.

2C₁ 126-143 cm, bruno (7,5YR 5/4); franco arenosa; maciça; dura, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

2C₂ 143-166 cm, bruno (7,5YR 5/4); franco siltosa; maciça; muito dura, muito firme, muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

2Cg 166-169+ cm, bruno (7,5YR 5/2); franco arenosa; maciça; macia, friável, plástico e ligeiramente pegajoso.

Perfil T2P1 (Manuel Urbano)**CLASSIFICAÇÃO - ARGISSOLO VERMELHO Alítico típico**

LOCALIZAÇÃO: Terço superior de elevação

RELEVO: Suave ondulado

DRENAGEM: Moderadamente drenado

PEDREGOSIDADE: Ausente

ROCHOSIDADE: Ausente

EROSÃO: Não aparente

VEGETAÇÃO: Floresta Ombrófila Aberta

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-3 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmido) e bruno-avermelhado (5YR 5/2, seco); franco siltosa; moderada grande granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição clara e plana.

AB 3-9 cm, bruno (7,5YR 5/4, úmido) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seco); franco siltosa; forte média blocos angulares; dura, firme, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

BA 9-20 cm, vermelho-acinzentado (2,5YR 5/2); franco argilo siltosa; moderada média blocos subangulares; dura, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bt 20-56 cm, bruno-avermelhado (2,5YR 5/4); muito argilosa; moderada grande prismática e forte média blocos angulares; cerosidade moderada e comum; dura, friável, muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana.

Btg₁ 56-83 cm, cinzento-brunado-claro (10R 6/2) e mosqueado pouco médio proeminente bruno-avermelhado (2,5YR 5/4); muito argilosa; moderada grande blocos angulares; ligeiramente dura, friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Btg₂ 83-117 cm, cinzento-claro (5YR 7/1) e mosqueado abundante médio proeminente vermelho-escuro (2,5YR 3/6); argila siltosa; moderada grande blocos angulares; ligeiramente dura, friável, muito plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Bg 117-147+ cm, cinzento-claro (5YR 7/1) e mosqueado abundante médio proeminente bruno-amarelo-escuro (10R 4/6); franco argilo siltosa; moderada grandes blocos angulares; ligeiramente dura, friável, muito plástico e pegajoso.

Perfil T2P2 (Manuel Urbano)**CLASSIFICAÇÃO - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico**

LOCALIZAÇÃO: Terço médio de elevação

RELEVO: Suave ondulado

DRENAGEM: Moderadamente drenado

PEDREGOSIDADE: Ausente

ROCHOSIDADE: Ausente

EROSÃO: Não aparente

VEGETAÇÃO: Floresta Ombrófila Aberta

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-6 cm, bruno-acinzentado muito claro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); franco argilosa; moderada grande granular; muito dura, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

AB 6-18 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmido) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seco); franco argilosa; forte média blocos angulares; dura, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana.

BA 18-29 cm, bruno (7,5YR 5/4); argila; forte média blocos angulares; dura, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana.

Bi₁ 29-43 cm, bruno-avermelhado (5YR 5/3); argila; moderada média prismática e blocos angulares, muito plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Bi₂ 43-80 cm, bruno-avermelhado-claro (5YR 6/3); argila; moderada média blocos angulares; dura, muito firme, muito plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Cg₁ 80-114 cm, cinzento-claro (10YR 7/1) e mosqueado comum pequeno difuso bruno-avermelhado (5YR 5/3); franca; maciça; dura, firme, muito plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Cg₂ 114-166+ cm, cinzento-claro (10YR 7/1) e mosqueado comum pequeno difuso bruno-avermelhado (5YR 5/3); franca; maciça; dura, firme, plástico e ligeiramente pegajoso.

Perfil T2P3 (Manuel Urbano)

CLASSIFICAÇÃO - GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico

LOCALIZAÇÃO: Terço inferior de elevação

RELEVO: Suave ondulado

DRENAGEM: Mal drenado

PEDREGOSIDADE: Ausente

ROCHOSIDADE: Ausente

EROSÃO: Não aparente

VEGETAÇÃO: Floresta Ombrófila Aberta

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-6 cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); franco argilosa; forte muito grande granular; muito dura, firme, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

AB 6-21 cm, bruno (7,5YR 5/4, úmido) e bruno (10YR 5/3, seco); franco argilosa; forte grande blocos angulares; muito dura, muito firme, muito plástico e pegajoso; transição clara e plana.

BA 21-42 cm, bruno-avermelhado (10YR 5/4) e mosqueado comum pequeno difuso bruno (7,5YR 5/4 e 7,5YR 5/2); argila; moderada grande prismática, forte grande blocos angulares; muito dura, muito firme, muito plástico e pegajoso; transição clara e plana.

Bg 42-81 cm, cinzento-brunado-claro (10YR 6/2) e mosqueado comum pequeno difuso vermelho-amarelo (5YR 4/8), presença de pontuações escura comum pequena; argila; forte grande prismática e blocos angulares; dura, muito firme, muito plástico e pegajoso; transição clara e plana.

2Bg 81-106 cm, cinzento (5YR 6/1) e mosqueado abundante pequeno distinto cinzento-avermelhado (5YR 5/2) e vermelho-amarelo (5YR 4/6), presença de nódulos pequeno comum cinzento muito escuro (5YR 3/1); franco siltosa; muito dura, muito firme, muito plástico e pegajoso; transição clara e plana.

2Cg₁ 106-133 cm, cinzento-claro (10YR 7/1) e mosqueado abundante pequeno distinto vermelho-claro-acinzentado (2,5YR 6/2) e bruno-avermelhado (10YR 5/6); franco siltosa; maciça; dura, firme, muito plástico e pegajoso; transição clara e plana.

2Cg₂ 133-158+ cm, cinzento (5Y 6/1); franco siltosa; maciça; muito dura, muito firme, plástico e ligeiramente pegajoso.

Perfil T3P1 (Feijó)

CLASSIFICAÇÃO - ARGISSOLO VERMELHO Alítico típico

LOCALIZAÇÃO: Terço superior de elevação

RELEVO: Suave ondulado

DRENAGEM: Moderadamente drenado

PEDREGOSIDADE: Ausente

ROCHOSIDADE: Ausente

EROSÃO: Laminar fraca

VEGETAÇÃO: Floresta Ombrófila Aberta

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-3 cm, bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido) e bruno-escuro (7,5YR 4/2, seco); franco siltosa; moderada grande granular; muito dura firme, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição clara e plana.

AB 3-15 cm, vermelho-acinzentado (2,5YR 5/2, úmido) e bruno-claro (7,5YR 6/4, seco); franca; moderada pequena blocos subangulares; macia, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

BA 15-26 cm, vermelho-acinzentado (2,5YR 5/2); franca; moderada pequena blocos subangulares; dura, friável, plástico e pegajoso; transição ondulada.

Bt 26-40 cm, bruno-avermelhado (2,5YR 5/4); franco argilosa; moderada pequena blocos angulares; dura, friável, muito plástico e muito pegajoso; transição distinta e plana.

2Bt 40-88 cm, bruno-avermelhado (2,5YR 4/4); muito argilosa; moderada média blocos angulares; ligeiramente dura, firme, muito plástico e muito pegajoso; cerosidade moderada e comum; transição difusa e plana.

2Btg 88-148+ cm, cinzento-brunado-claro (10YR 6/2) e mosqueado abundante médio distinto vermelho-escuro (2,5YR 3/6); argila; ligeiramente moderada média blocos angulares; ligeiramente dura, ligeiramente friável, muito plástico e muito pegajoso.

Perfil T3P2 (Feijó)

CLASSIFICAÇÃO - GLEISSOLO HÁPLICO Alítico argissólico

LOCALIZAÇÃO: Terço médio de elevação

RELEVO: Suave ondulado

DRENAGEM: Moderadamente drenado

PEDREGOSIDADE: Ausente

ROCHOSIDADE: Ausente

EROSÃO: laminar fraca

VEGETAÇÃO: Floresta Ombrófila Aberta

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-5 cm, bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido) e bruno (7,5YR 4/2, seco); franco argilo arenosa; moderada grande granular; macia, friável, plástico e ligeiramente pegajoso;

AB 5-11 cm, bruno-escuro (7,5YR 4/4, úmido) e bruno (7,5YR 5/2, seco); franco argilo arenosa; fraca pequena blocos angulares; macia, friável, muito plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

BA 11-21 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3); franco argilo arenosa; moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, muito plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Btg₁ 21-29 cm, bruno escuro (10YR 4/3); argila arenosa; moderada média blocos angulares; dura, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição clara e plana.

Btg₂ 29-41 cm, cinzento-brunado-claro (10YR 6/2), bruno-avermelhado (2,5YR 5/4) e vermelho-escuro (2,5YR 3/6); argila; moderada média blocos angulares; dura, firme, plástico e muito pegajoso; transição clara e plana.

Btg₃ 41-54 cm, cinzento-brunado-claro (10YR 6/2) e mosqueado abundante pequeno distinto vermelho-escuro (2,5YR 3/6); muito argiloso; forte média blocos angulares; dura, firme, plástico e muito pegajoso; transição difusa e plana.

Btg₄ 54-102 cm, cinzento-claro (10YR 7/1) e mosqueado abundante pequeno distinto bruno-avermelhado (2,5YR 4/4); presença de plintita com pequena expressão; argila; forte média blocos angulares; dura, firme, plástico e muito pegajoso; transição difusa e plana.

2Btg 102-140+ cm, cinzento-claro (10YR 7/1) e mosqueado abundante pequeno proeminente vermelho-amarelo (5YR 4/6); argila siltosa; moderada grande blocos angulares; dura, firme, muito plástico e muito pegajoso.

Perfil T3P3 (Feijó)

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico

LOCALIZAÇÃO: Terço inferior de encosta

RELEVO: Plano

DRENAGEM: Mal drenado

PEDREGOSIDADE: Ausente

ROCHOSIDADE: Ausente

EROSÃO: Laminar fraca

VEGETAÇÃO: Floresta Ombrófila Aberta

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-10 cm, cinzento-muito-escuro (10YR 3/1, úmido) e cinzento-escuro (10YR 4/1, seco); argila siltosa; moderado grande granular; duro, firme, muito plástico e pegajoso; gradual e plano.

AB 10-18 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); franco argilosa; forte médio blocos angulares; dura, muito forte, muito plástico e muito pegajoso; transição clara e plana.

BA 18-35 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2); argila; forte médio blocos angulares; dura, firme, plástico e muito pegajoso; transição clara e plana.

Bfg 35-66 cm, cinzento-claro (10YR 7/1) e mosqueado com plintita, abundante médio proeminente vermelho-amarelo (5YR 4/6 e 7,5YR 6/6) e bruno-forte (7,5YR 5/8); argila siltosa; moderado médio blocos angulares, dura, firme, plástico e muito pegajoso; transição clara e plana.

Cg₁ 66-114 cm, cinzento-claro (10YR 7/1) e mosqueado comum pequeno proeminente vermelho-amarelo (5YR 4/6); argila; maciça; dura, firme, plástico e pegajoso; transição plana e clara.

Cg₂ 114-150+ cm, cinzento-claro (10YR 7/2) e mosqueado comum pequeno proeminente cinzento-rosado (5YR 6/2), bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2), vermelho-amarelo (5YR 5/4) e pontuação abundante de cor escura (mangans); argila; maciça; dura, firme, plástico e pegajoso.

T1P1 – Análises químicas e físicas.

Horizonte	Prof.	Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica g kg ⁻¹ TFSE				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de Floculação %	Relação Silte/ Argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade %
	cm	Calhau	Cascalho	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila <2μ				Ds	Dp	
A	0-5	0	0	1000	44	176	541	240	82	66	2,25			
CA	-14	0	0	1000	15	95	554	336	265	21	1,65			
Cv ₁	-34	0	0	1000	5	55	390	549	489	11	0,71			
Cv ₂	-59	0	0	1000	11	41	366	582	432	26	0,63			
Cv ₃	-96	0	0	1000	4	27	442	527	522	1	0,84			
Cv ₄	-123	0	0	1000	4	19	395	581	578	1	0,68			
2Cv	-140+	0	0	1000	74	108	355	463	446	4	0,77			
Horizonte	pH			Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Saturação por Bases %	Saturação por Alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹
	KCl	H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	T				
A	6,3	6,2	11,0	12,0	0,69	0,04	23,7	0,0	3,5	27,2	87,3	0,0	57,4	
CA	3,5	3,9	4,9	11,6	0,15	0,09	16,7	5,4	6,3	28,5	58,8	24,6	1,2	
Cv ₁	3,5	4,2	8,2	15,3	0,21	0,26	24,0	9,4	6,1	39,5	60,7	28,5	0,2	
Cv ₂	3,7	4,5	11,4	16,2	0,21	0,30	28,1	7,7	4,7	40,5	69,4	21,8	0,4	
Cv ₃	4,0	5,3	18,0	21,5	0,21	0,48	40,2	1,5	3,9	45,6	88,1	3,7	1,4	
Cv ₄	5,5	6,7	20,2	23,5	0,13	0,57	44,4	0,0	1,3	45,7	97,1	0,0	2,8	
2Cv	6,9	8,0	21,4	22,6	0,10	0,78	44,9	0,0	0,2	45,1	99,6	0,0	19,1	
Horizonte	C.org. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares			Equivalente CaCO ₃	
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃		
A	34,1													
CA	6,7													
Cv ₁	2,9													
Cv ₂	2,6													
Cv ₃	1,8			306	204	53	5,4			2,55	2,19	3,85		
Cv ₄	1,6													
2Cv	0,7			294	193	56	4,9			2,59	2,18	3,45		

T1P2 – Análises químicas e físicas.

Horizonte	Prof.	Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica g kg ⁻¹ TFSE				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de Floculação %	Relação Silte/ Argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade %
	cm	Calhau	Cascalho	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila <2μ				Ds	Dp	
A	0-3	0	0	1000	53	104	550	293	88	70	1,88			
AB	-12	0	0	1000	21	94	550	335	109	68	1,64			
BA	-21	0	0	1000	24	73	477	426	139	67	1,12			
Bi ₁	-42	0	0	1000	35	72	458	435	264	39	1,05			
Bi ₂	-62	0	0	1000	50	66	505	379	315	17	1,33			
2Bg ₁	-77	0	0	1000	15	69	245	671	459	32	0,37			
2Bg ₂	-97	0	0	1000	18	85	197	700	494	29	0,28			
2Bg ₃	-105	0	0	1000	67	125	150	659	335	49	0,23			
2Cg	-136+	0	0	1000	29	91	432	448	432	3	0,96			
Horizonte	pH			Complexo sortivo (cmol _c kg ⁻¹)								Saturação por Bases %	Saturação por Alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹
	KCl	H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	T				
A	4,9	5,1	8,0	8,5	0,51	0,00	17,0	0,1	7,0	24,1	70,6	0,6	14,4	
AB	4,0	4,5	5,3	8,2	0,18	0,04	13,7	0,6	5,7	20,0	68,6	4,2	2,4	
BA	3,8	4,2	4,5	5,5	0,15	0,00	10,2	2,6	5,8	18,6	54,7	20,4	1,5	
Bi ₁	3,8	4,2	6,4	5,8	0,18	0,04	12,4	3,1	4,5	20,0	62,1	20,0	0,5	
Bi ₂	3,8	4,2	3,4	8,3	0,15	0,04	11,9	5,0	4,4	21,3	55,8	29,6	0,0	
2Bg ₁	3,8	4,1	2,4	11,0	0,21	0,09	13,7	10,1	6,1	29,9	45,9	42,5	0,0	
2Bg ₂	3,8	4,0	1,5	9,9	0,18	0,09	11,7	11,8	6,7	30,1	38,7	50,3	0,0	
2Bg ₃	3,7	4,4	1,5	10,2	0,23	0,13	12,1	11,9	5,9	29,9	40,4	49,7	0,0	
2Cg	3,8	4,2	1,4	16,3	0,26	0,22	18,2	13,5	4,8	36,5	49,8	42,6	0,0	
Horizonte	C.org. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	Ataque sulfúrico (g kg ⁻¹)					Relações moleculares				Equivalente CaCO ₃	
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃		
A	24,9													
AB	9,7													
BA	6,6													
Bi ₁	4,8													
Bi ₂	3,9													
2Bg ₁	4,9													
2Bg ₂	4,5			276	210	50	5,3			2,23	1,94	4,20		
2Bg ₃	2,7													
2Cg	1,9			282	205	57	5,3			2,34	1,99	3,60		

T1P3 – Análises químicas e físicas.

Horizonte	Prof.	Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica g kg ⁻¹ TFSE				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de Floculação %	Relação Silte/ Argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade %
	cm	Calhau	Cascalho	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila <2μ				Ds	Dp	
A	0-8	0	0	1000	229	248	320	203	139	31	1,58			
AB	-18	0	0	1000	32	255	327	386	122	68	0,85			
BA	-43	0	0	1000	31	248	264	458	254	44	0,58			
Bi ₁	-58	0	0	1000	22	350	265	363	193	47	0,73			
Bi ₂	-79	0	0	1000	65	536	150	249	86	65	0,60			
2Bi ₁	-107	0	0	1000	41	472	264	223	108	52	1,18			
2Bi ₂	-126	0	0	1000	8	276	510	206	154	25	2,48			
2C ₁	-143	0	0	1000	39	574	283	104	65	37	2,72			
2C ₂	-166	0	0	1000	24	216	612	148	95	36	4,14			
2Cg	-169+	0	0	1000	31	681	224	65	39	40	3,45			
Horizonte	pH			Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Saturação por Bases %	Saturação por Alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹
	KCl	H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	T				
A	6,0	6,0	16,2	15,7	0,82	0,00	32,7	0,0	5,0	37,7	86,9	0,0	24,1	
AB	5,0	5,4	10,6	12,5	0,26	0,00	23,4	0,1	4,2	27,6	84,5	0,4	2,3	
BA	3,9	4,6	8,9	14,2	0,21	0,04	23,3	4,5	4,2	32,1	72,8	16,3	0,0	
Bi ₁	3,8	4,3	3,5	15,0	0,21	0,04	18,7	8,4	5,0	32,1	58,4	31,2	0,1	
Bi ₂	3,7	4,2	4,4	14,2	0,15	0,09	18,8	7,7	4,0	30,6	61,7	29,3	1,3	
2Bi ₁	3,7	4,6	8,0	13,3	0,18	0,09	21,6	5,1	2,5	29,2	74,0	19,3	1,7	
2Bi ₂	3,7	4,9	10,0	13,7	0,21	0,13	24,0	4,7	1,7	30,5	78,9	16,5	5,6	
2C ₁	3,9	5,1	9,7	11,4	0,15	0,13	21,4	2,0	3,0	26,3	81,2	8,6	18,0	
2C ₂	3,9	5,9	13,8	7,5	0,21	0,17	21,7	0,6	2,5	24,8	87,4	2,7	64,7	
2Cg	4,0	5,7	8,7	4,2	0,13	0,13	13,2	0,6	1,4	15,1	86,9	4,4	57,0	

Horizonte	C.org. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares			Equivalente CaCO ₃
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	
A	38,0												
AB	11,2												
BA	3,2												
Bi ₁	2,7			256	204	55	5,3			2,13	1,82	3,71	
Bi ₂	1,7												
2Bi ₁	1,4												
2Bi ₂	0,9												
2C ₁	0,9												
2C ₂	0,4			256	197	66	4,2			2,21	1,82	2,98	
2Cg	0,9												

T2P1 – Análises químicas e físicas.

Horizonte	Prof.	Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica g kg ⁻¹ TFSE				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de Floculação %	Relação Silte/ Argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade %
	cm	Calhau	Cascalho	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila <2μ				Ds	Dp	
A	0-3	0	0	1000	127	158	525	189	52	73	2,78			
AB	-9	0	0	1000	21	177	576	226	77	66	2,55			
BA	-20	0	0	1000	20	182	476	323	129	60	1,47			
Bt	-56	0	0	1000	4	57	242	697	313	55	0,35			
Btg ₁	-83	0	0	1000	4	73	309	614	337	45	0,50			
Btg ₂	-117	0	0	1000	6	6	422	565	299	47	0,75			
Bg	-147+	0	0	1000	16	107	500	377	270	28	1,33			
Horizonte		pH		Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Saturação por Bases %	Saturação por Alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹
		KCl	H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	T			
A		5,4	5,9	11,0	2,6	0,67	0,00	14,3	0,0	7,8	22,0	64,8	0,0	24,1
AB		3,9	4,7	4,0	0,8	0,10	0,00	4,9	0,5	4,6	10,0	48,9	9,4	2,5
BA		3,6	4,2	2,3	2,0	0,10	0,00	4,4	3,0	4,9	12,3	35,7	41,0	0,4
Bt		3,5	3,9	1,2	7,6	0,21	0,04	9,0	14,0	7,3	30,3	29,8	61,3	0,5
Btg ₁		3,6	4,0	1,2	6,6	0,23	0,04	8,1	14,5	7,4	30,0	26,9	64,9	1,6
Btg ₂		3,6	4,2	2,1	6,4	0,21	0,04	8,7	14,6	6,9	30,2	29,0	63,1	2,7
Bg		3,6	4,3	1,4	9,7	0,21	0,09	11,4	13,6	5,4	30,4	37,5	55,0	6,5
Horizonte		C.org. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹					Relações moleculares			Equivalente CaCO ₃	
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr		Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
A		52,3												
AB		7,1												
BA		4,3												
Bt		4,6			254	211	66	5,3			2,05	1,71	3,20	
Btg ₁		3,6												
Btg ₂		2,6												
Bg		1,5			310	200	63	5,4			2,64	2,19	3,17	

T2P2 – Análises químicas e físicas.

Horizonte	Prof.	Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica g kg ⁻¹ TFSE				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de Floculação %	Relação Silte/ Argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade %	
	cm	Calhau	Cascalho	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila <2μ				Ds	Dp		
A	0-6	0	0	1000	83	245	352	320	298	7	1,10				
AB	-18	0	0	1000	21	263	408	308	133	57	1,32				
BA	-29	0	0	1000	11	121	361	506	260	49	0,71				
Bi ₁	-43	0	0	1000	12	86	349	552	343	38	0,63				
Bi ₂	-80	0	0	1000	68	83	390	460	346	25	0,85				
Cg ₁	-114	0	0	1000	19	241	465	275	246	11	1,69				
Cg ₂	-166+	0	0	1000	47	324	465	164	151	8	2,84				
Horizonte	pH			Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Saturação por Bases %	Saturação por Alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹	
	KCl	H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	T					
A	5,6			5,9	14,4	3,8	0,62	0,00	18,8	0,0	6,6	25,4	74,0	0,0	0,0
AB	4,0			5,0	8,5	2,5	0,28	0,00	11,3	0,7	4,6	16,6	68,1	5,8	6,0
BA	3,5			4,1	4,7	8,9	0,31	0,13	14,0	8,7	4,7	27,4	51,2	38,3	38,9
Bi ₁	3,5			4,1	4,5	9,5	0,23	0,13	14,4	12,1	5,6	32,0	44,9	45,7	46,3
Bi ₂	3,5			4,5	9,7	6,3	0,23	0,26	16,5	10,3	4,4	31,2	52,9	38,4	39,1
Cg ₁	3,5			5,1	13,9	6,1	0,18	0,39	20,6	4,0	3,1	27,7	74,4	16,3	16,6
Cg ₂	3,7			5,5	16,7	5,4	0,13	0,43	22,7	1,3	2,7	26,6	85,1	5,4	5,5
Horizonte	C.org. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹						Relações moleculares			Equivalente CaCO ₃		
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃			
A	49,5														
AB	5,9														
BA	4,1														
Bi ₁	3,2			254	196	63	5			2,2	1,83	3,11			
Bi ₂	1,8														
Cg ₁	0,8														
Cg ₂	0,7			288	185	62	4,9			2,65	2,18	2,98			

T2P3 – Análises químicas e físicas.

Horizonte	Prof.	Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica g kg ⁻¹ TFSE				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de Floculação %	Relação Silte/ Argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade %
	cm	Calhau	Cascalho	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila <2μ				Ds	Dp	
A	0-6	0	0	1000	134	295	293	278	46	83	1,05			
AB	-21	0	0	1000	41	276	332	351	203	42	0,95			
BA	-42	0	0	1000	13	119	331	537	361	33	0,62			
Bg	-81	0	0	1000	18	205	351	425	252	41	0,83			
2Bg	-106	0	0	1000	18	151	574	257	244	5	2,23			
2Cg ₁	-133	0	0	1000	110	174	357	359	347	3	0,99			
2Cg ₂	-158+	0	0	1000	258	98	102	542	525	3	0,19			
Horizonte		pH		Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Saturação por Bases %	Saturação por Alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹
		KCl	H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	T			
A		6,5	6,7	23,0	5,0	1,59	0,09	29,7	0,0	6,6	33,6	88,2	0,0	63,9
AB		5,3	6,6	17,5	5,3	0,74	0,04	23,6	0,0	4,6	25,7	91,7	0,0	2,1
BA		4,0	5,7	18,2	8,8	0,79	0,09	27,9	0,6	4,7	32,2	86,7	2,1	0,8
Bg		3,7	5,5	12,6	7,4	0,46	0,22	20,7	2,2	5,6	25,8	80,2	9,6	0,0
2Bg		4,0	6,0	16,0	6,3	0,51	0,48	23,3	0,6	4,4	25,1	92,8	2,5	1,8
2Cg ₁		4,5	6,6	23,2	11,8	0,38	0,74	36,1	0,0	3,1	37,6	96,1	0,0	1,1
2Cg ₂		7,6	8,7	23,8	1,2	0,41	1,17	26,6	0,0	2,7	27,1	98,2	0,0	8,7
Horizonte		C.org. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹					Relações moleculares			Equivalente CaCO ₃	
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr		Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
A		47,9												
AB		5,1												
BA		3,0												
Bg		1,3												
2Bg		1,2			288	187	69	5			2,62	2,12	2,71	
2Cg ₁		1,2			294	186	65	5,2			2,69	2,2	2,86	
2Cg ₂		1,1												

T3P1 – Análises químicas e físicas.

Horizonte	Prof.	Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica g kg ⁻¹ TFSE				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de Floculação %	Relação Silte/ Argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade %
	cm	Calhau	Cascalho	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila <2μ				Ds	Dp	
A	0-3	0	0	1000	58	162	593	187	41	78	3,17			
AB	-15	0	0	1000	27	289	453	232	95	59	1,95			
BA	-26	0	0	1000	15	283	463	239	197	17	1,94			
Bt1	-40	0	0	1000	10	215	388	387	153	60	1,00			
2Bt1	-88	0	0	1000	7	92	230	671	355	47	0,34			
2Btg	-148+	0	0	1000	6	137	310	548	293	47	0,57			
Horizonte		pH		Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Saturação por Bases %	Saturação por Alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹
		KCl	H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	T			
A		5,7	5,8	16,1	1,4	1,92	0,04	19,5	0,0	6,4	25,9	75,2	0,0	59,3
AB		4,3	5,0	2,2	0,8	0,26	0,00	3,3	0,2	3,0	6,4	50,9	4,4	1,3
BA		3,9	4,5	1,0	1,5	0,31	0,00	2,8	1,0	4,0	7,8	36,2	26,3	0,9
Bt		3,7	4,4	1,0	1,2	0,26	0,00	2,5	5,5	1,6	9,6	25,7	69,1	1,3
2Bt		3,6	4,7	1,1	2,0	0,31	0,00	3,4	10,8	5,0	19,2	17,7	76,0	1,1
2Btg		3,6	4,8	0,8	1,6	0,33	0,00	2,7	13,1	4,9	20,7	13,2	82,7	0,7
Horizonte		C.org. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹					Relações moleculares			Equivalente CaCO ₃	
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr		Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
A		48,4												
AB		4,7												
BA		3,5												
Bt		2,3												
2Bt		3,0			278	211	70	5,8			2,24	1,85	3,01	
2Btg		1,4												

T3P2 – Análises químicas e físicas.

Horizonte	Prof.	Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica g kg ⁻¹ TFSE				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de Floculação %	Relação Silte/ Argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade %
	cm	Calhau	Cascalho	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila <2μ				Ds	Dp	
A	0-5	0	0	1000	42	509	200	248	78	69	0,81			
AB	-11	0	0	1000	11	575	190	224	90	60	0,85			
BA	-21	0	0	1000	12	528	178	282	141	50	0,63			
Btg ₁	-29	0	0	1000	4	462	187	348	201	42	0,54			
Btg ₂	-41	0	0	1000	3	237	163	597	376	37	0,27			
Btg ₃	-54	0	0	1000	6	174	210	611	455	26	0,34			
Btg ₄	-102	0	0	1000	17	145	292	546	444	19	0,53			
2Btg	-140+	0	0	1000	35	99	406	460	405	12	0,88			
Horizonte	pH			Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Saturação por Bases %	Saturação por Alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹
	KCl	H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	T				
A	4,8	5,0	8,5	0,2	0,74	0,00	9,4	0,1	5,0	14,6	64,9	1,0	11,9	
AB	4,1	5,0	4,4	0,6	0,18	0,00	5,2	0,2	2,3	7,7	67,7	3,7	1,6	
BA	4,0	5,0	5,0	1,1	0,21	0,00	6,3	0,7	2,3	9,3	68,0	10,0	0,1	
Btg ₁	3,8	4,9	4,9	3,1	0,26	0,00	8,3	2,4	3,0	13,7	60,3	22,5	0,0	
Btg ₂	3,6	4,9	2,5	8,8	0,44	0,04	11,8	9,9	6,4	28,1	41,9	45,7	0,0	
Btg ₃	3,5	4,9	1,5	8,7	0,46	0,04	10,7	13,2	7,3	31,2	34,3	55,2	0,0	
Btg ₄	3,5	5,1	1,2	10,0	0,46	0,09	11,7	15,1	7,3	34,2	34,4	56,2	0,0	
2Btg	3,5	5,2	14,0	1,3	0,44	0,17	15,9	9,0	5,0	29,9	53,1	36,1	9,7	
Horizonte	C.org. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	Ataque sulfúrico (g kg ⁻¹)						Relações moleculares			Equivalente CaCO ₃	
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃		
A	21,3													
AB	3,2													
BA	3,1													
Btg ₁	3,4													
Btg ₂	2,6													
Btg ₃	2,1				278	196	67	4,9		2,41	1,98	2,93		
Btg ₄	1,4													
2Btg	1,2													

T3P3 – Análises químicas e físicas.

Horizonte	Prof.	Frações da amostra total g kg ⁻¹			Composição granulométrica g kg ⁻¹ TFSE				Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de Floculação %	Relação Silte/ Argila	Densidade kg dm ⁻³		Porosidade %
	cm	Calhau	Cascalho	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila <2μ				Ds	Dp	
A	0-10	0	0	1000	15	171	410	404	168	58	1,01			
AB	-18	0	0	1000	11	268	338	383	174	55	0,88			
BA	-35	0	0	1000	9	172	366	454	279	38	0,81			
Bfg	-66	0	0	1000	4	42	448	506	406	20	0,89			
Cg ₁	-114	0	0	1000	16	58	329	597	374	37	0,55			
Cg ₂	-150+	0	0	1000	48	64	329	560	361	35	0,59			
Horizonte		pH		Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Saturação por Bases %	Saturação por Alumínio %	P assimilável mg kg ⁻¹
		KCl	H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	T			
A		4,8	4,9	12,8	2,7	0,38	0,04	15,9	0,1	6,5	22,5	70,7	0,6	3,8
AB		4,0	5,1	9,9	3,2	0,21	0,04	13,3	0,8	4,0	18,1	73,6	5,7	0,0
BA		3,7	4,9	11,0	4,7	0,41	0,13	16,2	4,3	4,1	24,7	65,9	21,4	0,0
Bfg		3,6	5,3	16,3	12,3	0,23	0,48	29,3	9,6	5,9	44,8	65,4	25,1	0,0
Cg ₁		3,6	5,6	19,3	8,2	0,46	0,61	28,6	6,8	4,9	40,3	70,9	19,8	0,0
Cg ₂		4,8	6,1	22,5	14,9	0,56	1,13	39,1	1,0	3,0	43,1	90,8	2,6	2,0
Horizonte		C.org. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	Ataque sulfúrico g kg ⁻¹					Relações moleculares			Equivalente CaCO ₃	
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr		Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
A		22,6												
AB		6,7												
BA		3,8												
Bfg		2,0			250	195	57	4,9			2,18	1,84	3,42	
Cg ₁		1,1												
Cg ₂		1,0			308	180	67	5,2			2,91	2,35	2,69	