

**VALDINAR FERREIRA MELO**

**SOLOS E INDICADORES DE USO AGRÍCOLA EM RORAIMA: ÁREAS  
INDÍGENA MALOCA DO FLECHAL E DE COLONIZAÇÃO DO APIAÚ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”

**VIÇOSA**

**MINAS GERAIS – BRASIL**

**2002**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

Melo, Valdinar Ferreira, 1962-  
M528s Solos e indicadores de uso agrícola em Roraima : áreas  
2002 indígena Maloca do Flechal e de colonização do Apiaú /  
Valdinar Ferreira Melo. – Viçosa : UFV, 2002  
145p. : il.

Orientador: Luiz Eduardo Ferreira Fontes  
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Solos - Roraima. 2. Solos - Matéria orgânica. 3.  
Solos - Propriedades. 4. Solos - Teor de alumínio. 5. Solos  
- Classificação. 6. Solo - Uso. 7. Cultivo migratório. 8.  
Índios da América do Sul - Brasil - Reservas. I. Universi-  
dade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 631.478114  
CDD 20.ed. 631.478114

**VALDINAR FERREIRA MELO**

**SOLOS E INDICADORES DE USO AGRÍCOLA EM RORAIMA: ÁREAS  
INDÍGENA MALOCA DO FLECHAL E DE COLONIZAÇÃO DO APIAÚ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”

APROVADA: 09 de dezembro de 2002.

---

Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer  
(Conselheiro)

---

Prof. João Carlos Ker  
(Conselheiro)

---

Prof. Elpídio I. Fernandes Filho

---

Prof. Hedinaldo Narciso Lima

---

Prof. Luiz Eduardo Ferreira Fontes  
(Orientador)

À Minha mulher Carmem Lúcia  
e às minhas filhas Lorena e Larissa.

Aos meus pais João e Maria.

Aos meus irmãos e demais membros da família.

À minha sogra Mônica e família.

Aos amigos de Castelo do Piauí:

José Morais e familiares,

João Adalberto Moureira,

Helda Moureira e familiares

e à família de Homero Lima.

Dedico.

A meu irmão, João Ramiro e  
à minha professora do primário  
Hilda Cardoso Vieira.  
“In memoriam”

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela existência da natureza.

À Universidade Federal de Roraima por permitir a minha capacitação.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Profissional de Ensino Superior, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Luiz Eduardo F. Fontes pela sua compreensão como orientador e experiência transmitida.

Ao Professor Carlos Ernesto Schaefer, pela amizade, ensinamento e experiência transmitida ao longo desde anos e na realização de outros trabalhos.

Ao Professor João Carlos Ker pela seriedade transmitida, compreensão, críticas e sugestões a este trabalho.

Aos professor Elpídio I. Fernandes e Hedinaldo Narciso Lima pela paciência, amizade e contribuição.

À Professora Angélica Drummond Varajão ( Universidade Federal de Ouro Preto ), pela autorização para realização das análises de Raio –X da mineralogia.

Aos estudantes de graduação Adriana C. Chagas, João Bosco Lemos Júnior e Renato P. Andrade pela ajuda e dedicação prestada durante os trabalhos de laboratório.

Aos Colegas Professores do Departamento de Solos e Irrigação da Universidade Federal de Roraima, pela minha substituição durante o período de realização do curso e aos colegas César, José Maria, Jefferson, Anchieta.

Aos demais Professores do Departamento de Solos, UFV, pelo convívio e experiência transmitida.

Ao Departamento de Meio Ambiente, Roraima, na pessoa do Sr. Clidenor Freitas e Ao Procurador do Estado de Roraima, advogado Sales Eurico, pelo apoio logístico nos trabalhos de campo.

Aos colegas de curso, João Herbert, Márcio R. Francelino, Meubles Borges, Elaine Trindade, Manoel Ricardo, Flávia, Guilherme Cadineli, Luiz Leite, Luiz Alfredo, Janela, Juarez Tomé, Carlos Severo, Momade Mamudo, Marcelo Metri, Nelci, Arimuara pela amizade e apoio, fazendo o ambiente agradável para o trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial, Jorge Orlando e Zélia, pela ajuda e dedicação prestada.

## **BIOGRAFIA**

VALDINAR FERREIRA MELO, filho de João Ferreira Melo e Maria Cardoso da Silva, nasceu no município de Castelo do Piauí - PI, em 25 de novembro de 1962.

Em dezembro de 1988, graduou-se em Agronomia, pela Universidade Federal do Piauí.

Professor de primeiro grau, período: junho de 1989 a dezembro de 1990, em Teresina –PI.

Técnico de nível superior da Fundação Zoobotânico no período de junho de 1990 a fevereiro de 1991, em Teresina - PI.

Em março de 1991, iniciou o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal do Ceará, obtendo o Título de Mestre em julho de 1993.

Em outubro de 1993, ingressou, através de concurso público, como Professor Assistente, na Universidade Federal de Roraima.

Em abril de 1999, iniciou o Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa. Defendendo tese em dezembro de 2002.

## CONTEÚDO

	Página
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
CAPÍTULO 1	
ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE SOLOS DA COLÔNIA AGRÍCOLA DO APIAÚ, SOB CULTIVO ITINERANTE, ESTADO DE RORAIMA.....	6
RESUMO.....	6
INTRODUÇÃO.....	8
MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1-Área de estudo e coleta das amostras.....	11
2.2 - Análises físicas, químicas e mineralógicas.....	14
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
3.1 - Classificação e composição granulométrica.....	16
3.2 - Composição mineralógica dos solos.....	19
3.3 - Caracterização química de solos e efeitos do uso.....	24
3.4 - Formas de ferro extraídas por ditionito-citrato e oxalato de amônio, na fração argila.....	28

3.5 - Teores totais de Zn, Cu e Mn, na fração terra.....	29
3.6 - Fósforo remanescente e capacidade máxima de adsorção de fosfato em solos da Colônia Agrícola do Apiaú.....	31
4 - CONCLUSÕES.....	34
5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

## CAPÍTULO 2

MATÉRIA ORGÂNICA E FORMAS DE ALUMÍNIO EM SOLOS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO NA COLÔNIA AGRÍCOLA DO APIAÚ, RORAIMA.....	41
RESUMO.....	41
1 - INTRODUÇÃO.....	43
2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.1- Procedimentos de amostragens.....	46
2.2 - Determinação quantitativa do carbono orgânico total e fracionamento da matéria orgânica.....	47
2.3 - Extração e purificação dos ácidos húmicos para fins de Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR).....	47
2.4 - Termogravimetria dos ácidos húmicos de amostras superficiais de solos da Colônia Agrícola do Apiaú.....	48
2.5 - Análise elementar ( CHN ) dos ácidos húmicos extraídos de amostras superficiais de solos da Colônia Agrícola do Apiaú.....	49
2.6 - Formas de alumínio nos horizontes superficiais e subsuperficiais de solos da Colônia Agrícola do Apiaú.....	50
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
3.1 - Determinação quantitativa do carbono orgânico total.....	51
3.2 - Fracionamento da matéria orgânica.....	52
3.3 - Avaliação dos efeitos dos diferentes tipos de uso dos solos sobre as frações ácidos húmicos em comparação com mata natural e mata queimada com emprego de EPR.....	56
3.4 - Composição elementar de AH extraído das diferentes condições dos solos.....	60
3.5 - Termodecomposição dos ácidos húmicos.....	61

3.6 - Formas de alumínio nas diferentes tipos de uso dos solos da Colônia Agrícola do Apiaú.....	64
4 - CONCLUSÕES.....	67
5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

### CAPÍTULO 3

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE UMA TOPOSSEQÜÊNCIA DE SOLOS ORIGINADOS DE ROCHAS MÁFICAS EM ÁREA INDÍGENA NO NORDESTE DE RORAIMA.....	74
RESUMO.....	74
1 - INTRODUÇÃO.....	76
2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	79
2.1 - Descrição da área e coleta das amostras.....	79
2.2 - Análises físicas, químicas e mineralógicas.....	81
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
3.1 - Classificação e atributos físicos.....	84
3.2 - Composição mineralógica dos solos.....	87
3.4 - Formas de ferro extraídas por citrato-ditionito e ferro e silício extraídos por oxalato de amônio, na fração argila.....	100
3.5 - Teores de micronutrientes ( Zn, Cu, Mn ) totais na fração terra fina.....	102
3.7 - Fósforo remanescente e adsorção de fósforo no solo.....	103
4 - CONCLUSÕES.....	108
5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

### CAPÍTULO 4

MATÉRIA ORGÂNICA E FORMAS DE ALUMÍNIO EM SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS MÁFICAS SOB USO INDÍGENA NA ÁREA DA MALOCA DO FLECHAL, NORDESTE DE RORAIMA.....	115
--	-----

RESUMO.....	115
1 - INTRODUÇÃO.....	117
2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	120
2.1 – Procedimento amostral.....	120
2.2 - Determinação quantitativa do carbono orgânico total e fracionamento da matéria orgânica.....	120
2.3 - Extração e purificação das substâncias húmicas para fins de Ressonância Paramagnética Eletrônica ( EPR ) .....	121
2.4 - Termogravimetria dos ácidos húmicos de amostras superficiais de solos.....	122
2.5 - Análise elementar ( CHN ) dos ácidos húmicos.....	122
2.6 - Formas de alumínio.....	123
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	124
3.1 - Determinação quantitativa do carbono orgânico total.....	124
3.2 - Fracionamento da matéria orgânica.....	125
3.3 - Espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica de ácidos húmicos extraídos de horizontes superficiais de solos desenvolvidos de rochas máficas na região da Maloca do Flechal.....	129
3.4 - Composição elementar de ácidos húmicos extraídos de horizontes superficiais de solos da Maloca do Flechal.....	132
3.5 - Termodecomposição dos ácidos húmicos.....	133
3.6 - Formas de alumínio em horizontes superficiais e subsuperficiais.....	135
4 - CONCLUSÕES.....	138
5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140

## RESUMO

**MELO**, Valdinar Ferreira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, deaembro de 2002. **Solos e Indicadores de Uso Agrícola em Roraima: Áreas Indígena Maloca do Flechal e de Colonização do Apiaú**. Orientador: Luiz Eduardo Ferreira Fontes. Conselheiros: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer e João Carlos Ker.

Na região de colonização do Apiaú, região central do Estado de Roraima, e área indígena Maloca do Flechal, nordeste de Roraima, foram estudados solos sob cultivo itinerante, impactados pelo uso do fogo, submetidos à conversão floresta pastagem ou agricultura. A área indígena possui ambientes e solos eutróficos, atípicos para a Amazônia, explorados desde os tempos coloniais. Os solos foram submetidos a análises físicas, químicas, mineralógicas e caracterização das substâncias húmicas, com o propósito de entender os efeitos dos sistemas de uso adotados e das condições pedoclimáticas. Na colônia do Apiaú, os solos foram classificados como Argissolos, Latossolos e Gleissolos, bastante intemperizados, com mineralogia caulinitica e baixos teores de ferro, e baixo conteúdo de cátions trocáveis e forte acidez, com alumínio trocável predominante. O cultivo e queima de restos culturais de banana aumentou os teores de cátions trocáveis e de P disponível na superfície. Em função dos baixos teores de óxidos de Fe e Al, a capacidade de adsorção de fosfato é baixa ( 0,234 a 1,721 mg g<sup>-1</sup> ). A conversão floresta - pastagem ou agricultura reduziu o estoque de C do solo. A combustão parcial da fitomassa pelo fogo, aumentou o aporte instantâneo de MO e da fração ácido fúlvico, em ambiente de mata queimada. As frações húmicas comportaram-se diferentemente entre as áreas estudadas e a humina representa um estoque expressivo de C de baixa ciclagem. Nos perfis de

Latosolos ( 5 e 6 ) o incremento de MO pode justificar os maiores valores de ácidos húmicos em profundidade. A fração ácido húmico apresentou baixo grau de humificação nas áreas de mata não queimadas, pela quantificação dos radicais livres semiquinonas. O maior grau de humificação foi encontrado na área cultivada com milho. O Al complexado pela MO variou entre ambientes e em profundidade, com maiores valores superficiais associados à fração ácido húmico. Os baixos valores de Al, em forma de polímeros, indicam menor participação na reserva não trocável no solo. Os solos da área indígena da Maloca do Flechal, baseado em suas características químicas e mineralógicas, possuem elevada fertilidade natural. No entanto, o relevo impõe limitações à exploração. A posição na paisagem condiciona a mineralogia, que é predominantemente oxidica no Latossolo de topos e dominada por argilominerais 2:1, nos Chernossolos e Cambissolos das partes baixas. A reserva mineral da fração silte confere alta fertilidade natural para os Chernossolos que em posição de relevo suavizado indicam ambiente com elevado potencial para agricultura de subsistência nos moldes praticados. A mineralogia condicionou maiores valores de adsorção de fosfato para o Latossolo e Nitossolo e menores valores para os Chernossolos e Cambissolos. Maiores teores de C foram encontrados no Latossolo e no Chernossolo sob cultivo contínuo, sendo que os microagregados parecem contribuir para uma maior estabilidade da MO no Latossolo. O Chernossolo sob cultivo teve maior aumento da polimerização dos ácidos húmicos ( AHs ). Já no Latossolo, o oligotrofismo parece favorecer o aumento da polimerização dos AHs. Os Cambissolos e Chernossolo não cultivados são mais homogêneos quanto à qualidade dos AHs. O fracionamento de Al indicou baixos valores de Al trocável e baixo potencial de liberação de formas não trocáveis para trocáveis. Valores alto de Al de baixa cristalinidade reflete a expressividade de minerais primários e argilas 2:1.

## ABSTRACT

**MELO**, Valdinar Ferreira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, December of 2002. **Soils and land use indicators in Roraima: The Indians Reserve of Flechal and the Apiaú colonization areas.** Adviser: Luiz Eduardo Ferreira Fontes. Committee members: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer and João Carlos Ker.

In the Apiaú colonization area, Central Roraima State, and the Flechal Indian area, NE Roraima, soils under shifting cultivation, fire use and submitted to forest conversion to pasture or agriculture, were studied. The Flechal Indigenous area presents soil and landscape not typical of Amazonia, being explored since colonial times. Soils were subjected to physical, chemical and mineralogical analyses, as well a detailed characterization of humic substances. The aim was to understand the effects of management and pedoenvironmental condition on soil properties. In the Apiaú, soils are classified as Argisols, Latosols, Gleisols all which strongly weathered and kaolinitic with low Fe-oxides content, low base saturation, low pH and Al-saturated predominate. The burning and cultivation of Banana increased the available P and exchangeable cation levels at the surface. Due to the low Fe and Al-oxide amounts, P adsorption capacity is severely low. The forest conversion to pasture or agriculture resulted in decreased C stocks and relative increase in the soluble compartment of fulvic acid fraction, in the burned forest. The humic fractions were different between soils, and the Humin represented the great C stock of low turnover. In the Latosols, the OM increase can explain the greater value of Humic acids with depth. The HA fraction showed a low degree of humification in the pristine forest, compared with, compared with others, based on free-radical semiquinone quantification. The higher humification

was observed in the area cultivated with maize. The OM bound Al varied between soils and depth, with greater amounts at the surface associated with Humic acid. The low amounts of Al-polymers indicate lesser release of non-exchangeable Al to Al-solution. The soils in the indigenous area have high fertility status, based on chemical and mineralogical properties. However, topography is a limiting factor to intensive land use. Landscape position has a direct influence on mineralogy, with the Chernosols at the bottom. The soil mineral reserve in the silt (coarse) fraction confers high natural fertility in the Chernosols which possess a greater potential for subsistence agriculture in the way it has been practised. The clay mineralogy conditioned a greater P adsorption capacity in the Latosol and Nitossol and lower values for Chernosols. Greater C levels were observed in the Latosol and Chernosol under cultivation; microaggregates seem to contribute to a high OM stability in Latosol. The Chernosol. The Chernosol under cultivation showed an increased HA polymerization, whereas the Latosol had a similar high polymerization due to low nutrient status. The Chernosols with no cultivation are similar with reference to HA quality. The Al fractionation indicated low value of exchangeable Al and low Al potential for release from non-exchangeable forms. High values of poorly crystalline Al are related to abundant 2:1 clays and primary mineral.

## INTRODUÇÃO GERAL

A ocupação da Amazônia e todas as conseqüências sociais e ambientais que trouxe em seu bojo, são parte essencial da agenda política e científica atual do Brasil, com repercussões internacionais que extrapolam as dimensões políticas e institucionais dos Estados da região.

No que concerne a Roraima, a ocupação das terras data dos tempos coloniais, com a implantação de práticas extrativistas e da pecuária extensiva, embora o desejo oficial fosse em estimular a agricultura, no pressuposto de que aquelas terras possuíam boa fertilidade natural (HEMMING, 1990). Porém, a vocação para pecuária extensiva dos cerrados e campos naturais, no Alto Rio Branco, é reportada por Francisco Ribeiro de Sampaio, Bacharel e Ouvidor da Capitania, ainda no século XVIII (SAMPAIO, 1777). Essa prática e essa vocação permaneceram até os dias atuais. No início do século XX, mesmo com a implantação dos primeiros núcleos de colonização e dos projetos oficiais de assentamentos, baseados na agricultura itinerante e tendo a extração da madeira como suporte a subsistência, permanece a pecuária como atividade primária do então Território Federal.

Com o aumento recente da pressão de ocupação das terras, têm-se acentuado os problemas com a perda rápida da fertilidade dos solos, culminando com a degradação destes e a evasão do homem do campo.

Os estudos de solos tiveram início de forma mais sistematizada com os primeiros trabalhos do Projeto Radambrasil na década de 70 (BRASIL, 1975) e com os trabalhos de levantamento de solos desenvolvidos pela EMBRAPA para implantação de pólos de desenvolvimento, já na década de 80 (EMBRAPA, 1982; 1983). Os estudos sobre os solos, dentro do contexto agrônomo e ambiental nesta porção do norte da Amazônia, foram intensificados nos anos 90 (SCHAEFER, 1991, 1994; SCHAEFER e DALRYMPLE, 1995; SCHAEFER et al., 2000) e com investigações iniciadas pela equipe de professores da Universidade Federal de Roraima, através do Departamento de Solos e Irrigação (MELO et al., 1998; SILVA et al., 1998 & SILVA et al., 1999) e por pesquisadores da EMBRAPA/CPAF-Roraima, buscando o conhecimento dos solos e suas interações nos ecossistemas, de forma local e global. Tais estudos buscaram o desenvolvimento de uma atividade agrícola capaz de dar suporte à permanência do homem no campo e promover o desenvolvimento do Estado.

Com o objetivo de aprimorar o conhecimento das características químicas, físicas e mineralógicas e da matéria orgânica de alguns solos de Roraima bem como a dinâmica de algumas destas características em função do tipo de uso, realizou-se este trabalho em duas áreas com uso agrícola itinerante: (1) área indígena e (2) área de colonização oficial, avaliando as condições de uso e as características pedogenéticas dos solos. Foram estudados (1) solos na área da Colônia Agrícola do Apiaú, região central do Estado, sob diferentes condições de uso e manejo por colonos, e (2) uma toposseqüência de solos, sob uso indígena, da região da Maloca do Flechal, Nordeste do Estado, desenvolvidos de rochas básicas em relevo mais movimentado, sob pastagem ou cultivado por comunidades indígenas desde os tempos coloniais.

Os resultados do presente estudo são apresentados em quatro capítulos. Os dois primeiros capítulos reportam os estudos dos solos da região da Colônia Agrícola do Apiaú, discutindo os atributos químicos, físicos e mineralógicos e as implicações de uso e manejo adotados pelos agricultores (Capítulo 1). O segundo capítulo enfoca o estudo da

matéria orgânica em função das condições de uso empregando métodos como fracionamento de substâncias húmicas e espectroscopia dos ácidos húmicos. Os dois últimos capítulos tratam dos solos da região da Maloca do Flechal. O terceiro capítulo investiga aspectos da gênese destes solos, atípicos para a Amazônia, abordando sobre os atributos físicos, químicos e mineralógicos, suas variações em função da paisagem. O quarto capítulo trata da natureza dos constituintes orgânicos dos solos, procurando enfatizar, mais especificamente, sobre a formação e distribuição das substâncias húmicas nestes solos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA. 21. Tumucumaque, Na. 20 Roraima e Na. 21. Rio de Janeiro.1975. v. 8.

EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Levantamento de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Projeto de Colonização Apiaú - Território Federal de Roraima**. RJ, 1982. 175p. ( Boletim de Pesquisa nº. 14 ).

EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Polo Roraima**. RJ, 1983. 252p. ( Boletim de Pesquisa nº. 18 ).

HEMMING, J. **Roraima: Brazil's Northernmost Frontier**. London, Institute of Latin American Studies, 1990, 56p.

MELO, V. F.; SILVA, A.J. & MEDEIROS, R.D. de. Omissão de macro e micronutrientes em solo cultivado com arroz no Estado de Roraima. I. Efeito sobre as características agronômicas. In: 22ª REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Caxambú – MG, 1998. **Resumos...**, Caxambú, SBCS. 1998. p. 540.

SAMPAIO, F.X.R. ( 1777 ). Diarrio da Viagem que em visita, e correição das povoações da Capitania de São Joze do Rio Negro fez o Ouvidor e Intendente Geral da mesma... no anno de 1774 e 1775 ( Lisbon, 1825 ); collecção de notícias para a Histótia e Geografia das Nações Ultramarinas que vivem nos Dominios Portuguezes ou lhes são visinhas, **Academia Real das Sciencias**, Lisboa, 63-102, 1856.

- SCHAEFER, C.E.G.R. **Ambientes no nordeste de Roraima: Solos, palinologia e implicações paleoclimáticas.** Viçosa, UFV, 1991. 108p. ( Tese de Mestrado ).
- SCHAEFER, C. E. R. Landscape Ecology and Land Use Patterns in Northeast Roraima, Brazil. Royal Holloway, University of London, CEDAR Research Papers: 11:1-24, 1994.
- SCHAEFER, C.E.G.R. Ecogeography and human scenario in Northeast Roraima, Brazil, *Ciência e Cultura*. **Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**. 49(4):241-252. 1997.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; DALRYMPLE, J. Landscape evolution in Roraima, North Amazonia: Planation, paleosols and paleoclimates. **Zeit. Fur Geomorph**, 39: 1-28, 1995.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, H.N.; VALE JÚNIOR, J.F.; MELLO, J.W.V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Ciênc. da Terra**, 12: 2000. p.63-104.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; VALE JÚNIOR, J.F. Mudanças climáticas e evolução da paisagem em Roraima: uma resenha do Cretáceo ao Recente. In: BARBOSA, R.I.; FERREIRA, E.J.G.; CASTELLÓN, E.G. **Homem, ambiente e ecologia no Estado de Roraima**. Manaus, INPA, 1997. p. 231-93.
- SILVA, A.J.; MELO, V. F.; MEDEIROS, R.D. Limitações Nutricionais para a cultura do arroz em solo de várzeas do Estado de Roraima. I. Efeito sobre as características agronômicas. 22ª REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Caxambú – MG, 1998. **Resumos...**, Caxambú, SBCS. 1998. p. 562.
- SILVA, A.J.; UCHÔA, S.C.P.; ALVES, J.M.A.; MELO, F.M. Crescimento de materiais genéticos de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) em função de níveis de adubação fosfatada. 27º CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. BRASÍLIA, 1999. **Anais**. Brasília, SBCS, 1999. (CD-ROM).

## **CAPÍTULO 1**

### **ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE SOLOS DA COLÔNIA AGRÍCOLA DO APIAÚ, SOB CULTIVO ITINERANTE, ESTADO DE RORAIMA**

#### **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivos caracterizar os solos da Colônia Agrícola do Apiaú, Roraima, avaliar as mudanças nas propriedades químicas resultante dos sistemas de manejo adotados e os impactos da ação do fogo sobre os mesmos. Os sistemas estudados foram: pastagens em ambientes com tempo e manejo diferentes, cultivo da banana, do milho, mata queimada e mata virgem. Os solos foram submetidos a análises químicas, físicas e mineralógicas. Eles foram representados por Argissolos, Latossolos e Gleissolos com mineralogia tipicamente caulínica, observada pelos valores de Ki e pela difração de raios-x. Os baixos teores de cátions trocáveis resultam em baixa fertilidade natural com o alumínio dominando o complexo de troca na maioria dos solos. A pobreza química dos solos resulta em poucas variações entre os diferentes ambientes. A área cultivada com banana mostrou os maiores teores de cátions trocáveis e de P disponível na camada superficial, provável consequência da mineralização da matéria orgânica pela ação do fogo. Em razão dos baixos teores de óxidos de Fe

e Al, estes solos apresentaram uma baixa capacidade de adsorção de fosfato e baixos valores de fósforo disponível. A pobreza química acentuada no agroecossistema de pastagem da vicinal 02 reflete na presença significativa de invasoras indicadoras de pastagem degradada. Os valores totais de micronutrientes, como zinco, cobre e manganês, indicam que pode haver deficiência de zinco a depender das formas como este se encontra no solo.

**Termos de indexação:** manejo do solo, cultivo itinerante, uso do fogo, características químicas, adsorção de fosfato.

## 1 - INTRODUÇÃO

A Região Amazônica representa, atualmente, um conjunto de conflitos de interesses, que apresenta como eixos centrais a questão ecológica e a necessidade de garantir a sobrevivência e qualidade de vida da população local ( HOMMA, 1998 ).

Quando o homem usa a terra, no sentido genérico, como meio de produção, ele altera os sistemas naturais, porque a “máxima produtividade biológica” existente, naturalmente, não é a desejável, ou é no mínimo insuficiente para atender às demandas. A menos que o sistema de produção introduzido procure revestir-se de precauções com a sustentabilidade, ocorrerá forçosamente a degradação do meio ambiente ( SILVA, 1996 ).

Segundo BANDY et al. (1994), a degradação das terras aráveis utilizadas no mundo é o resultado do uso não sustentável dos recursos naturais, carência de políticas relacionadas com o uso da terra e manejo das florestas. A maior parte do desflorestamento atual ocorre nas Américas, África e Ásia, onde se pratica a agricultura de derruba e queima, associada a uma agricultura migratória em 30% dos solos aráveis. A expansão demográfica e a crescente competição por terra têm levado a um processo de derruba e queima que provoca erosão, reduz a capacidade natural de recuperação do solo e, eventualmente, conduz à destruição permanente das florestas tropicais.

Em função do avanço da ação antrópica na Região Amazônica, a floresta, como um ecossistema em equilíbrio, vem sofrendo grandes

alterações em sua estrutura natural. Quanto às características químicas dos solos da Amazônia 78% são ácidos e de baixa fertilidade natural, limitando o uso contínuo na agricultura (SANCHEZ, 1976), sem a adição de fertilizantes.

A maioria destes solos é classificada como Latossolos ( Oxisols ) e Argissolos ( Ultisols ), com argilas de baixa carga, e o predomínio de caulinita, e de óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro. São, em geral, solos bastantes intemperizados, ácidos e de baixa fertilidade (SANCHEZ, 1976; NICHOLAIDES et al. 1982; OLIVEIRA e MOREIRA, 1993). Áreas de exceção a essa tendência são a planície fluvial do rio Amazonas, terraços e baixos planaltos das bacias do Acre e do Alto Amazonas, influenciados por sedimentos andinos ou calcários, além das áreas com afloramentos de rochas máficas (LIMA, 2001). Porém, estas áreas são relativamente pequenas e em muitos casos, apresentam outras limitações ao uso agrícola, além da fertilidade.

A capacidade dos ecossistemas Amazônicos de suprir, de forma sustentável, muitos dos produtos exigidos pela pressão demográfica crescente da região, é limitada. Desde que sejam respeitados os limites biofísicos dos ecossistemas com a reposição, via fertilização, dos elementos exportados com a prática agrícola, estes podem sustentar uma população local e manter o equilíbrio ambiental de forma mais adequada. Os atuais sistemas de aproveitamento baseiam-se na remoção da floresta, com a introdução da pecuária bovina, colonização agrícola itinerante, exploração madeireira e a mineração, que são exemplos de exploração não sustentáveis, nos moldes vigentes (FEARNSIDE, 1993).

A não utilização de práticas racionais na agricultura da Amazônia pode conduzir a um decréscimo acelerado da fertilidade de suas terras, alcançando níveis de degradação mais rápido, de acordo com as condições de exposições do solo ( BARBOSA, 1991 ). Aparentemente, a enorme dispersão de impactos ( SERRÃO et al., 1996 ) e o não uso de corretivo e fertilizantes agrava a estabilidade dos sistemas agrícolas praticados na região ( SCHAEFER et al., 2000 ).

O Estado de Roraima, constituído tanto por florestas como por cerrados, experimenta um elevado ritmo de crescimento populacional. Como consequência da necessidade de produção de alimentos, os recursos naturais do Estado ( solo e floresta, principalmente ) sofrem uma forte pressão de ocupação, servindo de suporte para a expansão da agricultura itinerante e pecuária. Esta situação traz resultados indesejáveis à sustentabilidade do meio ambiente. Recentemente, o impacto do uso descontrolado do fogo sobre as florestas e savanas do Estado, no ano de 1998, foi notícia em veículos de comunicações nacionais e internacionais ( JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO, 1998 ). A Colônia do Apiaú, no município de Mucajaí, foi a região em que o impacto do fogo atingiu proporções mais alarmantes, por ter como base a exploração madeireira extrativista e uma pecuária praticada com o uso do fogo, além da forte seca ocasionada pelo fenômeno “El Niño”. O modelo agrícola regional é do tipo itinerante, com roças de milho, feijão, algumas hortaliças e plantio de banana.

NEARY et al. ( 1999 ) reportam que os impactos do fogo sobre a sustentabilidade ambiental ocorrem em razão de alterações estruturais e funcionais no ecossistema, acima e abaixo do solo. Para estes autores, a alteração da entrada de nutrientes, aumento da temperatura da superfície do solo e mudanças na taxa de evaporação são os principais impactos que podem ocorrer nos sistemas edáficos. O aumento da temperatura do solo com o uso do fogo pode provocar a oxidação da matéria orgânica, elevar os teores de fósforo ligados ao alumínio e ferro, diminuir os teores de fósforo ligado à matéria orgânica e os teores de Ca, K e Mg na solução do solo através da lixiviação ( FASSBENDER e BORNEMISZA, 1987 ).

Este trabalho teve por objetivo avaliar os sistemas de exploração das terras da Colônia Apiaú, avaliando os indicadores ambientais do impacto de uso do fogo e das práticas de manejo do solo. Para tanto, foram estudadas as características físicas, químicas e mineralógicas, enfatizando a dinâmica de alumínio e fósforo no solo.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 - Área de estudo e coleta das amostras

Os agrossistemas selecionados fazem parte da bacia do Igarapé da Serrinha, afluente da margem direita do rio Mucajaí, uma das áreas mais afetadas pelos incêndios florestais em 1998.

A região estudada pertence ao domínio de formações geológicas de granitos, granodioritos e gnaisses do pré-cambriano, seguido por material Terciário, sedimentos argilo-arenosos e arenosos do Quaternário e sedimentos inconsolidados de várzeas ( BRASIL, 1975 ). O clima é do tipo tropical chuvoso, Ami ( tropical chuvoso com período seco de setembro a março ), segundo Köppen, com precipitações médias em torno de 2.000 mm, relevo variando entre plano e suave ondulado, com altitudes que variam entre 100 e 180 m, excluindo-se as serras ( EMBRAPA, 1982; BARBOSA, 1991; LAMEIRA e COIMBRA, 1988 ).

A área de estudo pertence ao assentamento da Colônia do Apiaú, no município de Mucajaí, região central do Estado de Roraima ( Figura 1 ), localizada aproximadamente entre os paralelos de 3° 00' e 2° 00' N e os meridianos de 61° 11' 18'' e 62° 00' W ( Figura 1 ).

Foram estudados os seguintes agrossistemas em função do tempo e do tipo de uso:

1 – Área com Gleissolo sob pastagem de *B. humidicola* + *brizantha*, em terraço alto; Argissolo com *B. humidicola* + *brizantha*, ambos em uso por dez anos, mata natural, mata queimada e plantio de milho recente, em terra firme com relevo plano, ( Vicinal 8 ).

2 – Área com Gleissolo sob plantio de *B. humidicola* e Argissolo com plantio de *Braquiaria humidicola*, cultivados por sete anos, mata queimada e mata natural, ( Vicinal 7 ).

3 – Área com Latossolo, relevo plano, sob plantio de banana por cinco anos e Latossolo sob mata queimada, e sob capoeira de cinco anos, utilizada como pasto nativo, ( Vicinal 10 ).

4 – Área com Argissolo, sob domínio de transição floresta/cerrado, com pastagem de *B. brizantha*, infestada por invasoras e em uso por mais de quinze anos, dividida em topo e meia encosta, ( Vicinal 2 ).

Foram descritos oito perfis completos conforme LEMOS e SANTOS ( 1996 ) e realizadas quatorze amostragens superficiais, com três repetições, para caracterizar os diferentes tipos de uso.

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm de malha, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA ). Após o preparo, as amostras foram submetidas às análises descritas a seguir.



Figura 1- Localização da área em estudo  
 Fonte: Laboratório de geoprocessamento e monitoramento ambiental  
 Do DEMA- Roraima.

## 2.2 - Análises físicas, químicas e mineralógicas

Procedeu-se à análise textural dos solos, quantificando as frações areia grossa e areia fina, silte e argila. Determinou-se também a argila dispersa em água e o grau de floculação, conforme ( EMBRAPA, 1997 ). Nos horizontes Bt<sub>1</sub> e Bt<sub>2</sub> do perfil 4 do Argissolo Amarelo distrófico cascalhento ( PAd ) utilizou-se a dispersão lenta em garrafa de dispersor giratório por 16 horas, com 10 esferas de aço de 4 mm de diâmetro.

O pH em água e em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> foi determinado por potenciometria, utilizando-se proporções de 1 : 2,5 ( v/v ) de solo : solução. Os cátions trocáveis ( Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> ), extraídos em KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, foram determinados por espectrometria de absorção atômica. O Al<sup>3+</sup>, extraído por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, foi determinado volumetricamente por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. A acidez potencial foi determinada após extração com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 sendo o H + Al quantificados por titulação com NaOH ( EMBRAPA, 1997 ). P, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> foram extraídos por extrator Mehlich-1, determinando-se o K<sup>+</sup> e o Na<sup>+</sup> por fotometria de chama e o P por colorimetria ( EMBRAPA, 1997 ). A partir dos resultados obtidos do complexo sortivo, foram calculados os valores para soma de bases ( SB ), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 ( T ) e efetiva ( t ), saturação por bases ( V% ) e saturação por alumínio ( m% ).

Na TFSA de cada horizonte foram extraídos Si, Al, Fe e Ti por ataque sulfúrico, conforme EMBRAPA ( 1997 ), com posterior cálculo dos índices Ki, pela fórmula  $K_i = 1,7( SiO_2/Al_2O_3 )$  e Kr, pela fórmula  $K_r = 1,7[ SiO_2/(Al_2O_3 + 0,64Fe_2O_3 )]$ .

O Fe de baixa cristalinidade dos horizontes subsuperficiais foi extraído por oxalato de amônio, e o Fe livre foi extraído pelo método do ditionito-citrato de sódio ( DC ) em três extrações sucessivas, conforme McKEAGUE e DAY ( 1966 ) e por espectrometria de emissão de plasma induzido. O Fe cristalino foi calculado por diferença entre Fe extraído por DC ( Fe<sub>d</sub> ) e Fe extraído por oxalato ( Fe<sub>o</sub> ).

Os teores de micronutrientes ( zinco, cobre e manganês ) na TFSA foram determinados por espectrometria de emissão de plasma induzido após digestão total em forno microondas ( Etnos Plus Microwave Labstation ), sob pressão, temperatura de 30 a 180° C por 5 min, para estabilizar e de 210° C por 25 minutos, controlado pelo Easywave software for Windows, digestão inorgânica de 0,5 g de solo, com dosagem de 5 ml de HCl, 5 ml de HNO<sub>3</sub> e 8 ml de HF.

A mineralogia foi identificada por meio de difratogrametria de raios - X, nas frações argila e silte. Da fração argila, natural e desferrificada, foram preparadas lâminas orientadas e irradiadas no intervalo entre 2° e 40° 2θ em difratômetro de raios – X com velocidade do goniômetro de 2° 2θ/minutos, utilizando-se radiação CuKα com filtro de Ni ( WHITHING e ALLARDICE, 1986 ). As lâminas de silte foram analisadas nas mesmas condições da fração argila natural. Os difratogramas foram interpretados de acordo com CHEN ( 1977 ).

Os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos ( EMBRAPA, 1999 ).

O P-remanescente, para todos os solos, foi determinado conforme metodologia descrita por ALVAREZ V. et al. ( 1988 ). A capacidade máxima de adsorção de fosfato ( CMAF ) dos horizontes subsuperficiais de solos selecionados, foi determinada em triplicata, conforme valores de P-remanescente, metodologia proposta por ALVAREZ V. e FONSECA ( 1990 ). Os dados foram ajustados ao modelo não-linearizado de Langmuir, relacionando-se a concentração do elemento adsorvido por unidade de adsorvente (solo) e a concentração do elemento na solução de equilíbrio (sobrenadante ), calculando-se a capacidade máxima de adsorção ( b ) e o coeficiente de energia de adsorção ( a ).

### **3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 - Classificação e composição granulométrica**

os solos da área em estudo, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos ( SBCS ), enquadraram em três ordens distintas conforme sua posição na paisagem, na terra firme encontram-se os Latossolos e Argissolos e nas várzeas os Gleissolos. No Quadro 1 são apresentadas algumas características como cor e profundidade dos horizontes, bem como as classes de solos identificadas.

Os solos, em sua maioria, possuem uma composição granulométrica com predomínio da fração areia, baixos valores de silte ( Quadro 1 ), indicando condições grau avançado de pedogênese nestes ambientes. Valores mais elevados da fração argila e silte foram observados nos perfis 4, 5 e 6, os quais revelam uma textura argilosa nos horizontes subsuperficiais. Os valores elevados de silte nos Latossolos podem ser atribuídos à ineficiência do método de dispersão ( MELO, 1998 ), haja visto que nos horizontes  $Bt_1$  e  $Bt_2$  do perfil 4 ( PAd ) procedeu-se à modificação do método, obtendo uma maior dispersão com aumento dos teores de argila. Estes valores de silte podem está associados à microagregação que desempenha a função de silte, resultados que corroboram os valores elevados de silte obtidos por EMBRAPA ( 1982 ), para alguns solos da área de colonização do Apiaú.

A presença de coesão foi observada, dentro dos 60 cm, nos perfis 7 e 8, ambos Argissolos, pertencentes a ambiente de remoção de mata há mais de 15 anos para implantação de pastagem, em área com características transicionais para cerrado. A elevada coesão é característica típica em solos da formação Boa Vista ( SCHAEFER, 1991, 1994, 1997 e VALE JÚNIOR, 2000 ), e pode estar associada ao regime climático, além da maior percentagem de areia fina, tendo em vista que a coesão não é observada nos solos de áreas mais planas com vegetação florestal, textura argilosa e menores teores de areia fina.

Quadro 1 – Classes de solos, cor, composição granulométrica, argila dispersa em água, grau de floculação e classe textural de solos da Colônia Agrícola do Apiaú.

Perfil	Solo	Hor.	Cor de Munsell		Areia		Silte	Argila	ADA <sup>1</sup>	GF <sup>2</sup>	Classe textural
			seca	úmida	Grossa	Fina					
					.....dag kg <sup>-1</sup> .....						
P1	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico (GXbd)	Ap	5/5 PB	3/N	77	13	2	8	1	87	Areia
		A <sub>2</sub>	6/5 PB	4/N	69	18	5	8	3	61	Areia-Franca
		Cg <sub>1</sub>	7/5 PB	5/N	54	20	8	18	11	39	Franco-Argilo-Arenosa
		Cg <sub>2</sub>	7/5PB	6/N	53	19	6	22	10	53	Franco-Arenosa
P2	ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico (PAd)	Ap	10 YR 4/1	10YR 3/1	69	12	5	14	4	71	Franco-Arenosa
		BA	10 YR 6/2	10 YR 5/3	55	17	2	26	1	95	Franco-Argilo-Arenosa
		Bt <sub>1</sub>	10 YR 6/2	10 YR 5/4	49	15	4	32	8	75	Franco-Argilo-Arenosa
		Bt <sub>2</sub>	10 YR 7/3	10 YR 5/6	51	12	3	34	0	99	Franco-Argilo-Arenosa
P3	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico (GXbd)	Ap	5/5 PB	3/N	47	20	9	24	7	69	Franco-Argilo-Arenosa
		A <sub>2</sub>	10 YR 7/1	10 YR 4/2	37	15	9	39	16	58	Argilo-Arenosa
		AC	10 YR 6/1	10 YR 5/2	51	10	5	34	17	49	Franco-Argilo-Arenosa
		Cg <sub>1</sub>	10 YR 6/1	10 YR 5/2	51	9	5	35	9	72	Argilo-Arenosa
P4	ARGISSOLO AMARELO Distrófico (PAd) cascalhento	Ap	10 YR 6/6	10 YR 5/6	67	8	8	17	11	38	Franco-Arenosa
		BA	10 YR 6/8	10 YR 5/6	47	9	10	34	7	80	Franco-Argilo-Arenosa
		Bt <sub>1</sub>	10 YR 7/8	10 YR 5/8	45	6	10	36	0	82	Franco-Argilo-Arenosa
		Bt <sub>2</sub>	10 YR 7/8	10 YR 6/8	23	9	23	45	0	87	Argila
P5	LATOSSOLO AMARELO Distrófico (LAd)	Bw <sub>3</sub>	10 YR 8/8	10 YR 6/8	23	6	25	46	0	99	Argila
		Ap	10 YR 5/4	10 YR 4/3	29	17	14	40	12	70	Argila
		AB	10 YR 5/6	10 YR 4/6	27	20	13	41	15	50	Argila
		Bw <sub>1</sub>	10 YR 6/8	10 YR 4/6	21	18	17	44	1	98	Argila
P6	LATOSSOLO AMARELO Distrófico (LAd)	Bw <sub>2</sub>	10 YR 6/8	10 YR 5/6	13	16	18	53	3	92	Argila
		A <sub>1</sub>	10 YR 5/4	10 YR 4/3	15	20	20	45	8	82	Argila
		AB	10 YR 7/6	10 YR 5/6	14	20	20	46	13	72	Argila
		BA	10 YR 7/8	10 YR 5/6	11	18	20	51	19	63	Argila
P7	ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico (PAd)	Bw <sub>1</sub>	10 YR 6/8	10 YR 5/6	10	18	20	52	19	63	Argila
		Bw <sub>2</sub>	10 YR 7/8	10 YR 6/8	11	14	21	54	0	100	Argila
		Ap	10 YR 6/1	10 YR 4/1	49	31	6	14	6	57	Franco-Arenosa
		BA	10 YR 6/2	10 YR 5/2	37	29	8	26	12	53	Franco-Argilo-Arenosa
P8	ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico (PAd)	Bt <sub>1</sub>	10 YR 6/2	10 YR 5/3	35	27	9	29	15	48	Franco-Argilo-Arenosa
		Bt <sub>2</sub>	7,5 YR 7/6	7,5 YR 5/8	32	21	15	32	0	100	Franco-Argilo-Arenosa
		Ap	10 YR 5/1	10 YR 3/1	60	24	6	10	3	70	Areia-Franca
		BA	10 YR 6/2	10 YR 5/2	45	24	9	22	5	77	Franco-Argilo-Arenosa
P8	ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico (PAd)	Bt <sub>1</sub>	10 YR 6/2	10 YR 5/3	42	24	8	26	8	69	Franco-Argilo-Arenosa
		Bt <sub>2</sub>	10 YR 6/2	10 YR 5/3	40	21	5	34	2	94	Franco-Argilo-Arenosa

1-Argila dispersa em água; 2-Grau de floculação.

### 3.2 - Composição mineralógica dos solos

A composição mineralógica dos solos estudados mostra-se homogênea ( Quadro 2 ), com predomínio de caulinita e menores valores de goethita na fração argila. A ilita se faz presente apenas nos Latossolos, cuja posição na paisagem, próximo das abas de serra, indica uma certa contribuição do material de origem. Na fração silte há a predominância de quartzo em todos os solos e pouca expressão de minerais do tipo feldspato e ilita. A presença significativa de ilmenita, rutilo e anastásio foi observado nos Latossolos, cuja mineralogia apresenta maior variação. Porém, tal composição mineralógica reflete de um certo modo, a pobreza do material de origem ( granitos, gnaisses e sedimentos quaternários e terciários ) ( BRASIL, 1975 ), associado aos processos de intemperismo químico avançado, que predominam naqueles ambientes, resultante da precipitação e temperatura elevadas. Esta mineralogia resulta em um baixo potencial para contribuir com reserva de nutrientes nos solos.

Quadro 2 - Composição mineralógica das frações argila e silte dos solos estudados por difratometria de raios – x.

Perfil	Solo	Hor.	Argila	Silte
1	GXbd	Cg <sub>2</sub>	Ct, Il	Qz, Fs, Ct
2	PAd	Bt <sub>2</sub>	Ct, Gt	Qz Ct, Il, Im
3	GXbd	Cg <sub>2</sub>	Ct, Gt	Qz, Ct, Fs
4	PAd	Bt <sub>2</sub>	Ct, Gt	Qz, Ct, An, Fs, Ti, Ru
5	LAd	Bw <sub>2</sub>	Ct, Gt, Il	Qz, Ct, Il, Fs, Ru
6	LAd	Bw <sub>2</sub>	Ct, Gt, Il	Qz, Ct, Fs, Il, Ru, Im
7	PAd	Bt <sub>2</sub>	Ct, Gt	Qz, Ct
8	PAd	Bt <sub>2</sub>	Ct, Gt	Qz, Ct

Ct= caulinita, Il=ilita, Gt= goethita, Qz= quartzo, Fs= Feldspato, An= Anastásio, Ru=Rutilo, Im= Ilmenita, Ti= Titanita.

A mineralogia caulinítica dos solos pode ser confirmada pelos valores de  $K_i$ , predominantemente entre 1,5 e 2,0 ( Quadro 3 ) e pelos difratogramas de raio-x da fração argila ( Figuras 2 e 3 ), não diferenciando dos solos da Amazônia, em geral ( MÖLLER, 1986; SILVA,

1989; SANTOS, 1993 ). Os baixos teores de ferro do ataque sulfúrico, observados em todos os perfis, estão em conformidade com as classes de solos estudadas ( EMBRAPA, 1982, 1983 ). De acordo com os dados do Quadro 3, os teores de Fe desses solos variaram de 4,5 e 72 g kg<sup>-1</sup>. Os teores de óxidos de titânio são mais destacados no perfil 2 ( PAd ) e nos Latossolos, expressando um certa variabilidade na litologia destes ambientes.

Quadro 3 - Resultados do ataque sulfúrico de solos da Colônia Agrícola do Apiaú.

Perfil	Solo	Hor.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Ki	Kr
			-----dag kg <sup>-1</sup> -----					
P1	GXbd	Ap	1,95	2,78	0,45	0,83	1,23	1,18
		A <sub>2</sub>	3,73	4,61	0,87	1,84	1,42	1,36
		Cg <sub>1</sub>	7,42	6,69	0,89	1,89	1,95	1,87
		Cg <sub>2</sub>	9,03	8,01	0,81	2,10	1,98	1,90
P2	PAd	Ap	6,62	10,34	1,42	2,61	1,13	1,08
		BA	11,51	11,60	2,17	3,13	1,75	1,67
		Bt <sub>1</sub>	12,72	11,75	2,27	2,97	1,91	1,82
		Bt <sub>2</sub>	14,96	12,69	2,36	2,93	2,07	1,98
P3	GXbd	Ap	9,32	6,07	0,54	0,41	2,70	2,60
		A <sub>2</sub>	9,39	8,65	0,77	0,59	1,91	1,83
		AC	8,96	10,17	0,52	0,46	1,55	1,49
		Cg <sub>1</sub>	8,36	10,92	0,62	0,49	1,35	1,30
		Cg <sub>2</sub>	11,17	9,66	0,34	0,37	2,04	1,96
P4	PAd	Ap	4,92	9,98	1,89	0,41	0,87	0,83
		BA	5,91	15,41	3,24	0,64	0,67	0,64
		Bt <sub>1</sub>	9,41	15,85	3,44	0,63	1,04	1,00
		Bt <sub>2</sub>	16,40	15,47	3,80	0,80	1,87	1,77
		Bt <sub>3</sub>	18,80	16,98	3,46	0,72	1,95	1,86
P5	LAd	Ap	6,84	11,18	5,05	2,06	1,08	1,01
		AB	7,37	12,88	5,58	2,01	1,01	0,95
		Bw <sub>1</sub>	12,60	14,02	6,22	2,07	1,58	1,49
		Bw <sub>2</sub>	12,40	14,78	6,70	2,08	1,48	1,39
P6	LAd	A1	11,30	13,77	5,25	1,83	1,44	1,36
		AB	7,57	13,64	5,69	2,04	0,98	0,92
		BA	9,24	14,65	6,11	1,97	1,11	1,04
		Bw <sub>1</sub>	13,90	16,10	6,80	2,18	1,52	1,43
		Bw <sub>2</sub>	16,00	18,25	7,20	1,90	1,54	1,45
P7	PAd	Ap	5,96	7,96	0,81	1,23	1,32	1,26
		BA	7,61	10,04	1,00	1,13	1,33	1,28
		Bt <sub>1</sub>	10,60	11,68	1,06	0,91	1,60	1,53
		Bt <sub>2</sub>	18,70	16,61	1,19	0,91	1,98	1,91
P8	PAd	Ap	3,91	7,90	0,64	1,06	0,87	0,84
		BA	9,20	11,24	0,83	0,98	1,44	1,38
		Bt <sub>1</sub>	10,70	12,13	0,94	0,99	1,55	1,49
		Bt <sub>2</sub>	12,20	13,07	1,04	1,02	1,64	1,58

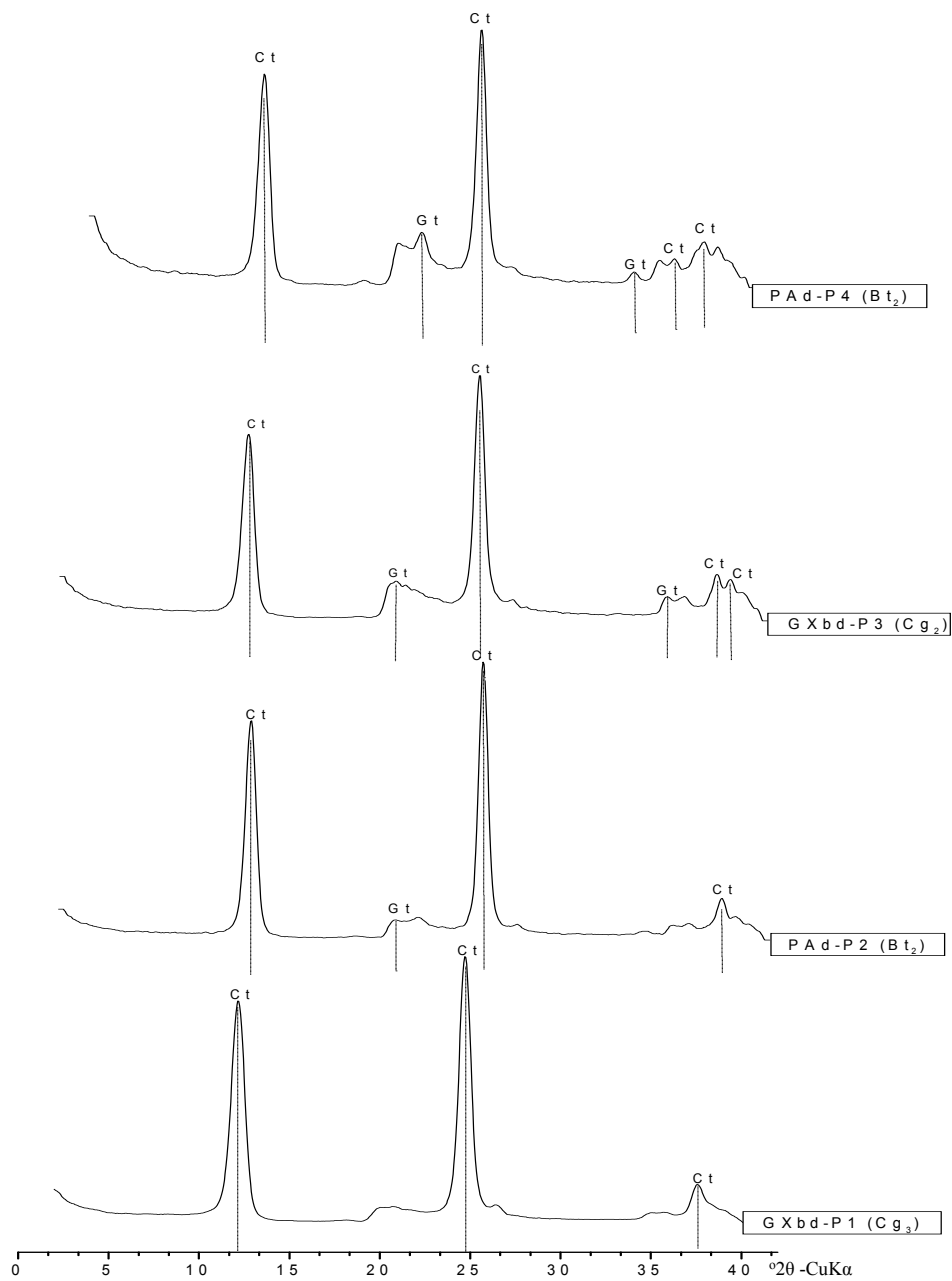


Figura 2 - Difrátogramas de raios-x da fração argila natural de horizontes subsuperficiais de solos da Colônia do Apiaú ( Ct - caulinita e Gt - goethita ).

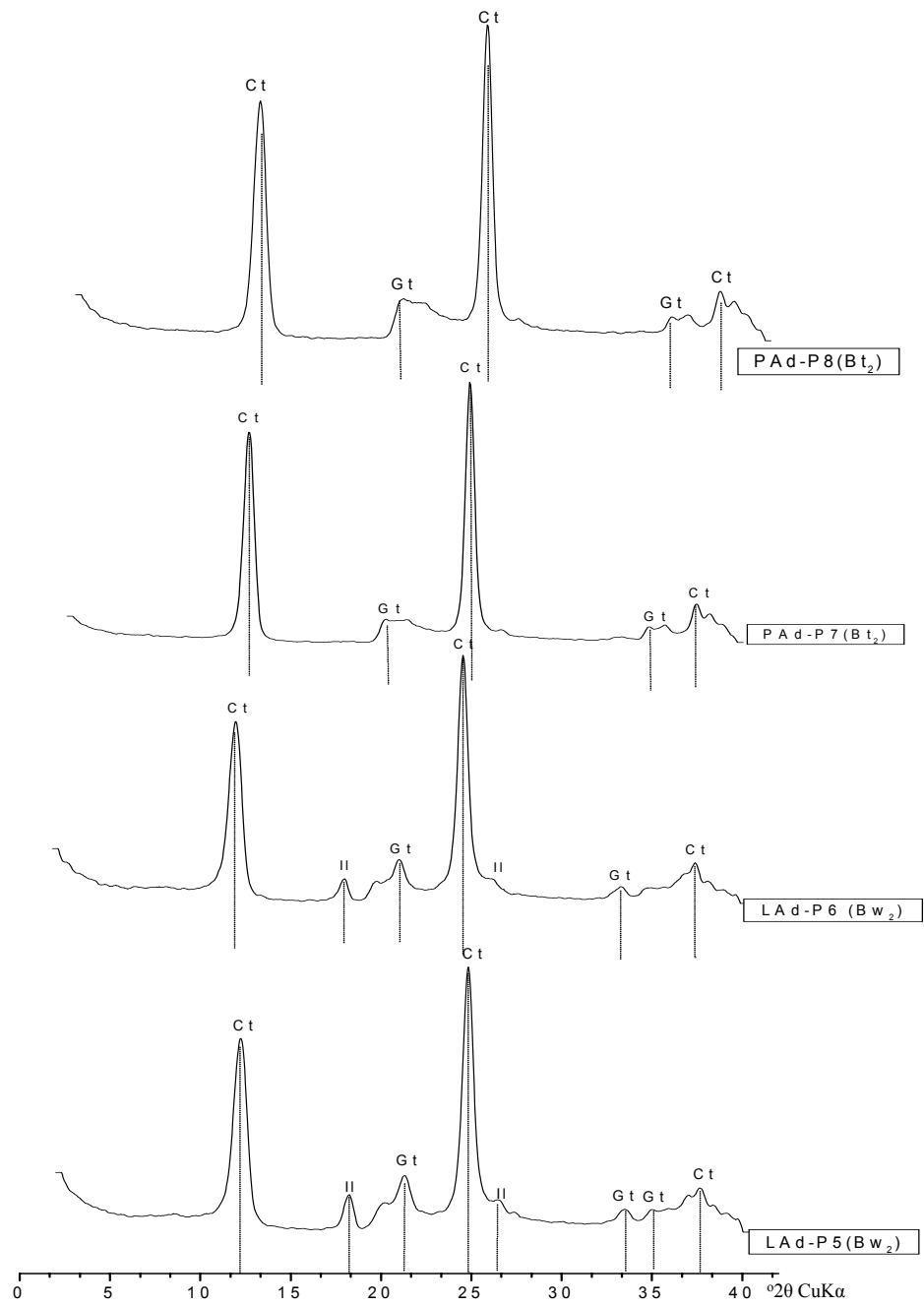


Figura 3 - Difratoigramas de raios-x da fração argila natural de horizontes subsuperficiais de solos da Colônia do Apiaú ( Ct - caulinita; Gt -goethita; II – ilita ).

### 3.3 - Caracterização química de solos e efeitos do uso

As características químicas dos solos em estudo permitem inferir sobre suas limitações e efeitos provocados pelos diferentes tipos de uso e manejo. O pH em H<sub>2</sub>O, na maioria dos solos, comportou-se com graus de acidez de média a fraca, variando entre 5,5 e 7; na maioria dos horizontes superficiais, com exceção dos perfis 6, 7 e 8, cuja acidez é alta. Já nos horizontes subsuperficiais a acidez varia de média a alta.

A acidez se acentua com o aumento da profundidade dos solos ( Quadro 4 ), predominando nestes horizontes o caráter distrófico. Os valores de  $\Delta\text{pH}$  ( pH KCl - pH H<sub>2</sub>O ) indicam carga líquida negativa. Estes valores refletem a pobreza química do material de origem e o grau avançado do intemperismo. Apesar do caráter distrófico, valores mais elevados de pH nos horizontes superficiais resultam de uma maior saturação por bases, consequência da ciclagem biológica e da incorporação de cinzas através da queima da matéria orgânica. O perfil 5 ( LAd ), coletado em área cultivada com banana, comportou-se diferentemente dos demais, não apresentando acidez na profundidade em torno de 10 cm ( Quadro 5 ).

Os diferentes agroecossistemas apresentam, na camada arável de 0-10 cm, baixos níveis de fertilidade e caráter distrófico, excetuando-se a área plantada com banana onde os níveis de fósforo são considerados bons e de potássio muito bons ( CFSEMG, 1999 ), com cálcio e magnésio médios ( Quadro 5 ). Este incremento de fertilidade pode ser atribuído à capacidade que a banana tem de extrair nutrientes e retornar ao solo através da ciclagem biológica. Apesar da bananeira extrair grande quantidade de nutrientes, dois terços da parte aérea produzida durante o seu ciclo vegetativo retornam ao solo em forma de pseudocaules e folhas ( SILVA et al. 1999a ). Ressalta-se que estes valores têm como consequência a mineralização da cobertura vegetal morta ( folhas e pseudocaules ), através da queima ocorrida dois anos antes da amostragem da área. As perdas são reduzidas em razão da cobertura vegetal e das condições de relevo mais plano da área. O

aporte de nutrientes pela mineralização da matéria orgânica é evidente quando se compara os teores destes elementos em superfície com os horizontes inferiores onde há redução bastante acentuada, alcançando níveis extremamente baixos. Cabe ressaltar a necessidade de uma avaliação posterior, com a finalidade de monitorar a dinâmica destes valores ao longo do perfil. SMYTH (1996 ) observou elevações dos teores dos elementos e redução do Al após a queima das áreas de capoeira, pastagem e floresta primária com redução destes valores aos níveis anteriores, após 3 anos.

Nas demais áreas, um pequeno incremento dos teores de nutrientes nos horizontes superficiais foi observado, porém não expressivo para representar condições favoráveis de fertilidade. Estes valores são atribuídos à contribuição da matéria orgânica, mantendo o processo de ciclagem. O fato das condições topográficas não serem planas, os nutrientes mineralizados da matéria orgânica podem ser perdidos por arrasto hídrico.

A acidez na quase totalidade dos solos, varia entre forte a moderada com os teores de  $Al^{3+}$  trocável dominado o complexo de troca, principalmente nos perfis 3, 6, 7 e 8 onde os teores de cátions com o  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$  são reduzidos, aumentando o distrofismo dos solos e induzindo limitações ao desenvolvimento da maioria das culturas (SMYTH, 1996 ). A contribuição das cinzas, influenciando na redução do alumínio trocável, está bem evidenciada nos horizontes superficiais do perfil 5, onde houve um aumento dos cátions trocáveis pela queima dos restos culturais da bananeira.

Quadro 4 - Características químicas de solos da Colônia Agrícola do Apiaú.

Hor.	pH		C g kg <sup>-1</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	t	T	V	m	P mg kg <sup>-1</sup>
	H <sub>2</sub> O	KCl													
P1-GXbd															
Ap	6,0	4,9	18,1	0,00	2,97	0,73	0,59	0,19	0,15	1,66	1,66	4,63	36	0	6,10
A2	6,0	4,7	10,9	0,00	1,70	0,32	0,29	0,13	0,12	0,86	0,86	2,56	34	0	3,42
Cg1	5,3	4,1	9,0	0,15	2,14	0,11	0,13	0,12	0,17	0,53	0,68	2,67	20	23	1,65
Cg2	5,3	4,1	7,6	0,20	2,03	0,08	0,10	0,18	0,11	0,47	0,67	2,5	19	32	1,33
P2-PAd															
Ap	6,0	4,9	15,4	0,03	1,84	0,43	0,34	0,21	0,15	1,13	1,16	2,97	38	3	2,37
BA	5,7	4,6	11,1	0,00	1,87	0,25	0,21	0,09	0,06	0,61	0,61	2,48	25	0	1,96
Bt1	4,9	4,2	9,5	0,15	1,76	0,07	0,11	0,08	0,06	0,32	0,47	2,08	15	33	2,00
Bt2	4,8	4,1	8,6	0,04	1,70	0,08	0,14	0,03	0,02	0,27	0,31	1,97	14	13	0,78
P3-GXbd															
Ap	5,8	4,3	21,8	0,10	5,06	0,40	0,38	0,30	0,21	1,29	1,39	6,35	20	7	3,43
A2	4,8	4,0	12,2	0,35	3,96	0,09	0,12	0,15	0,14	0,5	0,85	4,46	11	44	2,50
AC	5,1	4,0	7,8	0,27	2,58	0,05	0,10	0,04	0,03	0,22	0,49	2,8	8	56	0,79
Cg1	5,0	4,0	8,7	0,25	2,60	0,05	0,12	0,04	0,03	0,24	0,49	2,84	8	52	1,70
Cg2	5,4	4,2	7,2	0,12	1,30	0,05	0,06	0,07	0,05	0,23	0,35	1,53	15	35	0,60
P4-PAd															
Ap	6,1	5,0	14,3	0,02	1,60	0,35	0,28	0,06	0,04	0,73	0,75	2,33	31	3	0,81
BA	5,7	4,9	11,4	0,00	1,65	0,20	0,37	0,06	0,05	0,68	0,68	2,33	29	0	0,69
Bt1	5,6	5,1	11,6	0,00	1,43	0,14	0,38	0,05	0,04	0,61	0,61	2,04	30	0	0,54
Bt2	5,3	5,0	9,8	0,00	1,32	0,06	0,20	0,07	0,05	0,38	0,38	1,7	22	0	0,67
Bt3	5,1	5,5	6,5	0,00	0,95	0,04	0,25	0,06	0,04	0,39	0,39	1,34	29	0	0,63
P5-LAd															
Ap	7,6	6,9	18,1	0,00	0,49	1,71	0,67	0,53	0,37	3,28	3,28	3,77	87	0	4,50
AB	5,8	4,8	12,5	0,00	2,64	0,46	0,39	0,12	0,09	1,06	1,06	3,7	29	0	0,99
Bw1	5,2	4,2	9,5	0,20	3,13	0,09	0,07	0,17	0,10	0,43	0,63	3,56	12	34	0,81
Bw2	5,4	4,3	7,5	0,15	2,69	0,06	0,03	0,19	0,13	0,41	0,56	3,1	13	29	0,97
P6-LAd															
A1	4,3	3,6	28,8	0,50	10,56	0,29	0,31	0,47	0,37	1,44	1,94	12	12	28	5,50
AB	4,2	3,8	16,4	0,53	6,54	0,05	0,06	0,22	0,15	0,48	1,01	7,02	7	55	1,50
BA	5,9	3,9	13,5	0,52	5,17	0,04	0,02	0,12	0,08	0,26	0,78	5,43	5	68	0,85
Btw1	4,7	3,9	10,1	0,46	4,45	0,04	0,00	0,07	0,05	0,16	0,62	4,61	3	75	1,10
Bw2	5,5	4,1	8,2	0,30	3,46	0,04	0,00	0,05	0,03	0,12	0,42	3,58	3	65	0,87
P7-PAd															
Ap	5,5	4,7	10,6	0,00	1,81	0,31	0,13	0,10	0,07	0,61	0,61	2,42	25	0	1,00
BA	5,9	4,3	9,2	0,00	1,95	0,22	0,06	0,15	0,10	0,53	0,53	2,48	21	0	0,52
Bt1	5,3	4,3	7,4	0,05	1,37	0,17	0,06	0,09	0,07	0,39	0,44	1,76	22	11	0,70
Bt2	4,8	4,0	5,4	0,20	1,70	0,04	0,01	0,02	0,01	0,08	0,28	1,78	4	71	0,30
P8-PAd															
Ap	4,5	4,5	12,5	0,03	2,14	0,23	0,17	0,30	0,21	0,91	0,94	3,05	30	3	1,44
BA	5,1	4,1	7,7	0,20	3,63	0,08	0,02	0,05	0,04	0,19	0,39	3,82	5	51	1,02
Bt1	5,0	4,1	4,2	0,22	2,84	0,05	0,02	0,03	0,02	0,12	0,34	2,96	4	63	0,70
Bt2	4,8	4,0	5,0	0,28	2,14	0,00	0,01	0,02	0,01	0,04	0,32	2,18	2	85	0,46

Embora todas as áreas se apresentem com níveis de P baixo a muito baixo, exceto a área de cultivo com banana, a área 4 com pastagem de braquiária mal manejada e trabalhada por mais de 15 anos, possui os menores valores de P disponíveis, demonstrando acentuada pobreza de P. O fósforo disponível, que tem maiores teores na superfície, pode ser atribuído à ciclagem biológica.

Os baixos níveis de fertilidade, principalmente nos perfis 7 e 8, reflete-se na qualidade da pastagem onde se observa uma presença significativa de invasoras indicadoras de pasto degradado.

Quadro 5 - Características químicas das amostras superficiais (0 -10cm) coletadas nas diversas condições de manejo e condições naturais de solos da Colônia Agrícola do Apiaú\*.

Área	Uso	pH		H+Al	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P	C
		H <sub>2</sub> O	KCl							
		-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						---mg kg <sup>-1</sup> ----	dag kg <sup>-1</sup>	
1	Pasto de B. humidícola + brizantha	5,9	4,7	2,25	0,16	0,65	0,43	27,89	2,28	1,13
	Pasto de B. brizantha	6,3	5,4	2,34	0,00	2,23	0,38	60,96	2,31	2,14
	Mata virgem	5,7	4,7	3,96	0,07	1,05	0,39	58,63	6,76	2,18
	Mata queimada	6,5	5,7	2,51	0,00	3,47	0,23	79,47	4,51	2,71
	Cultivo recente com milho	6,6	6,0	1,83	0,00	2,81	0,32	33,91	2,34	1,87
2	Pasto de humidícola, queimada	6,1	4,7	4,69	0,02	1,51	0,49	65,06	1,22	2,18
	Pasto de B. humidícola, queimada	6,4	5,7	2,17	0,00	2,25	0,29	86,86	1,02	1,29
	Mata virgem	6,0	4,6	3,59	0,03	0,93	0,22	72,17	0,69	0,82
	Mata queimada	5,9	4,8	6,14	0,03	1,92	0,41	77,06	1,18	2,92
3	Plantio de Banana	7,2	6,7	1,81	0,00	7,36	0,07	39,81	14,42	2,42
	Mata queimada	4,2	3,6	9,48	0,49	0,27	1,42	50,82	1,22	2,25
	Capoeira	5,8	4,8	3,42	0,00	2,15	4,03	75,40	1,01	1,53
4	Pasto de B. brizantha	5,5	4,4	3,52	0,03	1,14	4,02	63,28	0,72	0,39
	Pasto de B. brizantha	5,4	4,4	3,43	0,10	0,03	5,16	54,71	0,71	0,77

\*valores médios de amostras compostas.

### **3.4 - Formas de ferro extraídas por ditionito-citrato e oxalato de amônio, na fração argila**

Os teores de ferro obtidos das extrações sucessivas e cumulativas por DC ( Quadro 6 ), variam entre  $0,98 \text{ g kg}^{-1}$  ( GXbd ) a  $64,13 \text{ g kg}^{-1}$  ( LAd ), nos horizontes diagnósticos de subsuperficiais. Estes valores, expressivamente baixos, seguem uma tendência de valores obtidos por SILVA ( 1999 ), em solos do Acre, VALE JÚNIOR ( 2000 ), em solos de Roraima e LIMA ( 2001 ), em solos de terra firma do Amazonas. Porém, os Gleissolos foram expressivamente inferiores aos obtidos por LIMA ( 2001 ) e SILVA ( 1999 ), para os Gleissolos dos Estados do Amazonas e do Acre. O material de origem e as condições bioclimáticas atuais da região Amazônica são fatores determinantes nos teores de ferro ( LIMA, 2001 ). O grau de intemperismo e os processos pedogenéticos de remoção e adição ( KÄMPF e CURI, 2000 ) atuam mais fortemente.

Os maiores teores de Fe extraídos por ditionito foram encontrados nos Latossolos ( perfis 5 e 6 ), decorrentes do maior grau de evolução e da presença de minerais tipo goethita. Houve uma certa variabilidade nos teores de Fe nos diferentes ambientes, possivelmente relacionado à natureza da litologia e das condições ambientais ( BRASIL, 1975; BRANDÃO e FREITAS, 1994 ).

Os valores de ferro extraído por oxalato de amônio, indicadores de minerais de ferro de baixa cristalinidade, foram semelhantes aos obtidos por SILVA ( 1999 ) e LIMA ( 2001 ) em solos do Amazonas e do Acre, respectivamente, e superiores aos obtidos por VALE JÚNIOR ( 2000 ), trabalhando com solos da serra de Pacaraima, onde predominam rochas vulcânicas ácidas.

Os Gleissolos ( perfis 1 e 2 ), conforme esperado, apresentaram relações  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$  que indicam o predomínio de minerais de baixa cristalinidade, embora em pequena quantidade, tendo em vista os valores de Fe livre total serem extremamente baixos, em decorrência do hidromorfismo sazonal que provoca a remoção dos óxidos de ferro com

conseqüente descoloração do solo ( MOTTA e KÄMPF, 1992; PETERSCHMITT et al., 1996 ).

Quadro 6 - Resultados analíticos dos teores de ferro solúveis em ditionito - citrato de sódio ( 3 extrações sucessivas ) e em oxalato de amônio na fração argila.

Perfil	Solo	Hor.	Fed				Feo	Feo/Fed	Fec
			1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	total			
			.....g kg <sup>-1</sup> .....						
1	GXbd	Cg <sub>2</sub>	0,87	0,09	0,02	0,98	0,60	0,60	0,38
2	PAd	Bt <sub>2</sub>	12,62	1,80	0,10	14,52	0,30	0,02	14,22
3	GXbd	Cg <sub>2</sub>	0,79	0,11	0,12	1,02	0,50	0,39	0,52
4	PAd	Bt <sub>2</sub>	15,46	6,58	1,95	23,99	0,10	0,01	23,89
5	LAd	Bw <sub>2</sub>	44,62	10,34	1,55	56,51	2,70	0,04	53,81
6	LAd	Bw <sub>2</sub>	52,89	9,39	1,85	64,13	2,10	0,03	62,03
7	PAd	Bt <sub>2</sub>	6,21	0,93	0,04	7,18	0,20	0,02	6,98
8	PAd	Bt <sub>2</sub>	4,67	0,71	0,22	5,60	1,60	0,25	4,00

Fed - Ferro ditionito, Feo - Ferro oxalato, Fec - Ferro cristalino.

### 3.5 - Teores totais de Zn, Cu e Mn, na fração terra fina

Os teores totais de Zn, Cu e Mn na TFSA resultante do ataque total pela digestão triácida ( Quadro 7 ), representam a influência do material de origem no comportamento geoquímico dos elementos nos solos, segundo GOLDSCHMIDT, 1954; KRAUSKOFF, 1972 e WILKINSON, 1972; o material de origem, a mineralogia do solo e as condições de acidez determinam as formas como estes elementos se encontram no solo.

O zinco apresentou um comportamento bem definido, aumentando com a profundidade do solo e com os teores de argila, sendo os Latossolos ( perfis 5 e 6 ) os solos que apresentaram maiores teores, situando-se dentro da faixa dos teores médios para solos em geral, variando entre 17 e 125 mg kg<sup>-1</sup> ( RAIJ, 1991 ). Os Gleissolos e os Argissolos apresentaram menores teores de Zn em comparação aos demais solos avaliados, onde se pode fazer inferência sobre a pobreza destes solos em zinco.

Os teores de cobre seguem uma tendência de decréscimo com a profundidade do solo e estão acima dos valores médios para solos não contaminados, que é entre 6 e 60 mg kg<sup>-1</sup> ( RAIJ, 1991 ). Estes valores mais elevados na superfície do solo podem estar associados à capacidade da matéria orgânica em adsorver cobre. LIMA ( 2001 ) obteve valores também superiores aos valores médios, tanto na fração argila quanto na fração silte, seguindo uma tendência de decréscimo com a profundidade para Latossolos e Gleissolos da Amazônia. Maiores valores de cobre no P1, Gleissolo, pode se atribuir à posição que este solo ocupa na paisagem, recebendo uma certa carga de sedimentos ricos em cobre.

O manganês não apresentou perfil definido, porém os valores estão dentro da faixa de distribuição ( entre 200 e 800 mg kg<sup>-1</sup> ) dos solos em geral ( RAIJ, 1991 ).

Quadro 7 - Elementos traços no ataque total da fração terra fina.

Perfil	Solo	Hor.	-----mg kg <sup>-1</sup> -----		
			Zn	Cu	Mn
P1	GXbd	Ap	15,11	584,14	274,31
		Cg <sub>2</sub>	30,48	235,18	476,20
P2	PAd	Ap	23,57	163,05	769,38
		Bt <sub>2</sub>	24,44	170,38	551,71
P3	GXbd	Ap	21,13	109,71	121,61
		Cg <sub>1</sub>	21,60	68,35	85,91
P4	PAd	Ap	24,88	55,70	69,14
		Bt <sub>1</sub>	30,30	22,22	58,66
P5	LAd	Ap	75,39	18,67	550,13
		Bw <sub>2</sub>	85,53	16,62	261,18
P6	LAd	A	48,63	88,99	245,51
		Bw <sub>2</sub>	100,97	122,52	220,12
P7	PAd	Ap	53,07	111,35	190,14
		Bt <sub>2</sub>	58,43	82,98	117,83
P8	PAd	Ap	49,30	96,44	142,97
		Bt <sub>2</sub>	47,74	13,60	173,17

### **3.6 - Fósforo remanescente e capacidade máxima de adsorção de fosfato em solos da Colônia Agrícola do Apiaú**

Os valores de fósforo remanescente ( Quadro 8 ) apresentaram amplitude de 12, nos horizontes B de textura argilosa, a 57 mg L<sup>-1</sup> em horizonte superficial de textura arenosa e menores teores de matéria orgânica, com 74% dos solos com valores acima de 30 mg L<sup>-1</sup>, traduzindo-se em geral numa baixa capacidade de adsorção de fosfato como se pode observar nos valores determinados e estimados ( Quadro 8 ). Estes valores são corroborados por dados obtidos por SILVA ( 1999 ) e LIMA ( 2001 ), trabalhando em diferentes solos do Estado do Acre e do Amazonas, respectivamente. Os dados confirmam SMYTH ( 1996 ), que afirma que 90 % dos solos da Amazônia têm baixa capacidade de adsorção de fósforo. SILVA et al. ( 1999b ), trabalhando em Latossolo Amarelo da formação Boa Vista, obtiveram respostas a doses médias de fósforo para a cultura do feijão. A natureza caulinítica destes solos e os baixos teores de ferro e alumínio, são responsáveis pela baixa capacidade de adsorção de fosfato, dependendo esta apenas dos percentuais de argila no solo e dos teores de matéria orgânica. Os maiores valores de adsorção de fosfato correspondem aos solos com maiores teores de argila, ferro livre e total ( Gráfico c, Figura 4 ), confirmando correlações feitas por outros autores ( NOVAIS e SMYTH, 1999; SILVA, 1999; LIMA, 2001 ).

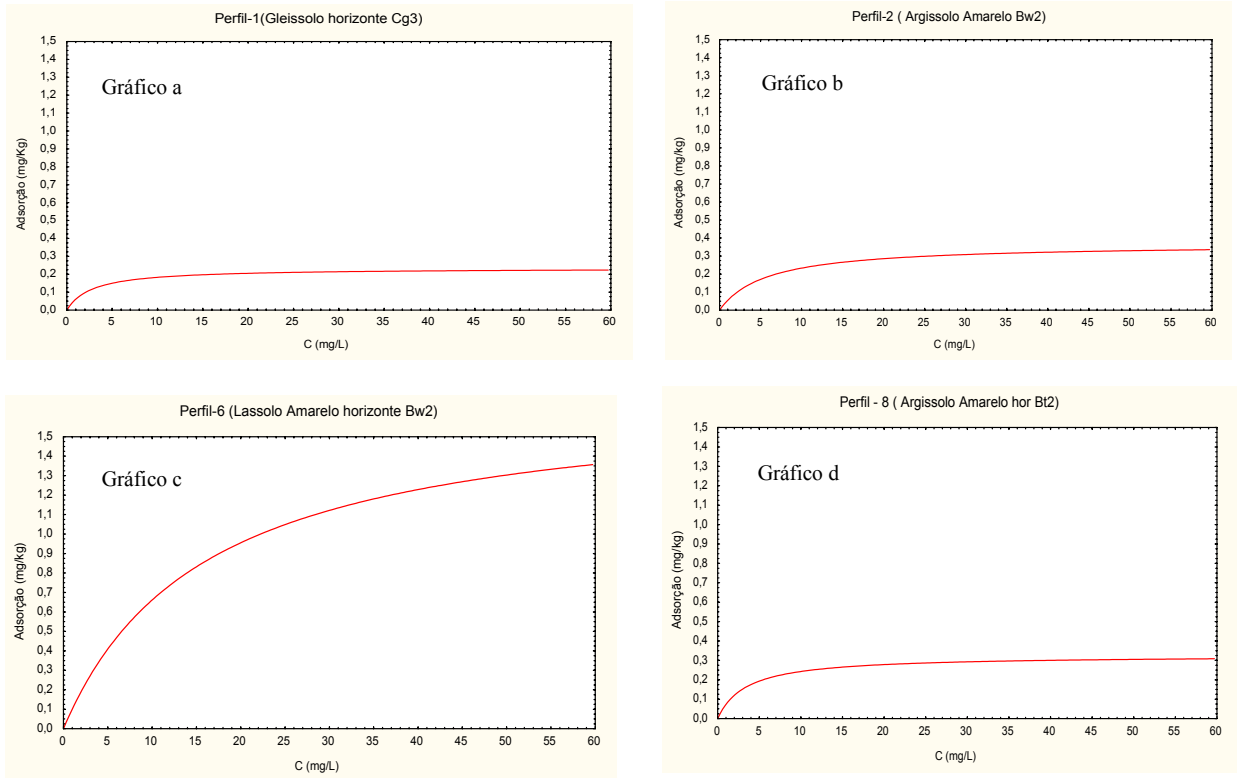


Figura 4 - Curvas de adsorção de fosfato em horizontes subsuperficiais de quatro solos da região do Apiaú. Gleissolo, Cg<sub>1</sub> (a); Argissolo Amarelo, Bt<sub>2</sub> (b); Latossolo Amarelo, Bw<sub>2</sub> (c) e Argissolo Amarelo, Bt<sub>2</sub> (d).

Quadro 9 - Teores de P-remanescente, capacidade máxima de adsorção de fosfato ( CMAF ) e energia de adsorção.

Perfil	Solo	Hor.	P-rem mg L <sup>-1</sup>	CMAF (b) mg g <sup>-1</sup>	Energia de adsorção (a) L g <sup>-1</sup>
1	GXbd	Ap	52,7	0,234	0,3550
		A <sub>2</sub>	55,9		
		Cg <sub>1</sub>	48,8		
		Cg <sub>2</sub>	47,9		
2	PAd	Ap	57,6	0,368	0,1732
		BA	44,7		
		Bt <sub>1</sub>	42,9		
		Bt <sub>2</sub>	42,1		
3	GXbd	Ap	39,1		
		A <sub>2</sub>	30,6		
		AC	35,1		
		Cg <sub>1</sub>	33,7		
		Cg <sub>2</sub>	40,7		
4	PAd	Ap	52,7		
		BA	33,8		
		Bt <sub>1</sub>	34,1		
		Bt <sub>2</sub>	15,3		
		Bt <sub>3</sub>	12,6		
5	LAd	Ap	38,4		
		AB	30,8		
		Bw <sub>1</sub>	21,9		
		Bw <sub>2</sub>	14,8		
6	LAd	A <sub>1</sub>	37,9	1,721	0,0230
		AB	28,4		
		BA	26,7		
		Bw <sub>1</sub>	23,2		
		Bw <sub>2</sub>	13,9		
7	PAd	Ap	57,5		
		BA	56,7		
		Bt <sub>1</sub>	54,7		
		Bt <sub>2</sub>	42,1		
8	PAd	Ap	56,5	0,326	0,2908
		BA	47,8		
		Bt <sub>1</sub>	48,4		
		Bt <sub>2</sub>	49,0		

#### **4 - CONCLUSÕES**

Os solos estudados foram Argissolos, Latossolos e Gleissolos com textura franco-argilo-arenosa predominante. Nos Argissolos de área de transição floresta/cerrado, a coesão manifestou-se nos horizontes de subsuperfície.

A mineralogia mostrou-se homogênea com predomínio de caulinita, na fração argila. A fração silte composta principalmente por quartzo, revela uma pobreza acentuada de reservas de nutrientes.

Os teores de ferro livre totais, cristalinos e de baixa cristalinidade da fração argila foram baixos, compatíveis com as classes de solos, diminuindo acentuadamente nos Gleissolos com as formas de baixa cristalinidade representando de 49 a 60% do ferro total.

Os solos possuem baixa fertilidade natural, com o alumínio trocável dominando o complexo de troca na maioria deles. A ação do fogo não promoveu variações expressivas entre os ambientes quanto aos teores de cátions trocáveis e de P, exceção para o Latossolo sob cultivado com banana, cuja queima promoveu a mineralização do material orgânico e aumentou os teores de nutrientes na camada superficial, elevando a saturação por bases e o pH, indisponibilizando o alumínio trocável.

Os solos apresentaram valores de fósforo remanescentes, em sua maioria alto, principalmente nos horizontes superficiais, o que resulta em uma baixa capacidade de adsorção de fosfato.

Embora os solos apresentem teores de fósforo disponíveis baixos, com exceção da área com plantio de banana, a capacidade de adsorção de fosfato para estes solos é baixa.

A pobreza química acentuada, principalmente nos perfis 7 e 8, reflete-se na qualidade da pastagem, observando-se a presença significativa de invasoras indicadoras de pasto degradado.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS , R.F.; BRAGA, J.M.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; RIBEIRO, A.C.; DEFELIPO, B.V. Avaliação da fertilidade do solo. Metodologia: In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, I. Viçosa. 1988. **Resumos...**, Viçosa, UFV, imprensa Universitária, p. 68-69, 1988.
- ALVAREZ V., V.H.; FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação de capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas. v. 14, n. 1, p. 49 - 55, 1990.
- BANDY, D.; GARRITY, D.P; SANCHEZ, P. El Problema Mundial de la Agricultura de Tala e Queima. **Agrofloresteria en las Américas**. Turrialba, Costa Rica. 3: 6 –9, 1994.
- BARBOSA, R.L. Erosão do solo na Colônia Agrícola do Apiaú, Roraima, Brasil. **Museu Integrado**, Boa Vista. 1(2), 1991, p.22-40.
- BRASIL, Ministério das Minas Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folha NA. 20. Boa Vista e parte das Folhas NA. 21. Tumucumaque, NB. 20 Roraima e NB. 21. Rio de Janeiro, 1975. 428p.
- BRANDÃO, R.L.; FREITAS, A.F. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos. Serra do Ajanari. Folha NA. 20-X-C-VI, Estado de Roraima. Brasília: CPRM, 1994. 164p.
- CHEN, P-Y. **Table of Key by lines in X-ray power diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks**. Bloomington, Dep. Nat. Res. Geol. Sur., 1977. 67p.

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO NO ESTADO DE MINAS GERAIS-CFSEMG. **Recomendações de adubação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aprox. Viçosa. RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds.). Viçosa, MG, 1999. 352p.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Levantamento de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Projeto de Colonização Apiaú - Território Federal de Roraima**. RJ, 1982. 175p. ( Boletim de Pesquisa nº. 14 ).
- EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Polo Roraima**. RJ, 1983. 252p. ( Boletim de Pesquisa nº. 18 ).
- FASSBENDER, H.W; BORNEMISZA. **Química de suelos com ênfasis en suelos de América Latina**. São José, 2ª ed. 1987. 420p.
- FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: the Effect of Population and Land. **AMBIO**, 22:537-545, 1993.
- GOLDSCHMIDT, W.M. **Geochemistrey**. London, Oxford University Press, 1954. 740p.
- HOMMA, A.K.O. **Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola**. Brasília, EMBRAPA, 1998, 412p.
- JORNAL A FOLHA DE SÃO PAULO. Brasil pede dinheiro para combater fogo. **Cotidiano**, 26 de março de 1998. p1-3.
- KÄMPF, N.; CURI, N. óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. ( Eds. ). **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.107 - 138.

- KRAUSKOFF, K.B. Geochemistry of micronutrients. In: MORTVERT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Eds.). **Micronutrients in Agriculture**. Madison, Soil Sci. Soci. of America, 1972. p7 - 40.
- LAMEIRA, O.A., COIMBRA, J.M. **Levantamento e Distribuição da Precipitação em Roraima**. EMBRAPA-UEPAT/BV-RR. Boa Vista, 1988. 5p. ( Pesquisa em Andamento nº 12 ).
- LEMONS, R.C.; SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2ª ed. Campinas. SBCS/SNLCS, 1996. 45p.
- LIMA, E.N. **Gênese, Química, Mineralógica e Micromorfologia de Solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa, UFV, 2001, 176p. (Tese de Doutorado ).
- McKEAGUE, J.A., DAY, J.H. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Can. J. Soil Sci.** 46 :13 - 22, 1966.
- MELO, V.F.; **Potássio e magnésio em minerais de solos e relação entre propriedades da caulinita com formas não - trocáveis destes nutrientes**. Viçosa : UFV, 1998. 205p. ( Tese de Doutorado ).
- MÖLLER, M.R.F. Mineralogia de argila de solos da região Amazônica brasileira. Simpósio do trópico úmido, 1. Belém, 1984. **Anais...Belém**, EMBRAPA-CPATU, 1986. p.214-223.
- MOTTA, P.E.F.; KÄMPF, N. Iron oxide properties as support to soil morphological features for prediction of moisture regimes in Oxisols of Central Brasil. **Z. Pflanzenernähr. Bodenk.**, 155 : 385 – 390, 1992.
- MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Soil Color Charts**. NY, 1994. 46p.
- NEARY, G. D.; KLOPATEK, C. C.; DeBANO, L. F.; FFOLLIOTT, P. F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **Forest Ecology and Management**, 122 : 51 - 71, 1999.
- NICHOLAIDES, J.J.; SANCHEZ, P.A; BANDY, D.E.; VILLACHINA, J.H.; COUTU, A.J.; VALVERDE, C.S. **Crop production systems in the Amazon Basin**. In: MORAN, E. (Ed) The Dilema of Amazonian Development. Westview Press Boulder, Colorado, 1982. p.101 - 153.

- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo nos solos e planta em condições tropicais**. Viçosa, UFV, 1999. 399p.
- OLIVEIRA, L.A. de.; MOREIRA, F.W. A Importância do Uso Adequado dos Solos no Zoneamento Ecológico - Econômico da Amazônia. In: FERREIRA, E.J.G.; SANTOS, G.M. dos; LEÃO, E.L.M.; OLIVEIRA, L.A. de. **Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia**, INPA, Manaus, 1993. 437p.
- PETERSCHMITT, E.; FRISTCH, E.; RAJOT, J.L.; HERBILLON, A.J. Yellwoing, bleaching and ferritisation processes in soil mantle of the Western Ghâts, South India. **Geoderma**, 74 : 235 - 253, 1996.
- RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres/Potafos. 1991. 343p.
- SANCHEZ, P.A.; **Properties and Management of soils in the Tropics**. New York, John Wily & Sons. 1976. 618p.
- SANCHEZ, P.; BANDY, D.E.; VILLACHACHIA, J.H.; NICHOLAIDES. Amazon Basin Soils: Management for Continous Crop Production. **Science**, 21: 821-827. 1982.
- SANTOS, P.L. dos. **Zoneamento Agroclimático da Bacia do Rio Candiru-Açu-Pará**. Belém, FCAP, 1993. 159p. (Dissertação de Mestrado).
- SCHAEFER, C.E.G.R. **Ambientes no Nordeste de Roraima: Solos, palinologia e implicações paleoclimáticas**. Viçosa, UFV. 1991. 108p. (Tese de Mestrado).
- SCHAEFER, C.E.G.R. **Soil and paleosols from northeastern Roraima North Amazonia: Germorphology, genesis and landscape evolution**. Reading, University of Reading. 1994. 352p. (Ph D Thesis)
- SCHAEFER, C. E. R. Ecogeography and human scenario in Northeast Roraima, Brazil. **Ciência e Cultura, Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**. 49:241-252, 1997.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, H.N.; VALE JÚNIOR, J.F.; MELLO, J.W.V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Sér. Ciênc. da Terra**, 12: 63-104, 2000.

- SERRÃO, E.A.S.; NEPSTAD, D.C.; WALKER, R.T. Upland. Agricultural and Forestry development in the Amazon: **Sustainability, criticality and Resilience Ecological Economics**, 18: 3-13. 1996.
- SILVA, L.F. **Solos tropicais: Aspectos pedológicos, ecológicos e de manejo**. São Paulo, Terras Brasilis, 1996, 137p.
- SILVA, J.T.A.; BORGES, A.L.; MALBURG, J.L. Solo, adubação e nutrição de bananeira. **Informe Agropecuário**. 196: 21-36, 1999a.
- SILVA, A.J.; UCHÔA, S.C.P.; ALVES, J.M.A.; MELO, V.F. Crescimento de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) em função de níveis de adubação fosfatada. 27 CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Brasília, 1999. **Anais**. Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999b. (CD-ROM).
- SILVA, J.M.L. **Caracterização e classificação de solos do terciário do nordeste do Estado do Pará**. UFRRJ, 1989. 190p. (Tese de Mestrado).
- SILVA, J.R.T. Solos do Acre: caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato. Viçosa, UFV, 1999. 117p. (Tese de Doutorado).
- SMYTH, T.J. Manejo da Fertilidade do Solo para produção Sustentada de Cultivos na Amazônia, In: **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. ALVAREZ V, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. Viçosa, SBCS, 1996. p.71-93.
- SOMBROEK, W.G.; **Amazon Soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region**. Pudoc, Wageningen, 1966. 292p.
- VALE JÚNIOR, J.F. **Pedogênese e alterações dos solos sob manejo itinerante, em áreas de rochas vulcânicas ácidas e básicas, no nordeste de Roraima**. Viçosa, UFV, 2000. 185p. (Tese de Doutorado ).
- WHITTING, L.D., ALLARDICE, W.R. X-ray diffraction techniques. In: Klute, A., ed. *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.331-362.

WILKINSON, H.F. Movement of micronutrients to plants roots. In: **Micronutrients in Agriculture**. MORTVERT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Eds.). Madison, Soil Science Society of America, 1972. p 139 - 69.

## **CAPÍTULO 2**

### **MATÉRIA ORGÂNICA E FORMAS DE ALUMÍNIO EM SOLOS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO NA COLÔNIA AGRÍCOLA DO APIAÚ, RORAIMA**

#### **RESUMO**

Solos da Colônia Agrícola do Apiaú, Roraima, sob diferentes sistemas de uso, foram avaliados quanto às características da matéria orgânica do solo (MOS), com a caracterização das substâncias húmicas, por meio do fracionamento quantitativo e de técnicas de Espectroscopia Paramagnética de Elétrons (EPR), e as implicações do manejo e do uso do fogo nas diferentes formas de Al. As áreas estudadas foram: (1) pastagens com diferentes tempos de uso; (2) área cultivada com banana; (3) área cultivada com milho, por dois anos; (4) floresta que foi queimada recentemente e (5) floresta natural. O processo de conversão floresta-pastagem ou agricultura reduziu o estoque de carbono (C) do solo; o fogo, pela combustão parcial da fitomassa, em ambiente de mata, favoreceu o aumento de C resultante do aporte instantâneo de MO parcialmente carbonizada. A fração húmica (FHU) representou um estoque significativo de C de baixa ciclagem. As frações húmicas comportaram-se diferentemente, em função do

ambiente e das condições impostas, com predomínio da FHU em todos os solos. O aporte de carbono, pela queima parcial da fitomassa, aumentou os teores da fração ácido fúlvico ( FAF ), e as áreas de pastagem mais conservadas, caso dos perfis 1, 2 e 3 favoreceram o incremento da FAF na superfície, pelo aumento de uma MO mais reativa. Nos perfis 5 e 6, o incremento de MO pode justificar os maiores valores da fração ácido húmico ( FAH ) em profundidade. A FAH mostrou baixo grau de humificação nas áreas de mata não queimada, através da quantificação dos radicais livres semiquinonas, enquanto que o maior grau de humificação foi constatado na área cultivada com milho, em consequência da remoção da massa vegetal. Menores valores de spins  $g^{-1}$  de C na área de pastagem, trabalhada por mais de quinze anos, podem ser consequência da acidez elevada e da menor atividade microbiana, que retardam o processo de humificação. O aporte de MO, pela combustão parece ter contribuído para a existência de AH mais alifático. O Al-trocável não apresentou valores expressivos, enquanto que o alumínio complexado pela MO variou entre as classes e em profundidade, com maiores valores superficiais associado à FAF. O Al em forma de polímeros, apresentou valores baixos, não variando entre os solos, indicando menor participação na reserva não trocável de Al no solo, que deve provir do intemperismo da caulinita e do Al-entrecamadas nos argilominerais, em ambiente ácido. O Al-amorfo é o mais uniforme no perfil, independente da textura, e pode estar parcialmente associado aos óxidos de Fe amorfos, como substituinte isomórfico nos óxidos de Fe pouco cristalinos.

## 1 - INTRODUÇÃO

O Estado de Roraima, constituído tanto por florestas como por cerrado, experimenta um elevado ritmo de crescimento populacional. Como consequência da necessidade da produção de alimentos, os recursos naturais do Estado ( solo e floresta, principalmente ) sofrem uma forte pressão de ocupação, servindo à expansão da agricultura itinerante e pecuária. Esta situação traz resultados, às vezes, indesejáveis à preservação do meio ambiente. Em anos recentes, o impacto do uso do fogo descontrolado sobre as florestas e savanas do Estado, a exemplo de 1998, foi notícia em veículos de comunicações nacionais e internacionais ( JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO, 1998 ).

As florestas tropicais constituem um bioma de importância vital para os ciclos do carbono, padrões climáticos e biodiversidade ( SERRÃO et al., 1996 ). A perturbação antrópica de um sistema em equilíbrio dinâmico ( solo + vegetação natural ) induz mudanças que podem causar maiores perdas que ganhos de carbono, causando redução dos teores de carbono ao longo do tempo ( DORAN, 1997 ). Práticas de uso e manejo dos solos interferem no equilíbrio natural dos ecossistemas, alterando os componentes orgânicos, tanto em qualidade quanto em quantidade, resultando numa dinâmica química e física diferente das condições originais com consequências positivas ou negativas, dependendo do manejo adotado ( STEVENSON, 1994 ) e das condições climáticas e pedológicas ( IGUE, 1983; ANDERSON e

INGRAM, 1989 ). As mudanças interferem na ciclagem dos nutrientes e na fertilidade do solo ( CERRI et al., 1996 ), podendo ter conseqüências no balanço de CO<sub>2</sub> da atmosfera ( FEARNSIDE, 1997 ), dependendo da magnitude dos impactos.

O uso constante do fogo em sistema de exploração das terras, com derruba e queima, implica em alterações na matéria orgânica do solo, podendo resultar em redução da atividade biológica e transformações na quantidade e na qualidade da matéria orgânica ( FASSBENDER e BORNEMISZA, 1987 ). Além das variações temporais do carbono no solo, o conteúdo deste varia também em função das condições ambientais e do tipo de solo ( BATJES et al., 1999; KOUTIKA et al., 1997 ). A transformação da floresta em áreas cultiváveis, através do desmatamento e da queima, provoca redução nos conteúdos de C nos primeiros centímetros do solo, reduzindo drasticamente a proporção de cadeias alifáticas e certos grupos funcionais típicos de lignina ( LUIZÃO e LUIZÃO, 1997 ). Alguns autores têm mostrado o aumento de carbono, na camada 0 - 30 cm, de 28 t ha<sup>-1</sup> em áreas que sofreram conversão floresta-pastagem, após 8 anos ( CHONÉ et al., 1991 ) e após 20 anos, de 14,4 t ha<sup>-1</sup> na camada de 0 -20 cm ( CERRI et al., 1991 ) em solos da Amazônia. Estes estudos não fazem menção à qualidade da matéria efetivamente aumentada, que pode exercer função importante na capacidade de troca de cátions e ciclagem de nutrientes, sobretudo nos solos tropicais ( HATCHER, et al., 1985 ).

A fração ácido fúlvico, um dos componentes das substâncias húmicas, é constituída por compostos orgânicos de maior solubilidade, apresentando afinidade para complexar-se com elementos metálicos. Estes, dependendo das condições climáticas e ambientais, podem percolar no perfil do solo com a água de drenagem, sendo retidos em horizontes inferiores ou perdidos para os cursos d'águas ( LAZERTE e FUNDEIS, 1994 ). As substâncias orgânicas solúveis podem interagir com as frações inorgânicas do solo ( SIBANDA e YOUNG, 1986 ), ser fortemente adsorvidas pelos óxidos de ferro e alumínio e argilominerais, além de poder formar compostos com os cátions presentes na solução

do solo ( DAVIS, 1982 ). Dessa forma, o manejo adotado interfere na taxa de oxidação da matéria orgânica, podendo resultar na liberação do alumínio a ela complexado ( MENDONÇA, 1992; 1995 e VALE JÚNIOR, 2000 ).

As substâncias húmicas são representadas por compostos orgânicos resultantes, caracterizados em função das suas estruturas e reatividade, separados com base em suas características de solubilidade em diferentes pHs, e classificados como humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos ( CAMARGO et al., 1999 ). Seus estudos quantitativos e qualitativos são efetuados por meio de técnicas de fracionamento e purificações por processos físico-químicos, usando-se soluções alcalinas e ácidas, dependendo da natureza de cada grupo funcional e caracterização espectroscópica ( STEVENSON, 1994 ).

O alumínio, um dos elementos mais abundante na crosta terrestre, ocorre em diversas formas quimicamente complexas ( SOON, 1993 ). Na solução do solo, este alumínio pode ocorrer em forma de polímeros e monômeros inorgânicos e complexos orgânicos, tais como Al ligado à fração ácido fúlvico. Na fase sólida pode ocorrer como íon trocável, precipitado como hidróxidos e/ou óxidos, e/ou fazendo parte das estruturas dos minerais ( BACHE, 1986 ).

A Colônia do Apiaú, no município de Mucajaí, foi a região em que o impacto do fogo atingiu proporções mais alarmantes, por ter como base a exploração madeireira extrativista e uma pecuária praticada com o uso do fogo, além da forte seca ocasionada pelo fenômeno “El Niño”, na estação seca de 1988. O modelo agrícola regional é do tipo itinerante, com roças de milho, feijão, algumas hortaliças e plantio de banana.

Neste capítulo, teve-se como objetivo estudar as mudanças ocorridas nos constituintes orgânicos dos solos pelo cálculo do estoque de carbono, caracterização das substâncias húmicas, o grau de humificação, e as implicações dos diferentes sistemas de uso e da ação do fogo nas diferentes formas de alumínio em áreas da Colônia Agrícola do Apiaú, Estado de Roraima.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1- Procedimentos de amostragens

Um total de 77 amostras foram coletadas no ano de 2000, em oitos perfis de solos representativos das áreas em estudo, descritos no capítulo 1 da tese, com quatorze amostras compostas superficiais adicionais compostas, em triplicatas, correspondentes aos perfis e áreas de mata que sofreram interferência de uso e/ou da ação do fogo, na Colônia Agrícola do Apiaú.

As áreas foram selecionadas em função do tempo e do tipo de uso, sendo divididas em 4 grupos de áreas:

Área 1 - Gleissolo com pastagem de *Braquiaria humidicola* + *brizantha*; Argissolo com *Braquiaria humidicola* + *brizantha*, ambos em uso por dez anos, mata não queimada, mata queimada e plantio de milho por anos.

Área 2 - Gleissolo com plantio de *Braquiaria humidicola* e Argissolo com plantio de *Braquiaria humidicola*, cultivados por sete anos, mata queimada e não queimada.

Área 3 – Latossolo com plantio de Banana por cinco anos e Latossolo sob mata queimada, capoeira de cinco anos servindo como pasto nativo.

Excluído:

Área 4 – Argissolo com pastagem de *Braquiaria brizantha*, desmatada a mais de quinze anos e infestada por invasoras.

## **2.2 - Determinação quantitativa do carbono orgânico total e fracionamento da matéria orgânica**

O carbono orgânico total foi determinado em triplicata, utilizando o método descrito por YEOMANS e BREMNER ( 1988 ), e o fracionamento das substâncias húmicas foi realizado segundo a técnica do fracionamento diferencial estabelecido pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas ( IHSS ) descrito por SWIFT et al. ( 1996 ). O estoque de carbono e humina foram estimados corrigindo-se para valores de densidade do solo da região amazônica, determinados por BATJES e DIJKSHOORN ( 1999 ).

## **2.3 - Extração e purificação dos ácidos húmicos para fins de Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR)**

As frações Ácidos Húmicos ( FAH ) das amostras superficiais ( n= 14 ) foram extraídos e purificados segundo a técnica padrão adotada pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas ( IHSS ) ( SWIFT et al., 1996 ).

Os espectros de ressonância paramagnética eletrônica dos ácidos húmicos foram obtidos em amostras sólidas utilizando um espectrômetro de EPR, Bruker EMX, operando em banda X ( 9GHz ) e cavidade retangular, potência de 0,2 mw, amplitude de modulação de 1 Gauss pico a pico, pertencente ao Laboratório da Embrapa Instrumentação - CNPDIA.

Para quantificação dos radicais livres do tipo semiquinona foi utilizado o método do padrão secundário ( SINGER, 1959 ) com um cristal de rubi (  $Al_2O_3$  ) contendo 0,5% de  $Cr^{3+}$  por peso. Seu fator g ( ganho ) é de 1,263 e, portanto, não interfere com o sinal do radical

livre semiquinona, cujo valor de  $g$  está em torno de 2,003 ( MARTIN- NETO et al., 1998 ), obtendo-se o número de spins pela área dos radicais livres semiquinona através da fórmula aproximada  $I \times \Delta H^2$ , onde  $I$  é a amplitude do sinal e  $\Delta H$  a largura de linha de Gauss ( Figura 1 ).

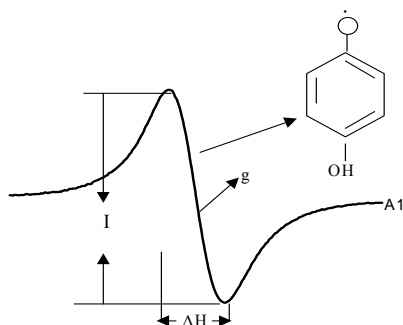


Figura 1 – Modelo dos níveis de energia do spin eletrônico de amostra de ácido húmico na presença de um campo magnético, mostrando sinais dos radicais semiquinona.

#### 2.4 - Termogravimetria dos ácidos húmicos de amostras superficiais de solos da Colônia Agrícola do Apiaú

As análises termogravimétricas das amostras superficiais de ácidos húmicos ( $n = 14$ ) foram feitas em um analisador TGA-50 SHIMADZU, usando amostras com peso de  $3,0 \pm 0,2000$  mg em ambiente estático ao ar. Iniciou-se o processo à temperatura  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a curva de aquecimento foi de  $5\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$  até  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com um tempo de espera de 10 min, seguido de aquecimento a  $5\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$  até  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ , quando detectado o final da queima pela estabilização do peso do resíduo. O processo consumiu em média 2 h e 30 min por amostra, além de 30 min adicionais para o resfriamento do aparelho. As curvas de termodecomposição foram processadas por um microcomputador acoplado ao instrumento, utilizando o programa TA-50 WSI ( SHIMADZU, 1989 ), a uma razão de um ponto a cada 10 segundos,

num total de 800 pontos por curva. A perda de peso até 105 °C, incluído o tempo de espera, foi considerada como umidade da amostra. O resíduo, ao final da queima, foi considerado como o teor de cinzas ( HUFFMAN e STUBER, 1985 ). Esta metodologia foi padronizada por BENITES ( 2002 ).

## **2.5 - Análise elementar ( CHN ) dos ácidos húmicos extraídos de amostras superficiais de solos da Colônia Agrícola do Apiaú**

A composição elementar dos ácidos húmicos foi determinada em um analisador elementar Perkin Elmer PE - 2400 CHNS. As análises foram feitas utilizando-se amostras de  $1,1000 \pm 0,1000$  mg, pesadas em microbalança acoplada ao aparelho. O padrão de referência usado foi a acetanilida ( C = 71,09 %, H = 6,71 %, N = 10,36 % ) e as leituras das amostras alternadas por leituras de brancos, na razão de um branco para cada quatro amostras. Os valores de carbono, hidrogênio e nitrogênio determinados foram corrigidos para base seca, utilizando as informações obtidas pelos dados da análise termogravimétrica, através da equação:

$$\% \text{ corrigido} = \% \text{ original} \cdot 100 / ( 100 - \% \text{umidade} - \% \text{cinzas} ).$$

Foi subtraído, do teor de hidrogênio determinado pelo aparelho, o hidrogênio contido na umidade, determinada pela termogravimetria, previamente à correção para base seca e sem cinzas. O teor de oxigênio foi determinado por subtração a partir dos dados corrigidos. Calculou-se as razões atômicas:

$$\text{C:H} = [ ( \% \text{C} / 12 ) / ( \% \text{H} / 1 ) ],$$

$$\text{C:N} = [ ( \% \text{C} / 12 ) / ( \% \text{N} / 14 ) ] \text{ e}$$

$$\text{O:C} = [ ( \% \text{O} / 16 ) / ( \% \text{C} / 12 ) ].$$

## **2.6 – Formas de alumínio nos horizontes superficiais e subsuperficiais de solos da Colônia Agrícola do Apiaú**

As diferentes formas de alumínio foram determinadas na fração terra fina, em duplicatas, utilizando-se a metodologia proposta por SOON (1993). O Al trocável foi extraído por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, Al complexado à matéria orgânica por CuCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> + KCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> e o Al em forma de polímeros fortemente adsorvidos, por NH<sub>4</sub>OAc 1 mol L. Os óxidos e hidróxidos de alumínio e Al de baixa cristalinidade foram extraídos por oxalato de amônio 0,2 mol L<sup>-1</sup> a pH 3,0 e o alumínio entrecamada foi determinado por citrato de sódio 0,33 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,3, ambos em sub-amostras de solo. Os três primeiros tipos de extrações foram realizadas na mesma amostra, de forma seqüenciada. O alumínio total foi extraído por digestão triácida (HCl + HF + HNO<sub>3</sub>) em forno microonda. As determinações dos teores de Al extraídos foram feitas por espectrometria de emissão de plasma. Os teores de óxidos e hidróxidos de Al de baixa cristalinidade foram obtidos pela diferença entre o Al extraído por oxalato de amônio e o Al extraído por [Al-KCl + Al-(KCl + CuCl<sub>2</sub>)]. O Al entrecamada foi obtido pela diferença entre o Al extraído por citrato de sódio e o Al extraído por oxalato de amônio.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 - Determinação quantitativa do carbono orgânico total

Os resultados obtidos para o carbono orgânico total ( COT ) ( Quadro 1 ) mostram que os ambientes sofreram variações nos teores em função do tipo de uso e do evento extremo da queima, ocorrido dois anos antes, principalmente no ambiente de floresta. O processo de conversão floresta/pastagem ou agricultura provocou redução aparente nos teores de carbono, que variaram entre 17%, 29% e 14%, respectivamente, para os perfis 1, 2 e plantio de milho recente ( 2 anos ), na camada superficial do solo. Conseqüentemente, os menores teores de carbono foram obtidos na área com mais de 15 anos de uso, com pastagem de *Braquiaria brizantha*. As áreas de mata que sofreram queima apresentaram teores mais elevados de carbono orgânico em superfície do que as áreas de mata não queimadas. Estes valores, um pouco maiores, devem ser resultantes do aporte instantâneo de matéria orgânica através da combustão parcial da fitomassa, na época do fogo. No caso do Gleissolo ( perfil 3 ), a pastagem de *Braquiaria humidicola* mais conservada e as condições anaeróbias favorecem a decomposição lenta da matéria orgânica.

O tempo de uso e a qualidade da pastagem ( perfil 7 e 8 ) indicam redução nos teores de carbono do solo, quando comparado com solos

sob floresta, que possuem maiores teores de carbono e melhor distribuição ao longo do perfil. Embora KOUTIKA et al. ( 1997 ) tenham encontrado maior estoque de carbono no solo, em áreas de pastagem de *Braquiaria humidicola* e *Panicum maximum* após 12 e 17 de cultivo, ressalta-se que o tipo de manejo, fertilidade natural do solo e pressão de pastejo devem ser levadas em consideração. A qualidade do solo e o tipo da vegetação que substitui a floresta são de fundamental importância para o estoque de carbono do solo ( BERNOUX et al., 2002 ).

Os Gleissolos, correspondentes aos solos de várzeas ou de terras baixas, segundo a classificação de COCHRANE et al. ( 1985 ) para teores de carbono em terras baixas da América Tropical, apresentaram teores médios de carbono.

### **3.2 - Fracionamento da matéria orgânica**

As frações húmicas, compostas pelas frações ácidos fúlvicos, húmicos e huminas ( Quadro 1 e 2 ), representam as condições em que a matéria orgânica se encontra compartimentalizada nos diversos ambientes em estudo. A taxa de recuperação destas frações variou entre 62% e 100,5%. A fração humina foi a predominante, com valores entre 20 e 65% do total de carbono orgânico total ( COT ) em todos os solos, com correlações altamente significativas com o carbono orgânico total (  $R = 0,95^{***}$  ), ( Figura 2b ). A fração humina, que resulta em parte da insolubilização dos compostos orgânicos, mostrou maior expressão relativa ao carbono total nas áreas de mata que sofreram ação do fogo. Igualmente, os solos com maior tempo de uso ( perfis 7 e 8 ) alcançaram valores de humina superiores a 50% do carbono orgânico total em profundidade. Porém, os teores de humina não variaram com grande intensidade nas profundidades superiores a 20 cm, entre os perfis. Estes resultados encontram-se de acordo com MATOS et al. ( 2001 ), que obtiveram variações expressivas nos teores de humina das camadas

subsuperficiais de solo, quando comparados os sucessivos anos de cultivo com adubação e consórcio milho-feijão à mata nativa.

No presente estudo, as áreas de mata, principalmente as que sofreram ação do fogo, mostraram o efeito de transformação da matéria orgânica fresca em “black carbon”, representada em grande parte pela humina, devido à oxidação incompleta. Embora uma certa parte da humina represente a matéria orgânica leve, insolúvel, entende-se, pela diferença entre os teores de humina nas áreas de mata queimada e não queimada, que o carvão residual passou a representar um estoque expressivo no solo, podendo atingir cifras bastante significativas de carbono de baixa ciclagem.

Estes valores podem contribuir para se estimar o estoque de carbono seqüestrado pelo solo, cuja ciclagem dependendo do tipo de solo, pode demorar até 5.000 anos ( STEVENSON, 1994; GLASER et al., 1999 ). Estimativas do seqüestro de carbono em solos brasileiros foram feitas por BERNOUX et al. ( 2002 ) em função do estoque de carbono do solo. Porém, observa-se que o estoque de carbono no solo pode variar de acordo com a qualidade da matéria orgânica que determina a ciclagem deste carbono, e também com a profundidade do solo.

Os solos que apresentaram maiores teores absolutos da fração ácido fúlvico foram os Gleissolos ( P1 e P3 ) e o Argissolo ( P2 ), em que uma maior produção de biomassa pela pastagem está contribuindo para o aporte de matéria orgânica mais reativa. Por outro lado, os baixos valores da FAF da área plantada com milho refletem as ações recentes do processo de desmatamento e queima, cuja fração dominante é a humina, em detrimento das outras frações.

A FAH mostrou correlação de  $R=0,9^{***}$ , com os teores de carbono total ( Figura 2a ). Nos perfis ( P4, P5 e P6 ), correspondentes ao Argissolo ( com pastagem ) e Latossolos ( com plantio de banana e mata queimada ), respectivamente, houve uma maior distribuição da fração AH em profundidade, indicando maior movimentação desta fração no solo aumentando a relação FAH/FAF. No perfil 4, este fenômeno pode

ser explicado pela natureza cascalhenta do solo que pode favorecer a uma maior movimentação em profundidade dos constituintes orgânicos.

Quadro 1 – Carbono orgânico total e fracionamento da matéria orgânica, percentuais relativos de humina em relação ao somatório das frações, estoque de carbono e humina em profundidade.

Perfil	Solo	Hor.	Prof. cm	-----mg g <sup>-1</sup> -----				Σ	FHU	FHU	C	C	FHU/C	FAH/FAF
				FAF	FAH	FHU	%		kg ha <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	%		
1	GXbd	Ap	0-7	4,63	3,10	6,60	14,33	46,06	5.590	1,81	15.331	36,46	0,67	
		A <sub>2</sub>	7-20	2,71	1,44	3,04	7,19	42,28	4.782	1,09	17.146	27,89	0,53	
		Cg <sub>1</sub>	20-43	2,54	0,45	1,49	4,48	33,26	4.147	0,90	25.047	16,56	0,18	
		Cg <sub>2</sub>	43-80+	2,83	0,43	1,81	5,07	35,70	8.103	0,76	34.025	23,82	0,15	
2	PAd	Ap	0-12	8,51	1,44	5,02	14,97	33,53	7.831	1,54	24.024	32,60	0,17	
		BA	12-28	6,95	0,72	2,94	10,61	27,71	6.115	1,11	40.404	15,14	0,10	
		Bt <sub>1</sub>	28-52	5,38	0,24	1,96	7,58	25,86	6.115	0,95	29.640	20,63	0,04	
		Bt <sub>2</sub>	52-80+	4,74	0,11	1,99	6,84	29,09	7.244	0,86	31.304	23,14	0,02	
3	GXbd	Ap	0-8	10,81	3,47	7,31	21,92	33,35	7.076	2,18	21.102	33,53	0,32	
		A <sub>2</sub>	8-24	7,14	0,85	2,65	13,97	18,97	5.130	1,22	23.619	21,72	0,12	
		AC	24-46	4,30	0,49	1,55	6,34	24,45	4.126	0,78	20.764	19,87	0,11	
		Cg <sub>1</sub>	46-70	4,66	0,27	1,54	6,47	23,80	4.472	0,87	27.144	16,48	0,06	
		Cg <sub>2</sub>	70-100+	3,62	0,18	1,24	5,04	24,60	4.501	0,72	28.080	16,03	0,05	
4	PAd	Ap	0-14	2,45	2,58	4,26	9,29	45,86	7.753	1,43	26.026	29,79	1,05	
		BA	14-25	2,10	1,79	3,36	7,25	46,34	4.472	1,14	16.302	27,43	0,85	
		Bt <sub>1</sub>	25-48	1,89	1,53	2,83	6,25	45,28	7.876	1,16	34.684	22,71	0,81	
		Bt <sub>2</sub>	48-80	1,43	1,41	2,69	5,53	48,64	10.416	0,98	40.768	25,55	0,99	
		Bt <sub>3</sub>	80-106+	0,69	1,07	1,01	2,77	36,46	3.178	0,65	21.970	14,46	1,55	
5	LAd	Ap	0-6	2,54	4,40	7,23	14,17	51,02	5.639	1,81	14.118	39,94	1,73	
		BA	6-22	2,13	2,02	3,20	7,35	43,54	6.656	1,25	26.000	25,60	0,95	
		Bw <sub>1</sub>	22-52	1,48	1,68	2,37	5,53	42,86	9.243	0,95	37.050	24,95	1,14	
		Bw <sub>2</sub>	52-86+	0,69	0,78	1,45	3,25	44,62	6.409	0,75	33.150	19,33	0,76	
6	LAd	A	0-10	5,17	7,55	11,36	24,08	47,18	14.768	2,88	37.440	39,44	1,46	
		AB	10-18	3,12	2,98	5,29	11,39	46,44	5.502	1,64	17.056	32,26	0,96	
		BA	18-26	2,35	1,94	3,81	8,10	47,04	3.962	1,35	14.040	28,22	0,83	
		Bw <sub>1</sub>	26-58	1,68	1,70	2,80	6,18	45,31	11.648	1,01	42.016	27,72	1,01	
		Bw <sub>2</sub>	58-80+	1,22	0,93	2,32	4,47	51,90	6.635	0,82	23.452	28,29	0,76	
7	PAd	Ap	0-14	1,41	1,85	3,64	6,9	52,75	6.625	1,06	19.292	34,34	1,31	
		BA	14-29	1,33	1,10	2,38	4,81	49,48	4.641	0,92	17.940	25,87	0,83	
		Bt <sub>1</sub>	29-56	1,10	0,66	1,71	3,47	49,28	6.002	0,74	25.974	23,11	0,60	
		Bt <sub>2</sub>	56-93+	0,79	0,64	1,59	3,02	52,65	7.648	0,54	25.974	29,44	0,81	
8	PAd	Ap	0-10	1,63	2,47	4,18	8,28	50,48	5.434	1,25	16.250	33,44	1,52	
		BA	10-23	1,46	1,54	3,13	6,13	51,06	5.290	0,77	13.013	40,65	1,05	
		Bt <sub>1</sub>	23-46	1,18	0,76	2,12	4,06	52,22	6.339	0,42	12.558	50,48	0,64	
		Bt <sub>2</sub>	46-90+	1,10	0,62	1,81	3,53	51,27	10.353	0,50	28.600	36,20	0,56	

FAF – fração ácido fúlvico, FAH – fração ácido húmico, FHU – fração humina.

Quadro 2 – Carbono orgânico total, fracionamento da matéria orgânica, percentuais relativos de humina em relação ao somatório das frações, estoque de carbono e humina de amostras superficiais nos diferentes agrossistemas.

Ambientes	Prof.	FAF	FAH	FHU	$\Sigma$	FHU	FHU	C	C	FHU/C	FAH/FAF
	cm	-----mg g <sup>-1</sup> -----			%	kg ha <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	%	
MNQ <sub>1</sub> V8	0-10	2,51	2,91	9,45	14,87	63,55	13.135	2,18	30.302	43,35	1,16
MQ <sub>1</sub> V8	0-10	1,52	2,95	12,34	16,81	73,41	17.153	2,71	37.669	45,54	1,94
PMRV8	0-10	1,09	2,40	9,52	13,01	73,17	13.234	1,87	25.993	50,91	2,20
MNQ <sub>2</sub> V7	0-10	1,65	2,22	6,67	10,54	63,28	9.271	1,09	15.151	61,19	1,35
MQ <sub>2</sub> V7	0-10	4,31	5,55	18,73	28,59	65,51	26.035	2,92	40.588	64,14	1,29
CAPV10	0-10	2,44	3,10	10,20	15,74	64,80	14.178	1,64	22.796	62,19	1,27

Nos perfis FAF – fração ácido fúlvico, FAH – fração ácido húmico, FHU – fração humina; MNQ<sub>1</sub>V8 – área 1 mata não queimada vicinal 8; MQ<sub>1</sub> -mata queimada; MQ<sub>2</sub>V7 – área 2, vicinal 7; PMR – área 1, plantio de milho recente; CAPV10 – área 3, capoeira, vicinal 10.

Latossolo ( P5 e P6 ), valores maiores de FAH, em profundidade, podem ser justificados pela incorporação de matéria orgânica nos microagregados, em virtude da intensa pedoturbação biológica ( JONES et al., 1994 ), principalmente no perfil 5 ( Quadro 4 ), onde as condições de eutrofismo favorecem a maior atividade da mesofauna.

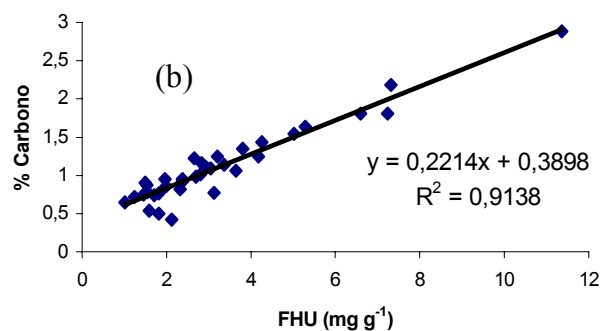
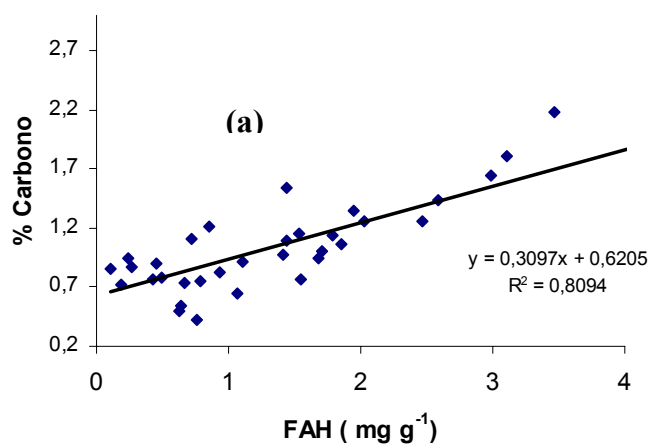


Figura 2 - Correlações das frações ácidos húmicos ( a ) e humina ( b ) com o carbono orgânico total.

### 3.3 - Avaliação dos efeitos dos diferentes tipos de uso dos solos sobre as frações ácidos húmicos em comparação com mata natural e mata queimada com emprego de EPR

A determinação de radicais livres do tipo semiquinona, quantificados através da concentração de spins g<sup>-1</sup> de C ( Quadro 3 ), resulta em importante informação sobre a qualidade da matéria orgânica nas diversas condições em que se encontram os solos. As curvas dos

espectros de EPR ( Figura 3 ) registram o comportamento espectral das amostras de ácidos húmicos. Os sinais presentes correspondem a radicais livres estáveis do tipo semiquinona, existentes em substâncias húmicas ( RIFFALDI e SCHNITZER, 1972 ). A quantificação dos radicais livres semiquinona, levando em consideração os percentuais de carbono nas amostras, foram menores nas áreas de mata natural. A presença significativa de fragmentos de carvão entre 2 e 5 cm de profundidade, na amostra 1, em observações de campo, vem refletir na qualidade das substâncias húmicas, justificando um maior valor de sinais spins, quantificando maiores concentrações de radicais livres do tipo semiquinona, o que indica um maior grau de aromaticidade dos ácidos húmicos.

Na amostra 5, cultivada com milho por apenas dois anos, valores expressivos de spins  $g^{-1}$  de C ilustram o processo de conversão da floresta para cultivo, com uso de fogo para limpeza total da área e o revolvimento do solo pela capina. A menor incorporação de biomassa através da palha e a queima resultou em uma matéria orgânica mais humificada.

As áreas de mata natural apresentaram menores valores de radicais em comparação com áreas que foram queimadas. CHARMELO ( 2000 ) encontrou menores concentrações de spins  $g^{-1}$  ( menor aromaticidade ) em solos com floresta, quando comparados a áreas de pastagens e fruticultura, porém o valor em sistema com fruteiras foi maior do que nas pastagens. VALE JÚNIOR ( 2000 ), estudando a qualidade de ácido húmico de sistemas de manejo nas regiões de Pacaraima e Taiano ( Roraima ), verificou que as áreas onde a presença do fogo foi mais intensa houve maiores concentrações de radicais livres semiquinonas, ao contrário de áreas com sistemas do tipo agrofloresta e floresta primária.

Os valores muito baixos de spins  $g^{-1}$  de C nas amostras 13 e 14 da vicinal 02 em pastagem de braquiária, devem estar relacionados com a menor atividade microbológica decorrente da acidez elevada, retardando o processo de humificação.

Observando-se os valores encontrados para as diferentes condições de uso do solo, verifica-se que o tipo de uso, o tipo de vegetação e as práticas de manejo que interferem nas condições físicas e hídricas dos solos, contribuem para variações nas condições de humificação da matéria orgânica. MARTIN-NETO et al. (1994) observaram variações na qualidade dos ácidos húmicos com a variação das frações de agregados dos solos.

Quadro 3 – EPR de ácidos húmicos de amostras superficiais de solos com usos diferenciados e mata natural queimada e não queimada.

Local	Ambientes	Spin g <sup>-1</sup>	Massa C (mg)	Spin g <sup>-1</sup> C x10 <sup>17</sup>
*VC-08	1 – Gleissolo com pastagem – Bh + Bb	1,84 . 10 <sup>17</sup>	12,88	3,59
	2 – Argissolo com pastagem – Bb	9,97 . 10 <sup>16</sup>	11,98	1,93
	3 – Mata natural	1,78 . 10 <sup>16</sup>	9,68	0,63
	4 – Mata queimada	1,10 . 10 <sup>17</sup>	11,99	2,08
	5 – Plntio de milho recente	1,27 . 10 <sup>17</sup>	15,33	2,42
VC-07	6 – Gleissolo com pastagem - Bb	2,21 . 10 <sup>16</sup>	7,10	0,89
	7 – Argissolo com pastagem – Bb	4,95 . 10 <sup>16</sup>	11,93	1,21
	8 – Mata natural	2,89 . 10 <sup>16</sup>	7,54	1,04
	9 – Mata queimada	3,49 . 10 <sup>16</sup>	6,53	1,25
VC-10	10 – Latossolo com plantio de banana	3,95 . 10 <sup>16</sup>	9,70	0,94
	11 – Latossolo com mata queimada	5,94 . 10 <sup>15</sup>	6,37	0,78
	12 – Capoeira	3,25 . 10 <sup>16</sup>	7,17	1,26
VC-02	13 – Argissolo com pastagem – Bb	1,80 . 10 <sup>16</sup>	7,33	0,62
	14 – Argissolo com pastagem – Bb, relevo plano	1,25 . 10 <sup>16</sup>	7,99	0,39

\*VC- estrada vicinal. Bh – *Braquaria humidicola*, Bb – *Braquaria brizantha*.

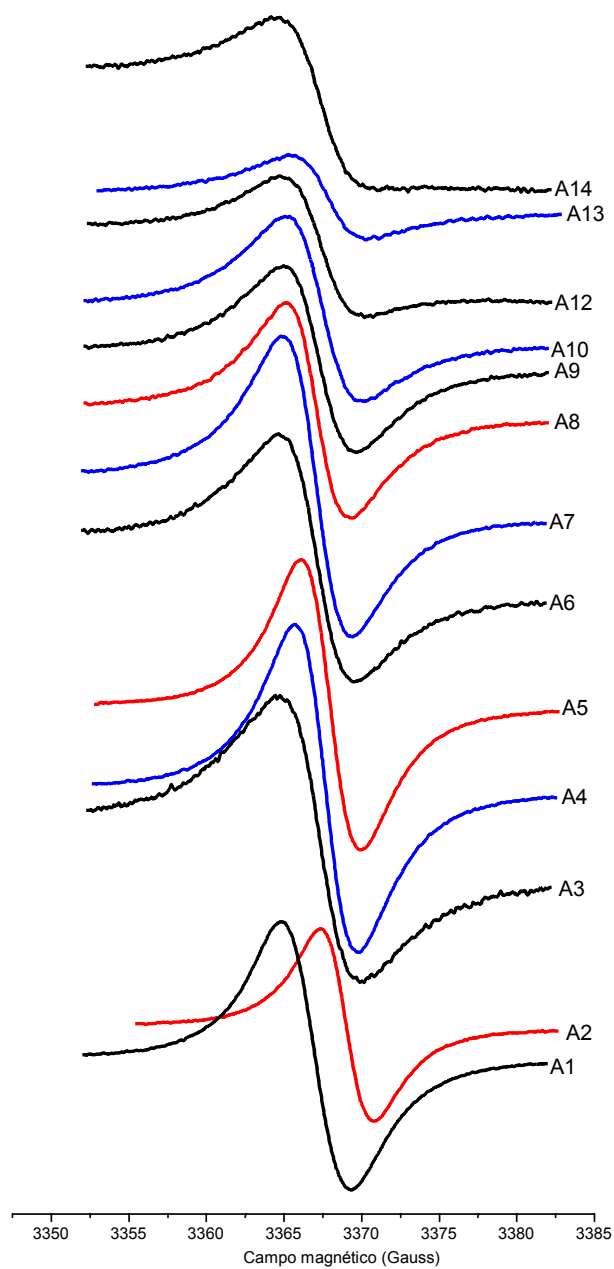


Figura 3 – Curvas de espectro de EPR de ácidos húmicos de amostras superficiais de diferentes condições de solos da Colônia Agrícola do Apiaú. As curvas numeradas de A1 a A14 corresponde às amostras superficiais da seqüência apresentada no Quadro 3.

### **3.4 – Composição elementar de AH extraído das diferentes condições dos solos**

A análise elementar dos ácidos húmicos apresenta uma composição com o carbono variando entre 43 e 64% (Quadro 3). Os valores aqui encontrados têm maior amplitude do que aqueles obtidos por STEVENSON (1994), e comparáveis aos obtidos por VARADACHARI e GHOSH (1984). Valores mais elevados de carbono e menores de oxigênio, como observados neste estudo, correspondem, segundo BENITES (2002), a estruturas orgânicas mais fechadas e com maior grau de aromaticidade.

A razão atômica H:C para as amostras foi inferior àquelas descritas por STEVENSON (1994) e semelhante às obtidas por BENITES (2002), revelando a presença de estruturas orgânicas com maior grau de aromaticidade (Quadro 3). Valores um pouco maiores foram observados para as áreas de mata independente da ação do fogo. Esta condição pode estar relacionada com a qualidade da matéria orgânica não oxidada, adicionada ao solo após o processo de queimada.

Os valores de N também encontram-se dentro das faixas descritas na literatura (SCHNITZER e KHAN, 1978), mas com variações acentuadas em função dos teores de carbono das amostras (Quadro 3). O enriquecimento de nitrogênio dos ácidos húmicos indica aumento da humificação (CANELLAS et al., 1999).

Quadro 3. Composição elementar das amostras superficiais de solos da Colônia do Apiaú.

Local	Amostras	Peso amostra (105 °C), mg	C	H	N	O	C:N	H:C	Cinzas %
			%						
			descontados os teores de cinzas						
	Acetanilida	1,174	71,25	6,75	10,33	11,67	-	-	-
VC8	A1-GXbd, pastagem – Bh + Bb	1,080	57,13	4,68	4,25	33,94	15,7	1,0	4,2
	A2-PAd, pastagem – Bb	1,153	64,10	5,67	4,89	25,34	15,3	1,1	0,09
	A3-MNQ	1,148	45,48	5,29	3,46	38,74	15,3	1,4	34
	A4- MQ	1,103	55,06	4,52	4,77	35,65	13,5	1,0	0,5
	A5-PMR	1,150	55,53	4,70	5,28	34,49	12,3	1,0	0,6
VC7	A6-GXbd, pastagem – Bb	1,150	43,13	5,04	3,15	48,68	16,0	1,4	29
	A7-PAd, pastagem – Bb	1,082	59,45	5,50	4,73	30,32	14,7	1,1	19,4
	A8-MNQ	1,046	48,25	5,63	3,86	42,26	14,6	1,4	32,7
	A9-MQ	1,074	64,52	7,70	5,42	22,36	13,9	1,4	39
VC10	A10-LAd, plantio de banana	1,005	61,14	6,02	6,03	26,81	11,8	1,2	17,8
	A13-PAd, pastagem – Bb	1,147	54,99	5,91	4,36	34,74	14,7	1,3	35,8
VC02	A14-PAd, pastagem – Bb, relevo plano	1,076	50,85	5,30	4,29	38,56	13,8	1,3	27,9

Bh – Braquiaria humidicola; Bb – Braquiaria brizantha; MNQ – mata não queimada; MQ -mata queimada; MQ2V7 – área 2, vicinal 7; PMR – área 1, plantio de milho recente; CAPV10 – área 3, capoeira, vicinal 10.

### 3.5 - Termodecomposição dos ácidos húmicos

Os termogramas diferenciais das amostras superficiais de ácidos húmicos de diferentes ambientes ( condições de uso da terra ) são ilustrados na Figura 4. A primeira derivada das curvas de termodecomposição mostra as taxas de perdas de peso em função da temperatura, com curvas que representam os principais picos de perda máxima de energia necessária ao rompimento das ligações das estruturas orgânicas presentes. O comportamento das curvas indica perdas de peso em diferentes posições. Abaixo de 350 °C, conforme IBARRA et al. ( 1994 ), DELL'ABATE et al. ( 2002 ) e BENITES ( 2002 ), os picos representam grupos funcionais alifáticos.

Observou-se, também, que na faixa de temperatura entre 105 e 350 °C as curvas tiveram comportamento variado quanto a energia desprendida para quebra das estruturas orgânicas, indicando variação nos tipos de grupos funcionais presentes. Em função das características das curvas, observou-se também variações, quando a necessidade de energia absorvida, em que as amostras 3, 6, 8, 9 e 14 demandaram mais

energia para decomposição, indicando a presença de ácidos húmicos de estruturas mais complexas em relação às das demais áreas. As curvas das derivadas de termodecomposição das amostras 3, 4, 5 e 6 evidenciaram ácidos húmicos com estruturas mais complexas, exigindo maiores gastos de energia para termodegradação entre 500 e 600 °C, indicando ocorrência de estruturas aromáticas em picos que se fazem presente em temperaturas superiores a 350 °C ( BENITES, 2002 e DELL' ABATE et al., 2002 ), com comportamento diferenciado quanto à energia necessária à quebra de suas estruturas. Diferenças na curva de decomposição termal de ácidos húmicos são conseqüência do grau de humificação e dos diferentes processos químicos e biológicos que influenciam as substâncias húmicas ( IOSELIS et al., 1985; ESTEVES e DUARTE, 1999 ).

A perda de peso ( Quadro 4 ) foi mais expressiva em temperaturas acima de 350 °C, com variações entre 53 e 78%. Já em temperatura entre 105 e 350° C, as perdas variaram entre 26 e 44%, caracterizando dois principais eventos de termodecomposição. As amostras 3, 6, 8 e 14 exigiram temperaturas maiores para termodecomposição, indicando a presença de estruturas orgânicas mais complexas. O índice termogravimétrico variou entre 1,14 e 3,08, retratando a resistência à termodecomposição imposta pelos ácidos húmicos. Estes valores se mostraram inferiores aos obtidos por BENITES ( 2002 ), a partir dos quais se pode fazer inferências quanto à qualidade dos ácidos, de acordo com o ambiente.

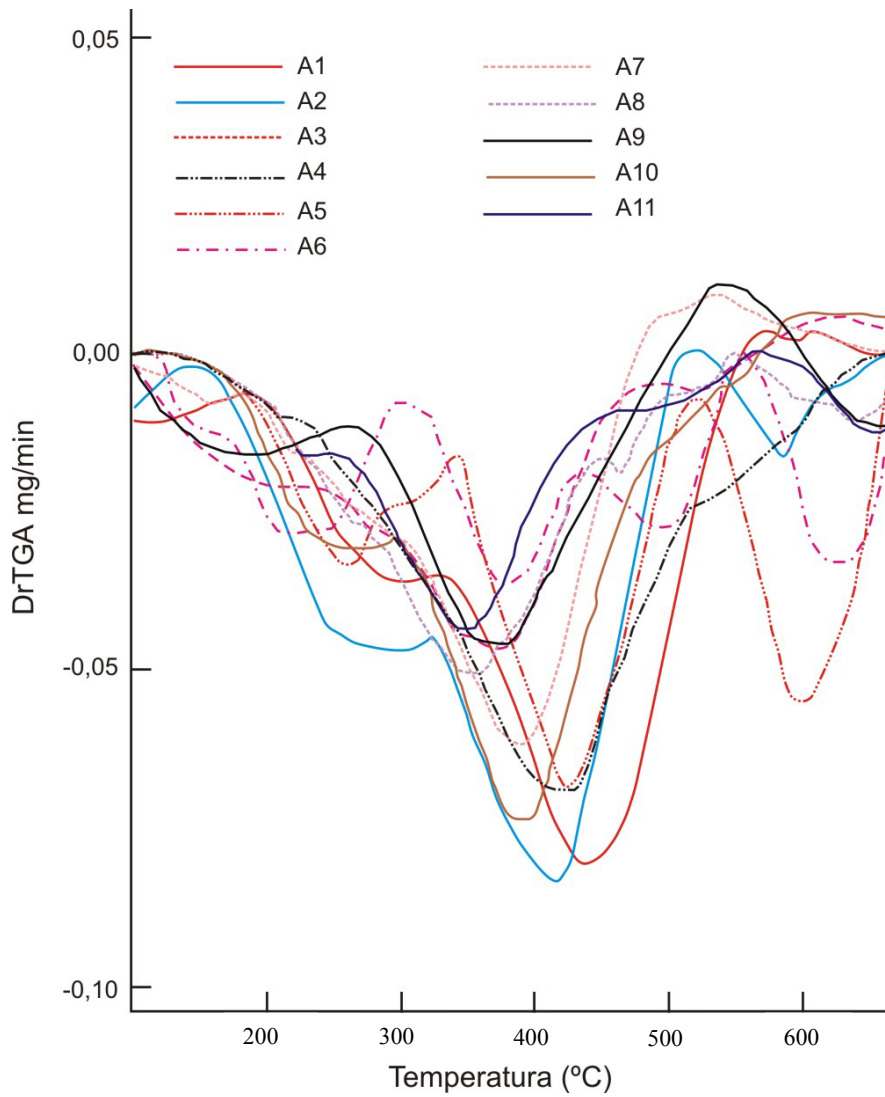


Figura 4 – Curvas da primeira derivada dos termogramas de ácidos húmicos extraídos de horizontes superficiais de solos da Colônia Agrícola do Apiaú, sob diferentes condições de uso.

Quadro 4 - Análise termogravimétrica de ácidos húmicos extraídos de amostras superficiais de diferentes condições de uso dos solos da Colônia Agrícola do Apiaú.

Áreas	Amostra	Umidade %	Cinzas	PPI		ITG	Qmáx °C
				105-350°C	350-650°C		
VC - 08	A1 - GXbd, pastagem - Bh + Bb	5,9	4,2	32,5%	67,5%	2,08	529
	A2 - PAd, pastagem - Bb	4,9	0,9	43,2%	56,8%	1,31	518
	A3 - MNQ	2,4	34	29,7%	70,3%	2,36	640
	A4 - MQ	5,3	0,5	26,4%	73,6%	2,79	585
	A5 - PMR	4,5	0,6	25,5%	78,5%	3,08	600
VC - 07	A6 - GXbd, pastagem - Bb	3,9	29	46,7%	53,3%	1,14	648
	A7 - PAd, pastagem - Bb	4,8	19	42,6%	57,4%	1,35	455
	A8 - MNQ	5,4	33	42,0%	58,0%	1,38	697
	A9 - MQ	9,9	39	44,5%	55,5%	1,25	600
VC - 10	A10 - LAd, plantio de banana	8,0	18	34,1%	65,9%	1,93	592
VC - 02	A14 - PAd, pastagem - Bb, relevo plano	3,8	28	40,4%	59,6%	1,47	698

PPI-Perda de peso por ignição. ITG-Índice termogravimétrico. Qmáx - Energia máxima. Bh - Braquiária humidícola. Bb - Braquiária brizantha.

### 3.5 - Formas de alumínio nas diferentes tipos de uso dos solos da Colônia Agrícola do Apiaú

As formas trocáveis de alumínio (Al-KCl), (Quadro 5), têm valores pouco expressivos, como esperado, tendo em vista os valores das análises de rotina, e não apresentam variações entre os horizontes e os perfis. O alumínio complexado pela Matéria Orgânica (MO), extraído pelo  $\text{CuCl}_2$ , apresentou comportamento diferenciado entre os ambientes com valores decrescentes em profundidade nos solos 1 (GXbd), 2 (PAd), 3 (GXd) e 6 (LAd). Os valores mais elevados de Al nos horizontes superficiais destes solos relacionam-se com os maiores valores da fração ácido fúlvico, favorecendo uma maior formação de complexos Al - MO.

Nos perfis 4 e 5, com pastagem de *B. humidicola* não replantada após fogo e o plantio de banana, respectivamente, os teores de Al - MO aumentaram em profundidade. As condições de queima da matéria orgânica, com liberação de bases e alumínio complexado pela MO, promoveram aumento de pH na superfície do solo. No perfil sob mata, próximo à área plantada com banana em Latossolo Amarelo, o aporte de

matéria orgânica proveniente da queima parcial da vegetação primária, na época do fogo, aparentemente favoreceu a maior complexação do Al.

Os solos da área com pastagem de braquiária cultivada por mais de 15 anos ( VC – 02 ), apresentaram teores de alumínio complexado pela matéria orgânica mais baixos, sem variações ao longo dos perfis em valores absolutos, mas com aumento relativo, quando comparados com os teores de carbono ao longo do perfil.

Os teores de alumínio em forma de polímeros ( AIOOH ), extraídos por acetato, mostraram tendência de aumento em profundidade do solo. No entanto, não existiu comportamento diferenciado entre os solos. Valores mais elevados foram obtidos por VALE JÚNIOR ( 2000 ), para solos do tipo Cambissolos ( Serra de Pacaraima ) e Argissolos ( Colônia do Taiano ), em Roraima, e SIMAS ( 2002 ), trabalhando com solos da serra da Mantiqueira Mineira. Nestes aspectos, observa-se a influência da natureza do material de origem, condições ambientais e uso do solo no comportamento das frações de alumínio, indicando menor participação na reserva não trocável de Al do solo, que deve provir do intemperismo da caulinita e de Al-entrecamadas nos argilominerais em ambiente ácido ( JONES e HANDRECK, 1963 ). A mineralogia caulinitica destes solos, apresentada no Capítulo 1 desta tese, e o ambiente de alta ciclagem de sílica, devem inibir a formação de compostos desta natureza, predominando aluminossilicatos amorfos.

Os valores de alumínio entre-camadas, extraídos por citrato de sódio, foram baixos, indicando a pouca contribuição de minerais do tipo VHE em superfície. Porém, observou-se aumento dos valores em profundidade em função do aumento dos teores de argila.

O alumínio na forma amorfa, extraído por oxalato, é o mais uniforme no perfil. Maiores teores encontram-se em profundidade, independente da textura. O Al amorfo pode estar associado ao Fe-amorfo como substituinte isomorfo nos óxidos de Fe menos cristalinos. Porém, observa-se maiores valores de Al-amorfo nos perfis (3, 4, 5 e 6), tanto em superfície como em profundidade. É provável que a matéria orgânica e as condições locais não permitiram uma melhor cristalinidade

dos óxidos, ao contrário dos demais perfis. Contudo, os baixos valores dos óxidos de alumínio podem ser confirmados pela ausência destes minerais nos difratogramas de raios-X, presentes no capítulo 1 desta tese.

Quadro 5 - Formas de alumínio em solos da Colônia Agrícola do Apiaú, Roraima.

Perfil	Solo	Hor.	Al							
			KCl	CuCl <sub>2</sub>	AH <sub>4</sub> OAc	Total*	Citrato	Oxalato	X	Y
cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>										
1	GXbd	Ap	0,25	1,07	0,07	622,21	6,78	5,85	0,93	4,46
		Cg <sub>2</sub>	0,33	0,63	0,10	585,95	15,07	8,61	6,46	7,55
2	PAd	Ap	0,24	0,71	0,06	453,95	14,57	6,18	8,39	5,16
		Bt <sub>2</sub>	0,33	0,43	0,10	858,40	17,95	8,26	9,69	7,41
3	GXbd	Ap	0,33	2,02	0,12	482,96	16,15	15,33	0,82	12,87
		Cg <sub>1</sub>	0,33	0,79	0,15	677,52	24,20	14,65	9,55	13,38
4	PAd	Ap	0,25	0,81	0,09	494,57	18,14	12,50	5,64	11,35
		Bt <sub>2</sub>	0,22	1,26	0,11	876,50	24,05	17,12	6,93	15,54
5	LAd	Ap	0,20	0,67	0,07	685,30	16,37	13,18	3,19	12,23
		Bw <sub>2</sub>	0,33	1,14	0,09	1.140,90	24,43	17,07	7,36	15,51
6	LAd	A <sub>1</sub>	0,33	2,38	0,09	890,90	23,93	16,23	7,71	13,43
		Bw <sub>2</sub>	0,33	1,01	0,07	572,90	19,37	15,69	3,68	14,28
7	PAd	Ap	0,26	0,46	0,07	820,36	5,37	4,92	0,45	4,13
		Bt <sub>2</sub>	0,33	0,35	0,07	1.197,40	15,77	8,68	7,09	7,93
8	PAd	Ap	0,29	0,43	0,08	735,84	5,01	4,42	0,59	3,63
		Bt <sub>2</sub>	0,33	0,54	0,09	448,30	13,95	9,15	4,80	8,19

\*Valores totais em cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para fins de comparação com os valores extraídos. X- Al entrecamadas. Y- Al de baixa cristalinidade.

#### 4 - CONCLUSÕES

A conversão floresta-pastagem ou agricultura causou reduções nos teores de carbono do solo e a combustão parcial da fitomassa, em ambiente de mata, favoreceu o aumento de carbono como resultante do aporte instantâneo de matéria orgânica. Esta matéria orgânica, em forma de humina, representa um estoque expressivo de carbono de baixo “turnover.”

As frações húmicas comportaram-se diferentemente em função do ambiente e das condições impostas, com predomínio da fração humina em todos os solos. O aporte de carbono pela queima da fitomassa favoreceu o aumento dos teores de AF, e as áreas de pastagem mais conservadas, favoreceram o aumento da fração AF, superficialmente, pelo aumento de uma matéria orgânica mais reativa. Nos perfis 5 e 6, o incremento de matéria orgânica pode justificar os maiores valores da FAH em profundidade.

A fração ácido húmico mostrou baixo grau de humificação nas áreas de mata não queimadas, através da quantificação dos radicais livres semiquinonas, enquanto que o maior grau de humificação foi constatado na área cultivada com milho, por apenas dois anos em consequência da remoção da massa vegetal. Menores valores de spins  $g^{-1}$  de C na área de pastagem, trabalhada por mais de quinze anos, podem ser consequência da acidez elevada e da menor atividade microbiana que retardam o processo de humificação.

O aporte de matéria orgânica, pela combustão parcial da fitomassa, parece ter contribuído para a existência de ácidos húmicos mais alifáticos.

O alumínio trocável não apresentou valores expressivos, enquanto o alumínio complexado pela matéria orgânica variou entre as classes e em profundidade, com maiores valores superficiais associados à fração ácido fúlvico.

O alumínio, em forma de polímeros, apresentou valores e pouco variáveis entre os solos, indicando menor participação na reserva não trocável de Al no solo, que deve ser resultante do intemperismo da caulinita e do Al - entrecamadas nos argilominerais, em ambiente ácido.

O Al de baixa cristalinidade é o mais uniforme no perfil, independente da textura e parece associado aos óxidos de Fe pouco cristalinos, como substituinte isomórfico.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Wallingford, CABS Internacional, 1989. 171p.
- BATJES, N.H.; DIJKSHOORN, J.A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. **Geoderma**. 89, 1999. p.273 – 286.
- BACHE, B.W. Aluminium mobilization in soils and waters. **J. Geol. Soc.** 143: 699-706. 1986.
- BENITES, V.M. **Caracterização dos solos e das substâncias húmicas em Complexos de Campo Rupestre de Altitude**. Viçosa, UFV, 2002 (Tese de Doutorado).
- BERNOUX, M; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Brazil's Soil Carbon Stocks. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 66: 888-896. 2002.
- CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, p.27-39. 1999.
- CANELLAS, L.P.; MORAES, A.A.; RUMJANEK, V.M.; SANTOS, G.A. Métodos Complementares. IN: SANTOS G.A.; CAMARGO, F.A.O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre. Genesis. 1999. 508p.

- CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F. Nature and behaviour of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus. **Forest Ecology Management**. 38:247-257. 1991.
- CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; MORAES, J.L. Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia In: **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E. F.; FONTES, M.P.F. Viçosa, SBCS, 1996. p.61-69.
- CHARMELO, L.C.L. **Geoambientes da Bacia do Rio São Mateus e Uso Irrigado de Solos de Tabuleiros**. Viçosa, UFV, 2000. 197p. ( Tese de Doutorado ).
- CHONÉ, T. ANDREUX, F.; CORREA, J.C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Changes in organic matter in na oxisol from the Central amazonian forest during eight years as pasture, determing by <sup>13</sup>C isotopic composition. In: BERTHELIN, J. (Ed.), **Diversity of Environmental Biogeochemistry**. Amsterdam, Elsevier, 1991, p.397-405.
- COCHRANE, T.T.; SANCHEZ, L.G.; AZEVEDO, L.G. de; PORRAS, J.A.; GARVERL, C.L. **A Terra na América Tropical**. Cali: CIAT/EMBRAPA-CPAC, 1985. 146p.
- DAVIS, J.A. Adsorption of natural dissolved organic matter at the oxide/water interface. **Geochim. Cosmochim. Acta**, Oxford, 46, 1982. p.2381-2393.
- DELL'ABATE, M.T.; BENEDETTI, A.; TRINCHERA, A.; DAZZI, C. Humic substances along the profile of two Typic Haploxerert. **Geoderma**, 107, 2002. p.281-296.
- DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26.; 1997, Rio de Janeiro. CDROM... Rio de Janeiro: SBCS, 1997.
- ESTEVES, V.I.; DUARTE, A.C. Thermogravimetric properties of aquatic humic substances. **Marine Chemistry**, 107, 1999. p.225-233.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos com énfasis en suelos de América Latina**. São José, Costa Rica, IICA, 1987. 420p.

- FEARNSIDE, P.M. Greenhouse gas emissions from deforestation in the Brazilian Amazonia: net committed emissions. **Climate Changes**, 35, 1997. p.321-360.
- GLASER, B.; GUGGENBERGER, G.; HAUMAIER, L.; ZECH, W. Burning residues as conditioner to sustainably improve fertility improve in highly weathered soils of the Brazilian Amazon region. **Proceedings of the BSSS conference**. Edinburgh, Scotland, 1999. 5p.
- HACTHER, P.G.; BREGER, I.A.; MACIEL, G.E.; SZEVERNÝI, N.M. Geochemistry of humin. IN: AIKEN, R.L.; HACTHER, P.G. (Eds.). **Humic substances in soil, sediment and water: geochemistry, isolation and characterization**. New York: John Wiley, 1985. p.275-302.
- HUFFMAN, E.W.D.; STUBER, H.A. Analytical methodology for elemental analysis of humic substances. IN: AIKEN R.L.; HACTHER, P.G. (Eds.). **Humic substances in soil, sediment and water: geochemistry, isolation and characterization**. Wiley, 1985. p433-455.
- IBARRA, J.V., MOLINER, R.; BONET, A. J. Thermal alteration of coal humic acids simulating early coalification. IN: Senesi, N. e Miano, T.M. (Eds.). **Humic substances in the global environment and implications on human health**. Elsevier, 1994. p1325-1330.
- IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. Palestra Seminário Adubação Verde, RJ, CNPq, 1983.
- IOSELIS, P.; RUBINSZTAIN, Y.; IKAN, R.; AIZENSHTAI, Z.; FRENKEL, M. Thermal characterization of natural and synthetic humic substances. **Org. Geochem.** 8, 1985. 95 - 101.
- KOUTIKA, L.S.; BARTOLI, F.; ANDREUX, F.; CERRI, C.C.; BURTIN, G.; CHONÉ, Th.; PHILIPPY, R. Organic matter dynamics and aggregation in soils under rain forest and pastures of increasing age in the eastern Amazon Basin. **Geoderma**. 76, p. 87 - 112. 1997.
- JONES, C.G.; LAWTON, J.H.; SHACHAK, M. Organisms as ecosystem engineers. Copenhagen. **Oikos**, 69: 373 - 386. 1994.
- JONES, J. B.; HANDRECK, K. A. Effects of iron and aluminium oxides on silica in solution soils. **Nature**, 198: 852-853. 1963.
- JORNAL A FOLHA DE SÃO PAULO. Brasil pede dinheiro para combater fogo. **Cotidiano**, 26 de março de 1998. p1-3.

- LAZERTE, B.; FUNDEIS, J. Acidic leaching of a Podzol Bf horizon from the precabriam shield. **Can. J. Soil Sci.** 74: p.321-333, 1994.
- LUIZÃO, F.J.; LUIZÃO, R.C.C. Matéria orgânica do solo em Roraima. In: BARBOSA, R.I. FERREIRA, E.J.G.; CASTELLÓN, E.G. **Homem, ambiente e ecologia no Estado de Roraima**. INPA, Manaus, 1997. p.363-379.
- MARTIN-NETO, L.; ANDRIULO, A.E.; TRAGHETTA, D.G. Effects of cultivation on ESR spectra of organic matter from soil size fractions of a mollisol. **Soil Science**, Baltimore, v.157, p.365-372. 1994.
- MARTIN-NETO, L.; ROSSEL, R.; SPOSITO, G. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperature grassland climosequence. **Geoderma**, 81: p.305-311, 1998.
- MATOS, E.S.; LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S. Fracionamento da matéria orgânica em ARGISSOLO VERMELHO AMARELO submetido a sucessivos anos de cultivo, sob mata nativa e diferentes sistemas de adubação e consórcio milho-feijão. In: 4º ENCONTRO BRAILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS. Viçosa. **Anais...** resumo expandido. 2001. p.114-116.
- MENDONÇA, E.S. **The effects of the organic and mineral fractions on the acidity and charge of soils from the Cerrado Region, Brazil**. Reading, Reading University, 1992, 230p. (Thesis of Ph.D)
- MENDONÇA, E.S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de Latossolos. Campinas, **R. Bras. Ci. Solo**. 19: 25-30. 1995.
- RIFFALDI, R.; SCHNITZER, M. Electron spin resonance sepectrometry of humic substances. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.36, 1972. p.301-305.
- SCHITZER, M.; KHAN, S.U. **Soil organic matter**. Amsterdam. Elsevier, 1978. 319p.
- SERRÃO, E.A.S.; NEPSTAD, D.C.; WALKER, R.T. Upland. Agricultural and Forestry development in the Amazon: Sustainability, criticality and Resilience Ecological Economics, 18 (1): 3-13. 1996.
- SHIMADZU, Thermogravimetric analyser software T50WA: User guide. SHIMADZU, 1989. 155p.

- SIMAS, F.N.B. **Pedogênese e geoambientes na Serra Verde, parte da Mantiqueira mineira: atributos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos**. Viçosa, UFV, 2002. 78p. (Tese de Mestrado).
- SINGER, L.S. Synthetic ruby as a secondary standard for the measurement of intensities in Electron Paramagnetic Resonance. **J. Apl. Phys.**, 30: p.1463-1464, 1959.
- SIBANDA, H.M.; YOUNG, S.D. Competitive adsorption of humus acids and phosphate on goethite, gibbsite, and two tropical soils. **J. Soil Sci.**, 37:197-204, 1986.
- SOON, Y.K. Fractionation of extractable aluminium in acid soils: a review and a proposed procedure. **Soil Sc. Pl. Anal.** 24:1683-1708. 1993.
- STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions**. New York: Wiley, 1994. 443p.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: **Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods**. D.L. SPARKS et al., (eds.). Madison, Soil Sci. Soc. of American. 1996. p.1011-1069.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, 19:1467-1476, 1988.
- VALE JÚNIOR, J.F. **Pedogênese e alterações dos solos sob manejo itinerante, em áreas de rochas vulcânicas ácidas e básicas, no nordeste de Roraima**. Viçosa, UFV, 2000. 185p. (Tese de Doutorado).
- VARADACHARI, C.; GHOSH, K. On humus formation. **Plant Soil**, 77: 305-313, 1984.

## **CAPÍTULO 3**

### **ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE UMA TOPOSSEQÜÊNCIA DE SOLOS ORIGINADOS DE ROCHAS MÁFICAS EM ÁREA INDÍGENA NO NORDESTE DE RORAIMA**

#### **RESUMO**

Solos de uma toposseqüência, desenvolvidos sob rochas básicas no extremo nordeste de Roraima, foram submetidos a análises físicas, químicas e mineralógicas, com o objetivo de caracterizá-los pedogeneticamente e de inferir sobre as condições de exploração pelos povos indígenas desde os tempos coloniais. Os seis perfis de solo foram classificados como: CHERNOSSOLO EBÂNICO Órtico, CHERNOSSOLO EBÂNICO Órtico vértico, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos, NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distroférico, que ocupam, respectivamente, relevo mais rebaixado e menos acidentado, vertentes mais inclinadas, até topos elevados e aplainados. A mineralogia é condicionada pela posição na paisagem, variando desde gibbsítica/caulínica/goethítica ( Latossolo ) a dominada por minerais 2:1, no caso dos Chernossolos vértico e Cambissolo, onde a reserva de minerais primários das frações silte e areia conferem-no alta fertilidade natural. O relevo e a intensidade do intemperismo condicionaram uma mineralogia oxidica para o Latossolo.

A paisagem com Nitossolo evidencia o processo de degradação atual dos solos. A fertilidade varia desde alta nos Chernossolos e Cambissolos, média no Nitossolo e muito baixa no Latossolo. Este último possui valores altos de alumínio trocável. A pobreza em fósforo é generalizada, limitando a produtividade destes solos. Os Chernossolos, em posições de relevo suavizado e ao longo das linhas de drenagem, indicam um ambiente mais estável com elevado potencial agrícola para o sistema de agricultura familiar, tendo em vista o seu uso pelos povos indígenas locais ao longo das décadas. Os índices Ki não tão elevados e a atividade da argila com valores abaixo do limite para solos Ta, denotam a “degradação” atual desses solos, sob condições climáticas atuais mais úmidas, onde minerais 2:1 intemperizam-se diretamente para minerais 1:1. As formas de ferro e silício solúveis expressaram o grau de evolução: os solos com maior grau de intemperismo ( Latossolo e Nitossolo ) apresentaram menores teores de ferro e silício de baixa cristalinidade. Os micronutrientes, como zinco e cobre em termos totais, tiveram seus teores reduzidos com a profundidade dos solos e com o aumento do grau de intemperismo, sendo que seus maiores teores em superfície podem ser consequência da complexação pela matéria orgânica. Já o manganês apresentou comportamento variável em profundidade, com maiores teores nos solos menos intemperizados. O Latossolo e Nitossolo foram os que mostraram maiores valores de adsorção de fosfato; 2,380 e 1,575 mg g<sup>-1</sup> de solo, respectivamente, atribuíveis à textura argilosa e à mineralogia dos solos. Para os Chernossolos e Cambissolos, foram observados os menores valores de adsorção com aumento em profundidade.

**Palavras chaves:** atributos do solo, Chernossolos, pedogênese, adsorção de fosfato e Amazônia.

## **1 - INTRODUÇÃO**

O crescimento da população em Roraima de quase 70%, no período de 1980 a 1985, foi acompanhado pelo aumento de pequenos assentamentos rurais em taxas desproporcionais de 242%, no mesmo período, especialmente pela colonização dirigida nas áreas florestadas da região sul do Estado. Por outro lado, a ausência de políticas estratégicas para o desenvolvimento rural no Estado de Roraima é evidente, com alta mobilidade dos colonos, garimpagem sazonal e o uso indiscriminado do fogo, conseqüências de assentamentos mal planejados ( SCHAEFER, 1997 ).

Atualmente, a ocupação humana em Roraima se encontra mais consolidada e estável, a despeito de apresentar ainda a menor densidade demográfica do país. Uma tendência nos anos 90 foi o deslocamento de migrantes no sentido norte - sul do Estado, em conseqüência dos conflitos entre índios e colonos na área da Reserva Raposa Serra do Sol, e da política oficial de assentamentos ao longo da BR 174. A população indígena tem crescido continuamente em Roraima, notadamente, após a demarcação das terras indígenas pelo Estado. Este aumento populacional tem provocado uma demanda crescente por alimentos básicos, como milho e mandioca, originando forte pressão de uso e ocupação dos solos, especialmente nas áreas com alta fertilidade natural ( Nitossolo, Argissolos e Chernossolos ), como a região da Maloca do Flechal, em sistemas tradicionais de derruba e queima da vegetação ( SCHAEFER, 1997 ).

A queima da biomassa, efetuada pelas práticas agropecuárias, representa um dos principais mecanismos pelo qual o carbono é transferido do solo para atmosfera na Amazônia. Porém, a manutenção do estoque de carbono é de fundamental importância ao uso sustentável dos solos. Este sistema reflete uma prática generalizada de uso dos solos na Amazônia em que, ao atingir um nível de produção muito baixo, ocorre o abandono e o processo de incorporação de novas áreas para produção. Tal sistema pressupõe a existência de áreas contínuas e extensas com alta fertilidade natural, para fazer frente à crescente demanda por áreas de cultivo e pousio cada vez mais longo.

No extremo nordeste de Roraima, onde está localizada a Maloca do Flechal, ocorrem áreas extensas de afloramento de rochas máficas, com solos que, por possuírem melhor fertilidade natural, poderiam suportar uma pressão de uso por um período de tempo maior, quando comparado com outros solos da Amazônia. Outras limitações porém, podem ocorrer, tais como valores de magnésio superiores aos de cálcio e baixos teores de fósforo disponível, em razão da pobreza destas rochas em apatita ( SCHAEFER, 1991 ).

Em função das variações climáticas ocorridas na Amazônia ao longo do tempo geológico, o nordeste de Roraima experimentou a passagem de um clima semi-árido para condições de maior precipitação, nos dias atuais ( SCHAEFER e DALRYMPLE, 1996; SCHAEFER e VALE JÚNIOR, 1997 ), favorecendo ao avanço do intemperismo químico e dos processos de erosão, contribuindo para maior risco de degradação dos solos. Estes processos podem adquirir características irreversíveis, caso estes solos sejam manejados inadequadamente. Observações de campo permitem fazer inferências do avanço dos impactos negativos de algumas ações humanas, tais como: a garimpagem em áreas terraceadas ao longo dos cursos d'água e a agricultura itinerante com pousios curtos.

De acordo com relatório do projeto RADAMBRASIL ( BRASIL, 1975 ), os Nitossolos, em função da declividade, presença de matações e pouca profundidade, apresentam restrições ao pastoreio intensivo e ao uso agrícola.

Atualmente, a conservação destas terras está condicionada à pressão populacional indígena local, que se limita a explorar apenas as partes mais aplainadas e as áreas rebaixadas ao longo dos vales drenados por pequenos cursos d'água, às vezes intermitentes. As áreas mais acidentadas são ocupadas por pastagem natural suportando constante uso do fogo.

Este trabalho teve como objetivo caracterizar a pedogênese e alguns atributos do uso do solo pelos índios em uma toposseqüência representativa de solos, em áreas de rochas básicas, no extremo nordeste de Roraima, explorada pelo povos indígenas Macuxis há muitas décadas.

## **2 - MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 - Descrição da área e coleta das amostras**

A área em estudo está situada no extremo nordeste de Roraima, município do Uiramutã, domínio territorial da Maloca do Flechal, localizada entre os paralelos de 4° 35' e 4° 45' norte e meridianos de 60° 15' e 60° 20' Oeste ( Figura 1 ). A geologia é compreendida pela Formação Pedra Preta, pertencente ao magmatismo básico Avanavero (1,6 bilhões de anos ), com rochas do tipo diabásio, dioritos e gabros, que se intercalam com terrenos Quartzíticos do Grupo Roraima ( Figura 2 ). Nas áreas de rochas básicas observa-se o desenvolvimento de uma floresta exuberante em altitudes que variam de 600 a mais de 1.200 m em degraus do Planalto do interflúvio Amazônia Orinoco, com um clima caracterizado por duas estações bem definidas, e precipitações variando de 1.200 a 1.500 mm/ano ( PINHEIRO, 1990 ).

Foram coletadas amostras de perfis de solos em toposseqüência de direção E-W, ao longo do principal afloramento do corpo máfico, observando os aspectos de relevo, uso e manejo aplicado pelos indígenas, selecionando-se áreas com pastagem natural e agricultura de subsistência com mais de vinte anos de uso.

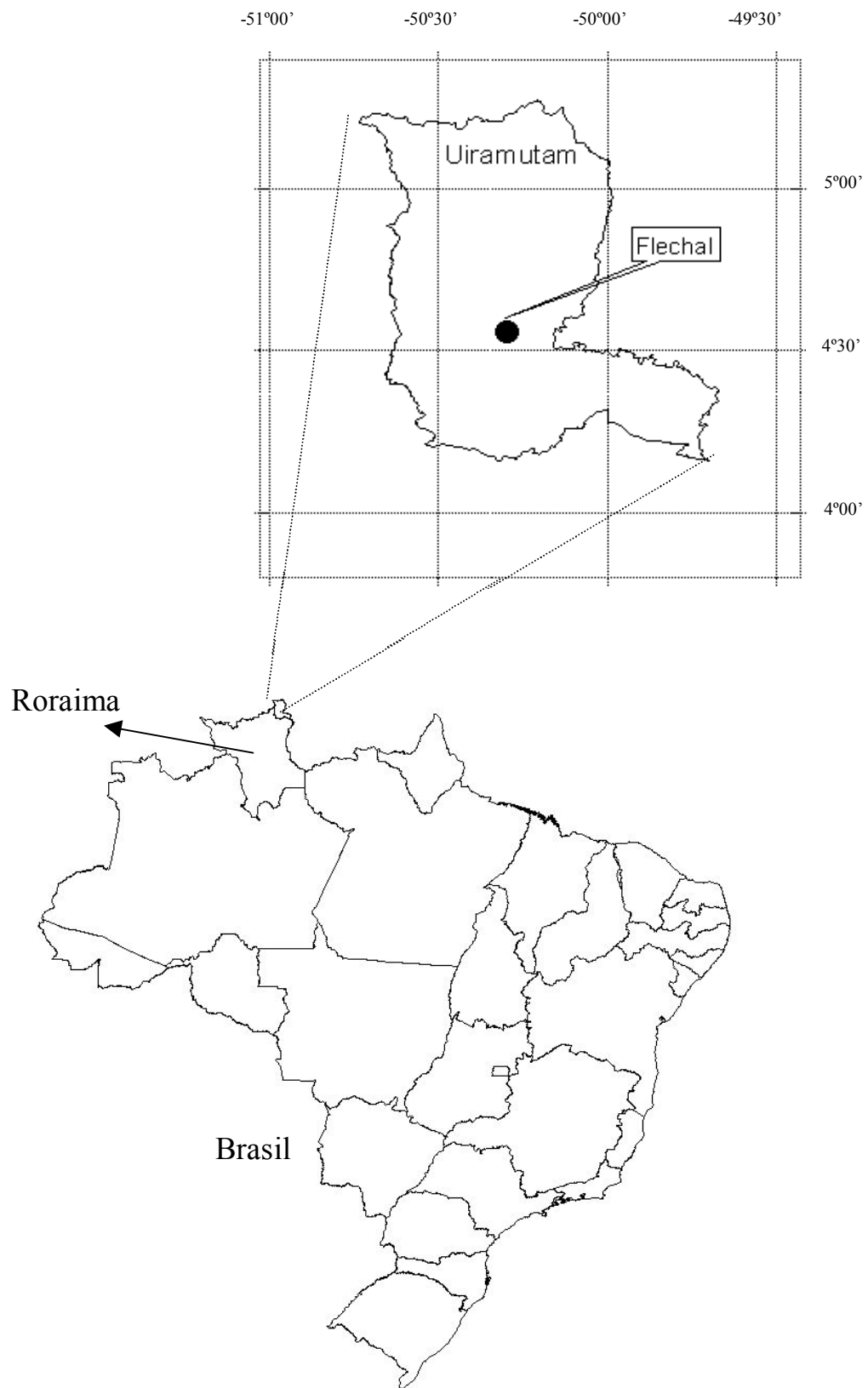


Figura 1 – Localização da área em estudo

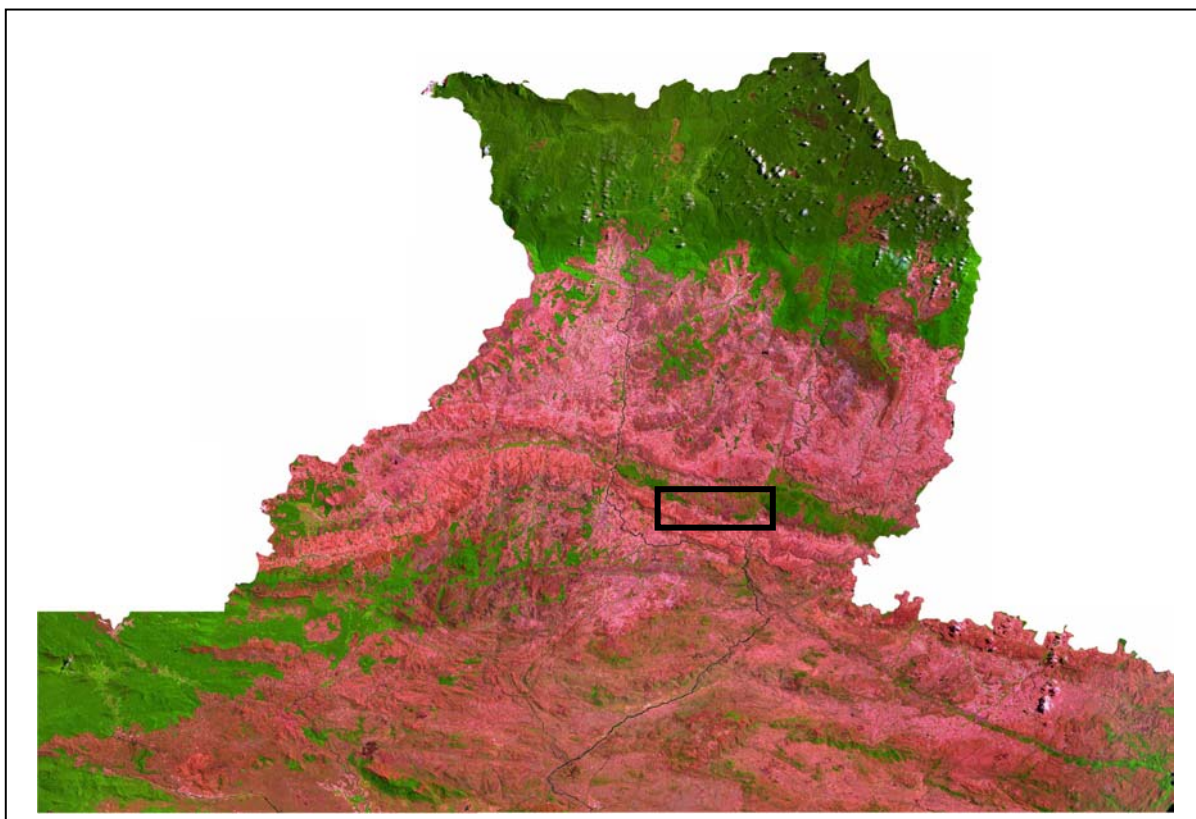


Figura 2 – Imagem LANDSAT 5 cobrindo a área de estudo, os perfis de coletas de solos estão abrangidos pelo retângulo.

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e tamisadas em peneiras de 2 mm de malha, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar. As amostras foram submetidas à análise inicial de caracterização física e química e demais procedimentos de análises.

Após o preparo, as amostras foram submetidas a análises para caracterização química e determinação da composição física e mineralógica.

## **2.2 - Análises físicas, químicas e mineralógicas**

Procedeu-se à análise textural dos solos, quantificando as frações areia grossa e areia fina, silte e argila. Determinou-se a argila dispersa em água e calculou-se o grau de flocculação, conforme ( EMBRAPA, 1997 ).

O pH em água e em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> foi determinado por potenciometria, utilizando proporções de 1 : 2,5 ( v/v ) de solo : solução. Os cátions trocáveis, extraídos em KCl 1 mol L<sup>-1</sup> ( Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> ), foram determinandos por espectrometria de absorção atômica. O Al<sup>3+</sup>, extraído por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, foi determinado volumetricamente por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. A acidez potencial ( H + Al ) foi determinada através da extração com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 e quantificados por titulação com NaOH, ( EMBRAPA, 1997 ). P, K e Na foram extraídos por extrator Mehlich -1, determinando-se o K e Na por fotometria de chama e P por colorimetria ( EMBRAPA, 1997 ). A partir dos resultados obtidos do complexo sortivo, foram calculados os valor para soma de bases ( SB ), capacidade de troca de cátions total ( T ) e efetiva ( t ), saturação por bases ( V% ) e saturação por Alumínio.

Na fração TFSA de cada horizonte foram extraídos Si, Al, Fe, Ti, e P por ataque sulfúrico, conforme EMBRAPA ( 1997 ), com posterior cálculo do índice Ki, relação molar SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pela fórmula  $Ki = 1,7( SiO_2/Al_2O_3 )$  e Kr, relação molar SiO<sub>2</sub>/( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ), pela fórmula  $Kr = 1,7 ( SiO_2/[ Al_2O_3 + ( 0,64 Fe_2O_3 ) ])$ .

A mineralogia foi identificada através de difratograma de raios - X, nas frações argila e silte. Na fração argila (natural e desferrificada ) foram preparadas lâminas orientadas e irradiadas no intervalo de ângulo de varredura ( 2θ ) entre 2° e 40° em difratômetro de raios - X, com velocidade do goniômetro de °2θ/min, utilizando-se radiação CuKα com filtro de Ni ( WHITHING e ALLARDICE, 1986 ). As lâminas de silte foram analisadas nas mesmas condições da fração argila. Os difratogramas foram interpretados de acordo com CHEN ( 1977 ). O Fe, de baixa cristalinidade dos horizontes subsuperficial dos solos, foi extraído por oxalato de amônio e o Fe livre, foi extraído pelo método do Ditionito - Citrato ( DC ), em três extrações sucessivas, conforme McKEAGUE e DAY ( 1966 ). As determinações foram feitas por espectrometria de emissão de plasma induzido, espectrômetro Perkin Elmer modelo 3300 DV. O Fe cristalino foi calculado por diferença entre Fe extraído por DC ( Fe<sub>d</sub> ) e Fe extraído por oxalato ( Fe<sub>o</sub> ).

Os teores dos elementos traços ( zinco, cobre e manganês ) na fração TFSA foram determinados através da digestão total em forno microondas Etnos Plus Microwave Labstation, sob pressão e temperatura de 30 a 180° C por 5 min para estabilização e de 210° C por 25 min., a uma potência de 700 watts, controlado pelo Easywave Software for Windows, digestão inorgânica, com dosagem de 5 ml de HCl, 5 ml de HNO<sub>3</sub> e 8 ml de HF em 0,5 grama de solo, com posterior determinações dos teores em aparelho de espectrometria de emissão de plasma induzido, espectrômetro Perkin Elmer modelo 3300 DV.

Os solos foram classificados pelo sistema Brasileiro de Classificação de Solos ( EMBRAPA, 1999 ).

O P-remanescente foi determinado conforme metodologia descrita por ALVAREZ V. et al. ( 1988 ). A capacidade máxima de adsorção de fosfato, para alguns horizontes de solos selecionados, foi determinada em triplicata conforme valores de P-remanescente, metodologia proposta por ALVAREZ V. e FONSECA ( 1990 ). Os dados foram ajustados ao modelo não-linearizados de Langmuir , relacionando-se a concentração do elemento adsorvido por unidade de adsorvente ( solo ) e a concentração do elemento na solução de equilíbrio ( sobrenadante ), calculando-se a capacidade máxima de adsorção ( b ) e o coeficiente de energia de adsorção ( a ).

### **3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 - Classificação e atributos físicos**

Nos topos elevados e aplainados foram encontrados solos mais intemperizados, com perfil classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO. Nas vertentes mais inclinadas ocorrem NITOSSOLO VERMELHO e CAMBISSOLOS HÁPLICOS. Nas áreas com relevo mais rebaixado e menos acidentado predomina CHERNOSSOLO.

Os solos foram classificados como ( Quadro 1 ): NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico, CHERNOSSOLO EBÂNICO Órtico, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos, CHERNOSSOLO EBÂNICO Órtico vértico LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distroférico, sendo as primeiras classes de solos atípicos da Amazônia. A presença desses solos, pouco comuns na Amazônia, está associada às condições climáticas e à presença de extenso corpo máfico. Solos semelhantes na paisagem da Amazônia ocorrem em regiões onde há derrame basáltico aflorante e climas mais sazonais ( FALESI, 1972, FALESI et al. 1986 e SCHAEFER, 1991 ). Com relação à cor, observa-se cores mais avermelhadas dos solos, em profundidade, nos perfis P<sub>1</sub>, P<sub>5</sub> e P<sub>6</sub>. O P<sub>5</sub> apresenta bicromia, com avermelhamento bastante acentuado no horizonte Bi<sub>3</sub>. Este avermelhamento revela melhores condições de drenagem e menor influência da matéria orgânica com efeito anti

hematítico, havendo uma maior expressão da hematita ( SCHWERTMANN, 1966 ). No caso do P<sub>5</sub>, pode-se observar este efeito através dos valores de ferro livre de melhor cristalinidade determinado por DC ( Quadro 5 ).

São solos com textura franca, na superfície, a muito argilosa, em subsuperfície, com valores elevados de silte e, principalmente nas classes dos Chernossolos e Cambissolos, com relação silte/argila alta, o que indicariam reservas de nutrientes e baixo grau de evolução destes solos ( Quadro 1 ). A predominância de textura argilosa destes solos, com valores baixos de areia, tem origem na mineralogia da rocha matriz de composição ferromagnésiana, com pouco quartzo. Os maiores valores de argila para o Latossolo e Nitossolo mostra o maior grau de intemperismo. A estrutura dos solos varia de blocos subangulares pequenos no Nitossolo, blocos angulares médios a grande nos Chernossolos, a muito pequena granular, com a presença de cascalho no Latossolo. O caráter vértico, presente no perfil 4, é marcante pela estrutura em blocos e prismática com slickinsides no horizonte Bi. A forma agressiva do relevo da região, bastante movimentada, indica a possibilidade de grandes variações de solos em curtas distâncias. O Nitossolo, em decorrência do gradiente textural, do relevo forte ondulado e do menor grau de floclação, favorece as perdas de argila do horizonte superficial, ocasionando a existência de solos truncados na paisagem ( Figura 3 ). NUNES et al. ( 2001 ) observaram este processo, estudando solos com horizonte B textural e B nítico na paisagem de Mar de Morros de Minas Gerais.

Quadro 1 – Classes de solos, cor, composição granulométrica, argila dispersa em água, grau de floculação e classe textural de solos da Maloca do Flechal.

Perfil	Solo	Hor.	Prof. .....cm.....	Cor		AG	AF	Si	Ar	ADA	GF	Classe textural
				Seca	úmida							
				.....%.....								
1	NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico ( NVe )	Ap	0-10	7,5 YR 4/4	7,5 YR 3/3	9	11	28	52	22	57	Argila
		Bnítico <sub>1</sub>	10-25	7,5 YR 5/6	5 YR 4/4	10	11	26	53	27	48	Argila
		Bnítico <sub>2</sub>	25-60+	5 YR 5/6	2,5 YR 4/6	4	6	26	64	0	100	Muito argilosa
2	CHERNOSSOLO EBÂNICO Órtico ( MEo )	Ap	0-32	7,5 YR 4/2	2,5 YR 5/1	22	27	23	28	9	69	Franco-argilo-arenosa
		Bnítico <sub>1</sub>	32-50	10 YR 4/3	10 YR 3/2	27	28	21	24	13	43	Franco-argilo-arenosa
		Bnítico <sub>2</sub>	50-90+	10 YR 5/4	10 YR 4/4	11	18	34	37	21	44	Franco-argilosa
3	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico ( CXbe )	Ap	0-20	7,5 YR 3/2	7,5 YR 3/2	19	15	34	32	9	70	Franco-argilosa
		Bi <sub>1</sub>	20-35	7,5 YR 3/2	7,5 YR 3/2	10	13	31	46	22	52	Argila
		Bi <sub>2</sub>	35-60+	7,5 YR 4/4	7,5 YR 3/3	11	9	33	47	26	44	Argila
4	CHERNOSSOLO EBÂNICO Órtico vértico ( MEov )	Ap	0-20	7,5 YR 4/1	7,5 YR 3/1	30	12	29	29	15	49	Franco-argilosa
		Bi <sub>1</sub>	20-38	10 YR 4/1	10 YR 4/2	27	13	22	38	33	13	Franco-argilosa
		Bi <sub>2</sub>	38-58	10 YR 5/3	10 YR 5/2	35	15	21	29	18	37	Franco-argilo-arenosa
		BC/Cr	58-90+	10 YR 6/3	10 YR 5/4	33	8	31	28	20	28	Franco-argilosa
5	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico ( CXbe )	Ap	0-30	10 YR 4/4	10 YR 3/3	20	17	28	35	15	57	Franco-argilosa
		Bi <sub>1</sub>	30-83	7,5 YR 4/6	5 YR 4/4	28	12	31	29	23	20	Franco-argilosa
		Bi <sub>2</sub>	83-111	7,5 YR 4/6	5 YR 4/4	13	12	37	38	29	24	Franco-argilosa
		Bi <sub>3</sub>	111-163	5 YR 4/4	2,5 YR 3/6	5	10	30	55	39	28	Argila
6	LATOSSOLO VERMELHO	Ap	0-10	7,5 YR 4/6	7,5 YR 3/3	12	9	14	65	4	93	Muito argilosa
	AMARELO Distroférico ( LVAdf )	Bw <sub>1</sub>	10-50+	5 YR 4/4	5 YR 3/4	9	8	13	70	5	92	Muito argilosa

v - caráter vértico. AG- Areia grossa. AF –Areia fina. Si- Silte. Ar- Argila. ADA – Argila dispersa em água. GF- Grau de floculação.

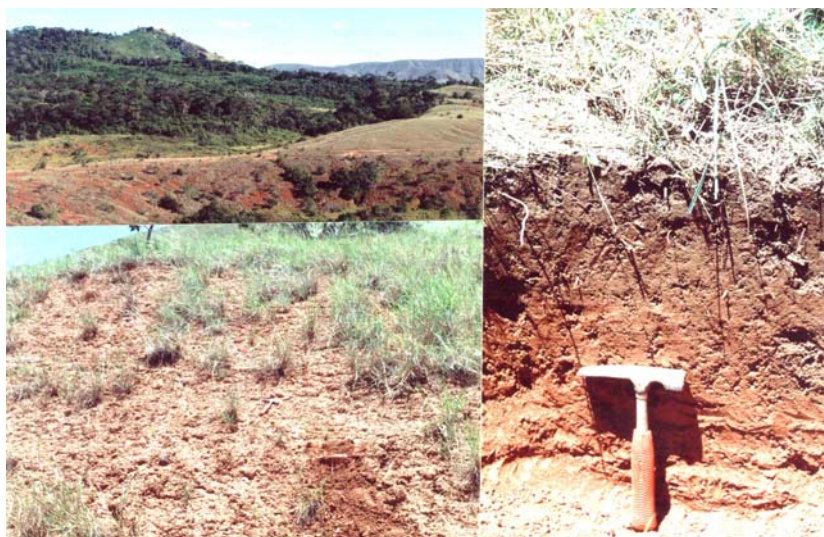


Figura 3 - Área de domínio de NITOSSOLO VERMELHO com alto índice de degradação.

### 3.2 - Composição mineralógica dos solos

Dentro da mesma litologia, a mineralogia está condicionada à posição que os solos ocupam na paisagem, onde o material de origem recebe influência diferenciada dos fatores de formações em curtas distâncias. A intensidade de intemperismo, de acordo com o relevo condiciona a formação de solos com uma mineralogia gibbsítica/caulinítica/goethítica, nos topos planos, caso do Latossolo Vermelho, a solos com mineralogia do tipo 2:1 como os Chernossolos, posicionados nas partes baixas da paisagem ( Quadro 2 ). Solos com mineralogia 2:1, sob a influência do material máfico, foram estudados por SCHAEFER ( 1991 ) no nordeste de Roraima. Solos desenvolvidos de diabásio, na Colônia Agrícola do Taiano, apresentaram uma mineralogia da fração argila tipicamente caulinítica e oxídica ( VALE JÚNIOR, 2000 ), diferentemente dos solos em estudo. Neste caso, pode-se inferir sobre a

influência do clima, tanto pretérito como atual, no desenvolvimento destes solos, pois a região da Maloca do Flechal apresenta menor pluviosidade e eventos de paleoclimas mais seco ( SCHAEFER e DALRYMPLE, 1995; SCHAEFER e VALE JÚNIOR, 1997 ).

Na fração silte, apesar da presença do quartzo em todos os solos, há uma expressiva quantidade de minerais de fácil intemperismo, capazes de manter elevada a fertilidade dos solos pelo suprimento de nutrientes como cálcio, magnésio, potássio e outros elementos associados ao material de origem, por meio da sua liberação para solução do solo.

O Latossolo foi o único solo que não apresentou minerais primários de fácil decomposição, tendo apenas quartzo como mineral primário na fração silte. Os outros componentes desta fração são óxidos de alumínio, de titânio e de ferro, além de caulinita, fortemente agregados, de difícil dispersão, comportando-se como silte funcional.

A difratometria de raios-X ( Quadro 2 e Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7 ), mostra uma mineralogia caulinítica na fração argila dos solos com presença de minerais de argila do tipo 2:1 nos perfis 3 e 4, expresso na morfologia pela presença de intenso fendilhamento, evidenciando minerais expansivos, principalmente no perfil 4. A illita está presente na fração argila em praticamente todos os solos, excetuando-se o Nitossolo e o Latossolo.

O avanço do intemperismo, provocado pelo aumento da pluviosidade ao longo do tempo, pode estar contribuindo para a instabilidade dos minerais de argila do tipo 2:1, nos Chernossolos e Cambissolos. Embora sejam observados minerais primários com uma certa expressão na fração silte e areia da maioria destes solos, as condições do ambiente favorecem a formação de minerais do tipo 1:1. A gibbsita se fez presente no Latossolo, indicando que sua posição no relevo favorece a remoção de sílica de maneira bastante acentuada a ponto de formar gibbsita, ao contrário dos solos menos evoluídos, posicionados nas paisagens menos conservadas.

Quadro 2 - Composição mineralógica das frações argila, silte e areia dos solos estudados, por difratometria de raios – X.

Perfil	Solo	Hor.	Argila	Silte	Areia
1	NVe	Ap	Ct, Gt	Qz, Ct, Bt, Fs, Ilm	Qz, Mi
		Bnítico <sub>1</sub>	Ct, Gt	Qz, Ct, Bt, Fs, Ilm	-----
		Bnítico <sub>2</sub>	Ct, Il, Gt	Qz, Ct, Bt, Fs, Ilm, Pg	Qz, Mi,
2	MEo	Ap	Ct, Il, Gt	Qz, Bt, Fs, Px	Qz, Mi
		Bnítico <sub>1</sub>	Ct, Il, Gt	Qz, Mi, Fs, Ct, Px	-----
		Bnítico <sub>2</sub>	Ct, Il, Gt	Qz, Ct, Mi	Qz, Mi
3	CXbe	Ap	Ct, Il/Mt, Es, Gt	Qz, Fs, Ct, Px, Af	Qz, Fs, Pg, Mi
		Bi <sub>1</sub>	Ct, Il, Es	Qz, Fs, Pg, Af, Ct	Qz, Fs, Pg, Mi
		Bi <sub>2</sub>	Ct, Il, Es	Pg, Fs, Qs, Ct, Mi, Af	Pg, Qz, Fs, Mi, Mg, Cn
4	MEov	Ap	Ct, Il, Es	Fs, Pg, Qz, Ct, Mi, Af	Qz, Pg, Af, Fs
		Bi <sub>1</sub>	Ct, Il, Es	Qz, Ct, Fs, Mi, It, Pg, Af	Qz, Af, Pg, Fs
		Bi <sub>2</sub>	Es, Ct, Il	Ac, Cl, Mi, Fs	-----
		Bi <sub>3</sub>	Ct, Es, Il	Qz, Ct, Il/Mi, Fs, Pg, Af	Qz, Pg, Fs, Cn
5	CXbe	Ap	Ct, Il, Gt	Ct, Qz, Zl, Pg	Qz, Fs, Ru
		Bi <sub>1</sub>	Ct, Il, Gt	Qz, Ct, Fs, Pg	-----
		Bi <sub>2</sub>	Ct, Il, Gt	Ct, Qz, Hb, Bt	Qz
		Bi <sub>3</sub>	Ct, Il, Gt	Qz, Ct, Mi/Il	-----
6	LVAdf	Ap	Gb, Ct, Il, Gt	Qz, Ct, Gb, Ru, Hm	-----
		Bw <sub>1</sub>	Ct, Gb, Il	Qz, Ct, Gb	Qz

Qz - Quartzo, Ct - Caulinita, Fs - Feldspato, Mi - Mica, Pg - Plagioclásio, Af - Amfibólios, Px - Piroxênios, Il - Illita, Bt - Biotita, Ac - Actinolita, Cl - Clorita, Zl - Zeólita, Hb - Hornblenda, Ru - Rutilo, Gb - Gibbsita, Hm - Hematita, Mg - manganita, Cn - corundum.

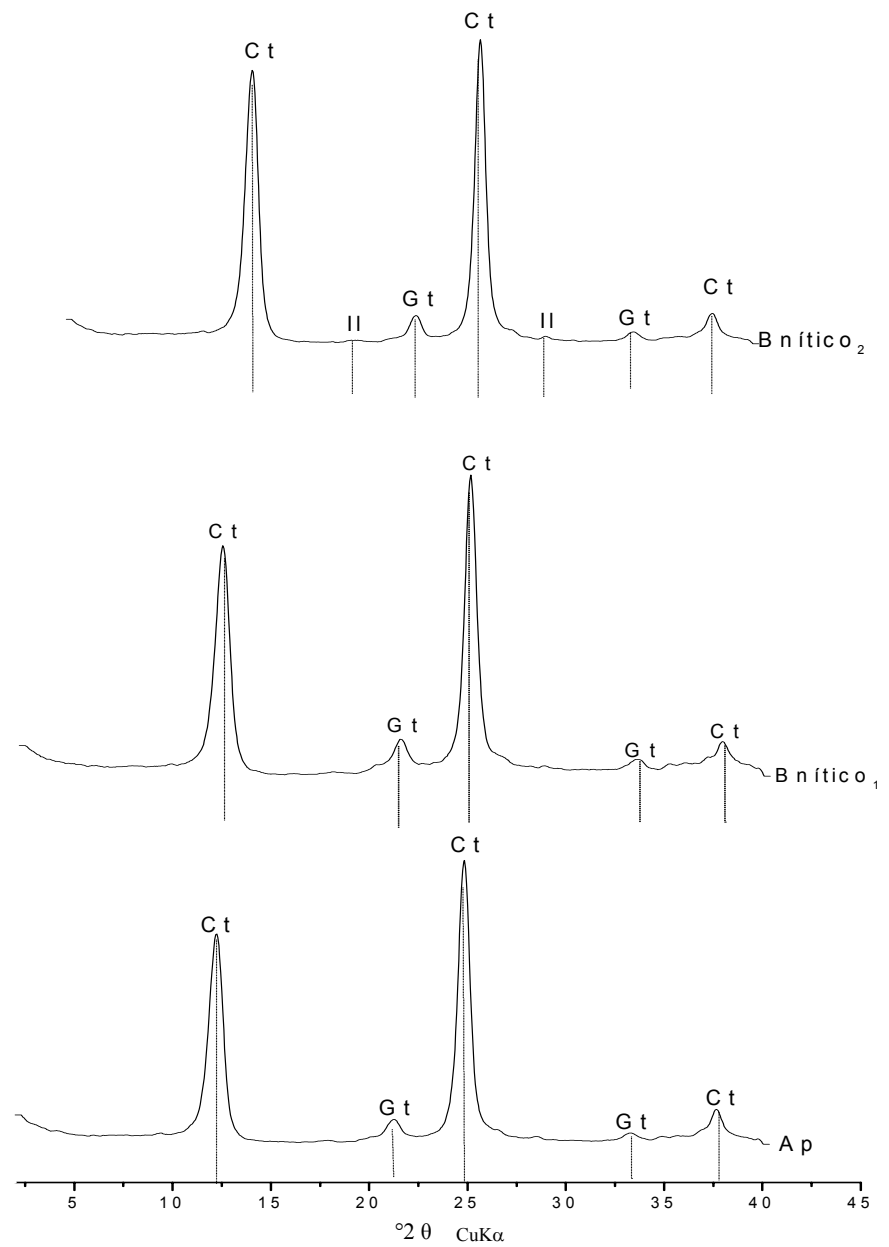


Figura 4 - Difratoogramas de raios-X da fração argila natural dos horizontes correspondentes ao perfil 1 (Nitossolo Vermelho).

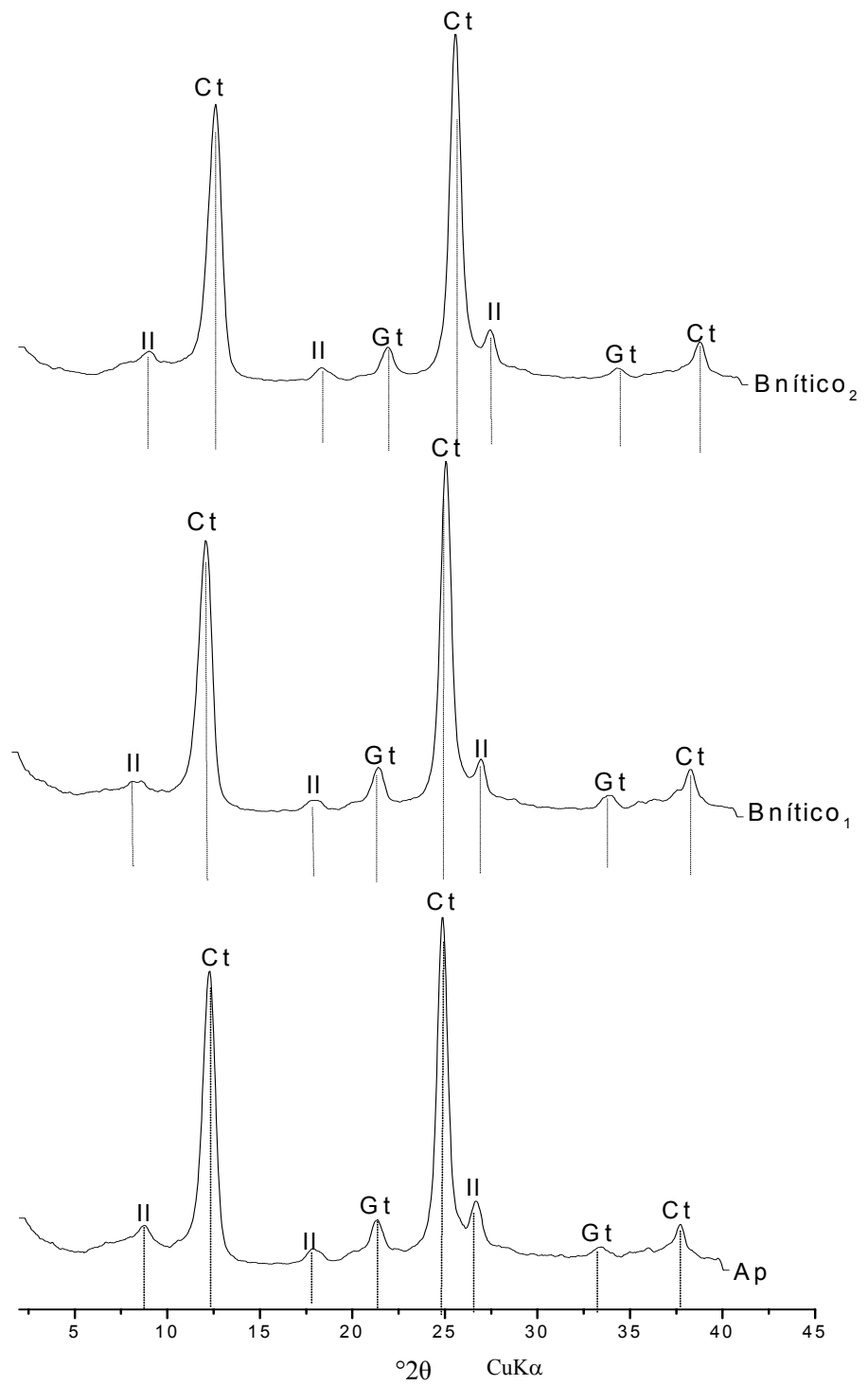


Figura 5 - Difratogramas de raios-X da fração argila natural dos horizontes correspondentes ao perfil 2 ( Chernossolo ).

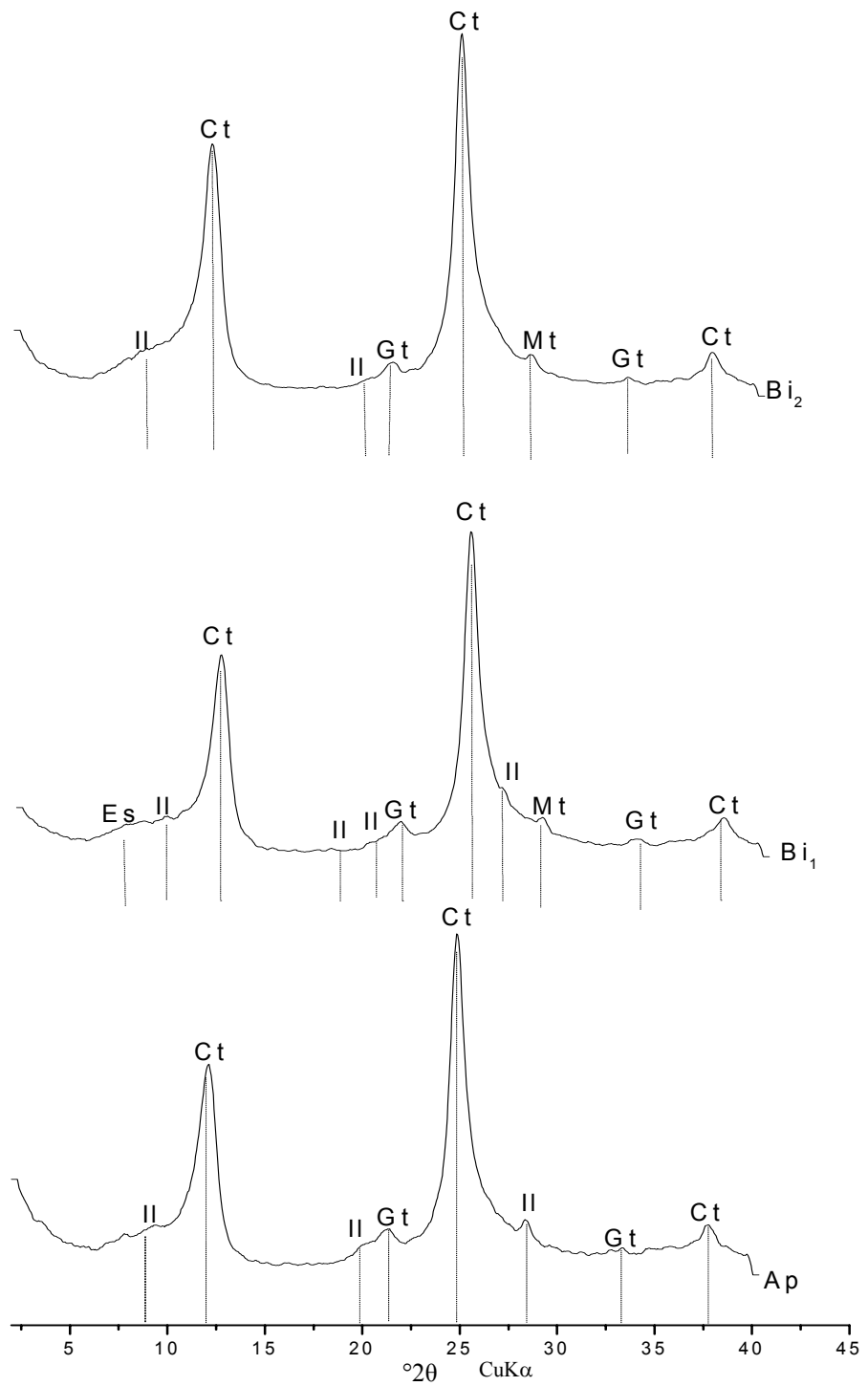


Figura 6 - Difratogramas de raios-X da fração argila natural dos horizontes correspondentes ao perfil 3 (Cambissolo).

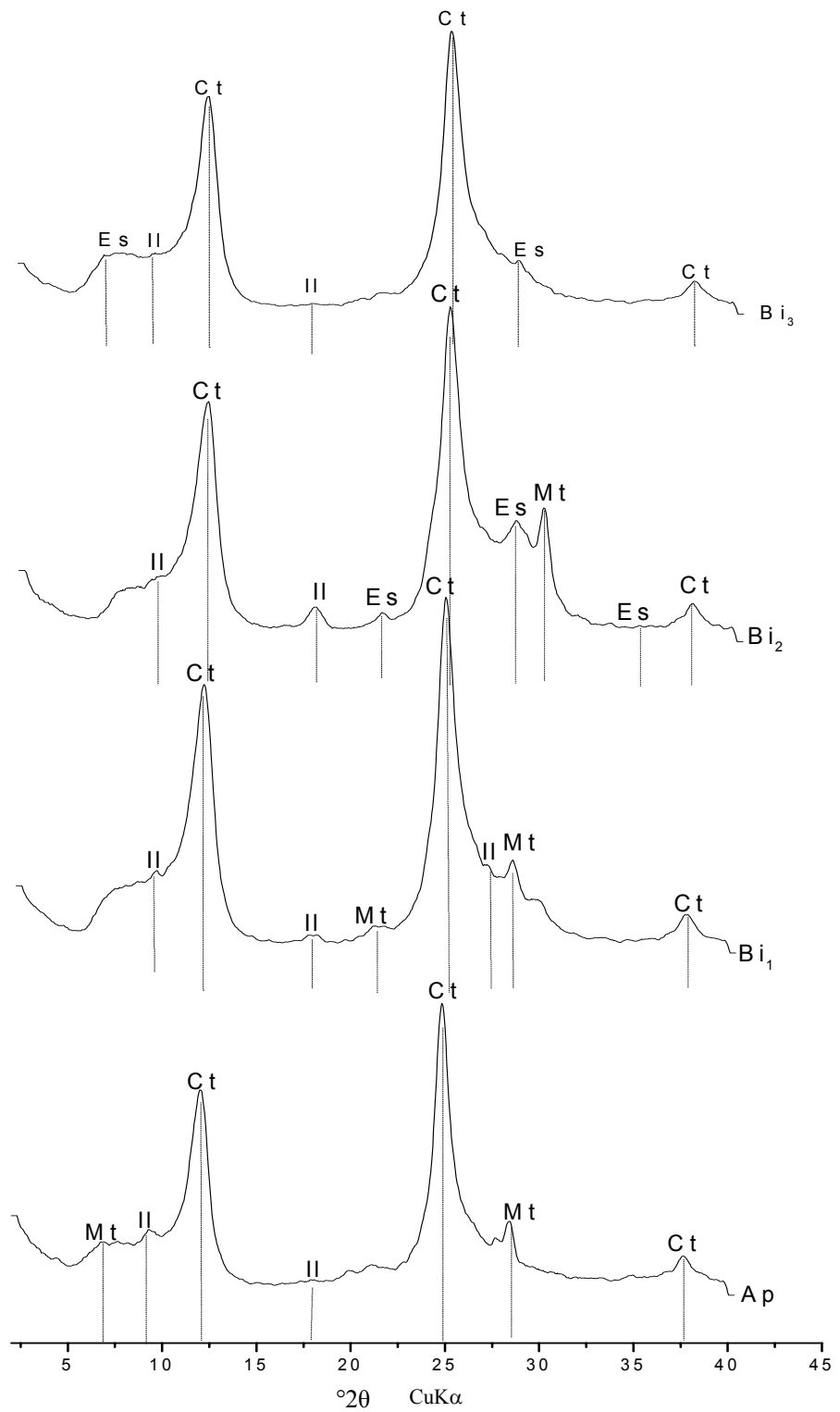


Figura 7 - Difratogramas de raios-X da fração argila natural dos horizontes correspondentes ao perfil 4 (Chernossolo vértico).

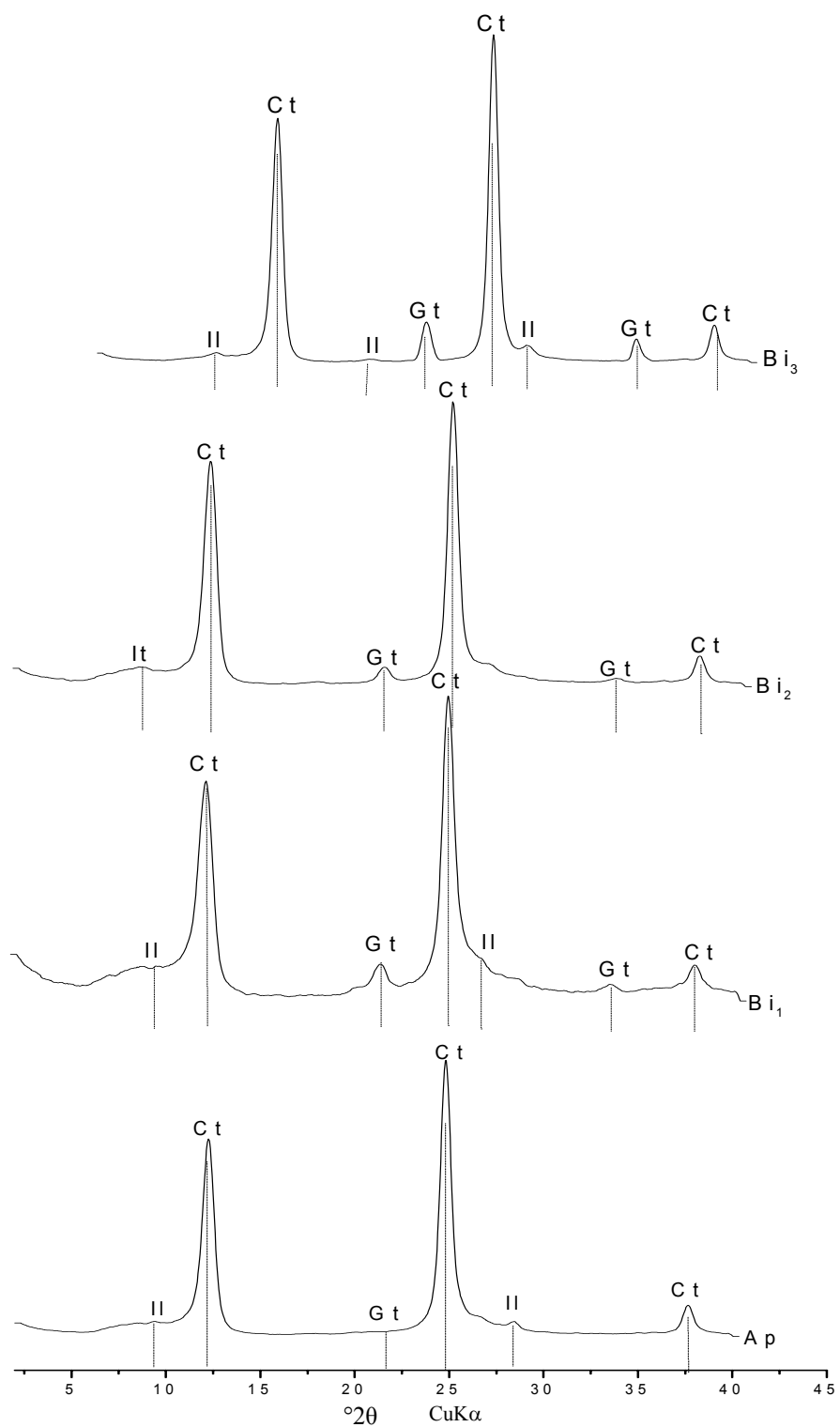


Figura 8 - Difratogramas de raios-X da fração argila natural dos horizontes correspondentes ao perfil 5 ( Cambissolo).

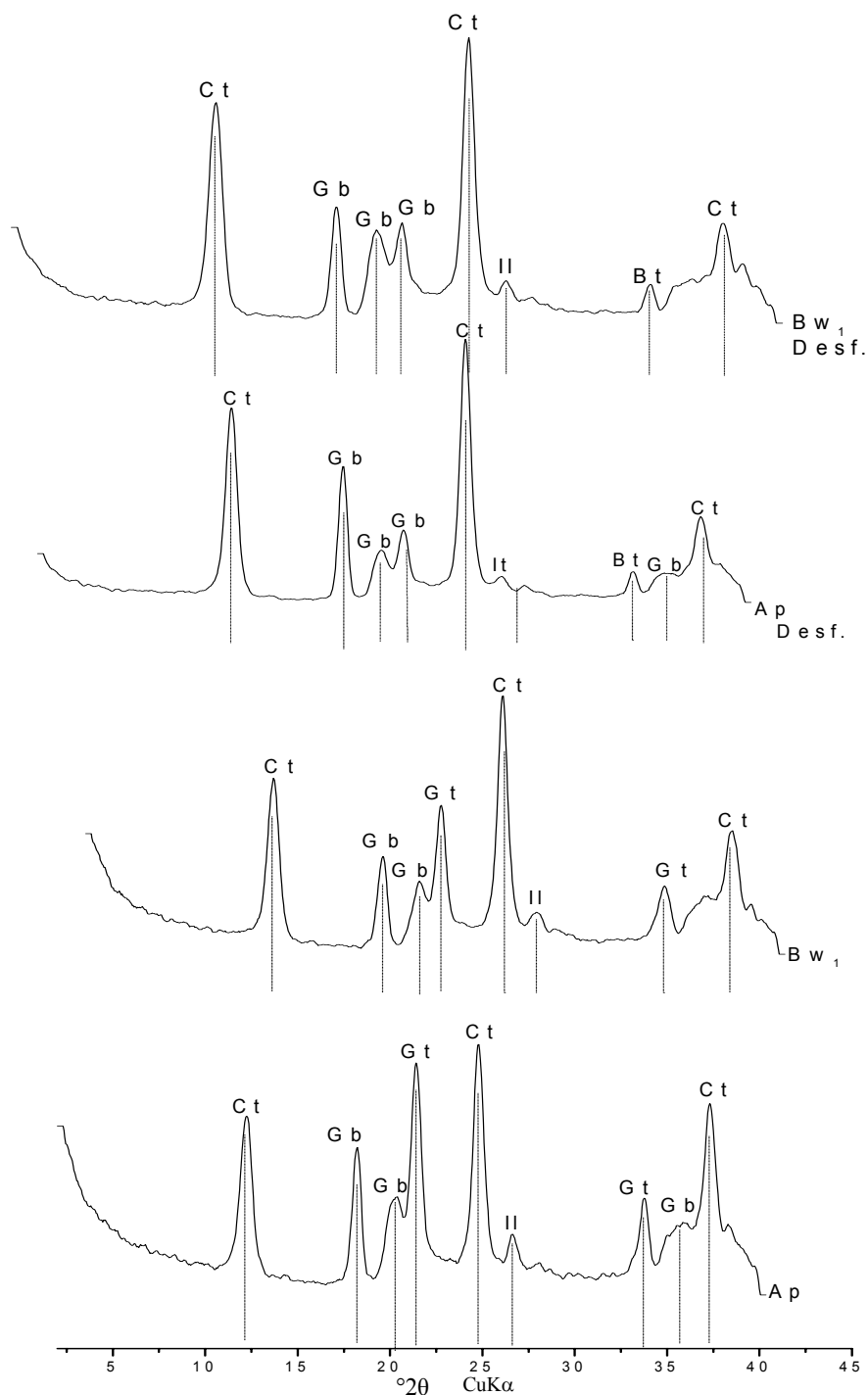


Figura 9 - Difratoigramas de raios-X da fração argila natural e desferrificada ( Desf. ) dos horizontes Ap e Bw<sub>1</sub> do perfil 6 ( Latossolo ).

Quadro 3 – Resultados do ataque sulfúrico da TFSA dos solos da Maloca do Flechal.

Perfil	Solo	Hor.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ki	Kr
			.....dag kg <sup>-1</sup> .....						
1	NVe	Ap	18,4	20,96	12,97	1,89	0,25	1,55	1,44
		Bnítico <sub>1</sub>	16,14	17,36	12,29	1,40	0,18	1,74	1,51
		Bnítico <sub>2</sub>	22,6	23,42	13,70	1,54	0,17	1,70	1,58
2	MEo	Ap	11,2	9,2	7,05	2,05	0,55	2,14	1,97
		Bnítico <sub>1</sub>	14,27	15,47	9,41	2,08	0,33	1,62	1,51
		Bnítico <sub>2</sub>	16,2	15,3	10,58	1,83	0,28	1,86	1,72
3	CXbe	Ap	7,17	16,67	8,21	1,50	0,05	0,76	0,71
		Bi <sub>1</sub>	6,06	14,33	9,27	1,48	0,05	0,75	0,69
		Bi <sub>2</sub>	19,97	18,30	9,24	1,10	0,04	1,92	1,80
4	MEov	Ap	13,3	9,2	5,70	0,80	0,05	2,54	2,36
		Bi <sub>1</sub>	18,43	15,91	8,04	0,68	0,02	2,04	1,91
		Bi <sub>2</sub>	21,14	15,03	7,59	0,5	0,00	2,47	2,32
		BC/Cr	20,0	15,17	6,49	0,64	0,01	2,32	2,18
5	CXbe	Ap	14,4	12,2	9,18	2,43	0,09	2,10	1,91
		Bi <sub>1</sub>	20,33	18,38	10,17	1,03	0,04	1,96	1,82
		Bi <sub>2</sub>	20,6	18,4	10,30	0,90	0,06	1,97	1,84
		Bi <sub>3</sub>	16,88	21,72	13,13	1,21	0,10	0,78	1,27
6	LVAdf	Ap	7,61	25,38	26,14	3,12	0,27	0,53	0,48
		Bw <sub>1</sub>	22,6	25,51	20,3	3,37	0,35	1,56	1,43

### 3.3 - Caracterização química

Os solos caracterizam-se pela elevada saturação por base, valores de pH neutro ou com baixa acidez, com exceção do Latossolo e do Nitossolo, onde os teores de cálcio, magnésio e o pH diminuem com a profundidade do solo, com alumínio trocável dominando o complexo de troca, principalmente no Latossolo (Quadro 4).

Todos os solos apresentam valores de  $\Delta\text{pH}$  ( pH KCl - pH H<sub>2</sub>O ) negativos. Além disso, os perfis 3, 4 e 5 têm valores de pH > 7. Valores nesta magnitude podem provocar efeito negativo, inibindo a disponibilidade dos micronutrientes, como: boro, zinco, cobre, ferro e manganês ( MILLER e DONAHUE, 1990 ), e, possivelmente, fósforo pela

formação de compostos de cálcio de baixa solubilidade ( RYAN et al. 1985; RAIJ, 1991; NOVAIS e SMYTH, 1999 ).

Os solos com A Chernozêmico estudados têm o elemento cálcio predominante no complexo de troca com teores elevados e uma relação  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ , diferentemente daqueles obtidos por SCHAEFER ( 1991 ), que encontrou valores de magnésio superiores aos de cálcio em solos com A Chernozêmico derivados de outras rochas máficas no nordeste de Roraima, evidenciando a heterogeneidade da composição mineralógica.

Os valores de potássio trocável e fósforo disponível foram baixos para todos os solos, sendo considerados, em termos de fertilidade, os nutrientes mais limitantes destes solos, demandando aplicação de insumos.

A pobreza em fósforo, nos solos da região Amazônica constitui-se um fato generalizado ( SANCHEZ, 1976 e SMYTH, 1996 ). Valores mais elevados são encontrados em áreas de maiores deposições de sedimentos mais ricos como as várzeas do rio Amazonas, ou em pequenas manchas de terras que sofreram interferências de agrupamentos dos povos pré-colombianos, denominadas Terras Pretas do Índio ( SCHAEFER et al., 2000 e LIMA, 2001 ). Os baixos valores de fósforo nestes solos referem-se à pobreza da rochas em minerais como a apatita, pouco freqüentes nos corpos máficos da Amazônia como um todo ( BRASIL, 1975 ). Já no Latossolo, o complexo de troca indica valores muito baixos para todos os elementos, e uma saturação por alumínio próximo a 50%, conseqüência da acidez e pobreza em bases.

A atividade da argila, nos Chernossolos, com valores superiores a  $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , é resultante em parte da contribuição da matéria orgânica. Após o desconto da contribuição do carbono pelo uso da fórmula  $\{ Tr = [ T - ( 4,5 \times \%Corg. ) / \% Arg. ] \times 100 \}$ , os valores calculados, na sua maioria, são relativamente baixos para essa classe de solos. Apenas o horizonte B do Chernossolo, com características vérticas apresentou valores de CTC na faixa de argila de atividade alta, após o desconto da contribuição da carbono, evidenciando a contribuição da matéria orgânica no complexo de troca destes solos ( STEVENSON, 1997 ). Os cálculos da CTC da fração argila do Latossolo, após o

desconto da contribuição do carbono, apresentou valores negativos, indicando que a CTC deste solo é quase exclusivamente dependente da matéria orgânica, corroborando pela mineralogia predominantemente oxídica.

A atividade da argila, abaixo do limite para solos Ta, denota a “degradação” atual desses solos nas condições pedoclimáticas mais úmidas, instalada recentemente nessa parte da Amazônia ( SCHAEFER e DALRYMPLE, 1995 ), em que minerais 2:1 de alta carga se intemperizam para caulinita ou minerais 2:1 de baixa carga ( SCHAEFER, 1991 ).

Quadro 5 – Características químicas dos solos derivados de rochas máficas da região da Maloca do Flechal.

Solo	Hor.	pH		C g kg <sup>-1</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	t	T	Tr	Tr-C	V	m	P
		H <sub>2</sub> O	KCl															
	Ap	5,7	4,3	24,6	0,05	6,87	2,63	2,48	0,10	0,13	5,34	5,39	12,21	23,5	2,2	43	01	0,96
NVe	Bnítico <sub>1</sub>	5,5	4,1	15,6	0,27	5,66	1,21	0,98	0,03	0,05	2,27	2,54	7,93	15,0	1,7	28	11	0,77
	Bnítico <sub>2</sub>	5,9	5,1	09,3	0,00	2,20	1,03	0,91	0,01	0,03	1,98	1,98	4,18	6,53	3,4	65	00	0,72
	Ap	6,1	5,2	23,8	0,00	4,34	6,87	3,16	0,15	0,32	10,50	10,50	14,84	53,0	14,8	71	00	2,50
MEo	Bnítico <sub>1</sub>	6,1	4,5	17,2	0,05	4,51	5,01	2,38	0,13	0,18	7,70	7,75	12,21	50,9	18,6	63	01	1,46
	Bnítico <sub>2</sub>	6,2	4,6	14,2	0,05	3,57	5,80	2,62	0,05	0,04	8,51	8,56	12,08	32,8	15,5	71	01	1,01
	Ap	6,8	4,9	15,3	0,05	2,75	8,69	2,79	0,05	0,11	11,64	11,64	14,39	45,0	23,5	81	00	1,33
CXbe	Bi <sub>1</sub>	7,2	5,1	10,8	0,00	2,09	9,05	0,30	0,04	0,11	9,50	9,50	11,59	25,2	14,6	82	00	1,25
	Bi <sub>2</sub>	7,3	5,4	9,5	0,00	1,54	9,21	0,00	0,05	0,12	9,38	9,38	10,92	23,2	14,1	86	00	1,44
	Ap	7,0	5,0	20,6	0,00	2,53	9,31	0,04	0,05	0,09	9,35	9,35	11,88	41,5	9,0	79	00	1,16
MEov	Bi <sub>1</sub>	7,3	4,9	6,9	0,00	1,37	10,50	0,08	0,07	0,14	10,79	10,79	12,16	30,4	22,6	86	00	1,46
	Bi <sub>2</sub>	7,4	4,4	3,7	0,00	1,43	12,7	0,06	0,05	0,11	12,92	12,92	14,35	49,5	43,7	90	00	1,39
	BC/Cr	7,6	5,2	4,0	0,00	0,99	7,10	0,43	0,07	0,15	7,75	7,75	8,74	31,2	24,8	89	00	1,37
	Ap	6,5	4,9	19,3	0,00	3,24	6,75	0,37	0,04	0,07	7,23	7,23	10,63	29,9	5,6	69	00	1,22
CXbe	Bi <sub>1</sub>	7,3	5,2	5,9	0,00	1,48	7,44	0,46	0,03	0,08	8,01	8,01	9,49	32,7	23,6	84	00	1,26
	Bi <sub>2</sub>	7,8	5,9	3,7	0,00	0,71	7,31	0,00	0,03	0,09	7,43	7,43	8,14	21,4	17,0	91	00	1,08
	Bi <sub>3</sub>	8,0	6,6	4,2	0,00	0,16	3,59	0,29	0,02	0,05	3,95	3,95	4,11	7,5	4,0	96	04	0,92
	Ap	5,4	4,3	24,6	0,50	6,60	0,00	0,49	0,11	0,14	0,74	1,24	7,34	11,3	--	10	40	1,48
LVA <sub>df</sub>	Bw <sub>1</sub>	4,3	4,1	22,5	0,50	8,52	0,00	0,50	0,04	0,04	0,52	1,02	9,04	13,0	--	06	49	0,53

Hor. = Horizonte. Tr = Atividade da argila. Tr – C = Atividade da argila menos a contribuição do carbono.

### **3.4 - Formas de ferro extraídas por citrato-ditionito e ferro e silício extraídos por oxalato de amônio, na fração argila**

Os teores de ferro solúveis da extração seqüencial por DC (Quadro 6), variam entre  $24 \text{ g kg}^{-1}$  no Chernossolo vértico a  $258 \text{ g kg}^{-1}$  no Latossolo. Com exceção do Latossolo, todos os demais solos possuem formas facilmente extraíveis, não ultrapassando a 3ª extração, condições observadas por SCHAEFER (1991), trabalhando com solos afins aos Chernossolos e aos Cambissolos em áreas próximas. No Nitossolo houve um aumento de ferro livre com a profundidade, enquanto que nos solos com horizonte A Chernozêmico o Fe livre apresentou tendência de redução em profundidade. O perfil 5 (CXbe) seguiu tendência de decréscimo até o horizonte Bi<sub>2</sub>. Porém, o horizonte Bi<sub>3</sub> apresentou valores muito superiores aos observados nos horizontes superiores. Este valor expressa um grau mais evoluído deste solo com maior transformação de ferro Fe<sup>+2</sup> para Fe<sup>+3</sup>. Este teores são compatíveis com o grau de evolução destes solos, maiores nos solos mais profundos e com maior grau de intemperismo. A relação Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> expressa mais ainda o grau de evolução dos solos, relacionando-se com suas características e as condições do ambiente. O Latossolo testemunha o avanço de evolução dos solos, onde a relação Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> foi extremamente baixa, com presença insignificante de ferro pouco cristalino. Os maiores valores superficiais relacionam-se ao efeito inibitório da matéria orgânica na cristalinidade dos óxidos de ferro, por meio da forte adsorção de íons orgânicos por óxidos de Fe pouco cristalinos (SCHWERTMANN, 1966).

Os dados de silício, extraídos por oxalato, mostram diferenças de acordo com os tipos de solos. Os solos mais intemperizados, como o Latossolo, apresentaram menores valores, por sua mineralogia gibbsítica revelada nos difratogramas de raios-X, evidenciando a pobreza em sílica do ambiente. Considerando que a sílica solúvel nos solos tem uma concentração variando entre 1 a  $40 \text{ mg L}^{-1}$  (McKEAGUE

e CLINE, 1963; ELGAWHARY e LINDSAY, 1972 ), os valores encontrados permitem concluir que boa parte de sílica se encontra em formas amorfas (pouco cristalinas ). Já os teores totais de silício no solo variam entre 400 g kg<sup>-1</sup> para solos arenosos e 8 g kg<sup>-1</sup> para solos tropicais altamente intemperizados (TISDALE et al., 1985 ). Os valores mais elevados nos perfis 3 e 4 (Cambissolo e Chernossolo ) indicam grande influência da composição mineralógica da fração silte, areia e das condições de pH, liberando sílica para o meio, além da menor lixiviação, reduzindo as perdas de sílica.

Quadro 5 - Teores de ferro solúvel em DC ( Fed ) e oxalato ( Feo ), relação Fed/Feo, Ferro cristalino ( Fec ) de silício solúvel em oxalato ( SiO<sub>2o</sub> ), nos solos desenvolvidos de rochas máficas na região da Maloca do Flechal.

Perfil	Solo	Hor.	Ditionito(Fed)					Total	Feo	Feo/Fed	Fec	SiO <sub>2o</sub>
			1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>					
			.....g kg <sup>-1</sup> .....					.....g kg <sup>-1</sup> .....				
1	NVe	Ap	46,4	11,2	0,7	---	---	58,3	3,5	0,06	54,8	1,41
		Bnítico <sub>1</sub>	57,2	10,1	0,9	---	---	68,2	4,6	0,07	63,6	---
		Bnítico <sub>2</sub>	55,4	18,4	1,6	---	---	75,5	3,2	0,04	72,3	1,13
2	MEo	Ap	87,1	15,3	3,6	---	---	106,0	7,7	0,07	98,3	1,26
		Bnítico <sub>1</sub>	76,3	22,4	3,9	---	---	102,7	7,5	0,07	95,2	---
		Bnítico <sub>2</sub>	73,4	17,9	3,7	---	---	95,1	5,6	0,06	86,9	1,90
3	CXbe	Ap	44,5	4,0	3,5	---	---	52,0	6,4	0,12	45,6	2,01
		Bi <sub>1</sub>	47,5	4,7	3,4	---	---	55,6	4,8	0,09	50,8	---
		Bi <sub>2</sub>	43,5	4,5	3,1	---	---	51,1	4,9	0,10	46,2	2,65
4	MEov	Ap	28,9	2,6	3,3	---	---	34,9	7,7	0,22	27,2	2,01
		Bi <sub>1</sub>	20,7	3,8	3,9	---	---	28,4	1,7	0,06	26,7	---
		Bi <sub>2</sub>	20,9	4,5	4,0	---	---	29,4	1,6	0,05	27,8	1,37
		BC/Cr	18,3	2,5	3,9	---	---	24,7	2,4	0,10	22,3	---
5	CXbe	Ap	68,7	5,1	3,3	---	---	77,1	7,2	0,09	69,9	1,61
		Bi <sub>1</sub>	57,3	6,3	2,1	---	---	65,8	3,7	0,06	62,1	---
		Bi <sub>2</sub>	56,3	8,2	0,3	---	---	64,8	2,5	0,04	62,3	2,03
		Bi <sub>3</sub>	100,1	12,6	2,6	---	---	115,4	1,2	0,01	114,2	---
6	LVAdf	Ap	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,73
		Bw <sub>1</sub>	175,8	40,5	22,8	13,8	0,58	258,7	1,0	0,004	257,7	0,88

### **3.5 - Teores de micronutrientes ( Zn, Cu, Mn ) totais na fração terra fina**

Os teores de micronutrientes, presentes nos solos (Quadro 6 ), estão condizentes com o material de origem (Diabásio Avanavero ), com concentrações elevadas e em alguns casos, próximas dos valores da constituição mineralógica da rocha, segundo dados de KABATA-PENDIAS e PENDIAS ( 1993 ). Variações nos teores destes elementos são observadas com o avanço do intemperismo. Para os solos mais intemperizados, os teores de zinco totais mostraram valores inferiores em profundidade, e boa parte deste elemento pode estar associada à matéria orgânica, tendo em vista que o pH destes solos é inferior a 6, valores em que estes metais estão mais fortemente complexados com os compostos orgânicos ( ALLOWAY, 1997 ).

Os teores de cobre nos solos são função do material de origem e do grau do intemperismo dos mesmos ( JARVIS, 1981 ), o que parece de confirmar nos solos em estudo, em que os solos mais intemperizados possuem menores teores de cobre. No entanto, em razão das condições de pH e da mineralogia destes solos, é provável que este cobre esteja mais disponível. Similarmente ao zinco, os solos mais intemperizados mostram decréscimo de cobre com a profundidade, indicando a importância da matéria orgânica na redução das perdas deste elemento em solução.

O manganês não mostrou uma tendência de comportamento em função da profundidade. Este elemento apresentou teores mais elevados em comparação aos de cobre e zinco, por ser um dos elementos mais comuns na rocha máfica, variando nos solos de 10 a 9.000 mg kg<sup>-1</sup>, com frequência entre 200 e 800 mg kg<sup>-1</sup> ( RAIJ, 1991 ).

Quadro 6 – Micronutrientes determinados no ataque total da fração terra fina dos horizontes selecionados dos solos estudados.

Perfil	Solo	Hor.	Zn	Cu	Mn
			.....mg kg <sup>-1</sup> .....		
P1	NVe	Ap	49,30	96,44	142,97
		Bnítico <sub>2</sub>	47,74	13,60	173,17
P2	MEo	Ap	61,78	77,31	956,15
		Bnítico <sub>2</sub>	60,41	94,98	709,91
P3	CXbe	Ap	84,55	67,97	758,53
		Bi <sub>2</sub>	79,53	50,18	1.092,93
P4	MEov	Ap	69,95	54,94	351,55
		Bi <sub>2</sub>	66,69	70,27	794,15
P5	CXbe	Ap	78,11	109,77	492,48
		Bnítico <sub>2</sub>	65,10	93,71	238,08
P6	LVAdf	Ap	44,65	31,23	259,91
		Bw <sub>1</sub>	30,68	tr	103,39

tr – traços de elementos.

### 3.7 - Fósforo remanescente e adsorção de fósforo no solo

As diferentes concentrações, empregadas na determinação da CMAF, em função do P-remanescente, permitiram alcançar valores máximos de adsorção de fosfato para todos os solos ( Quadro 7 ) e as curvas de ajuste pela isoterma de Langmuir ( Figura 4 ). A capacidade máxima de adsorção de fosfato variou entre 0,321 a 2,380 mg kg<sup>-1</sup>. O Latossolo e Nitossolo foram os solos que mostraram maior adsorção de fosfato 2,380 e 1,547 respectivamente, o que se pode atribuir aos teores de argila e à composição mineralógica dos solos, a qual apresenta teores elevados de óxidos de ferro no Nitossolo e óxidos de ferro mais alumínio no Latossolo.

Nos Cambissolos e Chernossolo, foram observados os menores valores de adsorção. Neste caso, em que os horizontes A e B foram avaliados, houve um aumento da adsorção com a profundidade do solo,

o que se pode atribuir ao incremento no teor de argila, comumente observados nestes solos.

A CMAF correlacionou-se positivamente com os teores de argila,  $R = 0,87^*$ , ( Figura 5 ). Correlações significativas e positivas da adsorção de fosfato com teores de argila foram obtidas por SILVA, 1999 e LIMA, 2001; em diferentes solos dos Estados do Acre e Amazonas, respectivamente, tendo em vista a importância da argila no fenômeno de adsorção, reconhecida por outros autores ( JUO e FOX, 1977; CURTI e CAMARGO, 1988; NOVAIS et al., 1991 ). Por esta razão, é possível se fazer inferência sobre a influência dos teores e os tipos de argila na adsorção de fosfato. Os solos mais argilosos e com maior presença de óxidos, exemplo do Nitossolo e Latossolo, este último com predomínio de óxidos de ferro e alumínio, o fenômeno de adsorção é mais expressivo, enfatizando o comportamento da superfície específica e da mineralogia na adsorção de fosfato. Embora a adsorção tenha aumentado com a profundidade do solo, ao mesmo tempo em que os teores de COT decrescem, não houve correlação significativa com os teores de carbono orgânico total, como também não foi constatado correlação com o ferro extraído por ditonito. Solos com mineralogia caulínica, na região do Apiaú ( capítulo 1 deste trabalho ), apresentaram baixa capacidade de adsorção de fosfato. Em razão da grande expressão de Latossolos e Argissolos com baixos teores de ferro e de textura média no Estado de Roraima ( EMBRAPA, 1982, 1983; SCHAEFER, 1991, 1994 e VALE JÚNIOR, 2000 ), atribuir-se-ia, em princípio a uma baixa capacidade de adsorção de fosfato a estes solos. Este fato é de fundamental importância, já que os solos possuem baixos teores de fósforo e a agricultura depende da importação deste insumo de outros Estados, a custos elevados.

Quadro 8 - Fósforo remanescente e adsorção de fosfato nos solos estudados.

Perfil	Solos	Hor.	P-rem	CMAF	a	CMAF*
			Mg L <sup>-1</sup>	(b) mg g <sup>-1</sup>	L mg <sup>-1</sup>	mg g <sup>-1</sup>
1	NVe	Ap	39,8	-----	-----	0,439
		Bnítico <sub>1</sub>	29,7	.....	-----	0,549
		Bnítico <sub>2</sub>	4,2	1,547	0,156	1,280
2	MEo	Ap	50,2	0,321	0,211	0,353
		Bt <sub>1</sub>	43,0	.....	.....	0,410
		Bt <sub>2</sub>	36,2	0,629	0,134	0,475
3	CXbe	Ap	43,3	0,424	0,171	0,409
		Bi	31,6	.....	.....	0,526
		Bi	29,5	1,661	0,075	0,551
4	MEov	Ap	47,9	.....	.....	0,370
		Bt <sub>1</sub>	43,5	.....	.....	0,406
		Bt <sub>2</sub>	46,9	.....	.....	0,378
		BC/Cr	46,0	.....	.....	0,385
5	CXbe	Ap	40,7	0,398	0,157	0,431
		Bi	38,3	.....	.....	0,454
		Bi <sub>2</sub>	37,7	.....	.....	0,460
		Bi <sub>3</sub>	27,1	0,7548	0,144	0,582
6	LVAdf	Ap	19,8	.....	.....	0,701
		Bw <sub>1</sub>	6,6	2,380	0,141	1,111

P-rem = fósforo remanescente, b = capacidade máxima de adsorção, a = energia de adsorção. \*Valores estimados de adsorção de fosfato.

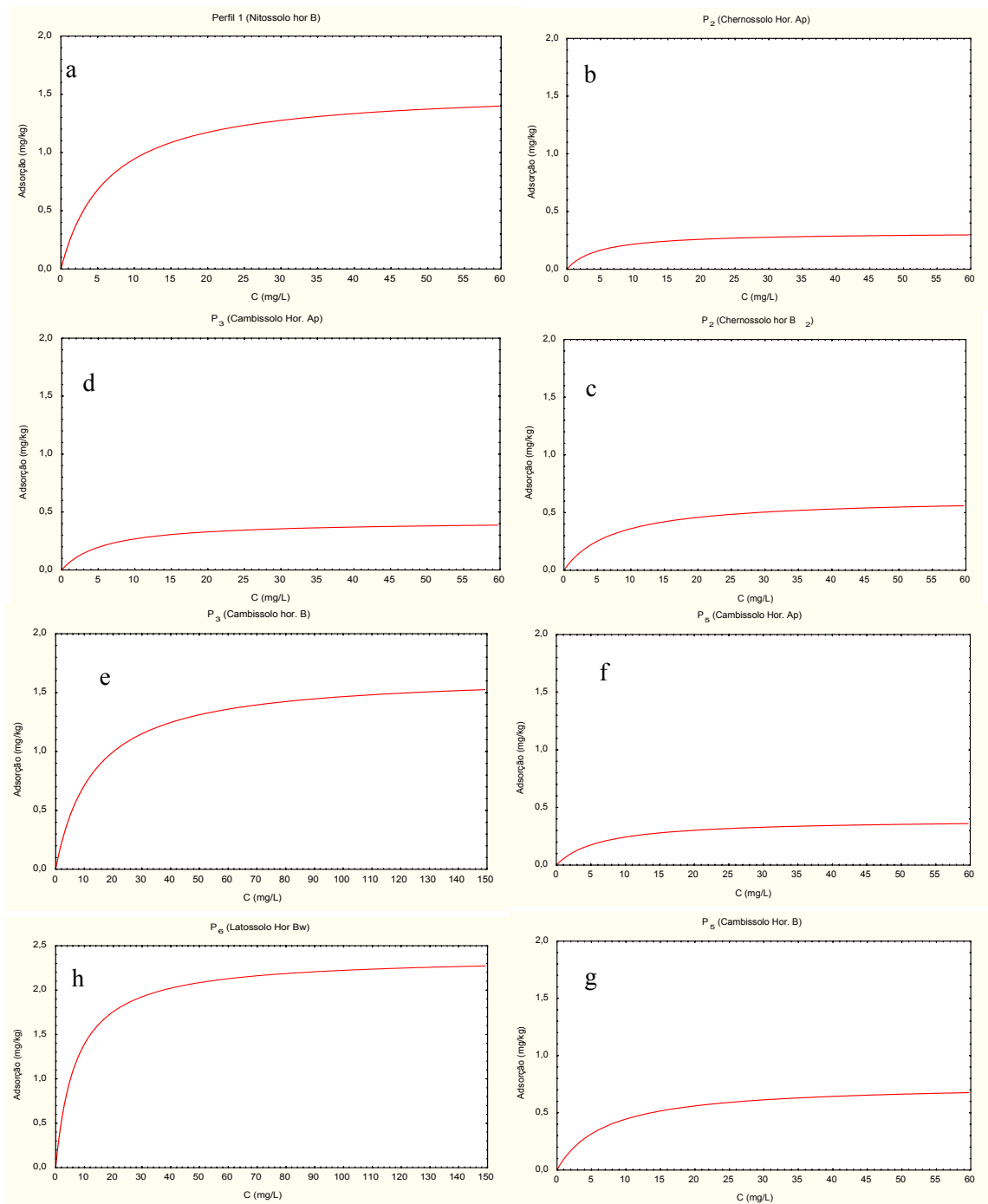


Figura 10 - Curvas de adsorção de fosfato em horizontes superficiais e subsuperficiais de cinco solos da região Maloca do Flechal.

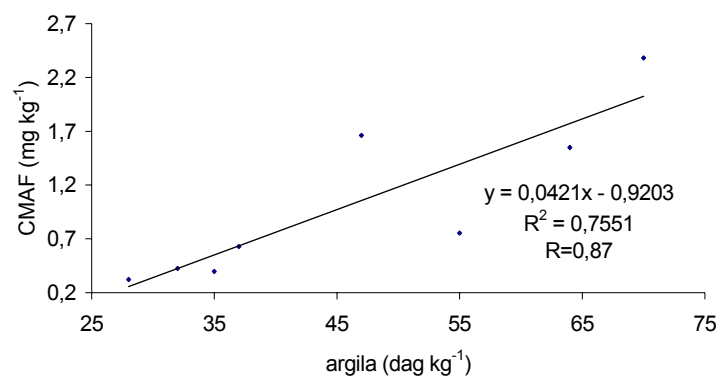


Figura 11 – Modelo preditivo dos valores de CMAF obtidos pela equação de Langmuir, em função dos teores de argila, calculado pelo ajuste de regressão linear simples, nas amostras estudadas.

## 4 - CONCLUSÕES

Os solos foram caracterizados como, Chernossolos, Cambissolos Nitossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo, ocupando relevo mais rebaixado e menos acidentado, vertentes mais inclinadas e topos elevados aplainados, respectivamente. São solos de textura franca em superfície a muito argilosa em subsuperfície, com valores elevados de silte, principalmente nos Cambissolos e Chernossolos. A mineralogia varia desde gibbsítica/caulinítica/goethítica a minerais 2:1, nos Chernossolos e Cambissolos. O grau de intemperismo condiciona a mineralogia gibbsítica/caulinítica/goethítica no Latossolo.

A paisagem com Nitossolo apresenta evidências de perdas superficiais de solos, com presença expressiva de manchas de solos truncados.

Excetuando-se o Latossolo, os demais solos são de fertilidade alta a média, com reserva mineral na fração silte. No Latossolo a reserva mineral é reduzida e o alumínio corresponde aproximadamente 50% do complexo de troca. A pobreza em fósforo constitui-se uma generalidade, o que pode limitar o aumento da produtividade destes solos. A atividade de argila após correção do C, abaixo do limite para solos Ta, denota a “degradação” atual destes solos pelas condições pedoclimáticas mais úmidas, instaladas recentemente nessa parte da Amazônia.

A evolução dos solos foi expressa pelos valores de ferro e silício solúveis, onde os solos mais intemperizados, Latossolo e Nitossolo,

apresentaram valores insignificante de ferro e silício de baixa cristalinidade.

Os teores de zinco e cobre reduziram em profundidade e com o avanço do intemperismo dos solos, e seus maiores valores em superfície podem estar associados à sua complexação pela matéria orgânica. Já o manganês apresentou valores mais elevados por ser um dos elementos comuns nas rochas máficas, principalmente nos solos menos intemperizados.

O Latossolo e Nitossolo foram os solos que apresentaram maiores valores de adsorção de fosfato, atribuindo-se estes valores à mineralogia mais oxídica destes. Já nos Chernossolos e Cambissolos, foram observados menores valores de adsorção, aumentando em profundidade.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. London, Blackie Academic. 1997. 368p.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS , R.F.; BRAGA, J.M.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; RIBEIRO, A.C.; DEFELIPO, B.V. Avaliação da fertilidade do solo. Metodologia: In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, I. Viçosa. 1988. **Resumos...**, Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, p. 68-69, 1988.
- ALVAREZ V., V.H.; FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação de capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas. v. 14, n. 1, p. 49 - 55, 1990.
- BRASIL, Ministério das Minas e energia. Projeto RADAMBRASIL. Folha NA. 20. Boa Vista e parte das Folhas NA. 21 Tumucumaque, NB. 20 Roraima e NB. 21. Rio de Janeiro, 1975, 429p.
- CHEN, P-Y. Table of Key by lines in X-ray power diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks, Bloomington. Dep. Nat. Res. Geol. Sur. 1977. 67p.
- CURI, N.; CAMARGO, O.A. **Phosphorus adsorption characteristics of Brazilian oxisols**. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: CLASSIFICATION, CHARACTERISTICS AND UTILIZATION OF OXISOLS, 8.; 1986. Rio de Janeiro. Parte 1. Proceedings... EMBRAPA, SMSS, AID, UPR, Rio de Janeiro, Brasil, 1988. P.56-63.
- ELGAWHARY, S.M.; LINDSAY, W.L. Solubility of silica in soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 36 : 439-442. 1972.

- EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Levantamento de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Projeto de Colonização Apiaú - Território Federal de Roraima. Boletim de Pesquisa n<sup>o</sup>. 14, RJ, 1982.
- EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Polo Roraima. Boletim de Pesquisa n<sup>o</sup>. 18, RJ, 1983.
- EMBRAPA, Centro Nacional de pesquisa de solos, Manual de métodos de Análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA, Centro Nacional de pesquisa de solos, Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Rio de Janeiro. 1999. 169p.
- FALESI, I.C. Solos da Rodovia Transamazônica. Belém, IPEAN, 1972. p.1-195. (Boletim Técnico, 55).
- FALESI, I.C.; FREIRE, E.M. S.; SILVA, L.G.T. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da área da estrada de ferro Carajás. Belém, CVRD. 1986. 104p.
- JARVIS, S.C. Copper concentrations in plants and their relationship to soil properties. In: LONGERANGAN, J.F.; ROBSON, A.D.; GRAHAM, R.D. eds. Copper in soils and plants. Sidney, Academic Press, 1981. P. 265-285.
- JUO, A.S.R.; FOX, R.L. Phosphate sorption characteristics of some benchmark soils of West Africa. **Soils Sci.** V.124, p.370-376. 1977.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Biogeochemistry of trace elements**. PWN, Warsaw, 1993. 364p.
- LIMA, H.N. **Gênese, Química, Mineralogia e Micromorfologia de Solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa, UFV, 2001, 176p. (Tese de Doutorado).
- McKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silica in soil solution. II. The absorption of monosilicic acid by soil and other substances. **Can. J. Soil Sci.** 43 : 83-96. 1963.

- McKEAGUE, J.A.; DAY, J.H. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Can. J. Soil Sci.** 46 :13 – 22. 1966.
- MILLER, R.W.; DONAHUE, R.L. Soils: an introduction to soils and plant growth. Englewood Cliffs, Printice Hall, 1990. 768p.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Aspectos físico-químicos envolvidos na fixação de fósforo no solo. I: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 5, 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Potafos, 1991. p.133-177.
- NOVAIS, R.F; JOT SMYTH, T. **Fósforo em solo e planta em condições tropicias**. Viçosa, UFV, 1999. 399p.
- NUNES, W.A.G.A.; KER, J.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; GOMES, F.H. Relação solo – paisagem - material de origem e gênese de alguns solos no domínio do “Mar de Morros”, Minas Gerais. Viçosa, **Rev. Bras. Ci. Solo**. 25: 341-354, 2001.
- PINHEIRO, S.S. Programas de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Geologia da região do Caburaí, nordeste de Roraima, Estado de Roraima, Cartas geológicas, cartas metalogenético – previsionais, Escala 1 : 100.000. PINHEIRO, S.S.; REIS, N.J.; COSTI, H.T. (organizadores), Brasília, DNPM/CPRM. 1990. 92p.
- RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres/Potafos. 1991. 343p.
- RYAN, I.; CURTIN, D.; CHEEMA, M.A. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. **Soil Sci. Soc.Am. J.**, 49: 74-76. 1985.
- SANCHEZ, P.A.; **Properties and Management of soils in the Tropics**. New York, John Wily & Sons. 1976. 618p.
- SCHAEFER, C.E.G.R. **Ambientes no nordeste de Roraima: Solos, palinologia e implicações paleoclimáticas**. Viçosa, UFV, 1991. 108p. ( Tese de Mestrado ).
- SCHAEFER, C.E.G.R. Ecogeography and human scenario in Northeast Roraima, Brazil, Ciência e Cultura. **Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**. 49(4):241-252. 1997.

- SCHAEFER, C.E.G.R.; DALRYMPLE, J.B. Landscape evolution in Roraima, North Amazonia: Planation, paleosols and paleoclimates. **Zeit. Fur Geomorph**, 39: 1-28, 1995.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; DALRYMPLE, J.B. Pedogenesis and relict properties of soils with columnar structure. **Geoderma**, 71: 1-17. 1996.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, H.N.; VALE JÚNIOR, J.F.; MELLO, J.W.V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Ciênc. da Terra**, 12: 2000. p.63-104.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; VALE JÚNIOR, J.F. Mudanças climáticas e evolução da paisagem em Roraima: uma resenha do Cretáceo ao Recente. In: BARBOSA, R.I.; FERREIRA, E.J.G.; CASTELLÓN, E.G. **Homem, ambiente e ecologia no Estado de Roraima**. Manaus, INPA, 1997. p. 231-93.
- SCHWERTMANN, U. Inhibitory effect of soil organic matter on the crystalization of amorphous ferric hydroxide. **Nature**, 212: 645-646, 1966.
- SILVA, J.R.T. **Solos do Acre: caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato**. Viçosa, UFV, 1999. 117p. (Tese de Doutorado).
- SMYTH, T.J. Manejo da Fertilidade do Solo para produção Sustentada de Cultivos na Amazônia, In: **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. ALVAREZ, V. V.H.; FONTES, L.F.T.; FONTES, M.P. Viçosa, SBCS, 1996. p.71-93.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry. Genesis, Composition, Reactions**. New York: Wiley, 1997. 443p.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil Fertility and Fertilizers**. New York: Mcmillan Publishing Company, 1985. 754p.
- VALE JÚNIOR, J.F. **Pedogênese e alterações dos solos sob manejo itinerante, em áreas de rochas vulcânicas ácidas e básicas, no nordeste d Roraima**. Viçosa, UFV, 2000. 185p. (Tese de Doutorado ).

WHITHING, L.D.; ALLARDICE, W.R. X-ray diffraction techniques. In: Klute. A. ed. Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods, Madison: **American Society of Agronomy**. p.331-362. 1986.

## **CAPÍTULO 4**

### **MATÉRIA ORGÂNICA E FORMAS DE ALUMÍNIO EM SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS MÁFICAS SOB USO INDÍGENA NA ÁREA DA MALOCA DO FLECHAL, NORDESTE DE RORAIMA**

#### **RESUMO**

Manchas extensas de solos desenvolvidos de rochas máficas no extremo nordeste de Roraima, têm sido cultivado de forma contínua por populações indígenas, em regime de pousio, em função da boa fertilidade natural dos solos. Este trabalho objetivou avaliar as características da matéria orgânica, enfocando os teores de C, substâncias húmicas, grau de humificação das substâncias e as relações com diferentes formas de alumínio, em uma topossequência de solos desenvolvidos de rochas máficas, sob uso indígena. Maiores teores de C foram encontrados no Latossolo (LVAdf) e no Chernossolo sob cultivo contínuo. O C, nos microagregados, parece contribuir para uma maior estabilidade da MO no LVAdf, aumentando o estoque de C em profundidade. A fração húmica é predominante em todos os solos, tendo seus teores reduzidos em profundidade. No Nitossolo (NVe) houve menor relação AH/AF. No Chernossolo (MEo), perfil 2, o relevo e a incorporação dos restos culturais contribuem para conservar os nutrientes. No Chernossolo (ME) e Cambissolo (CXbe), P2, não

cultivados, a MO é menos estável. No MEO, sob cultivo, houve aumento da polimerização dos AHs. Já no Latossolo, o oligotrofismo parece ser responsável pelo aumento da polimerização dos AHs. Os solos com A Chernossêmico não cultivados são mais homogêneos quanto à qualidade dos AHs. O fracionamento de Al indicou baixos valores de Al trocável e baixo potencial de liberação de formas não trocável de Al para trocável. Valores expressivos de Al de baixa cristalinidade retratam uma expressão de minerais primários e argilas 2:1, impedindo a melhor cristalinidade de hidróxidos de Al.

**Termo de indexação:** Roraima, cultivo indígena, Chernossolo, Cambissolo, matéria orgânica e Alumínio.

## 1 - INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo representa um sistema dinâmico, influenciado por vários fatores, incluindo clima, conteúdo de argila do solo, mineralogia e sistemas de manejo, dentre outros, os quais afetam os processos de transformações e evolução da matéria orgânica no solo ( IGUE, 1983; ANDERSON e INGRAM, 1989; HAIDER, 1992; OADES, 1995 ).

A interferência antrópica sobre os ecossistema produz mudanças na dinâmica da matéria orgânica do solo ( NEY e GREELAND, 1964; REICHELI, 1981 ), causando maiores perdas de carbono do que ganhos, com implicações nos teores de carbono ao longo do tempo ( DORAN, 1997 ). Estas ações, realizadas em forma de práticas de uso e manejo dos solos, interferem no equilíbrio natural dos ecossistemas alterando os componentes orgânicos tanto em qualidade quanto em quantidade, resultando numa dinâmica química e física diferente das condições originais, com conseqüências positivas ou negativas, as quais dependem do manejo adotado ( STEVENSON, 1994 ). Além das variações de carbono no solo, em função do tempo e tipo de uso, o conteúdo deste varia também em função das condições ambientais e do tipo de solo ( BATJES e DIJSHOORN, 1999; KOUTIKA et al., 1997 ).

Os solos com horizonte A Chernozêmico possuem grande expressão da interação das frações orgânicas e mineral do solo, influenciando fortemente nas características estruturais, cor e nos teores de carbono orgânico, além da forte atuação dos microorganismos e da

mesofauna do solo, em razão das condições de saturação por bases elevada ( ANJOS et al., 1999 ).

As substâncias húmicas são representadas por compostos orgânicos resultante da atividade biológica, caracterizadas em função das suas estruturas e reatividade, separadas com base em suas características de solubilidade e classificadas como humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (CAMARGO et al., 1999 ). Seus estudos quantitativos e qualitativos consistem em técnicas de fracionamento e purificações por meio de processos físico-químicos, usando-se comumente soluções alcalinas e ácidas, dependendo da natureza de cada grupo funcional e caracterização espectroscópica ( STEVENSON, 1994 ).

A fração ácidos fúlvicos, que inclui compostos de maior solubilidade entre as substâncias húmicas, apresenta forte afinidade para complexar com elementos metálicos que, de acordo com as condições climáticas e ambientais, podem percolar pelo perfil do solo com a água de drenagem, ficando retido nos horizontes inferiores ou fazer parte dos cursos d'água (LAZERTE e FUNDEIS, 1994 ).

As substâncias orgânicas solúveis podem complexar com as frações inorgânicas do solo, ser fortemente adsorvidos pelos óxidos de ferro de alumínio e argilominerais, além de poder formar compostos presentes na solução do solo (DAVIS, 1982 ), via mecanismos que possibilitam a formação de complexos catiônicos, aniônicos, ponte de hidrogênio, ligações covalentes e forças de Vander Walls (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., 1996 ) e depende das condições ambientais e das práticas de manejo ( DELL' ABATE et al., 2002 ). Esta ciclagem tem uma relação direta com a disponibilidade de carbono para a atmosfera, e pode contribuir, de acordo com a qualidade da matéria orgânica, para aumentar o estoque de carbono no solo, funcionando no

seqüestro de carbono, haja visto que o solo é um dos principais componentes do ciclo de carbono terrestre ( SWIFT, 2001 ).

O alumínio, como um dos elementos mais abundante na crosta terrestre e no solo, ocorre em diversas formas quimicamente complexas ( SOON, 1993 ). Na solução do solo, este alumínio pode ocorrer em forma de polímeros e monômeros inorgânicos e complexos orgânicos, tais como Al-ácido fúlvico e na fase sólida poder ocorrer como íons trocáveis, precipitado como hidróxidos, como óxidos, fazendo parte das estruturas entrecamadas dos minerais silicatados ( BACHE, 1986 ).

Este trabalho teve como objetivos estudar as características das substâncias húmicas, o grau de humificação destas substâncias e as relações com diferentes formas de alumínio em uma toposseqüência de solos desenvolvidos sob rochas máficas sob uso agrícola indígena, no nordeste de Roraima.

## **2 - MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 - Procedimento amostral**

As amostras foram coletadas em uma topossequência composta por seis perfis de solos, desenvolvidos de rochas máficas (diabásio), que se constitui como um dos maiores corpos máficos do Norte Amazônico, o Sill “Pedra Preta”.

As classes de solos estudadas foram: P1 - NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico ( NVe ), P2 - CHERNOSSOLO EBÂNICO Órtico ( MEo ), P3 e P5 - CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos, P4 - CHERNOSSOLO EBÂNICO Órtico vértico ( MEov ) e P6 - LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distroférrico ( LVAdf ), caracterizados detalhadamente no capítulo 3.

### **2.2 - Determinação quantitativa do carbono orgânico total e fracionamento da matéria orgânica**

O carbono orgânico total foi determinado em triplicata, utilizando o método descrito por YEOMANS e BREMNER ( 1988 ), e o fracionamento das substâncias húmicas foi realizado segundo a técnica do fracionamento diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substancias Húmicas ( IHSS ), descrito por SWIFT et al. ( 1996 ). O

estoque de carbono e humina foi estimado considerando os valores de densidade do solo para os solos da região Amazônica ( BATJES e DIJKSHOORN, 1999 ). As taxas de humificação foram calculadas de acordo com CIAVATTA et al. ( 1990 ).

### **2.3 - Extração e purificação das substâncias húmicas para fins de Ressonância Paramagnética Eletrônica ( EPR )**

Os ácidos húmicos ( AH ), das amostras superficiais ( n = 06 ), foram extraídos segundo a técnica padrão adotada pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas ( IHSS ) ( SWIFT et al., 1996 ).

Os espectros de ressonância paramagnética eletrônica dos ácidos húmicos foram obtidos em amostras sólidas, utilizando um espectrômetro de EPR, Bruker EMX, operando em banda X ( 9GHz ) e cavidade retangular, potência de 0,2 mw, amplitude de modulação de 1 Gauss, pico a pico, pertencente ao Laboratório da EMBRAPA Instrumentação ( CNPDIA ).

Para quantificação dos radicais livres do tipo semiquinona, foi utilizado o método do padrão secundário ( SINGER, 1959 ), com um cristal de rubi (  $Al_2O_3$  ) contendo 0,5% de  $Cr^{+3}$  por peso. Seu fator g ( ganho ) é de 1,263 g e, portanto, não interfere com o sinal do radical livre semiquinona, cujo valor de g está em torno de 2,003 ( MARTINETO et al., 1998 ), obtendo-se o número de spins pela área dos radicais livres semiquinona através da fórmula aproximada  $I \times \Delta H^2$ , em que I é a amplitude do sinal e  $\Delta H$  a largura de linha de Gauss.

## **2.4 - Termogravimetria dos ácidos húmicos de amostras superficiais de solos**

As análises termogravimétricas das amostras de ácidos húmicos de horizontes superficiais de solos (n=06), foram feitas em um analisador termogravimétrico TGA-50 SHIMADZU, usando amostras com peso exato, em torno de 3,0 mg, em ambiente estático ao ar. Iniciou-se o processo a temperatura de 30 °C e a curva de aquecimento foi de 5 °C min.<sup>-1</sup> até 105 °C, com um tempo de espera de 10 min, seguido de aquecimento a 5 °C min.<sup>-1</sup> até 650 °C ou 750 °C, quando detectado o final da queima pela estabilização do peso do resíduo. O processo consumiu em média 2 horas e 30 minutos por amostra, além de 30 minutos adicionais para o resfriamento do aparelho. As curvas de termodecomposição foram adquiridas por um microcomputador acoplado ao instrumento, utilizando o programa TA-50 WSI ( SHIMADZU, 1989 ), a uma razão de um ponto a cada 10 segundos, num total de 800 pontos por curva. A perda de peso até 105 °C, incluído o tempo de espera, foi considerada como umidade da amostra. O resíduo ao final da queima foi considerado como o teor de cinzas ( HUFFMAN e STUBER, 1985 ). Esta metodologia foi padronizada por ( BENITES, 2002 ).

## **2.5 - Análise elementar ( CHN ) dos ácidos húmicos**

A composição elementar dos ácidos húmicos foi determinada em um analisador elementar Perkin Elmer PE-2400 CHNS. As análises foram feitas, utilizando-se amostras de 1,1000 ± 0,1000 mg pesadas em microbalança acoplada ao aparelho. O padrão de referência usado foi a acetanilida ( C=71,09 %, H=6,71 %, N=10,36 % ), e as leituras das amostras alternadas por leituras de brancos, na razão de um branco para cada quatro amostras. Os valores de carbono, hidrogênio e nitrogênio foram corrigidos para base seca, utilizando as informações obtidas pelos dados da análise termogravimétrica, através da seguinte equação:

$$\% \text{ corrigido} = \% \text{ original} \cdot 100 / (100 - \% \text{umidade} - \% \text{cinzas}).$$

Do teor de hidrogênio determinado pelo aparelho, foi subtraído o hidrogênio contido na umidade, determinada pela termogravimetria, previamente à correção para base seca e sem cinzas. O teor de oxigênio foi determinado por subtração a partir dos dados corrigidos. Calculou-se as razões atômicas:

$$\text{C:H} = [(\% \text{C} / 12) / (\% \text{H} / 1)],$$

$$\text{C:N} = [(\% \text{C} / 12) / (\% \text{N} / 14)] \text{ e}$$

$$\text{O:C} = [(\% \text{O} / 16) / (\% \text{C} / 12)].$$

## 2.6 - Formas de alumínio

As diferentes formas de alumínio foram determinadas na fração terra fina dos horizontes A e B de cada solo, em duplicatas, utilizando-se a metodologia proposta por SOON (1993). Na 1ª extração seqüencial, o Al trocável extraído por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; Al complexado à matéria orgânica por CuCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> + KCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>; Al em forma de polímeros fortemente adsorvidos por NH<sub>4</sub>OAc 1 mol L<sup>-1</sup>. Os óxidos e hidróxidos de alumínio e o alumínio de aluminossilicatos amorfos foram extraídos por oxalato de amônio 0,2 mol L<sup>-1</sup> a pH 3,0 e o alumínio intercamada, determinado por citrato de sódio 0,33 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,3, ambos em subamostras separadas. Os três primeiros tipos de extrações foram realizados na mesma amostra, de forma seqüenciada. O alumínio total foi extraído por digestão triácida (HCl + HF + HNO<sub>3</sub>) em forno de microondas. As determinações dos teores de Al extraídos foram feitas por espectrometria de emissão de plasma. Os teores de óxidos e hidróxidos de Al amorfos foram obtidos pela diferença entre o Al extraído por oxalato de amônio e [Al-KCl + Al-(KCl + CuCl<sub>2</sub>)].

### **3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 - Determinação quantitativa do carbono orgânico total**

Os valores de carbono orgânico total ( Quadro 1 ) evidenciam as diferenças entre os tipos de solos e as condições climáticas aos quais estão submetidos. Os solos distróficos, como o Nitossolo e o Latossolo, possuem maior acúmulo de carbono em profundidade, bastante evidente no Latossolo. O Chernossolo sob cultivo contínuo ( P2 ), embora ofereça condições de eutrofismo que favorece uma mineralização mais ativa da matéria orgânica, mostra que a incorporação de restos culturais e a queima contribuem para manter os teores de carbono elevados, em relação aos demais solos de natureza semelhante, sem a influência do cultivo. As características químicas destes parecem ser uma das condições determinantes do conteúdo de carbono nos solos, conforme ( STEVENSON, 1994 e ANJOS, 1999 ), fato também observado por BENITES (1998), estudando carbono no solo de diferentes pedoambientes de Minas Gerais e VALE JÚNIOR ( 2000 ), quando comparou o estoque de carbono de solos desenvolvidos sobre rochas máficas e rochas ácidas, nas regiões do Taiano e Pacaraima, respectivamente, em Roraima.

O Latossolo possui estoque de carbono superior às estimativas feitas por BATJES e DIJKSHOORN ( 1999 ) para os solos da Amazônia,

com valores próximos  $150 \text{ t ha}^{-1}$ . No entanto, os outros solos em estudo, permaneceram dentro dos valores por estimados por BATJES e DIJKSHOORN ( 1999 ). Os maiores valores para o Latossolo podem ser resultantes da incorporação de matéria orgânica nos microagregados, através do mecanismo de troca de ligantes, onde ânions orgânicos só podem ser desorvidos por ânions adsorvidos mais fortemente como hidroxila ou pirofosfato ( JENKINSON, 1988 ), protegendo a matéria orgânica da degradação, além das condições oligotróficas em altitudes mais elevadas da topossequência. Maiores teores de carbono foram observados associados a altos teores de Al, podendo condicionar a formação de horizonte A húmico em Latossolo, conforme YOUNG e STEPHEN ( 1965 ) e VOLKOFF et al. ( 1984 ). A associação da matéria orgânica com Al parece está contribuindo para uma menor degradabilidade e maior resistência à oxidação da matéria orgânica ( MENDONÇA, 1995; SCHAEFER et al., 2000 ).

### **3.2 - Fracionamento da matéria orgânica**

A fração humina foi a predominante em todos os solos, com variações entre 54 e 94% das substâncias húmicas ( Quadro 1 ). Em todos os solos houve decréscimo da fração humina em profundidade, correlacionando com os teores de carbono (  $r = 0,95^{***}$  ).

As frações AFs e AHs comportaram-se semelhantemente, com diferenças apenas no Latossolo onde houve um incremento de AF e AH no horizonte subsuperficial, indicando uma certa migração dessas frações ao longo do perfil e maior estabilidade associada às condições de complexação com óxidos de ferro e de alumínio. Uma vez complexados, íons metálicos, como Fe e Al, podem migrar para horizontes inferiores ( ANJOS et al., 1999 ).

As frações húmicas do Nitossolo denotam o processo de argiluviação associado à mobilidade de formas mais solúveis, observado através da relação AH/AF que diminuiu em profundidade. Convém observar o predomínio da fração humina em todas as profundidades dos

perfis analisados, embora esta apresente teores decrescentes em profundidades, correlacionando-se diretamente com os teores de carbono orgânico total. Em relação a fração AF, a menor mobilidade é atribuída à sua baixa solubilidade em condições ácidas. Observações semelhantes foram feitas VALE JÚNIOR (2000) em Argissolos desenvolvido de diabásio na Colônia Agrícola do Taiano, nas áreas mais quente do Estado.

No perfil 2 ( Chernossolo ), a prática de cultivo e o relevo devem ter contribuído para manter os níveis de matéria orgânica em condições superiores aos demais solos, principalmente em profundidade. Como o solo ocupa uma posição mais baixa na paisagem e há um retorno de restos culturais associado à queima, os valores de carbono mantêm-se elevados. Tal fato contribui para a maior sustentabilidade da produção agrícola, conforme reportado pelo líder da Maloca, o Índio Macuxi Arnaldo: “esta terra preta ( **Eri-k'tun** ) tem mantido o sustento de sua família por muitas décadas, com cultivos anuais e fruteiras”.

Observou-se teores muito baixos das frações AF e AH nos Cambissolos ( P3 e P5 ) e Chernossolo ( P4 ) chegando a valores negligenciáveis em alguns horizontes mais profundos. Esta redução pode ser atribuída às condições químicas dos solos que favorecem a atividade microbiana, acelerando o processo de mineralização da matéria orgânica, tendo em vista que os valores de AF e AH foram baixos nos horizontes inferiores. Além disso, as condições de pH elevado, favorecendo a solubilidade destas frações contribuem para uma baixa estabilidade destes constituintes orgânicos ( AFs e AHs ), somando às condições de relevo acidentado, que facilita a remoção de formas solúveis de compostos orgânicos. A ação do fogo sobre a pastagem, nos períodos de seca, contribui para a redução das frações AF e AH, aumentando o “turnover” da matéria orgânica e a humina residual.

Nos solos mais intemperizados, Nitossolo e Latossolo, os valores de humina representam um estoque expressivo de carbono de baixo ciclagem, cujos valores alcançam de  $46 \text{ t ha}^{-1}$  e  $75 \text{ t ha}^{-1}$  dentro de 50 cm, respectivamente ( Quadro 1 ) . Porém, no Chernossolo ( P2 ) sob

constante uso agrícola, com a queima parcial dos restos culturais, o estoque de humina, dentro dos 50 cm, é cerca de 83 t ha<sup>-1</sup>, superando os demais solos. Estes valores superam, até mesmo, as estimativas de carbono, feitas por MORAES et al. ( 1995 ), até 1 m de profundidade do solo.

A taxa de humificação é um parâmetro que pode prover informações quantitativas sobre as substâncias húmicas em relação à matéria orgânica total do solo ( CIAVATTA et al., 1990 ). No presente estudo, os solos mais evoluídos ( P6 ) ou cultivados, as maiores taxas de humificação evidenciam uma matéria orgânica de maior estabilidade.

Quadro 1 - Carbono orgânico total, substâncias húmicas, percentuais relativos de humina em relação ao somatório das frações, estoque de carbono e humina em profundidade e taxa de humificação.

Perfil	Solo	Hor.	Prof. cm	-----mg g <sup>-1</sup> -----			Σ	HU		C		TH	AH/AF
				FAF	FAH	FHU		%Σ	---kg ha <sup>-1</sup> ---	--dag kg <sup>-1</sup> --	--kg ha <sup>-1</sup> --		
P1	NVe	Ap	0-10	3,75	5,04	15,88	24,67	64	19.508	2,46	30.258	36	1,34
		Bni <sub>1</sub>	10-25	2,10	2,91	8,08	13,10	62	14.917	1,56	28.782	32	1,39
		Bni <sub>2</sub>	25-60	0,78	0,25	3,77	4,79	78	16.208	0,93	40.037	11	0,32
P2	MEo	Ap	0-32	1,85	5,49	16,67	24,01	69	67.213	2,38	95.962	31	2,97
		Bni <sub>1</sub>	32-50	1,23	3,69	7,10	12,03	59	16.114	1,72	39.010	29	3,00
		Bni <sub>2</sub>	50-90+	1,09	2,31	5,12	8,55	60	25.830	1,42	71.568	24	2,12
P3	CXbe	Ap	0-20	1,26	1,11	10,99	13,36	82	27.707	1,53	38.556	15	0,88
		Bi <sub>1</sub>	20-35	0,59	0,29	5,58	6,46	86	10.546	1,08	34.020	8	0,49
		Bi <sub>2</sub>	35-60+	0,37	0,00	4,76	5,13	93	14.878	0,95	29.925	4	0,00
P4	MEov	Ap	0-20	1,17	1,41	9,83	12,41	79	24.784	2,06	51.912	12	1,21
		Bi <sub>1</sub>	20-38	0,08	0,15	2,69	2,92	92	6.090	0,69	15.649	3	1,88
		Bi <sub>2</sub>	38-58	0,04	0,09	1,98	2,11	94	4.977	0,37	9.324	3	2,25
		Bi <sub>3</sub>	58-90+	0,05	0,72	2,19	2,96	74	8.830	0,40	16.128	19	14,40
P5	CXbe	Ap	0-30	1,36	0,60	11,61	13,57	86	43.905	1,93	72.954	10	0,44
		Bi <sub>1</sub>	30-83	0,11	0,33	2,21	2,65	83	14.758	0,59	39.400	7	3,00
		Bi <sub>2</sub>	83-111	0,05	0,00	1,80	1,85	97	6.368	0,37	13.054	1,4	0,00
		Bi <sub>3</sub>	111-163	0,06	0,00	1,16	1,22	95	10.156	0,42	27.518	1,4	0,00
P6	LVAdf	Ap	0-10	4,84	3,93	14,69	23,46	63	19.097	2,46	31.980	36	0,81
		Bw <sub>1</sub>	10-50+	5,05	4,14	10,77	19,96	54	55.978	2,25	117.000	41	0,82

AF – ácido fúlvico, AH – ácido húmico, HU – humina; TH – Taxa de humificação =  $100 \times C(AH) / C_{org}$ . %Σ = percentual de humina em relação a soma das frações.

### **3.3 - Espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica de ácidos húmicos extraídos de horizontes superficiais de solos desenvolvidos de rochas máficas na região da Maloca do Flechal**

A quantificação dos radicais livres do tipo semiquinona, através da concentração de spins  $g^{-1}$  de C ( Quadro 2 ), resulta em informações importantes na avaliação qualitativa da fração ácidos húmicos da matéria orgânica dos solos em estudo. Maiores concentrações de radicais livres no Chernossolo ( cultivado por mais de 20 anos, perfil 2 ), Nitossolo e Latossolo vêm fundamentar o efeito das práticas de cultivo e da fertilidade do solo na qualidade da matéria orgânica, contribuindo para entender as complexas interações físico-químicas que ocorrem com a matéria orgânica de acordo com o ambiente em que se encontra. O aumento da concentração de radicais livres semiquinona no Chernossolo sob cultivo resulta do tipo de manejo com uso do fogo. A exploração contínua do solo por longo tempo, com a queima dos resíduos vegetais, aumenta a aromaticidade dos ácidos húmicos em consequência da concentração dos radicais livres semiquinonas, resultantes da remoção oxidativa do hidrogênio dos OHs de grupos fenóis ( RIFFALDI e SCHINITZER, 1972 ). A carbonização dos materiais vegetais resulta no aumento considerável da aromaticidade com redução dos grupos carboxílicos e estruturas alifáticas ( SEILER e CRUTZEN, 1980; ALMENDROS, et al., 1992 ). Os anéis aromáticos são estruturas mais resistentes à mineralização e funcionam com diagnóstico da existência de “black carbon” em áreas com uma alta incidência de fogo, com elevadas taxas de oxidação ( HAUMAIER e ZECH, 1995 ).

Estes fenômenos podem ser melhor visualizados nas curvas dos espectros de ressonância ( Figura 2 ), em que as curvas dos perfis 2 e 6 se destacam em relação às demais, em termos de largura da base.

Estas informações permitem fazer inferências sobre a qualidade da matéria orgânica em diferentes condições de ambientes, suas

implicações na gênese dos solos além das alterações provocadas em função da queima e das condições de fertilidade. Os solos de melhor fertilidade ( P3, P4 e P5 ), com menores concentrações de spins  $\text{g}^{-1}$ , têm como consequência a menor instabilidade da MO e rápida ciclagem.

Quadro 2 - Espectros de ressonância paramagnética eletrônica de ácidos húmicos de amostras de horizontes superficiais de diferentes solos.

Perfil	Solos	Hor.	Spin/g $\times 10^{16}$	Massa de C (mg)	Spin/g de C $\times 10^{16}$
P1	NVe	Ap	1,130	7,802	3,78
P2	MEo	Ap	6,400	15,056	12,22
P3	CXbe	Ap	0,287	7,272	0,96
P4	MEov	Ap	0,117	4,114	0,35
P5	CXbe	Ap	0,489	9,274	1,10
P6	LVAdf	Ap	3,310	6,979	11,50

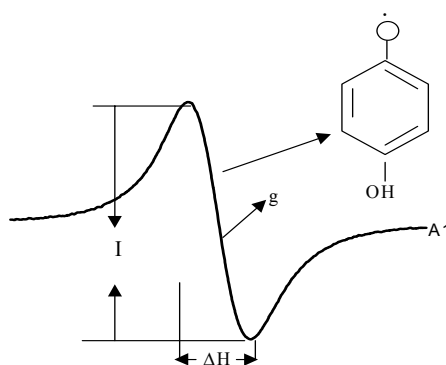


Figura 1 - Modelo dos níveis de energia do spin eletrônico de amostra de ácido húmico na presença de um campo magnético, mostrando sinais de radicais semiquinona.

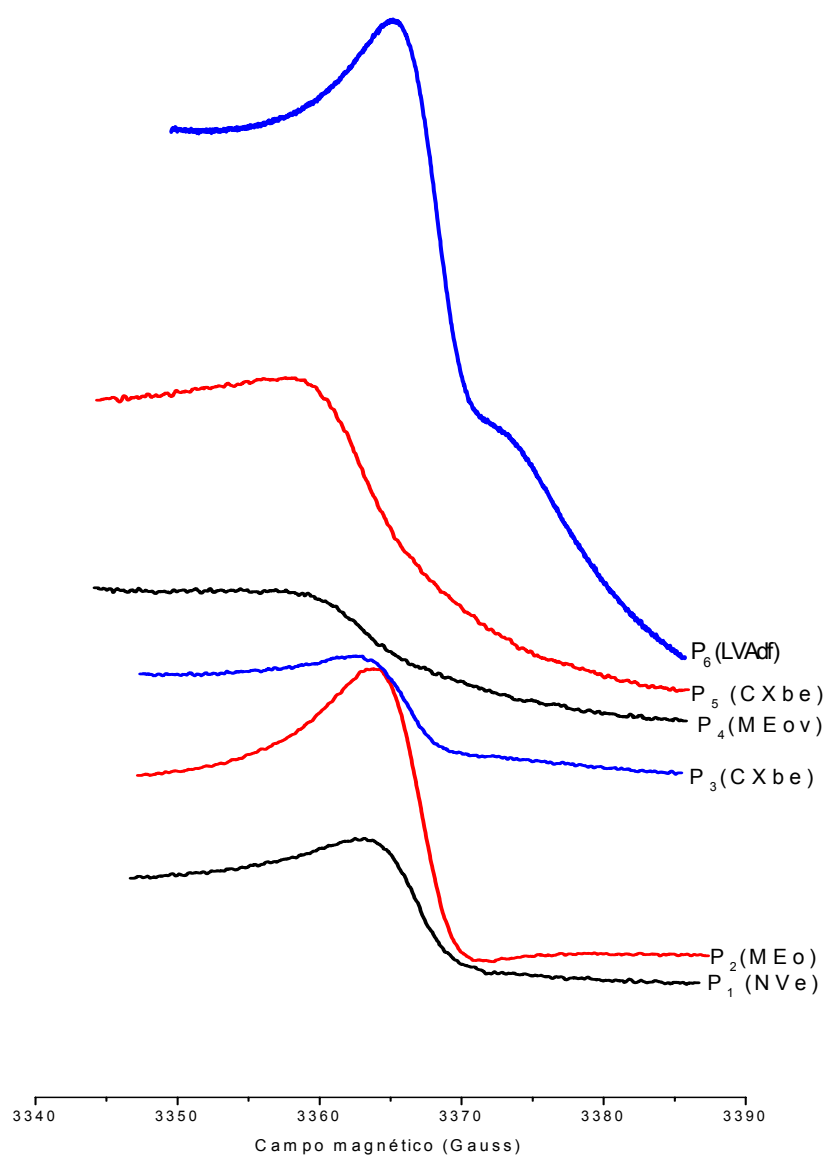


Figura 2 - curvas de espectros de ressonância paramagnética eletrônica de ácidos húmicos de amostras de horizontes superficiais dos solos estudados.

### **3.4 - Composição elementar de ácidos húmicos extraídos de horizontes superficiais de solos da Maloca do Flechal**

A análise dos conteúdos relativos de carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio revelam a natureza química da matéria orgânica e seus quantitativos decorrentes das transformações ocorridas em função das condições ambientais naturais impostas e de suas origens.

As amostras de ácidos húmicos apresentaram valores de carbono inferiores aos valores médios estabelecidos por STEELINK ( 1985 ), apenas o perfil 2 ( MEO ) se estabeleceu dentro desta média. Estes resultados expressam uma certa tendência de maior ciclagem de C em condições de eutrofismo, retardando o processo de humificação. No caso do perfil 2, as práticas de cultivo por longo tempo com uso do fogo para limpeza do terreno, pode ter condicionado à formação de ácidos húmicos de maior polimerização, favorecendo o aumento dos percentuais de carbono mais estável. O processo de queima promove o aumento da polimerização dos ácidos húmicos ( SANTOS et al., 2001 ).

A associação de carbono com íons metálicos ( Al e Fe ), no Latossolo, parece justificar a presença de valores de carbono inferiores aos padrões estabelecidos para os ácidos húmicos. Os íons metálicos parecem competir pelos sítios ativos dos ácidos húmicos, perdendo o hidrogênio da estrutura, mas mantendo o oxigênio da molécula ( MORTLAND, 1986 ), estabilizando a estrutura orgânica.

Em razão dos altos teores de cinzas nos perfis 4 e 5, onde uma certa quantidade do hidrogênio pode resultar da fração mineral, não foi possível fazer estudos comparativos entre as razões atômicas H/C, que é tomada como parâmetro medidor da aromaticidade.

Variações nos teores de nitrogênio foram observadas. O perfil 2, com maiores teores de carbono, apresentou maiores teores de nitrogênio, quando comparado aos P1, P3 e P6, refletindo, segundo CANELAS et. al. ( 1999 ), aumento no grau de humificação. Os perfis P4 e P5 não foram levados em consideração, em função dos altos teores de cinzas.

Quadro 3 - Composição elemental de ácidos húmicos das amostras superficiais dos solos da Maloca do Flechal.

Perfil	Solos	Hor.	Peso	Sem cinzas				C:N	H:C	Umidade	Cinzas
				C	H	N	O				
			---mg---	-----%-----							
P1	NVe	Ap	1,182	29,96	2,85	1,92	65,27	18,2	1,1	4,4	0,9
P2	MEo	Ap	1,148	52,28	3,90	3,82	40,00	15,9	0,9	7,1	0,3
P3	CXbe	Ap	1,115	29,99	3,49	2,98	63,54	11,7	1,4	4,4	9,3
P4	MEov	Ap	1,141	33,32	5,30	4,37	57,01	8,9	1,9	2,5	47
P5	CXbe	Ap	1,153	44,33	4,35	3,49	47,83	14,8	1,2	5,6	28
P6	LVAdf	Ap	1,114	30,63	3,40	2,31	63,66	15,5	0,7	4,0	7,7

### 3.5 - Termodecomposição dos ácidos húmicos

A resistência termal dos ácidos húmicos de horizontes superficiais ( Quadro 4 ) mostram eventos diferenciados de decomposição entre os materiais com várias fases bem evidenciadas na figura 3. Segundo IBARRA et al. ( 1994 ) e BENITES ( 2002 ), as perdas ocorridas em temperaturas inferiores a 350 °C correspondem a decomposição de grupos funcionais de cadeias alifáticas, enquanto em temperaturas superiores, ocorre a termodegradação de grupos funcionais com presença de núcleos mais aromáticos segundo MANGRISCH et al. ( 2000 ). As diversas fases observadas nas curvas de termodecomposição, indicam variações expressivas na composição dos ácidos húmicos, tanto nas estruturas de cadeias alifáticas como nas de cadeias com núcleos aromáticos. As amostras com mais homogeneidade na composição foram as dos perfis 3 e 4, que representam os Chernossolos com maior eutrofismo e com menor instabilidade da

matéria orgânica, em consequência do baixo grau de polimerização das substâncias húmicas.

Quadro 4 - Análise termogravimétrica de ácidos húmicos extraídos de amostras de horizontes superficiais dos solos estudados.

Solo	Hor.	Umidade	Cinzas	PPI%		Qmáx
				105-350°C	350-650°C	
NVe	Ap	4,4	0,9	24,46	75,54	635
MEo	Ap	7,1	0,3	33,95	66,05	650
CXbe	Ap	4,4	9,3	12,13	87,87	630
MEov	Ap	2,5	47	50,67	49,33	600
CXbe	Ap	5,6	28	41,63	58,37	594
LVAdf	Ap	4,0	7,7	20,96	79,04	698

PPI-perdas de peso por ignição. Qmáx – energia máxima.

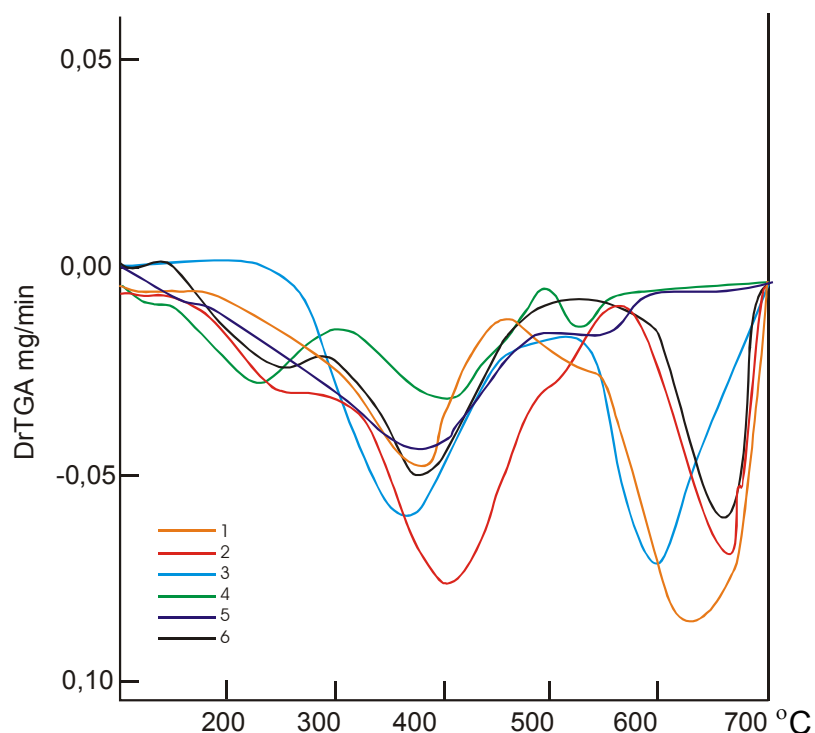


Figura 3 - Gráfico de termodecomposição de ácidos húmicos de horizontes superficiais. Os números 1, 2, 3, 4, 5 e 6 são respectivamente os perfis P1, P2, P3, P4, P5 e P6.

### **3.6 - Formas de alumínio em horizontes superficiais e subsuperficiais**

O alumínio presente na forma trocável ( extraído por KCl ) possui valores baixos, pelas condições de acidez fraca a neutra (Quadro 3). Valores maiores são encontrados no Latossolo como consequência do distrofismo que se manifesta neste solo.

Os baixos valores de alumínio, em forma de polímeros extraídos pelo  $\text{NH}_4\text{OAc}$ , indicam baixo potencial de liberação de alumínio não trocável para formas trocáveis com abaixamento do pH da solução do solo.

As interações do alumínio com a matéria orgânica podem ser demonstradas pela extração com  $\text{CuCl}_2$  do alumínio complexado à matéria orgânica. Os valores de Al- $\text{CuCl}_2$  do P1( Nitossolo ) e do P6 ( Latossolo ) acompanharam a variação dos teores de ácidos húmicos. No Latossolo, maiores valores de Al- $\text{CuCl}_2$ , parece indicar o maior controle da MO sobre as propriedades químicas dos solos, complexando alumínio e reduzindo os teores de Al trocáveis. As interações de moléculas orgânicas com metais, caso do alumínio, diminuem a disponibilidade deste para as plantas, reduzindo a sua fitotoxicidade ( MEUER e ANGHINONI, 2000 ). BENITES et al. ( 1999 ) encontraram boas correlações do alumínio complexado à matéria orgânica com a fração ácidos húmicos dos solos. Os maiores valores de Al- $\text{CuCl}_2$  se relacionam com os maiores teores de matéria orgânica.

Valores de alumínio entre-camadas, com maior expressividade, foram observados apenas no horizonte B do Nitossolo e nos horizontes A e B do Latossolo. Estes resultados retratam a pouca contribuição de minerais do tipo vermiculita com hidroxí entre-camadas. Nos demais solos, em razão da maior riqueza em sílica, o meio ainda não permite a formação de minerais do tipo VHE ( KER, 1997 ). Como se verifica um certo avanço da degradação dos minerais do tipo 2:1, nas condições atuais ( vide capítulo 3 ), a neossíntese de VHE poderá ocorrer.

O alumínio de baixa cristalinidade ( amorfo ) mostrou valores bastante expressivos em todos os solos, com aumento em profundidade,

exceto nos perfis 4 e 5. As condições de intemperismo em estágio pouco avançado podem está contribuindo para impedir uma maior cristalinidade destes hidróxidos, nos perfis de Nitossolo e Chernossolos. No caso do Latossolo, com maior grau de intemperismo, esperar-se-ia maior teor de formas de Al de melhor cristalinidade. Não obstante, o componente orgânico parece também ser um fator controlador da cristalinidade dos óxidos de alumínio. Quelantes orgânicos podem causar distorções na rede cristalina de hidróxidos de Al, conduzindo à formação de minerais com estrutura desordenada ( óxidos de baixa cristalinidade ) e até mesmo alterar o tipo de hidróxidos resultante ( STEVENSON, 1994 ).

Quadro 3 - Fracionamento de alumínio em solos da Maloca do Flechal.

Perfil	Solo	Hor.	Al							
			KCl	KCl + CuCl <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> OAc	Total*	Citrato de Na	Oxalato	Entrecamadas	Amorfo
			----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----							
P1	NVe	Ap	0,30	1,37	0,07	1.025,20	13,69	13,63	0,06	11,89
		Bt2	0,17	0,86	0,07	997,50	17,13	13,96	3,44	12,86
P2	MEo	Ap	0,17	1,19	0,06	774,00	15,54	15,35	0,19	13,93
		Bt2	0,08	1,11	0,07	749,93	22,27	22,12	0,15	20,86
P3	CXbe	Ap	0,22	0,94	0,07	1.002,70	18,44	18,38	0,06	17,15
		Bi2	0,14	1,16	0,07	1.126,70	26,43	26,34	0,09	22,80
P4	MEov	Ap	0,03	0,81	0,07	794,40	17,31	17,13	0,18	16,22
		Bi2	0,27	0,72	0,07	951,80	12,66	12,50	0,16	11,44
P5	CXbe	Ap	0,18	0,70	0,07	1.236,40	11,03	10,88	0,15	9,93
		Bt2	0,05	0,95	0,08	1.258,10	10,41	10,17	0,24	9,09
P6	LVAdf	Ap	0,32	2,31	0,07	898,40	53,32	34,53	18,79	31,83
		Bw1	0,33	3,99	0,07	461,50	76,17	57,24	18,93	52,85

\*Valores totais em cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para fins de comparação com os valores extraídos.

## 4 - CONCLUSÕES

Os teores de carbono foram maiores no Latossolo e no Chernossolo sob cultivo contínuo, em consequência do distrofismo e da incorporação dos restos culturais, respectivamente. A incorporação de carbono nos microagregados parece contribuir à maior estabilidade da matéria orgânica no Latossolo, com um estoque próximo a 150 t nos primeiros 50 cm do solo.

A fração humina foi a predominante em todos os solos com decréscimo em profundidade. No Nitossolo, o processo de argiluviação é evidenciado pela mobilidade da fração húmica, observado pela relação AH/AF. No perfil 2 ( Chernossolo ), a posição no relevo e a incorporação dos restos culturais têm contribuído para manter a estabilidade do solo. A natureza química dos demais Chernossolos contribui para ciclagem mais eficiente da matéria orgânica.

Os dados de EPR revelam que no Chernossolo sob cultivo, com incorporação e queima dos restos culturais, houve aumento da polimerização dos ácidos húmicos. Já no Latossolo, o aumento da polimerização dos ácidos húmicos deve relacionar-se ao oligotrofismo.

Os perfis de Chernossolos não cultivados mostraram-se mais homogêneos quanto à qualidade dos ácidos húmicos.

O fracionamento de alumínio indicou baixos valores de Al trocável e baixo potencial de liberação de formas de Al não trocáveis para formas trocáveis, em consequência dos valores baixos de Al-polímeros. Maiores valores de Al-CuCl<sub>2</sub>, no Latossolo, são atribuídos às condições químicas

do solo, com maior atividade de Al, em relação aos demais. Valores baixos de Al entre-camadas indicaram pouca expressividade de minerais do tipo VHE. Valores expressivos de Al de baixa cristalinidade retrata a relativa imaturidade pedogenética dos solos, liberando Al de minerais primários e argilas 2:1, e retardando a melhor cristalinidade destes hidróxidos de Al.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Wallingford, CABS Internacional, 1989. 171p.
- ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, G.M.; RAMOS, D.P. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, p.91-115. 1999.
- ALMENDROS, G.; GONZÁLEZ-VILA, F.J.; MARTIN F.; FRÜND R.; LÜDEMANN, H.D. Solid state NMR studies of fire-induced changes in the structure of humic substances. **Sci. Total Environ.** 117/118: 63-74, 1992.
- BACHE, B.W. Aluminium mobilization in soils and waters. **J. Geol. Soc.** 143: 699-706. 1986.
- BATJES, N.H.; DIJKSHOORN, J.A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. **Geoderma.** 89: p.273 – 286. 1999.
- BENITES, V.M. **Caracterização química de espectroscopia da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata Mineira**. Viçosa, UFV, 1998, 123p. (Tese de mestrado).
- BENITES, V.M.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFER, C.E.R.G. Fracionamento seqüencial de alumínio como auxiliar na interpretação de pedoambientes em áreas altimontanas da Serra do Brigadeiro, MG. 27 CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Brasília, 1999. **Anais**. Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. (CD-ROM).

- BENITES, V.M. **Caracterização de solos e das substâncias húmicas em Complexo Rupestre de Altitude**. Viçosa, UFV, 2002, p. (Tese de Doutorado).
- CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, p.27-39. 1999.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G. de A.; SOBRINHO, N.M.B. do B. Reações da matéria orgânica do solo. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, p.69-89. 1999.
- CIAVATTA, C.; GOVI, M.; VITTORI ANTISARI, L.; SEQUI, P. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. **J. Chromatogr.** 509: p.141-146. 1990.
- 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**, Elsevier, Amsterdam, 24: p.115-200. 1986.
- DAVIS, J.A. Adsorption of natural dissolved organic matter at the oxide/water interface. **Geochim. Cosmochim. Acta**, Oxford, 46: p.2381-2393. 1982.
- DELL'ABATE, M.T.; BENEDETTI, A.; TRINCHERA, A.; DAZZI, C. Humic substances along the profile of two Typic Haploxerert. **Geoderma**, 107: p.281-296. 2002.
- DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26.; 1997, Rio de Janeiro. **CDROM...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997.
- HAIDER, K. Problems related to the humification processes in soil of temperate climates. IN: STOTZKY, G.; BOLLAG, J.M. (Eds.). **Soil Biochemistry**, 7: p.55-94. 1992.
- HAUMAIER, L.; ZECH, W. Black carbon – possible source of highly aromatic components of soil humic acids. **Org. Geochem.** 23:191-196, 1995.

- HUFFMAN, E.W.D. e STUBER, H.A. Analytical methodology for elemental analysis of humic substances.. In: Aiken et al. (Eds) **Humic substances in soil, sediment and water: geochemistry, isolation and characterization**. New York. John Wiley , p.433-455. 1985.
- IBARRA, J.V., MOLINER, R.; BONET, A. J. Thermal alteration of coal humic acids simulating early coalification. IN: Senesi, N. e Miano, T.M. (Eds.). **Humic substances in the global environment and implications on human health**. Elsevier, p.1325-1330. 1994.
- IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. Palestra Seminário Adubação Verde, RJ, CNPq, 1983.
- JENKISON, D.S. Soil organic matter and dynamics. In: Wild, A. (ed.). **Russel's soil conditions and plant growth**, New York, Longman, 1988, p.564-607.
- KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, Belo Horizonte, v.5,n.1, p.17-40. 1997.
- KOUTIKA, L.S.; BARTOLI, F.; ANDREUX, F.; CERRI, C.C.; BURTIN, G.; CHONÉ, Th.; PHILIPPY, R. Organic matter dynamics and aggregation in soils under rain forest and pastures of increasing age in the eastern Amazon Basin. **Geoderma**. 76: p.87 – 112. 1997.
- LAZERTE, B.; FUNDEIS, J. Acidic leaching of a Podzol Bf horizon from the precambrian shield, Ontario. **Can. J. Soil Sci.** Toronto. 74: p.321 - 333. 1994.
- MANGRISH, A.S.; LOBO, M.A.; TANCK, C.B.; WYPYCH, F.; TOLEDO, E.B.S.; GUIMARÃES, E. Criterious preparation and characterization of earthworm-composts in view of animal waste recycling. Part I. Correlation between chemical, thermal and FTIR spectroscopic analyses of fourhumic acids from earthworm-composted animal manure. **J. Braz. Chem. Soc.** 11:164-169. 2000.
- MARTIN-NETO, L.; ROSSEL, R.; SPOSITO, G. Correation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperature grassland climossequence. **Geoderma**, 81: p.305-311. 1998.
- MENDONÇA, E.S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de Latossolos. Campinas, **R. Bras. Ci. Solo**. 19: p.25-30. 1995.

- MEUER, E.; ANGHINONI, I. A solução do solo. In: **Fundamentos de química do solo**. MEUER, E. (ed.). Porto Alegre, Genesis, p.63-76. 2000.
- MORTLAND, M.M. Mechanisms of adsorption of nonhumic organic species by clays. In: HUANG, P.M.; SCHITZER, M. (eds), **Interactions of soil minerals with natural organic and microbes**. 3: p.59-74. 1986.
- MORAES, J.L.; CERRI, C.C.; MELILLO, J.M.; KICKLIGHTER, D.; NEILL, C.; SKOLE, D.L.; STEUDER, A. Soil Carbon stocks of the Brazilian Amazon Basin. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 59: 244 – 247. 1995.
- NEY, P.H.; GREELAND, D.J. Changes in the soil after clearing tropical forest. **Plant Soil**, 21: 101-107. 1964.
- POOLE, C.P.; FARACH, H.A. **Theory of magnetic resonance**. New York, Wiley. 1972. 430p.
- 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**. Wiley, p55-94. 1995.
- REICHELI, M. **Dynamic properties of forestry ecosystems**. Cambridge, International Biological Program. Cambridge University Press, 1981. 683p.
- RIFFALDI, R.; SCHNITZER, M. Electron spin resonance sepectrometry of humic substances. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 36: p.301-305. 1972.
- SANTOS, R.S.O.; KATO, M.S.A.; KATO, O.; NOVATY, E.H.; GONZALÉZ-PÉREZ, M.; MARTIN-NETO, L.; Caracterização por EPR de ácidos húmicos de um Latossolo Amarelo com queima ou sem queima da vegetação na Amazônia Oriental. In: 4º ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS. Viçosa. UFV. **Anais**. Resumos expandidos. p.246 - 248 2001.
- SCHAEFER, C.E.R.; LIMA, H.N.; VALE JÚNIOR, J.F.; MELLO, J.W.V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. Belém. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Ciênc. da Terra**. 12: p.63 – 104. 2000.

- SEILER, W.; CRUTZEN, P.J. Estimates of gross and net fluxes carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. **Climatic Change**, 2:207-247, ( 1980 ).
- SINGER, L.S. Synthetic ruby as a secondary standard for the measurement of intensities in Eletron Paramagnetic Resonance. **J. Apl. Phys.**, 30: p.1463-1464, 1959.
- SOON, Y.K. Fractionation of extractable aluminium in acid soils: a review and a proposed procedure. **Soil Sc. Pl. Anal.** 24: p.1683-1708. 1993.
- SPOSITO, G. Soil organic matter. In: **The Chemistry of Soils**. New York, Oxford University Press, p.42-61. 1989.
- STEELINK, C. Elemental characteristics of Humic Substances. In: AIKEN, G.R.; McKNIGHT, D.M.; WERSHAW, R.L.; MacCARTHY, P. (Eds.), **Huminc Substances in soil, sediment and water**. John Wiley. New York. p.457-476. 1985.
- STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions**. New York: Wiley, 1994. 443p.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: **Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods**. D.L. SPARKS et al., (eds.). Madison, Soil Sci. Soc. of American. p.1011-1069. 1996.
- SWIFT, R.S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**. 166: p.859-871. 2001.
- VALE JÚNIOR, J.F. **Pedogênese e alterações dos solos sob manejo itinerante, em áreas de rochas vulcânicas ácidas e básicas, no nordeste d Roraima**. Viçosa, UFV, 2000. 185p. ( Tese de Doutorado ).
- VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; MELFI, A.J. Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campos de altitude dos estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. **R. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 8: p.277-283. 1984.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, 19: p.1467-1476, 1988.
- YOUNG, A.; STEPHEN, I. Rock Weathering and soil formation of high altitude plateaux of Malawi. **J. Soil Sci.** 16: p.322 - 333. 1965.