

Mineralogia e reserva de K de Cambissolos submetidos a diferentes manejos após derrubada e queima da floresta na Amazônia Meridional¹

Alessandro Góis ORRUTÉA², Vander de Freitas MELO³, Antônio Carlos Vargas MOTTA³, Valmiqui Costa LIMA³

RESUMO

As altas temperaturas ocorrentes durante a queima na floresta Amazônica podem induzir transformações mineralógicas da fração argila. Este trabalho objetivou avaliar as alterações mineralógicas nas frações areia, silte e argila e na reserva mineral de solos submetidos a diferentes manejos (11 anos de mata secundária, pastagem e café) após a derrubada e queima de floresta nativa situada na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO). Uma área de floresta nativa ombrófila densa, com mesma feição pedológica, foi dividida em quatro partes, sendo três áreas submetidas ao corte e à queima e posteriormente cultivadas. Em cada manejo, os perfis de solos foram descritos e amostras dos horizontes A, AB, B1, 2B2 e 2BC foram coletadas para as análises mineralógicas das frações argila, silte e areia (difratometria de raios X) e químicas da fração argila (extração de Fe com ditionito-citrato-bicarbonato - DCB e com oxalato de amônio - OA). Os teores de K não trocáveis foram determinados nas amostras de solo após extração com HNO_3 1 mol L⁻¹ fervente. Verificou-se o predomínio da caulinita na fração argila e alta reserva mineral de K nos solos, associada à ocorrência de mica nas frações argila, silte e areia. Os diferentes manejos não afetaram os teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{DCB}$ e $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{OA}$; por outro lado, o maior valor estimado para a relação entre os teores de goethita e hematita $[\text{Gt}/(\text{Gt}+\text{Hm})]$ na fração argila no horizonte A da floresta indica uma possível transformação parcial de Gt em Hm durante a queima da floresta para a implantação dos manejos mata secundária, pastagem e café.

PALAVRAS-CHAVES: derrubada e queima, óxidos de ferro, caulinita, mica

Mineralogy and K reserve of Cambisols submitted to different managements after slashing and burning of the forest in the Meridional Amazon, Brazil.

ABSTRACT

The high soil temperatures that take place during the burning of the Amazon rainforest may induce soil mineralogical transformations. This study aimed to evaluate mineralogical changes in sand, silt and clay fractions and to assess K reserve of soils submitted to different managements (11 years of secondary forest, pasture and coffee plantation) after slashing and burning of a native forest in the Southern Amazon, Cacoal, Rondônia State, Brazil. An area of ombrophilous dense native forest with homogeneous pedologic features was divided into four parts, being three of them submitted to slash and burn and then cropped. In each area, soil profile was described and the A, AB, B1, 2B2 and 2BC horizons were sampled. Mineralogical analyses of clay, silt and sand fractions were performed by X ray diffraction. Clay fraction was also submitted to selective solvent with citrate-bicarbonate-dithionite (CBD) and ammonium oxalate (AO). The soil contents of non-exchangeable K was extracted by boiling with 1 mol L⁻¹ HNO_3 . Soil mineralogical analysis indicated that kaolinite was the predominant mineral in the clay fraction. There was also evidence of a large reserve K, associated to the occurrence of mica in clay, silt and sand fractions. Chemical analysis indicated that land use did not change the concentration of $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{CBD}$ and $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{AO}$. However, the highest goethite/hematite ratio $[\text{Gt}/(\text{Gt}+\text{Hm})]$ calculated for the A horizon of the forest soil suggests that the burning favored the partial transformation of goethite in hematite into those areas where it was carried out.

KEYWORDS: slash and burn, iron oxides, kaolinite, mica

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná – UFPR.

² Curso de Agronomia, Centro Universitário Luterano de Ji-Paraná – CEULJI/ULBRA. Av. Manoel Barata Almeida da Fonseca 762, CEP 76907-438, Ji-Paraná-RO. E-mail: alessandro_gois@yahoo.com.br

³ Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná – UFPR. Rua dos Funcionários 1540, CEP 80035-050, Curitiba-PR. Fone: 41 3350-5630, E-mails: vanderfm@ufpr.br; mottaacv@ufpr.br; valmiqui@ufpr.br.

INTRODUÇÃO

A Amazônia é um dos mais importantes ecossistemas do planeta, compreendendo cerca de 30% da região denominada trópico úmido. Coberta, em grande parte, por florestas tropicais, esta região corresponde a 60% do território brasileiro, sendo constituída por 4,8 milhões de km² com acentuada variabilidade de solos, clima e condições de infra-estrutura (Sanchez *et al.* 1983). Fatores como material de origem, condições bioclimáticas e relevo conferiram à maioria dos solos da Amazônia Meridional avançado grau de intemperismo, baixa reserva mineral e elevadas profundidades (Lima *et al.* 2006). Solos eutróficos ocorrem somente onde há influência de sedimentos andinos ou onde afloram rochas de maior riqueza em bases (Schaefer *et al.* 2000). A bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná, por exemplo, apresenta solos eutrófico sem cerca de 60% de sua área (IBGE 2001).

A análise da literatura indica a existência de informações controversas quanto às variações na mineralogia das frações granulométricas do solo em função de interferências antrópicas. Em estudo desenvolvido por Gonçalves *et al.* (2008) na região dos Campos Gerais (PR) não foram observadas mudanças na mineralogia da fração argila em um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes manejos (plantio convencional, preparo mínimo e plantio direto) por 24 anos. Por outro lado, também em avaliações de longo prazo (11 anos), Bortoluzzi *et al.* (2005) observaram que a adição de 90 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O manteve maior proporção dos argilominerais do tipo illita e do tipo illita-esmectita interestratificado na fração menor que 2 µm que sem a adição de K₂O. A adição de formas solúveis de K aumenta a estabilidade dos minerais fontes do nutriente no solo. Como os minerais mantêm um equilíbrio com o K da solução do solo, o elemento é liberado da estrutura do mineral, quando a concentração de K é menor que o valor crítico, específico para cada mineral. A concentração crítica na qual a liberação de K é inibida varia de 2,3 a 16,8 mg L⁻¹ para micas trioctaédricas em soluções diluídas e abaixo de 0,1 mg L⁻¹ para muscovita (Martin e Sparks 1985). As mudanças mineralógicas de solos manejados também podem ser favorecidas pela erosão/argiluviação preferencial de minerais da fração coloidal (Farmer 1982) ou por dissolução de minerais (principalmente óxidos de manganês e óxidos de ferro) sob condições de baixo potencial de oxirredução (Souza *et al.* 2009).

A queima do material vegetal após a derrubada da floresta, prática muito utilizada nos ecossistemas agrícolas e florestais na região Amazônica Meridional, também pode induzir a alterações qualitativas e quantitativas dos minerais, principalmente da fração argila. Vários trabalhos mostraram alterações significativas em características físicas (Neary *et al.* 1999; Mataix-Solera e Doerr 2004) e químicas (McGrath *et al.* 2001; Menezes *et al.* 2008) de solos causadas pela prática da queima da vegetação.

Soares (1977) observou que a temperatura do solo durante a queima na floresta Amazônica, dependendo da duração e da intensidade do fogo, pode chegar a valores acima de 600 °C. Resende *et al.* (2005) observaram avermelhamento do solo em determinados locais da área queimada devido à transformação da goethita em hematita. Os mesmos autores também identificaram a formação de maghemita em temperaturas próximas de 500 °C. Temperaturas acima de 250 °C, geradas em queimadas, podem transformar goethita em hematita por desidratação (Costa e Bigham 2009). Com relação aos óxidos de Al, temperaturas próximas a 350 °C já seriam suficientemente elevadas para a destruição de gibbsita e a conseqüente neoformação de boehmita (Costa e Bigham 2009). Já em temperaturas mais elevadas, em torno de 500 °C, ocorre também a desidratação da caulinita (Jackson 1979).

Além dos minerais secundários, possíveis alterações nos minerais primários, fontes de nutrientes, podem ocorrer em função da utilização dos solos da Amazônica e interferir na reserva mineral e no potencial produtivo da região. O cultivo intensivo sem fertilização por vários anos após a derrubada e queima da floresta pode acelerar o intemperismo de minerais primários, principalmente aqueles da fração argila.

O K é um dos nutrientes mais associados à reserva mineral e encontra-se no solo nas formas estrutural, não trocável, trocável e solúvel. Melo *et al.* (1995a,b) observaram estreita relação entre a reserva de K no solo e o teor de minerais primários fontes de nutriente em diferentes classes de solos no Rio Grande do Sul. O HNO₃ 1 mol L⁻¹ fervente é o método mais rápido e simples de estimativa do teor de K não trocável do solo (Nachtigall e Vahl 1991a,b; Benipal e Pasricha 2002; Martins *et al.* 2004a,b). O método se baseia na acidificação do meio e ataque das estruturas, principalmente, de micas e minerais 2:1 interestratificados (Simard *et al.* 1992; Martins *et al.* 2004b).

O presente trabalho objetivou avaliar as alterações na mineralogia das frações areia, silte e argila e na reserva mineral de K de solos submetidos a diferentes manejos (11 anos de mata secundária, pastagem e café), quando comparados à floresta nativa da Amazônia Meridional, no município de Cacoal (RO).

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo e amostragem dos solos

A área de estudo (altitude média de 200 m) foi localizada no município de Cacoal (RO). Sua posição geográfica é determinada pelo paralelo 11° 26' 16.8 de latitude sul, em sua intersecção com o meridiano 61° 26' 52.8 de longitude oeste de Greenwich. O clima é classificado segundo Köppen como Aw – Clima Tropical Chuvoso, com precipitação média

anual entre 1400 e 2300 mm ano⁻¹ e temperatura média anual do ar situada entre 23 °C e 26 °C.

Na região predominam rochas do Pré-Cambriano Superior (associação granito/gnaiss ricos em biotita) (BRASIL 1978; IBGE 2001). Segundo o Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2001), essa região possui áreas com associações de rochas carbonáticas. A área de estudo apresenta relevo ondulado (Figura 1), erosão não aparente e drenagem acentuada (posição de meia encosta). O relevo regional é suave ondulado a ondulado e dominado por colinas e interflúvios tabulares.

A vegetação original é caracterizada pela floresta ombrófila densa submontana e as principais espécies florestais encontradas, dentre outras, são: castanheira (*Bertholletia excelsa*), ipê (*Tabebuia* sp), copaíba (*Copaifera multijuga*), mogno (*Swietenia macrophylla*), cedro (*Cedrela odorata*), cerejeira (*Torresia acreana*), samaúma (*Ceiba pentandra*), angelim-pedra (*Hymenolobium pedraeum*) e cacau (*Theobroma cacao* L.) (Oliveira 2005).

Seguiram-se integralmente as práticas adotadas nos principais manejos dos solos usados pelos pequenos, médios e grandes produtores da Amazônia Meridional para constituir os tratamentos (Figura 1): 1) floresta nativa (floresta ombrófila densa submontana); 2) derrubada e queima da floresta seguidas de formação de pastagem (*Braquiaria brizantha*) em uso por 11 anos, com total ausência de fertilização orgânica e mineral e lotação média de, aproximadamente, 1,5 unidade animal ha⁻¹; 3) derrubada e queima seguidas de cultivo agrícola sem fertilização orgânica ou mineral (arroz/feijão no 1º ano e milho/feijão no 2º ano) e de pousio nos nove anos seguintes; 4) derrubada e queima seguidas por onze anos de cultivo de café (*Coffea canephora*) em consórcio com arroz e feijão (1º ano) e com milho, feijão e abóbora até o 8º ano empregando-se casca de café como fertilizante orgânico.

O estudo foi planejado e instalado onze anos antes da coleta de amostras de solo, a qual foi efetuada em 2008, e sistematicamente acompanhado durante esse período para se evitar interferências extras em relações às condições definidas nos manejos, mantendo-se, apenas, os tratamentos culturais usados pelos produtores da região.

Uma trincheira de 2 m de profundidade foi aberta em cada tratamento em uma mesma posição da paisagem - cota similar no terço inferior de elevação em meia encosta convexa. Esse cuidado na seleção dos locais de abertura dos perfis visou manter a homogeneidade pedológica entre os tratamentos. Após a abertura das trincheiras procedeu-se à descrição morfológica dos perfis e à coleta das amostras dos horizontes. Todos os quatro perfis apresentaram a mesma sequência de horizontes pedogenéticos (A, AB, B1, 2B2 e 2BC) e morfologias dos horizontes subsuperficiais praticamente iguais (Tabela 1), o que indica terem sido submetidos a condições similares em relação aos fatores e processos de formação. A análise dos perfis possibilitou classificar o solo da área experimental como sendo um Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico.

Outra similaridade morfológica foi a ocorrência de linha de pedra (D1) (Tabela 1), constituída de fragmentos de rochas (granito/gnaiss) do tamanho calhau e matacão entre os horizontes B1 e 2B2. Essa descontinuidade litológica foi decorrente do colúvio de áreas adjacentes mais elevadas, uma vez que os perfis se localizam em terço inferior da encosta. Presume-se que o transporte dos sedimentos tenha ocorrido a curta distância, dado o pequeno grau de arredondamento dos litofragmentos. Outra evidência da descontinuidade litológica dos perfis são os dados do ataque sulfúrico (Tabela 2), em que as médias dos teores de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ nos horizontes

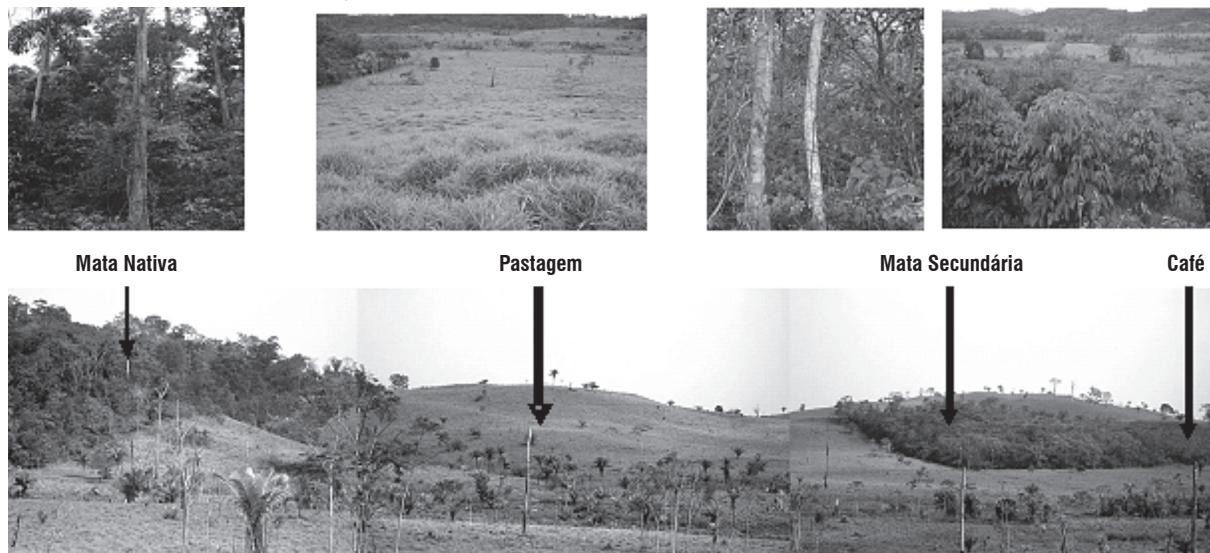


Figura 1 - Vista parcial da área contígua de estudo com a localização dos tratamentos: Floresta (mata nativa), Pastagem, Mata Secundária e Café.

Tabela 1. Atributos morfológicos dos perfis de solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)

Horizonte ⁽¹⁾	Prof. cm	Cor úmida	Classe textural	Estrutura	Consistência		Transição
					Úmida	Molhada	
Perfil na floresta - 12% de declividade; altitude de 189 metros e coordenadas de 11° 19.988' S e 61°40.538' W.							
O	5-0						
A	0-12	5YR 4/2	franca	granular muito pequeno a pequena forte	muito friável	ligeiramente plástico e pegajoso	plana e difusa
AB	12-26c	5YR 4/4	franca	bloco sub angular pequeno a médio moderado	Friável	plástico e pegajoso	plana e difusa
B1	26-40	5YR 4/6	franco argilosa	bloco sub angular pequeno a médio moderado	Friável	plástico e pegajoso	plana e clara
DI	40-75	5YR 5/6	--	bloco sub angular pequeno a médio moderado	Firme	muito pegajoso e plástico	plana e clara
2B2	75-119	5YR 5/8	argila	bloco sub angular pequeno moderado	Firme	muito pegajoso e plástico	plana e gradual
2BC	119-140+	5YR 6/8	argila siltosa	bloco sub angular grande fraco	Firme	plástico e pegajoso	--
Perfil na mata secundária - 11% de declividade; altitude de 187 metros e coordenadas de 11° 19.756' S e 61°40.804' W							
A	0-7	2,5 YR 4/4	franco argilosa	granular pequena moderada	muito friável	plástico e ligeiramente pegajoso	plana e difusa
AB	7-17c	2,5 YR 4/6	argila	bloco sub angular pequena moderada	Friável	pegajoso e plástico	plana e difusa
B1	17-30	2,5 YR 4/6	argila	bloco sub angular pequena moderada	Friável	pegajoso e plástico	plana e clara
DI	30-54	2,5 YR 4/8	--	bloco sub angular pequena moderada	Firme	pegajoso e ligeiramente plástico	plana e clara
2B2	54-104	10 R 5/6	muito argilosa	bloco sub angular média moderada	Firme	muito pegajoso e plástico	plana e gradual
2BC	104-140+	2,5 YR 5/8 - 7,5 YR 6/6 ⁽²⁾	argila siltosa	bloco sub angular fraca	Firme	pegajoso e plástico	--
Perfil na pastagem - 12% de declividade; altitude de 184,5 metros e coordenadas de 11° 19.789' S e 61°40.810' W							
A	0-6	5YR 4/4	franco argilosa	bloco subangular muito pequeno moderado	Friável	ligeiramente pegajosa e plástica	plana e clara
AB	6-30c	5YR 5/6	franco argilosa	bloco subangular médio grande moderado	Friável	pegajosa e plástica	plana e difusa
B1	30-50	5YR 5/8	argila	bloco subangular pequeno média moderado	Friável	pegajosa e plástica	plana e clara
DI	50-92	2,5 YR 5/6	--	bloco sub angular pequena moderada	Firme	muito pegajosa e plástica	plana e clara
2B2	92-112	5 YR 6/8	argila siltosa	bloco subangular pequeno a médio forte	Firme	muito pegajoso e plástico	plana e clara
2BC	112-140+	2,5 YR 5/8	franco argila-siltosa	bloco subangular media grande fraco	Firme	ligeiramente pegajosa e plástica	--
Perfil no Café - 17,5% de declividade; altitude de 188 metros e coordenadas de 11° 19.639' S e 61°40.854' W							
A	0-7	5YR 5/3	franca	bloco sub angular muito pequeno moderado	Friável	ligeiramente plástico e pegajoso	plana e difusa
AB	7-28c	5YR 5/4	franco argilo arenosa	bloco sub angular média moderado	Firme	plástico e pegajoso	plana e difusa
B1	28-43	5YR 5/6	franco argilo arenosa	bloco sub angular pequeno médio moderado	Friável	plástico e pegajoso	plana e clara
DI	43-64	2,5 YR 5/6	--	bloco sub angular pequeno moderado	Firme	pegajoso e ligeiramente plástico	plana e clara
2B2	64-132	2,5 YR 5/8	argila	bloco sub angular media grande moderado	Friável	muito pegajoso e plástico	plana e gradual
2BC	132-150+	2,5 YR 5/8	franco argilosa	bloco sub angular média grande fraca	Firme	ligeiramente plástico e pegajoso	--

⁽¹⁾ DI - linha de pedra, constituída de 30 a 50 % de fragmentos de rochas angulosos e subangulosos (maioria entre 2 a 20 cm). A presença de raízes ocorreu até o horizonte DI (descontinuidade litológica) em todos os tratamentos. Nessa camada não foi coletada amostra para as determinações físico-químicas; ⁽²⁾ cor variegada.

Tabela 2 - Análise granulométrica e caracterização química dos perfis de solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)⁽¹⁾

Manejo	Horiz.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H	CTC	CO	Argila	Ataque sulfúrico			
										SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki
			----- cmol _c kg ⁻¹ -----					g dm ⁻³	g kg ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----			
Floresta	A	6,9	7,9	2,4	0,4	1,9	12,72	45,6	227	56,7	64,8	59,4	1,5
	AB	6,4	4,0	1,0	0,3	2,2	7,63	25,7	248	56,7	76,2	59,9	1,3
	B1	6,7	2,1	0,4	0,4	2,2	5,04	10,0	287	72,3	98,1	66,0	1,3
	2B2	6,8	3,4	0,9	0,2	2,0	6,47	5,1	484	171,8	187,2	129,2	1,6
	2BC	6,4	3,5	1,2	0,1	2,2	7,01	3,9	403	186,6	141,7	123,3	2,2
Mata Secundária	A	7,9	10,7	1,0	0,5	1,6	13,9	49,2	312	98,6	100,8	61,5	1,7
	AB	7,0	7,2	0,5	0,3	2,0	10,0	27,5	352	105,2	137,5	69,2	1,3
	B1	6,9	4,3	0,5	0,1	2,0	6,9	14,8	395	115,9	146,6	69,1	1,3
	2B2	6,9	2,8	1,0	0,2	1,9	6,0	3,9	596	202,2	201,5	88,7	1,7
	2BC	6,6	3,4	1,4	0,1	1,9	7,0	3,3	413	221,1	232,6	88,5	1,6
Pastagem	A	6,9	7,1	1,1	0,3	2,4	10,9	40,2	271	102,7	83,3	60,3	2,1
	AB	7,0	3,3	0,8	0,2	2,0	6,3	16,0	301	75,6	70,8	60,4	1,8
	B1	6,7	2,6	0,9	0,3	2,0	5,8	8,8	384	101,9	118,7	64,0	1,5
	2B2	6,8	2,3	0,8	0,3	1,9	5,3	4,5	478	161,9	162,8	84,7	1,7
	2BC	6,3	2,7	0,8	0,1	2,2	5,8	3,9	328	161,1	141,7	87,3	1,9
Café	A	6,6	5,9	1,1	1,2	1,8	10,1	32,9	259	82,2	66,8	36,3	2,1
	AB	5,9	3,3	0,4	0,4	2,0	6,1	15,4	270	87,9	78,6	40,0	1,9
	B1	5,3	2,2	0,4	0,2	2,2	5,0	8,8	314	104,4	91,4	46,1	1,9
	2B2	5,7	1,7	0,9	0,3	2,0	4,9	5,7	434	148,8	182,3	60,3	1,4
	2BC	5,7	0,8	0,9	0,4	1,9	4,0	4,5	286	145,5	179,3	61,5	1,4

⁽¹⁾ Os teores de Al³⁺ trocável em todas as amostras foram iguais a zero.

2B2 e 2BC são muito superiores em relação aos horizontes mais superficiais.

As amostras deformadas de solo (4 perfis x 5 horizontes = 20 amostras) foram secas ao ar, passadas em peneira de malha de 2 mm (TFSA) e analisadas quanto à granulometria e a alguns atributos químicos e mineralógicos.

Caracterização dos solos

A análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta (Embrapa 1997). Os seguintes atributos químicos foram avaliados (Embrapa 1997): pH em H₂O; teores trocáveis de Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ - extração com KCl 1 mol L⁻¹; teores trocáveis de K⁺ - extração com HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ (Mehlich -1); acidez potencial não trocável (H) - extração com Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0. Os teores de carbono orgânico (CO) foram determinados pelo método fotocolorimétrico, com solução oxidante de Na₂Cr₂O₇ e H₂SO₄ concentrado a frio. Os teores de Fe, Si e Al vinculados aos minerais secundários foram determinados após extração pelo ataque sulfúrico (Embrapa, 1997). Os dados dessas determinações são apresentados na Tabela 2.

Reserva mineral de K

Para a extração de K não trocável foi utilizado o HNO₃ 1,0 mol L⁻¹ fervente como extrator (Melo *et al.*, 1995b). Os teores de K foram determinados por fotometria de emissão de chama. Para separar as duas formas de K, os teores não trocáveis do nutriente foram obtidos pela diferença: K HNO₃ 1 mol L⁻¹ - K Mehlich 1.

Análises mineralógicas

As amostras de TFSA foram tratadas com H₂O₂ a 30% (v/v) para remoção de matéria orgânica, e com NaOH 0,2 mol L⁻¹ para dispersão das partículas. Em seguida, a fração areia foi retida em peneira de 0,05 mm e as frações argila e silte foram recolhidas em provetas de 1.000 mL e separadas por sedimentação com base na lei de Stokes (Jackson 1979).

As frações areia, silte e argila foram trituradas em almofariz e montadas sob a forma de pó em placas de Koch para identificação dos minerais por difratometria de raios X (DRX). Os difratogramas foram obtidos em varredura contínua (1 °2θ min⁻¹) entre 4 e 65 °2θ utilizando-se um difratômetro Philips, equipado com ânodo de cobre e filtro de Ni e operado

com corrente de 20 mA e diferença de potencial de 40 kV no tubo de raios X.

Para determinar os teores de Fe associados às formas de baixa cristalinidade e às formas cristalinas foram realizadas extrações na fração argila com oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹, pH 3,0 (OA) (McKeague 1978) e ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Mehra e Jackson 1960), respectivamente, conforme detalhes apresentados por Melo *et al.* (2001). As concentrações de Fe nos extratos foram determinadas pelo método colorimétrico da ortofenantrolina (Embrapa 1997). Para isolar as duas formas de Fe usou-se o seguinte cálculo para obtenção do teor de ferro vinculado às fases cristalinas: $Fe_2O_3C = Fe_2O_3DCB - Fe_2O_3OA$. O resíduo da extração com DCB foi submetido à DRX entre 2 a 15 °2θ em varredura contínua (0,2 °2θ min⁻¹). Os óxidos de Fe da fração argila foram concentrados utilizando-se NaOH 5 mol L⁻¹ à quente (Norrish e Taylor 1961; Kämpf e Schwertmann 1982). A sodalita formada durante o tratamento com NaOH 5 mol L⁻¹ foi removida por lavagens com HCl 0,5 mol L⁻¹ (Norrish e Taylor 1961; Singh e Gilkes 1991). A amostra em pó da fração de óxidos de Fe concentrada foi analisada por DRX entre 20 a 40 °2θ em varredura contínua (0,2 °2θ min⁻¹). Estimou-se a relação (R) entre os teores de goethita (Gt) e de hematita (Hm) [$R = Gt/(Gt + Hm)$] a partir das áreas sob os picos (111) da Gt e (110) da Hm, conforme proposto por Torrent e Cabedo (1986). As áreas foram calculadas pelo método do trapézio utilizando-se a planilha eletrônica Excel^(TM).

Análise estatística

Foram feitas análises de correlações simples (Pearson) entre os resultados das análises químicas e mineralógicas dos solos. Adotaram-se as seguintes notações para os níveis de significâncias dos coeficientes de correlações (r): **, * - significativos aos níveis de 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mineralogia das frações argila, silte e areia dos solos

A composição mineralógica da fração argila mostrou-se bastante homogênea, com predomínio de caulinita e ocorrência de hematita, goethita, mica e 2:1 secundário em todos os horizontes dos perfis, seguindo o mesmo padrão do difratograma de raios X obtido para o manejo café (Figura 2). As composições mineralógicas das frações areia e silte do solo (Figuras 3 e 4) refletiram a riqueza do material de origem (granito/gnaiss) da região em quartzo e a presença de biotita e feldspato-K (BRASIL 1978).

Houve predomínio de caulinita na fração argila. A taxa de rejuvenescimento relativamente rápida da paisagem, por meio da erosão natural, se sobrepôs ao efeito de remoção de sílica do

sistema e não permitiu que o estágio gibbsítico fosse atingido. Sob condições de alta temperatura, umidade e lixiviação, as micas e feldspatos podem se transformar diretamente em caulinita (Nwadiolo e Lietzke 1989); apesar da abundância de feldspato-K no granito/gnaiss (BRASIL 1978), não foram observados picos do mineral na fração argila (Figura 2), ao passo que nas frações areia e silte esses picos apresentaram baixa a média intensidades, respectivamente (Figuras 3 e 4). Em condições de clima tropical úmido as partículas de feldspato do tamanho argila não resistem ao intemperismo químico (Kämpf *et al.* 2009). O intemperismo físico deve ter favorecido a maior ocorrência do mineral no tamanho silte, como se depreende pelas maiores intensidades dos picos de feldspato observadas na fração silte em relação àquelas verificadas na fração areia (Figuras 3 e 4). O intemperismo químico de partículas de feldspato do tamanho areia, normalmente encontradas na rocha de origem, promove uma dissolução da parte externa do mineral e pode reduzir o mesmo para o tamanho silte.

As baixas intensidades dos picos de hematita e goethita na fração argila (Figura 2) são coerentes com materiais de origem de natureza ácida (granito/gnaiss). Como consequência, verificaram-se baixos teores de Fe₂O₃ na TFSA via ataque sulfúrico concentrado (Tabela 2) e de Fe₂O₃ cristalino da fração argila ($Fe_2O_3C = Fe_2O_3DCB - Fe_2O_3OA$) (Tabela 3).

Os difratogramas da fração argila sem tratamento não indicaram a ocorrência de variações mineralógicas causadas

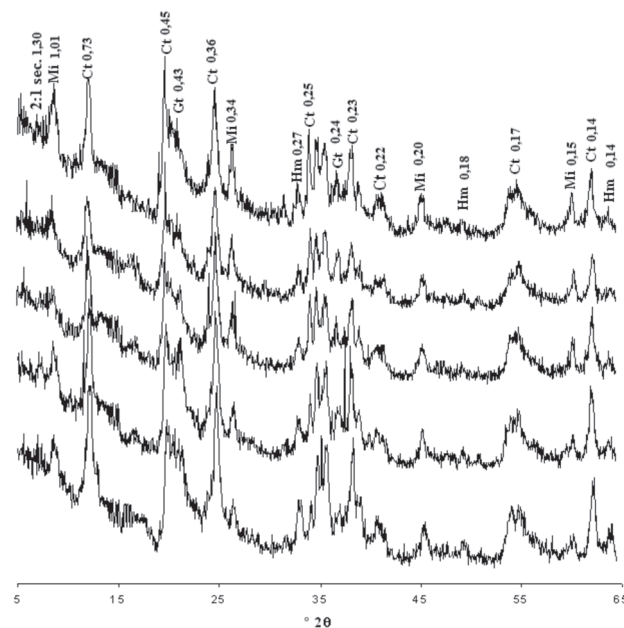


Figura 2 - Mineralogia da fração argila dos diferentes horizontes do perfil de solo sob o manejo café. Ct – caulinita; Hm – hematita; Gt – goethita; Mi – mica e 2:1 sec. - mineral 2:1 secundário. Distâncias entre planos paralelos em nm. Horizontes representados, da posição mais alta para a mais baixa: A, AB, B1, 2B2, 2BC.

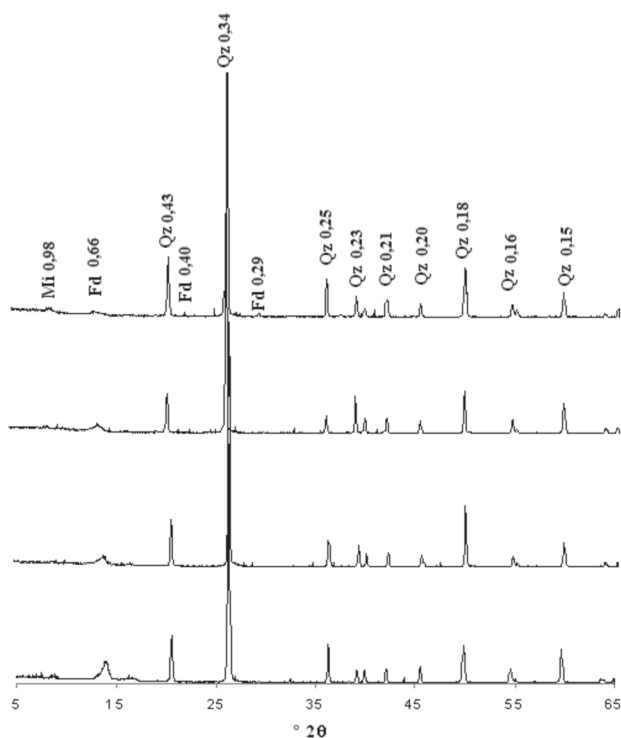


Figura 3 - Mineralogia da fração areia do horizonte B1 dos perfis de solos sob os diferentes manejos. Qz – quartzo; Mi – mica; Fd – feldspato-K. Distâncias entre planos paralelos em nm. Manejos representados, da posição mais alta para a mais baixa: café, pastagem, mata secundária, floresta.

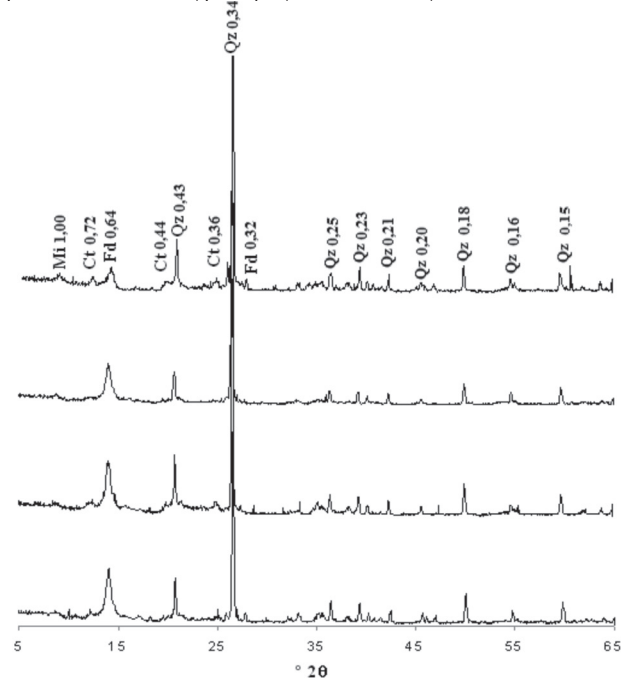


Figura 4 - Mineralogia da fração silte do horizonte B1 dos perfis de solos sob os diferentes manejos. Ct – caulinita; Gt – goethita; Qz – quartzo; Fd – feldspato-K e Mi – mica. Distâncias entre planos paralelos em nm. Manejos representados, da posição mais alta para a mais baixa: café, pastagem, mata secundária, floresta.

Tabela 3 - Teores de óxidos de Fe amorfos (extração com oxalato de amônio - OA) e cristalinos ($Fe_2O_3C = Fe_2O_3DCB$ (ditionito-citrato-bicarbonato) - Fe_2O_3OA) e relação goethita (Gt)/hematita (Hm) na fração argila dos perfis de solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)

Manejo/ Horizonte ⁽¹⁾	Fe_2O_3OA g kg ⁻¹	Fe_2O_3C g kg ⁻¹	Fe_2O_3OA/Fe_2O_3C	Gt/(Gt+Hm)
F-A	8,6	52,8	0,16	0,64
M-A	9,3	53,4	0,17	0,55
P-A	9,0	52,2	0,17	0,57
C-A	9,0	48,5	0,19	0,47
F-AB	7,8	50,6	0,15	-
M-AB	7,7	51,2	0,15	-
P-AB	9,3	54,5	0,17	-
C-AB	8,6	51,8	0,17	-
F-B1	9,0	51,5	0,17	-
M-B1	8,8	50,6	0,17	-
P-B1	8,9	52,0	0,17	-
C-B1	7,9	50,6	0,16	-
F-2B2	4,2	50,5	0,08	-
M-2B2	5,0	50,2	0,10	-
P-2B2	4,4	50,4	0,09	-
C-2B2	5,0	50,7	0,10	-
F-2BC	4,2	50,8	0,08	-
M-2BC	5,3	49,8	0,11	-
P-2BC	3,6	50,6	0,07	-
C-2BC	3,7	50,9	0,07	-

⁽¹⁾ F – floresta; M – mata secundária; P – pastagem; C – café. - parâmetro não estimado pela menor interferência da queima sobre os horizontes subsuperficiais.

pelos diferentes manejos dos solos (dados não apresentados). Caso a gibbsita estivesse presente na fração argila do horizonte A, o efeito do aquecimento após a derruba da floresta poderia ser observado pelo desaparecimento ou redução da intensidade do pico principal do mineral [(002) - 18,3 ° 2θ, radiação CuKα]. Em relação à caulinita, não houve variações nas intensidades dos picos entre os manejos, fato, provavelmente, devido à ocorrência de desidratação desse mineral em temperaturas mais elevadas, da ordem de 500 °C (Jackson 1979).

Teores de Fe vinculados a formas mal cristalizadas e cristalinas na fração argila

Os teores de Fe_2O_3 vinculados a formas cristalinas presentes na fração argila (Fe_2O_3C) da fração argila dos solos variaram de 48,5 g kg⁻¹ a 54,5 g kg⁻¹ (Tabela 3) e foram de mesma ordem de grandeza dos teores observados na mesma fração de solos de Roraima por Vale Júnior (2000) e do Amazonas por Lima *et al.* (2006).

Os teores de Fe_2O_3 extraídos com solução de oxalato de amônio (Fe_2O_3A) foram relativamente altos nos horizontes mais superficiais do solo (A até B1) de todos os manejos,

variando de 7,8 g kg⁻¹ a 9,3 g kg⁻¹ (Tabela 3). Os valores da relação Fe₂O₃OA/Fe₂O₃C (Tabela 3) indicaram o predomínio de formas cristalinas de óxidos de Fe.

Não foram observadas variações expressivas nos teores de Fe₂O₃OA e Fe₂O₃C em função do manejo dos solos. Contudo, quando se considera a relação entre a goethita (Gt) e a hematita (Hm) [Gt/(Gt+Hm)], os menores valores desta relação foram encontrados na superfície dos solos das áreas onde a vegetação foi derrubada e queimada (Tabela 3). Em observações a campo no local do estudo logo após a queimada, 11 anos antes da coleta de amostras de solo, era visível o avermelhamento do horizonte superficial, o que sugere a transformação da Gt em Hm por aquecimento. Temperaturas acima de 250 °C, observadas em manejos de derrubada e queima (Soares 1977), podem transformar goethita em hematita e lepidocrocita em maghemita, por desidratação (Costa e Bigham 2009). Além disso, os troncos e raízes queimam por diversos dias em regiões mais centrais da derrubada, podendo a temperatura chegar a valores próximos a 600 °C em locais confinados (Sanchez *et al.* 1983). Durante a desidratação, as ligações OH da Gt são substituídas por ligações de O, e desenvolve-se o compartilhamento de faces entre octaedros na formação da Hm, que é ausente nas estruturas FeOOH (Costa e Bigham 2009).

Na Figura 5 percebe-se redução da intensidade do pico principal da Gt (110) no manejo café em relação à argila da floresta e nos demais manejos com derrubada e queima ocorre aumento da largura a meia altura (LMH) desse pico (valores de LMH: floresta - 0,46 °2θ; mata secundária - 0,74 °2θ; pastagem - 0,65 °2θ; café - 0,74 °2θ); a LMH dos picos da Gt pode ser usada como indicativo do grau de cristalinidade do mineral. Menores valores de LMH estão associados à Gt de maior grau de cristalinidade, com menor presença de Al na estrutura (menor nível de substituição isomórfica) (Fitzpatrick e Schwertmann 1982). Dessa forma, pode-se associar que a queima promoveu não apenas a transformação de Gt em Hm, mas também a redução na cristalinidade da goethita.

Pelos baixos teores de Fe₂O₃C (Tabela 3) e teores inferiores a 500 g kg⁻¹ de argila nos solos (Tabela 2), espera-se pouca influência da transformação parcial de Gt em Hm no horizonte A nas características físicas e químicas dos solos.

A Gt normalmente apresenta maior superfície específica que a Hm (Melo *et al.* 2001), e, desse modo, a diminuição de seu teor em decorrência da queima poderia, por exemplo, resultar em menor formação de cargas elétricas positivas e negativas no complexo sortivo do solo (Costa e Bigham 2009). Por outro lado, a redução na cristalinidade da goethita concorre para aumentar sua superfície específica e, ao menos potencialmente, para o aumento da densidade superficial de carga líquida do solo.

Reserva mineral de K

Os maiores teores não trocáveis de K no manejo café () são devidos, principalmente, à maior quantidade de minerais micáceos, identificados pela maior intensidade dos picos na fração argila por DRX (Figura 6). Os teores de K⁺ trocável nesse manejo são maiores que os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, e não decrescem em profundidade (Tabela 2). Isso demonstra que mesmo em solos amazônicos, partículas finas de mica

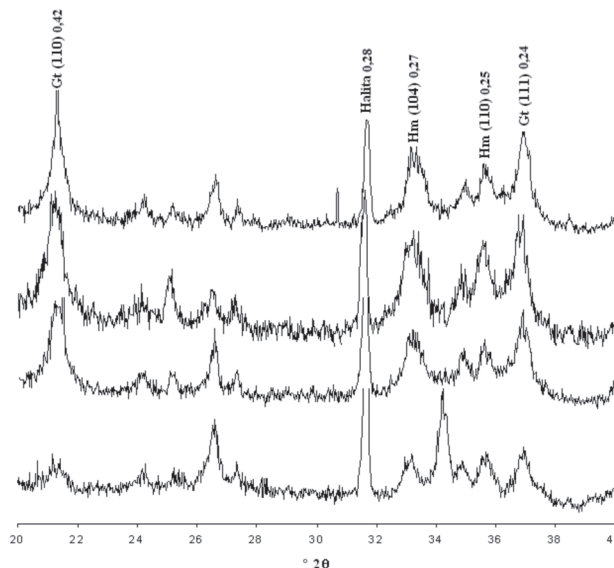


Figura 5 - Mineralogia da fração argila do horizonte A dos perfis de solos sob os diferentes manejos tratados com NaOH 5 mol L⁻¹ (Fe concentrada). Gt - goethita; Hm - hematita. Distâncias entre planos paralelos em nm. Manejos representados, da posição mais alta para a mais baixa: Floresta, mata secundária, pastagem, café.

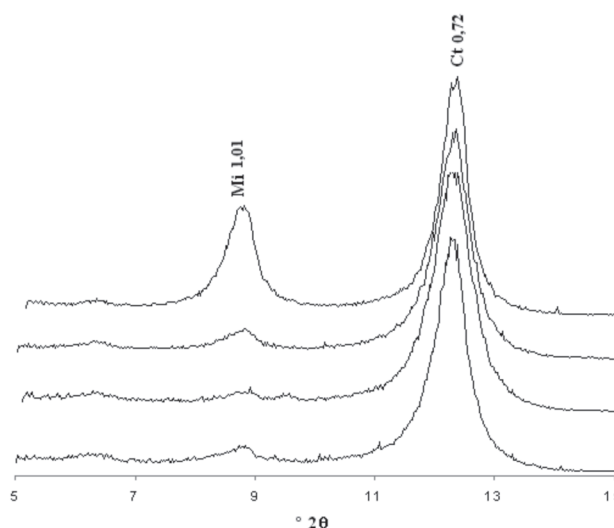


Figura 6 - Mineralogia da fração argila desferificada (tratada com DCB) do horizonte B1 dos diferentes manejos, mostrando a intensidade relativa do pico de mica. Mi - mica; Ct - caulinita. Distâncias entre planos paralelos em nm. Manejos representados, da posição mais alta para a mais baixa: café, pastagem, mata secundária, floresta.

resistiram ao intemperismo, e que nesse ambiente passaram a constituir importantes fontes de formas de reserva de K.

Houve aumento nos teores de K não trocável em direção aos horizontes mais profundos. Contudo, a espessa linha de pedras existente entre os horizontes B1 e 2B2 dificulta o aprofundamento das raízes e o aproveitamento dessa reserva de K pelas plantas; no campo observou-se abundância de raízes apenas até a linha de pedra, em todos os manejos.

Outra indicação da relação entre teores de K não trocável e quantidade de mica na fração argila foram os elevados valores do coeficiente de correlação ($r = 0,90^*$) entre K extraído com HNO_3 1 mol L^{-1} e a intensidade dos picos desse mineral por DRX para o manejo café (dados não apresentados).

A correlação positiva e elevada entre os teores de K não trocável (Tabela 4) e K trocável (Mehlich-1) (Tabela 2) nos horizontes do solo sob mata nativa ($r = 0,97^{**}$) sugere estreita relação entre essas formas do nutriente nesse manejo. Devido a maior suscetibilidade ao intemperismo, o K é liberado mais facilmente das micas trioctaedrais (biotita) em relação à muscovita (Simard *et al.* 1992). Vários autores têm demonstrado expressiva contribuição das formas não trocáveis de K na nutrição e crescimento das plantas (Nachtigall e Vahl 1991a,b; Martins *et al.* 2004a,b) principalmente para culturas perenes (Melo *et al.* 1995b), como é o caso dos manejos café e pastagem.

Tabela 4 - Teores de K não trocáveis (extração com HNO_3 1 mol L^{-1} - extração com Mehlich 1) dos perfis de solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)

Manejo/Horizonte ⁽¹⁾	K
	mg kg^{-1}
F-A	3081
M-A	2535
P-A	2769
C-A	1365
F-AB	1248
M-AB	3003
P-AB	2535
C-AB	2301
F-B1	1677
M-B1	1014
P-B1	3393
C-B1	4641
F-2B2	5421
M-2B2	2301
P-2B2	6741
C-2B2	9121
F-2BC	15405
M-2BC	12831
P-2BC	11115
C-2BC	11218

⁽¹⁾ F – floresta; M – mata secundária; P – pastagem; C – café.

CONCLUSÕES

Verificou-se o predomínio da caulinita na fração argila e alta reserva mineral de K nos solos, associada à ocorrência de mica nas frações argila, silte e areia.

Os baixos teores de Fe vinculados a compostos cristalinos na fração argila refletiram a reduzida ocorrência de minerais ferromagnesianos (biotita e anfibólio) no granito/gnaiss de origem dos solos. Os diferentes manejos dos solos da floresta amazônica não afetaram os teores de Fe associados a minerais com maior e menor grau de cristalinidade da fração argila.

A maior relação goethita/hematita no horizonte A para a mata nativa indica a transformação parcial de Gt em Hm em decorrência da queimada da floresta para a implantação dos manejos agricultura migratória (mata secundária), pastagem e café.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Benipal, D.S.; Pasricha, N.S. 2002. Nonexchangeable K release and supplying power of Indo-Gangetic alluvial soils. *Geoderma*, 108: 197-206.
- Bortoluzzi, E.C.; Santos, D.R.; Kaminski, J.; Gatiboni, L.C.; Tessier, D. 2005. Alterações na mineralogia de um Argissolo do Rio Grande do Sul submetido à fertilização potássica. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 29:327-335.
- Brasil. 1978. *Projeto RADAM Brasil: folha SC 20 Porto Velho; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Rio de Janeiro, Levantamento de recursos naturais, 16.
- Costa, A.C.S.; Bigham, J.M. 2009. Óxidos de ferro. p. 573-610. In: Melo, V.F.; Alleoni, L.R.F. (Eds.). *Química e mineralogia do solo - Parte I: Conceitos básicos*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais.
- CPRM - Serviço Geológico Do Brasil. 2001. *Mapa de insumos minerais para agricultura e áreas potenciais de Rondônia*. Acesso em 25/08/07.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. *Manual de Métodos de análise de solo*. 2 ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio de Janeiro, 212 pp.
- Farmer, V. C. 1982. Significance of the presence of allophane and imogolite in Podzol Bs horizons for podzolization mechanisms: A review. *Soil Science Plant Nutrition*, 28: 571-578.
- Fitzpatrick, R.W.; Schwertmann, U. 1982. Al-substituted goethite – An indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. *Geoderma*, 27: 335-347.
- Gonçalves, D.; Leite, W.C.; Brinatti, A.M.; Saab, S.C.; Iarosz, K.C.; Mascarenhas, Y.P.; Carneiro, P.I.B.; Rosa, J.A. 2008. Mineralogia de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes manejos por 24 anos. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 32: 2647-2652.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. 2001. *Mapa de Solos do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.

- Jackson, M.L. 1979. *Soil chemical analysis - advanced course*. Prentice-Hall, Madison, USA. 895 pp.
- Kämpf, N.; Curi, N.; Marques, J.J. 2009. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. p. 333-380. In: Melo, V.F.; Alleoni, L.R.F. (Eds.). *Química e mineralogia do solo - Parte I: Conceitos básicos*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais.
- Kämpf, N.; Schwertmann, U. 1982. The 5M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays Clay Minerals*, 30:401-408.
- Lima, H.N.; Mello, J.W.V.; Schaefer, C.E.G.R.; Ker, J.C.; Lima, A.M.N. 2006. Mineralogia e química de três solos de uma toposeqüência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 30: 59-68.
- Martin, H.W.; Sparks, D.L. 1985. On the behavior of none changeable potassium in soils. *Communication of Soil Science and Plant Analysis*, 16:133-162.
- Martins, R.; Melo, V. F.; Serrat, B. M. 2004a. Reserva Mineral de potássio em solos dos Campos Gerais, estado do Paraná. *Revista Ceres*, 51: 521-533.
- Martins, R.; Melo, V.F.; Monte Serrat, B. 2004b. Métodos de determinação da disponibilidade de potássio para a cultura do trigo em solos dos Campos Gerais, estado do Paraná. *Revista Ceres*, 51: 787-801.
- Mataix-Solera, J.; Doerr, S.H. 2004. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma*, 118: 77-88.
- McGrath, D. A.; Smith, C. K.; Gholz, H. L.; Oliveira, F. A. 2001. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazônia. *Ecosystems*, 4: 625-645.
- McKeague, J.A. 1978. *Manual on soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science, Ottawa, Canadá. 212 pp.
- Mehra, O.P.; Jackson, M.L. 1960. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Minerals*, 7:317-327.
- Melo, V.F; Costa, L.M.; Barros, N.F.; Fontes, M.P.F.; Novais, R.F. 1995a. Reserva mineral e caracterização mineralógica de alguns solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 19: 159-164.
- Melo, V. F.; Barros, N. F.; Costa, L. M.; Novais, R. F.; Fontes, M. P. F. 1995b. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 19: 165-171.
- Melo, V.F.; Fontes, M.P.F.; Novais, R.F.; Singh, B.; Schaefer, C.E.G.R. 2001. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 25:19-32.
- Menezes, J.M.T.; Van Leeuwen, J.; Valeri, S.V.; Cruz, M.C.P.; Leandro, R.C. 2008. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 32:893-898.
- Nachtigall, G. R.; Vahl, L. C. 1991a. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da Região Sul do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 15:37-42.
- Nachtigall, G. R.; Vahl, L. C. 1991b. Dinâmica de liberação de potássio dos solos da região Sul do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 15:43-47.
- Neary, G. D.; Klopatek, C. C.; Debano, L. F.; Folliott, P. F. 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology Management*, 122: 51-71.
- Norrish, K.; Taylor, M. 1961. The isomorphous replacement of iron by aluminum in soil goethites. *Journal Soil Science*, 12:294-306.
- Nwadialo, B.E.; Lietzke, D.A. 1989. Mineralogy and weathering of soils in the Tennessee Copper basin. *Soil Science*, 147: 162-173.
- Oliveira, O. A. 2005. *Geografia de Rondônia Espaços & Produção*. Editora Dinâmica, Porto Velho, Rondônia. 203 pp.
- Resende, M.; Curi, N.; Ker, J.C.; Rezende, S.B. 2005. *Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações*. Editora UFLA, Lavras, Minas Gerais. 192 pp.
- Sanchez, P.A.; Villachica, J.H.; Bandy, D.E. 1983. Soil fertility dynamics after cleaning a tropical rainforest in Peru. *Soil Science Society American Journal*, 47: 1171-1178.
- Schaefer, C.E.R.; Lima, H.N.; Vale Júnior, J.F.; Mello, J.W.V. 2000. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. *Serie Ciência da Terra*, 12: 63-104.
- Simard, R.R.; Kimpe, C.R.; Zizka, J. 1992. Release of potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. *Soil Science Society American Journal*, 56: 1421-1428.
- Singh, B.; Gilkes, R.J. 1991. Concentration of iron oxides from soil clays by 5 M NaOH treatment: The complete removal of sodalite and kaolin. *Clay Minerals*, 26:463-472.
- Soares, R.V. 1977. *The use of prescribed fire in forest management in the state of Paraná, Brazil*. PhD Thesis, University of Washington, Washington, DC. 203pp.
- Souza, R.O.; Vahl, L.C.; Otero, X.L. 2009. Química de solos alagados. p. 485-528. In: Melo, V.F.; Alleoni, L.R.F. (Eds.). *Química e mineralogia do solo - Parte II: Aplicações*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais.
- Torrent, J.; Cabedo, A. 1986. Sources of iron oxides in reddish brown soil profiles from calcarenites in Southern Spain. *Geoderma*, 37: 5766.
- Vale Junior, J.F. 2000. *Pedogênese e alterações dos solos sob manejo itinerante, em rochas vulcânicas ácidas e básicas, no nordeste de Roraima*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 185pp.

Recebido em: 26/07/2011

Aceito em: 13/01/2012