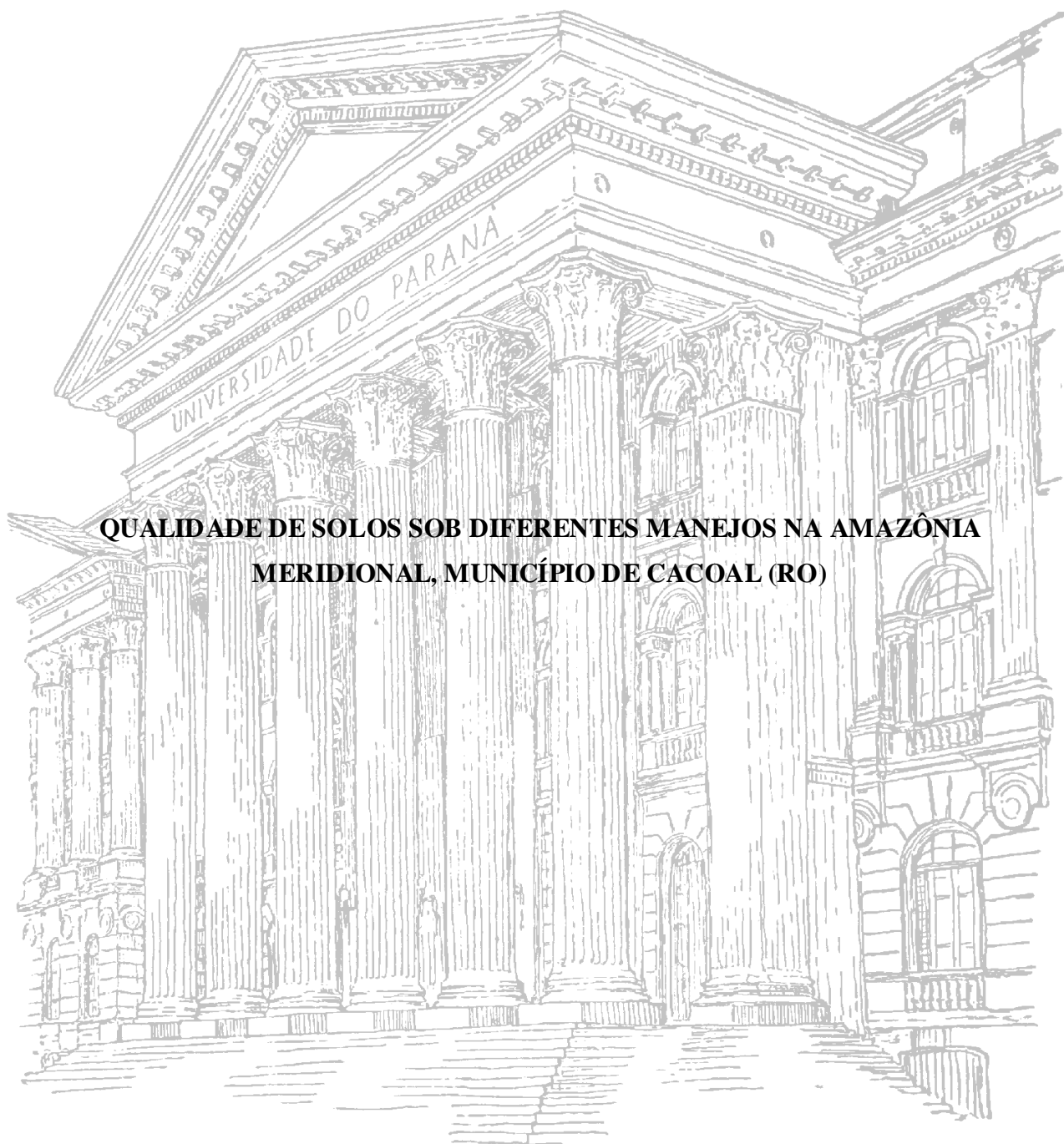


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALESSANDRO GÓIS ORRUTÉA



**QUALIDADE DE SOLOS SOB DIFERENTES MANEJOS NA AMAZÔNIA
MERIDIONAL, MUNICÍPIO DE CACOAL (RO)**

CURITIBA

2008

ALESSANDRO GÓIS ORRUTÉA

**QUALIDADE DE SOLOS SOB DIFERENTES MANEJOS NA AMAZÔNIA
MERIDIONAL, MUNICÍPIO DE CACOAL (RO)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em **Pedologia e Manejo de Solos**, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. Dr. Vander de Freitas Melo
Co-orientador: Prof. Ph.D. Antônio Carlos Vargas Motta
Co-orientador: Prof. Dr. Valmiqui Costa Lima

CURITIBA

2008



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648
Página: www.pgcisolo.agrarias.ufpr.br/
E-mail: pgcisolo@ufpr.br

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **ALESSANDRO GÓIS ORRUTÉA**, sob o título: "**Qualidade de solos sob diferentes manejos na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Pedologia e Manejo de Solos, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Pedologia e Manejo de Solos"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 27 de agosto de 2008.


Prof. Dr. Vander de Freitas Melo, Presidente.


Prof. Dr. Neyde Fabiola Balarezo Giarola, I.º Examinadora.


Prof. Dr. Antonio Carlos Vargas Motta, II.º Examinador.



Dedico este trabalho à minha esposa, **Ediane Simone Fernandes**, mulher Guerreira e admirável, por todos os momentos de ajuda, compreensão, tolerância, apoio, companheirismo, confiança e amor,

à minha filha, **Júlia Fernandes Góis Orrutéa**, razão da minha luta, pela compreensão nos momentos em que estive ausente como pai,

ao meu irmão, **Rodrigo Góis Orrutéa**, pelo incentivo moral nos momentos de desânimo e apoio em toda essa caminhada, motivo pelo qual tive forças para vencer mais uma etapa e

aos meus pais, **José Orrutéa Filho** (*in memoriam*) e **Elba Góis Orrutéa**, por terem me dado à vida e a educação necessária para que eu chegasse a este momento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador, sustentador de nossas vidas e grande arquiteto do universo, por estar presente em todos os momentos de minha vida e por ser a luz da minha caminhada.

Em especial ao meu orientador Prof. Dr. Vander de Freitas Melo agradeço pelo incentivo, apoio, confiança, amizade, compreensão, ensinamentos, críticas e sugestões e pela dedicação e humildade durante a elaboração desta dissertação, muitas vezes disponibilizados somente a um filho.

Aos professores da comissão examinadora, Dr^a. Neide Fabíola Balarezo Giarola, PhD. Antônio Carlos Vargas Motta e Dr. Valmiqui Costa Lima, que tanto puderam contribuir com a finalização deste trabalho.

Aos companheiros de pós-graduação Delmar, Eliziane, Luiz, Larissa, Yara, Thiago e Maurício, pela amizade, companheirismo, incentivo e colaboração recebida durante o curso. Aos colegas que de uma forma ou outra contribuíram no desenvolvimento do trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Solos da UFPR, em especial a Maria, Elda, Gerson, Roberto e Aldair pela presteza e amizade e a todos os que direta ou indiretamente contribuíram ao desenvolvimento do trabalho com suas opiniões, informações ou críticas.

Aos bolsistas de iniciação científica do CEFET e da UFPR, pela ajuda na realização das análises laboratoriais.

Aos meus mestres e em especial a Antônio Carlos Vargas Motta, Valmiqui Costa Lima, Nerilde Favaretto e Beatriz Monte Serrat que no decorrer do curso, se empenharam em me proporcionar capacitação profissional e apoio nos momentos de saudade da família.

A minha família, base fundamental do meu ser. O amparo consolador nas horas mais difíceis. Não há riqueza maior.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este trabalho e ao CNPQ, pela concessão da bolsa de estudos.

“O que queremos não é um balanço natural inatingível entre os agricultores e os solos que eles cultivam, mas um balanço realizável no qual nós usamos com conhecimento e precisão todas as ferramentas da ciência moderna, engenharia e economia.”

(Kellogg, 1957)

QUALIDADE DE SOLOS SOB DIFERENTES MANEJOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL, MUNICÍPIO DE CACOAL (RO) ¹

Autor: Alessandro Góis Orrutéa

Orientador: Prof. Dr. Vander de Freitas Melo

Co-orientador: Prof. Ph.D. Antônio Carlos Vargas Motta

Co-orientador: Prof. Dr. Valmiqui Costa Lima

RESUMO GERAL

Como consequência do desflorestamento, do manejo inicial e da implantação de culturas agrícolas na região amazônica meridional, ocorreu inúmeras mudanças nas propriedades originais do solo. Portanto, este estudo objetivou avaliar a qualidade e a reserva mineral de solos litologicamente originados de biotita granito/gnaiss, submetidos ao manejo inicial de derruba e queima e sob diferentes coberturas (mata secundária, pastagem e café) após 12 anos de uso da terra. Foram coletadas amostras de solo em cinco diferentes horizontes pedogenéticos (A, AB, B1, 2B2 e 2BC) de 16 perfis, classificados como Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico. Os resultados foram apresentados em dois capítulos, sendo que no primeiro, foi avaliada a mudança das principais características químicas e físicas do solo, resultantes do manejo empregado. Concluiu-se que os perfis apresentaram entre média e alta fertilidade, devido ao efeito residual das cinzas resultantes da queima efetuada no manejo inicial, o que aumentou os teores de Ca^{2+} , P e Zn^{2+} e os valores de saturação por bases nos manejos mata secundária e pastagem. Como resultado da maior exportação de nutrientes, no manejo café os teores se encontravam mais próximos ao original. Além disso, foram observadas perdas do horizonte O nos manejos mata secundária, café e pastagem, redução da profundidade e da qualidade da estrutura do horizonte A e alterações físicas no manejo pastagem na camada superficial do solo. No segundo capítulo, foram avaliadas a reserva mineral devido ao material de origem e as alterações na mineralogia das frações areia, silte e argila dos solos em consequência do manejo utilizado. 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. Não houve efeito do manejo nos teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{DCB}$ e $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{OA}$, ao contrário da relação entre os óxidos cristalinos da fração argila, na qual a maior relação goethita (Gt) / hematita (Hm) no horizonte A da floresta indica uma possível transformação parcial de Gt para Hm durante a queima da floresta para a implantação dos diferentes manejos.

Termos de indexação: uso do solo, coberturas vegetais, degradação do solo, reserva mineral, derruba e queima.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (67 p.) Novembro, 2008.

SOIL QUALITY UNDER DIFFERENTS MANAGERMENTS AT MERIDIONAL AMAZON, IN CACOAL, RONDÔNIA STATE, BRAZIL²

Author: Alessandro Góis Orrutéa

Advisor: Prof. Dr. Vander de Freitas Melo

Co- Advisor: Prof. Ph.D. Antônio Carlos Vargas Motta

Co- Advisor: Prof. Dr. Valmiqui Costa Lima

GENERAL ABSTRACT

As a result of deforestation, the initial management and the implementation of agricultural crops in the southern Amazon region, many changes have occurred in the original properties of the soil. Therefore, this study aimed to evaluate the quality of soils and mineral reserve lithology originated from biotite granite / gneiss, submitted to the initial management of slash and burn also under different covers (secondary forest, pasture and coffee) after 12 years of land use. Soil samples were collected in five different pedogenetic horizons (A, AB, B1, 2B2 and 2BC) of 16 profiles, classified as Typic Tb Eutrophic Haplic Cambisols. The results were presented in two chapters, and in the first one, it was evaluated the change of the main chemical and physical characteristics of the soil, resulting from management used. It was concluded that the profile showed between medium and high fertility, due to the residual effect of the ash from burning done in the initial management, which increased the levels of Ca^{2+} , P and Zn^{2+} and the values of saturation based in the managements of secondary forest and grazing. As a result of increased nutrient export, the coffee level quality was closer to the original. In addition, losses were seen in the O horizon the managements of secondary forest, coffee and pasture, reducing the depth and quality of the structure of the horizon and physical changes in grazing management in the topsoil. In the second chapter, we assessed the mineral reserve due to the source material and changes in the mineralogy of the fractions sand, silt and clay soils as a result of management used. There was a predominance of kaolinite in the clay mineral reserve and high K soils, associated with the occurrence of mica in the clay fraction, silt and sand. There was no effect on levels of management and Fe_2O_3DCB , Fe_2O_3OA , unlike the relationship between the crystalline oxides of the clay fraction, in which the highest ratio goethite (Gt) / hematite (Hm) in the A horizon of the forest indicates a possible partial transformation of Gt to Hm during the burning in the forest for the implementation of different management.

Index Terms: land use, vegetation cover, land degradation, mineral reserves, slash and burn.

² Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (67 p.) November, 2008.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Vista parcial da área contígua de estudo com a localização dos tratamentos: Floresta (mata nativa), Pastagem, Mata Secundária e Café, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO).18

CAPÍTULO 3

- Figura 1 - Vista parcial da área contígua de estudo com a localização dos tratamentos: Floresta (mata nativa), Pastagem, Mata Secundária e Café. 48
- Figura 2 - Mineralogia da fração argila dos diferentes horizontes do perfil de solo sob o manejo café. Ct – caulinita; Hm – hematita; Gt – goethita e Mi – mica. Horizontes representados, da posição mais alta para a mais baixa: A, AB, B1, 2B2, 2BC. 54
- Figura 3 - Mineralogia da fração areia do horizonte B1 dos perfis de solos sob os diferentes manejos. Qz – quartzo; Mi – mica; Fd – feldspato-K. Manejos representados, da posição mais alta para a mais baixa: café, pastagem, mata secundária, floresta. 55
- 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. Manejos representados, da posição mais alta para a mais baixa: café, pastagem, mata secundária, floresta.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 5 - Mineralogia da fração argila do horizonte A dos perfis de solos sob os diferentes manejos tratadas com NaOH 5 mol L⁻¹ (Fe concentrada). Gt: goethita; Hm: hematita. Manejos representados, da posição mais alta para a mais baixa: Floresta, mata secundária, pastagem, café. 58
- Figura 6 - Mineralogia da fração argila desferrificada (tratada com DCB) do horizonte B1 dos diferentes manejos, mostrando a intensidade relativa do pico de mica. Mi: mica; Ct: caulinita. Manejos representados, da posição mais alta para a mais baixa: café, pastagem, mata secundária, floresta. 60

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 2

Quadro 1. Teores de óxidos de Si, Al, Fe e Mn pelo ataque sulfúrico de perfis selecionados nos quatro tratamentos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO).....	20
Quadro 2. Atributos morfológicos de perfis selecionados nos quatro tratamentos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)	24
Quadro 3. Atributos químicos em função dos manejos e dos horizontes dos solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)	30
Quadro 4. Interação dupla dos teores de fósforo, ferro, manganês, cobre e zinco disponíveis com manejos e horizontes dos solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)	31
Quadro 5. Análise textural, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF) em função dos manejos e dos horizontes dos solos, na Amazônia meridional, Município de Cacoal (RO)	32
Quadro 6. Densidade aparente (Ds) e real (Dr) e porosidade em função dos manejos e dos horizontes dos solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO).....	35
Quadro 7. Percentagem dos agregados retidos nas diferentes classes de peneiras no ensaio de estabilidade dos agregados via úmida e seca e diâmetro médio geométrico (DMG) das amostras de perfis selecionados nos quatro tratamentos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)	37

CAPÍTULO 3

Quadro 1. Atributos morfológicos dos perfis de solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)	49
Quadro 2. Análise textural e caracterização química dos perfis de solos, na Amazônia Meridional município de Cacoal (RO)	52
Quadro 3. Teores de óxidos de Fe extraídos pelo oxalato de amônio (OA) e ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e relação goethita (Gt)/hematita (Hm) na fração argila dos perfis de solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)	56
Quadro 4. Teores de K não trocáveis (extração com HNO_3 1 mol L ⁻¹) dos perfis de solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)	59

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	6
GENERAL ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL.....	12
LITERATURA CITADA.....	13
CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DE SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES MANEJOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL, MUNICÍPIO DE CACOAL (RO).....	14
RESUMO.....	14
CHAPTER 2 – SOIL QUALITY UNDER DIFFERENTS MANAGERMENTS AT MERIDIONAL AMAZON, IN CACOAL, RONDÔNIA STATE, BRAZIL.....	15
ABSTRACT	15
INTRODUÇÃO	15
MATERIAL E MÉTODOS	17
Descrição da área de estudo e amostragem dos solos	17
Fertilidade.....	21
Análises físicas	22
Análise estatística	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
Morfologia do solo	24
Fertilidade do solo	27
Propriedades físicas	33
Análise textural, argila dispersa em água e grau de floculação	33
Densidade e porosidade.....	34
Estabilidade e diâmetro médio geométrico dos agregados	36
CONCLUSÕES	38
LITERATURA CITADA	38

CAPÍTULO 3 - MINERALOGIA E RESERVA DE K DE SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES MANEJOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL, MUNICÍPIO DE CACOAL (RO)	43
RESUMO	43
CHAPTER 3 – MINERALOGY AND K RESERVE OF SOILS UNDER DIFFERENTS MANagements AT MERIDIONAL AMAZON, IN CACOAL, RONDÔNIA STATE, BRAZIL.	44
ABSTRACT	44
INTRODUÇÃO	45
MATERIAL E MÉTODOS	47
Descrição da área de estudo e amostragem dos solos	47
Caracterização dos solos	51
Reserva mineral de K	51
Análises mineralógicas.....	53
Análise estatística	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
Mineralogia das frações argila, silte e areia dos solos	54
Óxidos de Fe amorfos e cristalinos	57
Reserva mineral de K	59
CONCLUSÕES	61
LITERATURA CITADA	61
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO GERAL	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS	66

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

A intensa discussão desencadeada nas últimas décadas não evitou o aumento crescente da derrubada da floresta amazônica. Somente neste novo milênio, influenciada por pressões externas, é que se conseguiu uma diminuição na taxa de desflorestamento. Dentre as regiões mais afetadas neste processo de desmatamento, figura o estado de Rondônia, uma das mais recentes fronteiras agrícolas brasileiras.

Este confronto homem-natureza, desencadeado pela necessidade de sobrevivência dos agricultores migrantes (OLIVEIRA, 2005), através da remoção da vegetação natural, de cultivos subseqüentes e da falta de reposição de nutrientes ao longo do tempo, resultou no declínio da produção agrícola e na degradação ambiental de diversas áreas. Por este motivo, as causas deste processo de ocupação, bem como suas formas de controle e vigilância, além das conseqüências locais, regionais e mesmo de natureza global, têm sido amplamente abordadas em vários encontros políticos e científicos, nacionais e internacionais.

Em geral, a Amazônia, devido às condições bioclimáticas, as características do material de origem e o tipo de relevo, possui solos profundos e muito intemperizados (LIMA et al., 2006), com poucas reservas minerais (DIEGUES, 1999). Áreas de solos eutróficos só existem onde há planície aluvial ou nos terraços e baixos planaltos das bacias do Acre e do Alto Amazonas ou, ainda onde afloram rochas de maior riqueza em bases como calcários e margas em Monte Alegre-Ererê e basaltos e diabásios em Roraima, Pará e Amapá (SCHAEFER et al., 2000). Além dos locais citados acima, a bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná, região da realização deste trabalho, está recoberta por solos eutróficos em 60 % de sua área (IBGE, 2001).

No entanto, esta bacia apresenta outras limitações e fragilidades ao uso agrícola como: relevo acidentado, pedregosidade, afloramento de rochas e camadas de impedimento em sub-superfície. Aliado a isto, existe um agravante ocasionado por características inerentes à região, como os altos índices pluviométricos com chuvas altamente erosivas e altas temperaturas responsáveis pela rápida perda de material orgânico em cobertura. Como agravante a este cenário, existem poucos estudos relacionados à caracterização dos solos, a identificação de suas limitações e a compreensão das alterações decorrentes da ação diferenciada dos processos de uso.

Portanto, o grande desafio da pesquisa nesta região, está na busca da sustentabilidade sócio-econômica para a exploração agrícola, ou de uma nova condição de equilíbrio ambiental do sistema de produção, o que envolve, dentre outros, o manejo e cobertura adequada do solo. Espera-se, que através da avaliação temporal das alterações ocasionadas pelas diferentes formas de cobertura no presente estudo, possam permitir previsões do comportamento do uso do solo, fornecendo elementos essenciais ao ordenamento e utilização adequada das áreas cultivadas, através da melhoria das práticas agrícolas e na conservação ambiental, podendo assim, subsidiar o planejamento do uso do solo.

LITERATURA CITADA

- DIEGUES, A.C. A dinâmica social do desmatamento na Amazônia: populações e modos de vida em Rondônia e Sudeste do Pará. São Paulo, UNRISD-NUPAUB - Universidade de São Paulo, 1999.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Mapa de Solos do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2001.
- LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C. & LIMA, A.M.N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. R. Bras. Ci. Solo, 30: 59-68, 2006.
- OLIVEIRA, O. A. Geografia de Rondônia Espaços & Produção. Porto Velho, Editora Dinâmica, 2005. 203p.
- 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. Série Ciência da Terra, 12: 63-104, 2000.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DE SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES MANEJOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL, MUNICÍPIO DE CACOAL (RO) ⁽³⁾

Alessandro Góis Orrutéa ⁽⁴⁾, Vander de Freitas Melo ⁽⁵⁾, Antônio Carlos Vargas Motta ⁽⁵⁾ & Valmiqui Costa Lima ⁽⁵⁾

RESUMO

A substituição da floresta por pecuária e agricultura, via corte e queima, pode causar mudanças químicas e físicas do solo nos primeiros anos e pode perdurar em função do uso. O presente trabalho teve por objetivo avaliar as principais características químicas e físicas do solo sob condição natural de floresta e três outras condições de uso após 11 anos, 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, queima e posteriormente cultivada: 1) café (*Coffea canephora*) – plantio de café com cultura intercalar nos primeiros 8 anos; 2) mata secundária – simulação de uma agricultura migratória, com plantio de lavoura nos dois primeiros anos e pousio para retorno da mata; 3) pastagem – plantio de capim (*Brachiaria brizantha marandú*), para criação de gado de corte. Os perfis de solos estudados apresentaram entre média e alta fertilidade (pH elevado, alto teor de Ca, Mg, K, Zn e Cu disponível), superiores quando comparados ao restante da região amazônica. Em relação à floresta, nos manejos mata secundária, café e pastagem verificaram-se perda do horizonte O e redução da profundidade e da qualidade da estrutura do horizonte A. Mesmo após 11 anos da derruba e queima da floresta ainda ocorreu efeito residual das cinzas em aumentar os teores de Ca^{2+} , P e Zn^{2+} e os valores de saturação por bases nos manejos mata secundária e pastagem. Devido a maior exportação de nutrientes, no manejo café os teores desses nutrientes encontravam-se mais próximos ao original. A pastagem promoveu mais intensamente alterações físicas na camada superficial do solo: redução do volume de macroporos e aumento do tamanho médio geométrico dos agregados.

Termos de indexação: solos amazônicos, manejo conservacionista, derruba e queima, alterações físicas e químicas do solo.

⁽³⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná – UFPR.

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do 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

⁽⁵⁾ Professor Associado do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná – UFPR. Rua dos Funcionários 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mails: vanderfm@ufpr.br; mottaacv@ufpr.br; valmiqui@ufpr.br.

CHAPTER 2 – SOIL QUALITY UNDER DIFFERENTS MANAGERMENTS AT MERIDIONAL AMAZON, IN CACOAL, RONDÔNIA STATE, BRAZIL

ABSTRACT

*The replacement of forest by pasture and agriculture, by slash-and-burn, can cause immediately changes on chemical and physical soil properties which can last as function of land-use. This research goal was to evaluate the major chemical and physical soil properties under native forest as well as three others conditions of land-use, after 11 years, at Cacoal municipality – Rondônia State - Brazil. A piece of land cover by ombrophilous dense native forest, with similar pedologic feature, was split in four pieces. Three of them were cut down and burned, and then used by the following crops, to know: a) Coffee crop (*Coffea canephora*) – planting coffee with ingrown crops during eight first years. B) Secondary forest – simulation of slash-and-burn agriculture, with two years crops and followed by fallow to allow secondary forest growth. C) Tropical pasture – sowing grass (*Brachiaria brizantha marandú*) to raise cattle. The studied profiles showed medium to high fertility (high pH and availability of Ca, Mg, K, Zn and Cu) which were superior than the majority of soil from Amazonia region. There were a loss of O horizon and reduction of depth and structural quality of A horizon for secondary forest, coffee and tropical pasture comparing with native forest. After 11 years of the forest slashing and burning it was observed residual effect of ash diminishing acidity and enhancing Ca^{2+} , P, Zn^{2+} availability and base saturation value for tropical pasture and secondary forest. As result of high nutrients exportation, the nutrients concentration, presented above, for coffee soil showed values close to observed from native forest. The pasture provided more intensive physical alteration within soil surface such as: reduction of macrospores volume and enhancement of geometric mean size aggregates.*

Index Terms: amazonic soils, conservations systems, burn, physical and chemical soil degradation.

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). Solos de boa fertilidade e favoráveis a agricultura representam apenas cerca de 7% da região (Demattê, 1988).

A discussão a respeito do desmatamento na região Amazônica Meridional extrapola os limites dos territórios dos países que abrigam este importante ecossistema mundial. A partir da década de 60, o acelerado programa de assentamento oficial do governo federal e as facilidades de acesso atraíram para o estado de Rondônia milhares de migrantes, vindos de várias partes do país. Os sistemas agrícolas implantados nesta fronteira agrícola, em sua maioria, baseavam-se na pecuária extensiva, na mata secundária e na cafeicultura, consorciada com lavouras intercalares.

A queima do material vegetal após derruba da floresta tem sido muito utilizado nos ecossistemas agrícolas e florestais na Região Amazônica Meridional, tendo fortes conseqüências sobre as características físicas (Neary et al., 1999), morfológicas e químicas do solo (Sampaio et al., 2003). Em termos físicos, o fogo provoca inicialmente a dispersão de agregados e, associados aos efeitos das chuvas nos solos expostos, provoca redução da macroporosidade, e conseqüentemente da capacidade de infiltração e aeração do solo (Mataix-Solera & Doerr, 2004). McNabb et al. (1989) constataram diminuição da taxa de infiltração da superfície do solo e aumento de repelência à água após cinco meses da queima. Vários estudos mostraram o aumento em superfície nos valores de densidade aparente e redução da porosidade total de solos submetidos a diferentes manejos em relação à vegetação natural (Fialho et al., 1991; Anjos et al., 1994). Por outro lado, Volk (2002) e Cogo & Streck (2003) obtiveram efeitos físicos positivos de aumento na estabilidade de agregados em solos cultivados com plantas que produziram elevada massa de raízes.

Mesmo sendo o meio mais rápido e barato que os colonos dispõem para limpeza e fertilização da área de cultivo, após a queima, o solo fica suscetível a perdas elevadas de nutrientes contidos na cinza por volatilização, fluxo de massa, lixiviação e erosão. O declínio na fertilidade dos solos cultivados em relação a floresta nativa, quando não se utilizaram

corretivos e fertilizantes, foi amplamente descrito na literatura (Sanchez et al., 1983; Bowman et al., 1990; Correa & Reichardt, 1995; Cravo & Smyth, 1997; Tognon et al., 1997). Contudo, poucos resultados de pesquisas foram produzidos na Amazônia Meridional, principalmente trabalhos mais abrangentes, envolvendo características morfológicas, químicas e físicas de solos de uma mesma área.

Segundo Kitamura (1994) a implantação de pastagens foi responsável por cerca de dois terços do desmatamento na região Amazônica. Em estudos de longa duração em pastagens cultivadas na Amazônia (Serrão et al. 1978; Serrão et al., 1979) foi constatado que nutrientes como Ca^{2+} e Mg^{2+} se mantiveram em níveis bastante satisfatórios; os valores de pH em H_2O permaneceram em geral, entre 5,5 e 6,5 e o Al^{3+} e sua saturação praticamente nulos. Cerri (1989) cita que após oito anos sob pastagens, o solo recuperou os teores totais originais de carbono orgânico. No entanto, Teixeira et al. (1997) constatou que houve decréscimo nos teores de N, P, K, Ca e Mg quando a floresta foi substituída por pastagem.

Nas áreas após a derruba e queima da floresta e cultivo de espécies agrícolas anuais, pode-se permitir a regeneração da mata secundária, modelo baseado nas tribos indígenas da região, o uso do solo é caracterizado por longo período de pousio alternado por pequeno número de anos de cultivo (Sampaio et al., 2003). Durante o pousio, os nutrientes acumulam-se na vegetação da mata secundária e, com a derrubada e queimada, são realocados para a camada superficial do solo, repondo, parcialmente, os nutrientes deslocados do sistema e exportados pelos cultivos.

O presente trabalho objetivou avaliar as alterações nas propriedades morfológicas, físicas e químicas de solos submetidos a diferentes manejos (11 anos de mata secundária, pastagem e café), quando comparados a 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), na bacia do Rio Ji-Paraná, responsável por drenar uma área de 75.000 km^2 (IBGE, 1993). 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 a média anual de temperatura do ar entre 23 °C e 26 °C (Gama, 2000).

Na região predomina rochas do Pré-Cambriano Superior (em quase sua totalidade biotita granito/gnaiss), representado pelo Grupo Uatumã, formação Serra da Providência, com cronologia do Pré-Cambriano Superior (BRASIL, 1978). A área de estudo é pedregosa, ligeiramente rochosa, com relevo ondulado (Figura 1), erosão não aparente e acentuadamente drenada. O relevo regional é suave ondulado a ondulado, dominado por colinas e interflúvios tabulares.

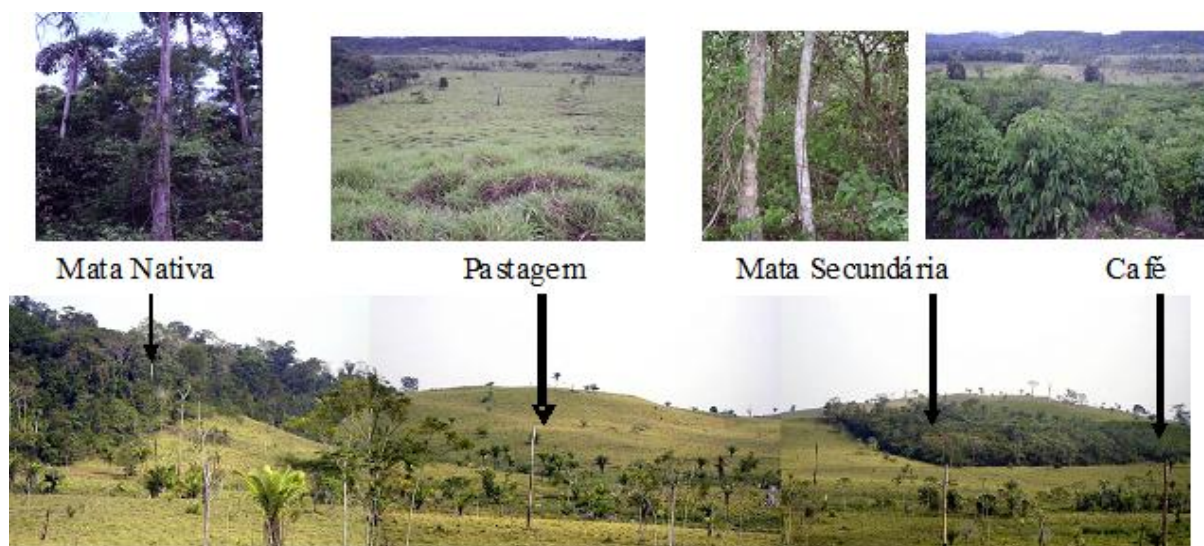


Figura 1. Vista parcial da área contígua de estudo com a localização dos tratamentos: Floresta (mata nativa), Pastagem, Mata Secundária e Café, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO).

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

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) derruba e queima da floresta + Pastagem (*Braquiaria brizantha*) - em uso por 11 anos, com total

ausência de fertilização orgânica e mineral. Nesse manejo foi utilizado herbicida a base de 2,4D e suplementação mineral no cocho aos animais em engorda em sistema extensivo. A lotação média da área de pastagem no ano de 2008 (época de amostragem dos solos) foi de aproximadamente 1,5 unidades animal ha⁻¹; 3) derruba e queima + cultivo agrícola (sem revolvimento do solo e plantio com matraca) + mata secundária - utilizada com o cultivo de arroz/feijão no 1º ano e milho/feijão no 2º ano, mantendo-se em pousio os nove anos seguintes. Em nenhum momento houve fertilização orgânica e mineral; 4) derruba e queima + cultivo de café (*Coffea canephora*) - utilizou-se o cultivo consorciado de arroz/feijão no 1º ano e nos anos que se seguiram cultivou-se milho/feijão/abóbora até o 8º ano (sem revolvimento do solo e plantio com matraca). Em uso por 11 anos, sem fertilização mineral e adubação orgânica com casca de café, oriunda do beneficiamento dos grãos produzidos. Nesse manejo, foram, ainda, utilizados herbicidas (Oxyfluorfen, Glyphosate, Paraquat) e fungicidas (Epoconazole e sulfato de cobre). A produtividade da cultura de café no ano de 2008 foi de 5,2 sacas de café beneficiadas ha⁻¹.

O estudo foi planejado e instalado 11 anos antes da coleta de amostras de solo em 2008 e durante o período de condução o experimento foi sistematicamente acompanhado para evitar interferências extras em relações às condições definidas nos manejos, mantendo-se, apenas, os tratos culturais usados pelos produtores da região.

Foram selecionados quatro perfis de solo em cada tratamento (4 tratamentos x 4 repetições), situados lado a lado transversalmente à declividade da área, em 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 as repetições e os tratamentos. Após a abertura das trincheiras (2,0 m de profundidade), a descrição morfológica e a coleta das amostras dos horizontes foram realizadas de acordo com as recomendações de Santos et al. (2005). Todos os 16 perfis apresentaram a mesma sequência de horizontes pedogenéticos (A, AB, B1, 2B2 e 2BC) e foram classificados como Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico (EMBRAPA, 2006). Os teores de óxidos de Si, Al, Fe e Mn extraídos pelo ataque sulfúrico (diluição 1:1) (Embrapa, 1997) foram determinados nos 16 perfis para viabilizar a classificação dos solos. No quadro 1 são apresentados esses dados de um perfil para cada tratamento.

Quadro 1. Teores de óxidos de Si, Al, Fe e Mn pelo ataque sulfúrico de perfis selecionados nos quatro tratamentos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)

Horizonte	Ataque sulfúrico				Relações molares		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
----- g kg ⁻¹ -----							
Perfil na floresta							
A	56,7	64,8	59,4	1,5	1,49	0,94	1,71
AB	56,7	76,2	59,9	1,7	1,26	0,84	2,00
B1	72,3	98,1	66,0	2,0	1,25	0,88	2,33
2B2	171,8	187,2	129,2	0,4	1,56	1,08	2,28
2BC	186,6	141,7	123,3	0,5	2,24	1,44	1,80
Perfil na mata secundária							
A	98,6	100,8	61,5	2,9	1,66	1,20	2,57
AB	105,2	137,5	69,2	2,6	1,30	0,98	3,12
B1	115,9	146,6	69,1	2,7	1,34	1,03	3,33
2B2	202,2	201,5	88,7	0,6	1,71	1,33	3,57
2BC	221,1	232,6	88,5	0,3	1,62	1,30	4,13
Perfil na pastagem							
A	102,7	83,3	60,3	2,1	2,10	1,43	2,17
AB	75,6	70,8	60,4	2,2	1,81	1,18	1,84
B1	101,9	118,7	64,0	1,8	1,46	1,09	2,91
2B2	161,9	162,8	84,7	0,3	1,69	1,27	3,02
2BC	161,1	141,7	87,3	0,2	1,93	1,39	2,55

Continuação do Quadro 1. Teores de óxidos de Si, Al, Fe e Mn pelo ataque sulfúrico de perfis selecionados nos quatro tratamentos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)

Horizonte	Ataque sulfúrico				Relações molares		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
Perfil no Café							
A	82,2	66,8	36,3	1,1	2,09	1,55	2,89
AB	87,9	78,6	40,0	1,1	1,90	1,44	3,08
B1	104,4	91,4	46,1	0,9	1,94	1,47	3,11
2B2	148,8	182,3	60,3	0,3	1,39	1,15	4,75
2BC	145,5	179,3	61,5	0,1	1,38	1,13	4,58

As amostras deformadas de solo (16 perfis x 5 horizontes = 80 amostras) foram secas ao ar e passadas em peneira de malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) para as análises de fertilidade, textural, argila dispersa em água e grau de floculação. Para determinar a densidade aparente e porosidade, as amostras foram coletas com anéis de Kopecky em camadas delgadas (de 5 em 5 cm), no intervalo de 0 a 20 cm a partir da superfície do solo (16 perfis x 4 camadas = 64 amostras).

Selecionou-se um perfil em cada tratamento para coleta de blocos de solos (15 x 15 x 15 cm) para estimativa da estabilidade dos agregados dos quatro horizontes mais superficiais.

Fertilidade

Foram determinados os seguintes parâmetros da fertilidade em amostras da TFSA (Embrapa, 1997): pH em H₂O e em soluções de KCl 1 mol L⁻¹ e CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; teores trocáveis de Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ - extração com KCl 1 mol L⁻¹; teores trocáveis de K⁺ e disponíveis de P - extração com HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹ (Mehlich-1); acidez potencial não trocável (H) - extração com Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0. Na mesma amostra utilizada para determinação do pH em CaCl₂, determinou-se o índice SMP (Marques & Motta, 2003). Os teores de carbono orgânico (CO) foram determinados pelo método fotocolorimétrico, com solução oxidante de Na₂Cr₂O₇ e H₂SO₄ concentrado a frio (UFPR,

2003). Já os micronutrientes Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} e Fe^{2+} foram extraídos com solução de HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (Reed & Martens, 1996).

Análises físicas

As análises físicas foram realizadas de acordo com Embrapa (1997): análise textural, pelo método da pipeta; densidade aparente (D_s), pelo método de anel volumétrico de Kopeck; densidade real (D_r), pelo método do balão volumétrico preenchido com álcool etílico; argila dispersa em água e; grau de flocculação.

A estabilidade de agregados via úmida e seca foi determinada em amostra indeformada e seca ao ar e peneirada manualmente em peneiras de malha 4 e 2 mm. Para determinação da umidade, uma amostra da mesma classe de agregados foi levada à estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 12 h. Duas porções de 50 g de amostras de agregados foram colocadas em Placas de Petri, onde foram umedecidas lentamente com atomizador durante 15 min, a uma distância aproximada de 40 cm. Após o umedecimento, as amostras ficaram em repouso por duas horas, e, posteriormente, colocadas em jogo de peneiras com malha 2,0; 1,0; 0,50; 0,25 e 0,105 mm e agitadas em um oscilador mecânico (Yoder), imerso em água durante 15 minutos, com uma amplitude de 4 cm de altura e uma frequência de $32 \text{ oscilações min}^{-1}$ (estabilidade via úmida - Embrapa, 1997).

A estimativa da estabilidade dos agregados via seca também foi feita em duplicata, pesando-se 50 g de agregados (4 - 2 mm). Foi utilizado um conjunto de peneiras, com as mesmas malhas do método via úmida, acoplado a um agitador orbital, com agitação por 5 min (Embrapa, 1997). A velocidade de trabalho do aparelho foi na escala 7, quando este oferece opções na faixa de 0 a 10.

Os agregados retidos em cada peneira (via úmida e via seca) foram transferidos para placas de porcelana e, após secagem em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h, determinaram-se o peso do material seco e a percentagem de cada classe de agregados. Para expressar a distribuição dos agregados, utilizou-se o índice por tamanho (diâmetro médio geométrico - DMG), calculado pela seguinte fórmula:

$$DMG = 10X$$

$$X = [S(n \log d) / S_n]$$

em que:

n = % dos agregados retidos em determinada peneira.

d = diâmetro médio de determinada faixa de tamanho do agregado (mm).

As amostras indeformadas coletadas em anel volumétrico foram saturadas com água e colocadas sob mesa de tensão, sendo retirada a água dos macroporos (poros com diâmetro $\geq 0,05$ mm), aplicando-se uma tensão de 60 cm de coluna de água. Após a retirada parcial da água, as amostras foram pesadas e levadas para secagem em estufa 105 °C por 12 h, determinando-se o volume de poros na amostra, conforme descrito abaixo (Embrapa, 1997):

- Porosidade total (Pt)

$$Pt (\%) = 100 (Dr - Ds) / Dr;$$

Dr = densidade real (g cm^{-3});

Ds = densidade aparente do solo (g cm^{-3}).

- Microporosidade (%) = $(a-b)/c$

a = peso da amostra após aplicação de uma tensão de 60 cm de coluna de água (g);

b = peso da amostra seca a 105 °C (g);

c = volume do cilindro (cm^3).

- Macroporosidade (%) = porosidade total - microporosidade.

Análise estatística

Os dados de fertilidade, textura, argila dispersa em água, grau de flocculação, densidade aparente e porosidade foram submetidos a análises estatísticas com o programa Anova - fator duplo com repetição. Quando o sistema de manejo e, ou, horizonte mostrou-se significativo pelo teste F, a comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a estabilidade e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados não se aplicaram tratamento estatístico aos dados, pois a coleta foi feita em apenas um perfil selecionado em cada tratamento (ausência de repetições).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Morfologia do solo

Os quatro perfis alocados lado a lado em um mesmo sistema de manejo apresentaram morfologia praticamente igual, o que indica que foram submetidos a condições similares em relação aos fatores e processos de formação dos solos; por esse motivo, optou-se pela apresentação dos dados morfológicos de apenas um perfil por tratamento (Quadro 2). Esse comportamento foi importante para validar a escolha dos quatro perfis como repetições em cada tratamento para permitir a realização de teste estatístico dos dados.

Quadro 2. Atributos morfológicos de perfis selecionados nos quatro tratamentos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)

Hori- zonte ⁽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	12-26	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
D1	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	--

⁽¹⁾ D1 - 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 dl (descontinuidade litológica) em todos os tratamentos. Nessa camada não foi coletada amostra para as determinações físico-químicas; ⁽²⁾ cor variegada

Continuação do Quadro 2. Atributos morfológicos de perfis selecionados nos quatro tratamentos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)

Hori- zonte ⁽¹⁾	Prof. cm	Cor úmida	Classe textural	Estrutura	Consistência		Transição
		Úmida	Molhada				
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 e pegajoso	plana e difusa
AB	7-17	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
D1	30-54	2,5 YR 4/8	--	bloco sub angular pequena moderada	Firme	pegajoso e ligeiramente e 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° 19.79' S e 61°40.81' W							
A	0-6	5YR 4/4	franco argilosa	bloco subangular muito pequeno moderado	Friável	ligeiramente pegajosa e plástica	plana e clara
AB	6-30	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
D1	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	--

Continuação do Quadro 2. Atributos morfológicos de perfis selecionados nos quatro tratamentos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)

Hori- zonte ⁽¹⁾	Prof. cm	Cor úmida	Classe textural	Estrutura	Consistência		Transição
					Úmida	Molhada	
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	7-28	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
D1	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⁾ D1 - 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 dl (descontinuidade litológica) em todos os tratamentos. Nessa camada não foi coletada amostra para as determinações físico-químicas; ⁽²⁾ cor variegada

Mesmo os perfis selecionados em cada tratamento (floresta, mata secundária, pastagem e café), por serem desenvolvidos a partir do mesmo material e devido à proximidade entre eles (Figura 1), também apresentaram morfologia bastante similar, destacando-se o horizonte B raso e com presença de linha de pedra, constituída de fragmentos de rochas (granito/gnaiss) do tamanho calhau e matacão (Quadro 2). Essa descontinuidade litológica (D1) no interior do horizonte Bi 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 (Quadro 1), em que a média dos teores de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ nos horizontes 2B2 e 2BC são muito superiores em relação aos horizontes mais superficiais.

No solo sob os manejos pastagem e café constataram-se alterações importantes da estrutura do solo, principalmente do horizonte A, quando comparado ao solo sob floresta e mata secundária (Quadro 2). A estrutura passou de granular muito pequena a pequena moderada e forte para blocos subangulares muito pequena moderada, demonstrando a perda de qualidade da estrutura do solo devido aos manejos empregados. Houve também redução da espessura e aumento do valor e croma (componentes da cor) do horizonte A, em todos os manejos em relação a floresta. O horizonte O foi verificado apenas na floresta.

Fertilidade do solo

Os dados médios de alguns parâmetros químicos do solo para os diferentes manejos e horizontes são apresentados no quadro 3 e os dados da interação dupla dos teores de P e micronutrientes com os manejos e horizontes são mostrados no quadro 4. Segundo o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2001) na região do estudo existem associações de rochas calcárias ao complexo cristalino granito/gnaiss, o que promoveu o aumento do pH do solo (Quadro 3). Em todos os perfis, os valores para esse parâmetro foram neutros ou ligeiramente ácidos. Além do material de origem, esse comportamento nos horizontes superficiais pode ser atribuído a incorporação de cinzas da queima inicial da biomassa; a floresta apresentou os menores valores de pH, como observado por Numata et al. (2002) e Menezes et al. (2008).

Com o uso agrícola e pastoril tende-se à redução no teor de matéria orgânica do solo (Bayer, 1996). No entanto, em relação às áreas estudadas, não se verificou variação significativa nos teores de carbono orgânico (CO) do solo (Quadro 3). McGrath et al. (2001) compilaram alguns trabalhos sobre os efeitos do uso do solo na região amazônica e relataram as seguintes modificações em relação à floresta nativa: o teor de matéria orgânica é mantido nas áreas de pastagens, principalmente naquelas bem manejadas, como é a área do presente estudo; predominância de menores teores de CO nas áreas agrícolas e na mata secundária para Oxisolos e Ultissolos. O maior teor de CO (diferença não significativa) na mata secundária no presente estudo indica que o uso agrícola por apenas dois anos foi muito curto para favorecer de maneira expressiva a mineralização da matéria orgânica do solo.

Possivelmente, o cultivo mínimo e conservacionista dos diferentes manejos em relação à floresta, com pouco revolvimento do solo e a ausência de fertilização mineral, contribuiu para manter o estoque médio inicial de carbono no solo. O efeito do manejo dos solos foi mais

importante na redução da espessura (Quadro 2) do que no teor de CO do horizonte A; possivelmente, a retirada da floresta favoreceu a erosão dos solos. Na distribuição ao longo do perfil, os teores de CO decresceram significativamente em profundidade (Quadro 3).

Os teores de Al^{3+} para todas as amostras foram iguais a zero, coerente com os altos valores de pH dos solos, pois verifica-se o predomínio da forma precipitada do Al para valores de pH em água superiores a 5,4 (Motta & Melo, 2009). Os elevados valores de pH também foram responsáveis pelos baixos teores de acidez potencial não trocável (H) (Quadro 3). Não foi observado efeito das diferentes profundidades sobre os teores de H.

Os maiores teores de Ca^{2+} nos horizontes mais superficiais do solo estão associados aos processos de ciclagem de nutrientes. O aumento no teor de Mg^{2+} no horizonte mais profundo foi devido a sua menor força trocadora e maior potencial de lixiviação em relação ao Ca^{2+} .

Em relação aos manejos, os maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram observados na pastagem e mata secundária, respectivamente. Mesmo após 11 anos de condução do experimento, tudo indica que ainda houve efeito residual positivo da queimada na disponibilidade de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no solo (maiores teores nas áreas manejadas). Contudo, os incrementos nos teores de Ca^{2+} nas áreas queimadas em relação a outros trabalhos foram baixos. McGrath et al. (2001) relataram aumentos de mais de 10 vezes nos teores desse nutriente em áreas de pastagem previamente submetidas a derruba e queima da floresta. Tal fato pode estar associado ao menor tempo de observação e a baixa fertilidade inicial dos solos, visto que, Numata et al. (2002) obtiveram incrementos nos teores de Ca^{2+} de 0,1 para 1,24 e de 0,5 para 1,68 $cmol_c\ dm^{-3}$ em sítios de baixa fertilidade e de 4,0 para 7,0 $cmol_c\ dm^{-3}$ em sítios de alta fertilidade, após três a cinco anos da queimada no estado de Rondônia.

A baixa intensidade de ocupação, a retirada do gado por alguns meses do ano e a manutenção dos resíduos dos animais na área reduziram a exportação de nutrientes na pastagem. No campo, as pastagens da região normalmente encontram-se viçosas e com porte adequado. Apesar dos menores teores de bases trocáveis no solo, deve-se considerar o expressivo estoque de nutrientes temporariamente imobilizados no horizonte O e nas árvores da floresta.

Os menores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} para o manejo café (Quadro 3) podem ser atribuídos ao baixo nível de tecnologia empregado, sem a adequada reposição dos nutrientes exportados com a colheita do cafeeiro e com o cultivo de espécies agrícolas consorciadas nos primeiros oito anos, deve ter suprimido o efeito de fertilização das cinzas da queimada. McGrath et al.

(2001) observaram o mesmo comportamento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} nos sistemas agrícolas em relação as pastagens após a queimada da floresta na região Amazônica.

Devido à maior importância quantitativa dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} nos valores de soma de base (SB), os maiores valores para esse atributo e para a saturação por bases (V%) foram observados para os manejos mata secundária e pastagem. Contudo, as diferenças entre os tratamentos não foram significativas. Mesmo na floresta, os valores de SB e V% são considerados médios a altos, possivelmente pela ciclagem de nutrientes e influência de rochas calcárias associadas ao material de origem (CPRM, 2001). Normalmente, os solos da região são naturalmente mais pobres em nutrientes (McGrath et al., 2001; Numata et al., 2002; Menezes et al., 2008).

As cinzas, após 11 anos da queimada, também promoveram incremento significativo nos teores de P disponíveis nos solos sob pastagem e mata secundária (Quadro 4). Diferentemente de outros autores (McGrath et al., 2001; Numata et al., 2002 e Menezes et al., 2008), que observaram uma queda muito rápida nos teores de P disponíveis, voltando aos níveis iniciais da floresta.

Em relação à longevidade e produtividade do café, dada a importância do P na nutrição das plantas e caso haja recurso disponível pelo produtor, recomenda-se a reposição do nutriente exportado pela colheita.

O horizonte A apresentou os maiores teores de P devido, provavelmente, aos maiores teores de CO e a deposição de cinzas neste horizonte. Para a floresta, justifica-se a menor diferença dos teores de P entre o horizonte A e os horizontes subsequentes devido a não utilização da queima e a menor mineralização do material vegetal devido a manutenção da serapilheira sobre o solo e ao microambiente caracterizado por temperaturas amenas, baixa insolação e alta umidade.

Os maiores teores de P na mata secundária até o horizonte AB é consequência do menor número de anos de utilização do solo, grande disponibilidade inicial de P via queima (Numata et al., 2002), maior eficiência da reciclagem, inexistência da exportação de nutrientes através de colheitas e baixa perda de solo por erosão. Além disso, a ausência do revolvimento do solo nos manejos mata secundária, pastagem e café não promoveram um incremento no contato P-argila, o que reduz a adsorção do P pelos óxidos de Fe e Al do solo e, conseqüentemente sua imobilização (Addiscott & Thomas, 2000). Em solos com reação alcalina, como nas áreas do

Quadro 3. Atributos químicos em função dos manejos e dos horizontes dos solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)⁽¹⁾

	pH				CO	H	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	SB	CTC		
	H ₂ O	KCl	CaCl ₂	SMP							pH 7,0	V	T
					g kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----					%	cmol _c kg ⁻¹	
Manejo													
Floresta	6,4 b	5,4 b	5,5 c	7,1 a	15,1 a	2,2 a	3,2 bc	1,0 ab	0,18 b	4,4 a	6,5 bc	63 b	22,3 a
Mata secundária	6,8 a	5,7 a	6,0 ab	7,2 a	17,5 a	2,0 bc	4,1 ab	1,2 a	0,44 a	5,8 a	7,8 a	70 a	21,4 ab
Pastagem	7,0 a	6,1 a	6,3 a	7,2 a	15,1a	2,0 c	4,3 a	0,8 b	0,32 ab	5,5 a	7,5 ab	72 a	21,1 ab
Café	6,8 a	5,5 a	5,9 b	7,1 a	12,6 a	2,2 ab	2,3 c	0,8 b	0,51 a	3,6 a	5,8 c	60 b	18,6 b
Horizonte													
A	6,9 a	6,1 a	6,3 a	7,2 a	40,7 a	2,1 a	6,9 a	1,3 a	0,64 a	8,9 a	11,0 a	80 a	40,2 a
AB	6,8 a	5,6 b	5,8 b	7,1 a	16,2 b	2,2 a	3,6 b	0,7 c	0,28 a	4,6 a	6,8 b	66 b	22,1 b
B1	6,7 a	5,4 b	5,7 b	7,1 a	9,8 c	2,2 a	2,4 c	0,6 c	0,28 a	3,3 a	5,5 c	59 c	15,5 c
2B2	6,8 a	5,7 ab	6,0 ab	7,2 a	4,8 d	2,0 a	2,2 c	0,9 b	0,35 a	3,5 a	5,5 c	63 bc	11,7 d
2BC	6,6 a	5,60b	5,9 ab	7,2 a	4,0 d	2,0 a	2,2 c	1,1 ab	0,25 a	3,6 a	5,6 c	63 bc	14,7 c

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras diferentes nas colunas dentro de manejo e horizonte diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade. CO - carbono orgânico. T - atividade da fração argila = (CTC pH 7,0/teor de argila em g kg⁻¹) x 1000.

Quadro 4. Interação dupla dos teores de fósforo, ferro, manganês, cobre e zinco disponíveis com manejos e horizontes dos solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO) ⁽¹⁾

Horizonte	Manejo			
	Floresta	Mata secundária	Pastagem	Café
-----mg kg ⁻¹ -----				
Fósforo				
A	6,20 aB	27,15 Aa	21,50 aA	12,70 aB
AB	1,45 abA	5,90 bA	2,13 bA	1,85 bA
B1	0,75 bA	1,68 bA	0,85 bA	1,10 bA
2B2	0,95 bA	2,13 bA	3,58 bA	1,43 bA
2BC	2,23 abA	2,63 bA	3,23 bA	1,50 bA
Ferro				
A	1,76 bB	0,72 bB	11,69 aA	2,61 bB
AB	3,71 abA	3,28 abA	5,72 bcA	5,39 abA
B1	5,29 aA	5,13 aA	7,94 abA	7,02 aA
2B2	3,69 abB	5,39 aB	7,39 abcAB	9,91 aA
2BC	3,10 abB	3,46 aB	3,75 cB	8,64 aA
Manganês				
A	7,49 abA	11,69 bA	9,14 bA	4,43 bA
AB	2,32 bA	5,68 bcA	4,53 bcA	1,94 bA
B1	14,68 aB	43,29 aA	40,95 aA	13,03 aB
2B2	3,41 bA	5,94 bcA	3,40 bcA	2,94 bA
2BC	2,34 bA	3,87 cA	2,41 cA	2,10 bA
Cobre				
A	1,15 bB	1,10 bB	4,06 abA	1,19 abB
AB	3,89 aBC	6,05 aAB	6,55 aA	2,85 aC
B1	3,90 aBC	6,76 aA	6,02 aAB	2,76 aC
2B2	1,66 bA	2,33 bA	1,86 bcA	0,91 bA
2BC	1,12 bA	1,12 bA	1,12 cA	0,52 bA
Zinco				
A	9,86 aBC	19,02 aA	17,78 aAB	5,00 aC
AB	6,17 abA	12,83 abA	12,56 abA	1,71 abB
B1	1,87 bcAB	8,39 bA	6,68 bA	0,89 bB
2B2	3,01 cA	1,32 cA	0,70 cA	0,35 bA
2BC	0,55 cA	0,44 cA	0,29 cA	0,24 bA

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna e médias seguidas por letras diferentes maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Quadro 5. Análise textural, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF) em função dos manejos e dos horizontes dos solos, na Amazônia meridional, Município de Cacoal (RO)⁽¹⁾

	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila	silte/argila	ADA	GF
	----- g kg ⁻¹ -----						----- % -----	
Manejo								
Floresta	217 a	135 b	353 a	317 ab	328 b	1,03 a	0,2 b	91 a
Mata secundária	160 b	133 b	293 b	303 ab	402 a	0,81 b	6,7 a	80 b
Pastagem	150 b	127 b	277 b	346 a	375 a	0,95 ab	4,3 ab	86 ab
Café	215 a	178 a	394 a	271 b	334 b	0,86 ab	4,0 b	85 ab
	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila	silte/argila	ADA	GF
	----- g kg ⁻¹ -----						----- % -----	
Horizonte								
A	245 a	151 a	397 a	327 ab	275 c	1,20 a	13,6 a	51 c
AB	220 a	198 a	418 a	274 bc	307 c	0,92 bc	6,2 b	81 b
B1	215 a	174 a	390 a	250 c	358 b	0,73 cd	0,8 c	97 a
2B2	119 b	96 b	216 b	307 bc	476 a	0,66 d	0,3 c	99 a
2BC	129 b	97 b	226 b	389 a	383 b	1,05 ab	0,3 c	99 a

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras diferentes nas colunas dentro de manejo e horizonte diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

presente estudo, o P encontra-se predominantemente na forma de fosfatos policálcios (P-Ca), facilmente atacados pelo extrator Mehlich-1 (Novais & Kamprath, 1978).

O efeito residual da cinza foi menos expressivo para os micronutrientes, com apenas algumas aumentos pontuais nos seus teores em relação a floresta: Fe²⁺ e Cu²⁺ - maior na pastagem; Zn²⁺ - maior na mata secundária e pastagem (Quadro 4).

Em todos os manejos os teores de Mn²⁺ foram semelhantes nas diferentes profundidades, com exceção aos altos teores no horizonte B1. Muito provavelmente, esse incremento foi devido à

precipitação de MnO_2 nos fragmentos de rochas da descontinuidade litológica (Dl) (Quadro 2), identificada pelo teste com peróxido de hidrogênio a campo.

Em todos os manejos, os horizontes AB e B1 apresentaram os maiores teores de Cu^{2+} (Quadro 4), muito provavelmente pela associação deste nutriente aos óxidos de Mn na Dl. A redução nos teores de Zn^{2+} em profundidade está associado a diminuição nos teores de CO no perfil. Ainda, menor teor de Cu no horizonte A, comparativamente ao AB, pode estar associado a forte retenção do mesmo na matéria orgânica.

Os teores de Zn^{2+} e Cu^{2+} disponíveis por Mehlich - I foram muito elevados em relação a outros solos agrícolas e florestais. Tal fato é significativo, principalmente para Zn, por ser o micronutriente naturalmente com maior carência em plantas e animais e mais aplicado na agricultura brasileira (Motta et al., 2007). Esses níveis de Zn^{2+} e Cu^{2+} podem ter sido um dos fatores que contribuíram pela manutenção da boa produtividade da pastagem após 11 anos.

Similar ao observado para o Ca^{2+} , Mg^{2+} e P, o uso agrícola (café) foi o sistema que proporcionou rápido esgotamento do Zn liberado nas cinzas, provavelmente pela maior exportação deste micronutriente.

Propriedades físicas

Análise textural, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF)

As diferenças nas relações silte/argila, entre os diferentes manejos (Quadro 5), foram, possivelmente, resultantes de variações mineralógicas no material de origem e pela dinâmica diferenciada na movimentação de argila no perfil. Os valores evidenciaram o efeito da descontinuidade litológica na textura do solo: nos horizontes 2B2 e 2BC os valores aumentaram em profundidade devido ao menor intemperismo e nos horizontes mais superficiais A, AB e B1 os valores diminuíram com o aumento da profundidade.

A argila dispersa (ADA) e o grau de floculação (GF) são influenciados pelo manejo do solo, teor e mineralogia da argila, matéria orgânica, pH e teores e tipos de cátions trocáveis no solo, pois os mesmos interferem na espessura da dupla camada difusa. Segundo Bennema (1963) a relação carbono/argila também é importante para definir esta relação, face à influência da matéria orgânica na dispersão dos minerais secundários. O elevado valor médio de pH e os maiores teores de CO na

mata secundária (Quadro 3) deve ter contribuído para esse manejo apresentar os maiores valores de ADA e menores de GF (Quadro 5).

Em relação aos diferentes horizontes observou-se maior grau de dispersão no horizonte A. Os altos valores de pH e maiores teores de CO nos horizontes superficiais promoveram aumento das cargas negativas no interior dos agregados, o que induz a repulsão entre as partículas, dificulta a floculação e resulta na dispersão da argila (Alleoni et al., 2009).

Densidade e porosidade

Em profundidade, ocorreu diferença significativa nos valores de densidade real ou de partícula somente entre a camada de 0-5 cm em relação às demais camadas (5-10; 10-15 e 15-20 cm) (Quadro 6). Esta diferença em profundidade é decorrente do maior aporte de material orgânico sobre a superfície do solo (componente mais leve) (Quadro 3).

A densidade aparente ou densidade do solo (Ds) não apresentou importantes modificações com os diferentes manejos (Quadro 6). Fonseca (1984) não observou diferenças significativas entre Ds e porosidade total na superfície de Latossolo Vermelho Amarelo sob pastagem, eucalipto e mata natural. Fialho et al. (1991), comparando floresta, pastagem e eucalipto, destacaram que, de um modo geral, apenas as camadas 0-2 e 2-4 cm de profundidade não foram afetadas pelo tipo de uso do solo, com aumento na Ds na seqüência: mata natural, eucalipto e pastagem. A ausência de interação dupla significativa entre os dados de densidade com os manejos e profundidades de coleta (Quadro 6) impossibilitou a observação estatística do efeito do manejo apenas na camada mais superficial do solo (0-5 cm). Os valores de Ds, em todas as áreas estudadas, encontraram-se abaixo daqueles relatados como limitantes ou com potencial de causar dificuldades ao crescimento radicular e ao pleno desenvolvimento das culturas.

A menor densidade do solo foi obtida na camada de 0-5 cm. Tal fato é devido ao alto teor de matéria orgânica e pelo maior revolvimento biológico (fauna e raízes) nesta seção do solo, o que favoreceu a maior estruturação e o aumento na macroporosidade e porosidade total do solo (Quadro 6).

Quadro 6. Densidade aparente (Ds) e real (Dr) e porosidade em função dos manejos e dos horizontes dos solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)⁽¹⁾

	Densidade		Porosidade		
	Aparente	Real	Micro	Macro	Total
	-----Mg m ⁻³ -----		----- % -----		
	Manejo				
Floresta	1,31 ^{ns}	2,64 ^{ns}	30,7 b	19,7 a	50,4 ^{ns}
Mata secundária	1,29 ^{ns}	2,58 ^{ns}	34,5 a	15,6 ab	50,1 ^{ns}
Pastagem	1,34 ^{ns}	2,62 ^{ns}	36,4 a	12,2 b	48,6 ^{ns}
Café	1,39 ^{ns}	2,63 ^{ns}	27,9 c	19,3 a	47,2 ^{ns}
	Profundidade (cm)				
0-5	1,12 b	2,56 b	33,5 a	23,0 a	56,4 a
5-10	1,34 a	2,64 a	32,9 a	16,3 ab	49,2 b
10-15	1,46 a	2,64 a	33,7 a	11,9 b	44,6 b
15-20	1,42 a	2,63 a	30,5 a	15,5 b	46,1 b

⁽¹⁾ ns: não significativo. Médias seguidas por letras diferentes nas colunas dentro de manejo e horizonte diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Em estudos de porosidade do solo, em áreas desmatadas na Amazônia, alguns autores constataram acentuada redução da macroporosidade, nas camadas superficiais, principalmente, nas áreas mecanizadas (Correa, 1985; Chauvel et al., 1991; Teixeira et al., 1997). Os valores de macroporosidade do presente estudo são significativamente maiores na camada de 0 a 20 cm do solo sob floresta e café (Quadro 6). A maior presença de macroporos na cobertura café, provavelmente, está relacionada à amostragem sob a projeção da copa da planta, local com menor trânsito de máquinas e onde são feitas adubações em cobertura com palha de café e ocorre a queda das folhas oriundas da derrça da colheita, ocasionando um ambiente propício ao desenvolvimento radicular da cultura e a presença de macrofauna observada a campo. Valores abaixo de 10% são, geralmente, adotados como restritivos para o crescimento e a produtividade da maioria das plantas, apesar da dependência da espécie de planta e da atividade biológica do solo (Xu et al., 1992).

A redução dos poros de maior diâmetro nas áreas de pastagem e mata secundária reflete a maior compactação destes solos, resultante do tráfego de animais e manejo mais intensivo nos primeiros anos após derruba e queima, respectivamente. Segundo Hill et al., (1985) a compactação

do solo é devida principalmente ao colapso dos poros de maior diâmetro, o que interfere negativamente também na fauna do solo, importante para aumentar a macroporosidade do solo.

Estabilidade e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados

Observaram-se os maiores valores de DMG determinado via úmida para o manejo pastagem, no horizonte A, seguido do manejo café, mata secundária e floresta (Quadro 7). Para os horizontes AB e B1 observaram-se os maiores valores para o manejo mata secundária seguido do manejo pastagem, floresta e café. Em estudos dessa natureza, Tisdall & Oades (1979), Kay (1990), Paladini & Mielniczuk (1991), Campos et al. (1999) e Cogo & Streck (2003) observaram que a estabilidade de agregados tende a aumentar em solos cultivados com plantas que produzem elevada massa de raízes, como as gramíneas. Fonseca (1984) trabalhou com Latossolo Vermelho-Amarelo sob floresta, eucalipto e pastagem nas profundidades de 0-15 cm e 15-30 cm e observou que a estabilidade de agregados em água variou, ligeiramente, em ordem decrescente semelhante ao do presente estudo: pastagem, eucalipto e mata natural.

A maior compactação das camadas superficiais no manejo pastagem pode ter favorecido o aumento no tamanho médio dos agregados, pela possibilidade de coalescência de agregados menores, formando unidades estruturais maiores. A próxima etapa seria a cimentação dessas novas estruturas pela matéria orgânica em superfície. Como consequência verificou-se maior microporosidade no manejo pastagem (Quadro 6).

Os menores valores de DMG via úmida do horizonte A da floresta (Quadro 7) não podem ser interpretados como baixa qualidade física do ambiente. Possivelmente, sob condições naturais, a matéria orgânica favoreceu a microagregação, observado nas características morfológicas: estrutura granular, muito pequena a pequena, forte (Quadro 2). Com isso, nesse manejo verificou-se a maior percentagem de agregados menores que 0,25 mm no horizonte A (Quadro 7). Dessa forma, os valores de DMG, como indicador de qualidade física do solo devem ser observados com certo cuidado. A maior proporção de agregados menores que 0,25 mm para a floresta também foi observada para os horizontes mais profundos, com exceção do horizonte B1.

Quadro 7. Percentagem dos agregados retidos nas diferentes classes de peneiras no ensaio de estabilidade dos agregados via úmida e seca e diâmetro médio geométrico (DMG) das amostras de perfis selecionados nos quatro tratamentos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)

Hori- zonte	Tamanho dos Agregados (via úmida)						Tamanho dos Agregados (via seca)						
	(mm)						(mm)						
	4 a 2	2 a 1	1 a 0,5	0,5 a 0,25	<0,25	DMG	4 a 2	2 a 1	1 a 0,5	0,5 a 0,25	0,25 a 0,105	<0,105	DMG
	----- % -----					mm	----- % -----					mm	
Perfil na Floresta													
A	67,3	6,3	1,2	0,8	24,3	1,28	79,1	14,4	2,4	1,8	1,2	1,0	2,34
AB	59,5	16,7	7,2	4,6	12,0	1,50	88,3	7,6	1,4	0,9	0,2	1,6	2,55
B1	59,5	18,7	9,3	4,2	8,3	1,63	89,2	8,0	1,0	0,7	0,5	0,7	2,64
2B2	65,7	11,1	4,2	1,8	17,3	1,46	94,3	4,5	0,6	0,2	0,1	0,2	2,84
Perfil na Mata secundária													
A	79,9	6,6	1,7	0,7	11,2	1,93	90,1	7,1	0,9	0,7	0,2	1,0	2,65
AB	80,8	9,6	2,7	1,2	5,7	2,20	87,6	10,0	1,0	0,6	0,2	0,7	2,64
B1	74,4	11,6	4,0	1,8	8,3	1,94	91,6	6,2	0,8	0,5	0,4	0,6	2,71
2B2	45,5	24,6	13,7	5,0	11,2	1,32	90,2	8,5	0,7	0,3	0,2	0,2	2,75
Perfil na Pastagem													
A	81,0	8,6	2,6	1,5	6,4	2,16	82,0	11,3	2,1	1,6	1,7	1,3	2,35
AB	80,8	8,7	2,5	1,5	6,6	2,14	84,1	10,3	1,7	1,3	1,5	1,2	2,43
B1	60,8	17,4	8,8	4,5	8,5	1,64	85,2	10,1	1,5	1,1	1,2	1,0	2,49
2B2	83,1	8,5	1,9	0,8	5,8	2,26	89,8	8,1	0,8	0,5	0,4	0,4	2,70
Perfil no Café													
A	75,3	13,0	3,5	2,0	6,3	2,05	77,3	13,8	2,7	2,0	2,4	1,8	2,18
AB	51,9	19,5	11,8	6,2	10,6	1,40	80,9	12,5	2,2	1,4	1,7	1,4	2,34
B1	38,8	15,0	15,8	12,3	18,1	0,95	84,4	9,9	1,6	1,2	1,6	1,3	2,42
2B2	61,7	15,8	7,9	4,2	10,4	1,59	87,3	9,1	1,4	0,9	0,8	0,6	2,59

Os DMGs aumentaram em profundidade, nos manejos floresta até o horizonte B1 e no manejo mata secundária até o horizonte AB, mostrando relação inversa com os teores de CO (Quadro 3). Para o manejo pastagem o DMG diminuiu em profundidade, até o horizonte B1 (Quadro 7), reforçando a hipótese que o maior tamanho dos agregados no horizonte A para esse manejo estaria relacionada com a coesão entre as partículas do solo.

CONCLUSÕES

1. Em relação à floresta, nos manejos mata secundária, café e pastagem verificaram-se perda do horizonte O e redução da profundidade e da qualidade da estrutura do horizonte A.

2. Mesmo após 11 anos da derruba e queima da floresta ainda ocorreu efeito residual das cinzas em aumentar os teores de Ca^{2+} , P e Zn^{2+} e os valores de saturação por bases nos solos dos manejos mata secundária e pastagem. Devido a maior exportação de nutrientes, no manejo café os teores desses nutrientes encontravam-se mais próximos ao original.

3. A pastagem promoveu mais intensamente alterações físicas na camada superficial do solo: redução do volume de macroporos e aumento do tamanho médio geométrico dos agregados.

4. Após a derruba e queima da floresta, de maneira geral, o manejo que mais conservou as qualidades morfológicas, físicas e químicas do solo foi o plantio inicial de espécies agrônomicas e regeneração da mata secundária. Recomendam-se práticas de conservação do solo no manejo pastagem para evitar processos erosivos e fertilização no manejo café para garantir a longevidade e produtividade das culturas.

LITERATURA CITADA

ADDISCOTT, T.M. & THOMAS, D. Tillage mineralization and leaching: phosphate. *Soil Till. Res.*, 53:255-273, 2000.

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A.; CASAGRANDE, J.C. & SOARES, M.R. Química dos solos altamente intemperizados. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F. eds. Química e mineralogia do solo - Parte II. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.69-130.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 18: 139-145, 1994.

- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 241p. (Tese de Doutorado)
- BENNEMA, J. The red and yellow soils of the tropical uplands. *Soil Sci.*, 95: 250-257, 1963.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM Brasil: folha SC 20 Porto Velho; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978. (Levantamento de recursos naturais, 16).
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, E. & CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura de solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:383-391, 1999.
- CERRI, C.C. Dinâmica da matéria orgânica em solos de pastagens. In: Simpósio sobre ecossistema de pastagens. 29-31/03/1989. Jaboticabal, SP. Anais. Jaboticabal, SP. FUNEP, UNESP. 1989, 135-147p.
- CHAUVEL, A.; GRIMALDI, M. & TESSIER, D. Changes in pore space distribution following deforestation and revegetation. An example from the central Amazon basin, Brazil. *For. Ecol. Manag.*, 38:259-271, 1991.
- COGO, N.P. & STRECK, E.V. Surface and subsurface decomposition of a desiccated grass pasture biomass related to erosion and its prediction with RUSLE. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:153-164, 2003.
- CORREA, J.C. & REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia central. *Pesq. Agr. Bras.*, 30:107-114, 1995.
- CORREA, J.C. Efeitos de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um latossolo amarelo muito argiloso do estado do Amazonas. *Pesq. Agr. Bras.* 20: 1317-1322, 1985.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa de insumos minerais para agricultura e áreas potenciais de Rondônia-2001. Disponível em: <ftp://ftp.cprm.gov.br/pub/pdf/recmin/pimainforme7.pdf>. Acesso em: 25/08/07.
- CRAVO, M.S. & SMYTH, T.J. Manejo sustentado da fertilidade de um Latossolo da Amazônia central sob cultivos sucessivos. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:607-616, 1997.
- DEMATTE, J.L.I. Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos – Região Amazônica. Campinas, Fundação Cargill, 1988, 215p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 2006. 306 p.

- FIALHO, J.F.; BORGES, A. C. & BARROS, N. F. Cobertura vegetal e as características químicas e físicas e atividade da microbiota de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*, 15: 21-28, 1991.
- FONSECA, S. da. Propriedades físicas, químicas e microbiológicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob eucalipto, mata natural e pastagem. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1984. 78p. (Dissertação de Mestrado)
- GAMA, M.J. Boletim Climatológico de Rondônia. Porto Velho, Sedam/RO, 2000. 24p.
- HILL, R.L.; HORTON, R. & CRUSE, R.M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:1264-1270, 1985.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Recursos naturais e meio ambiente: Uma visão do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 1993. np.
- KAY, B.D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil. Sci.* 12:1-52, 1990.
- KITAMURA, P.C. A Amazônia e o desenvolvimento sustentável. Brasília, Embrapa, 1994.182p.
- MARQUES, R. & MOTTA, A.C.V. Análise química de solo para fins de fertilidade. In : LIMA, M.R. et al. eds. Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. 2. ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2003. p.81-102.
- MATAIX-SOLERA, J. & DOERR, S.H. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma* 118, p. 77-88, 2004.
- McGRATH, D. A.; SMITH, C. K.; GHOLZ, H. L. & OLIVEIRA, F. de A. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazônia. *Ecosystems*. 4: 625-645, 2001.
- McNABB, D.H.; GAWEDA, F. & FROEHLICH, H.A Infiltration, water repellency, and soil moisture content after broadcast burning a forest site in southwest Oregon. *J. Soil Water Conservation*, 44: 87-90, 1989.
- MENEZES, J.M.T.; VAN LEEUWEN, J.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P. & LEANDRO, R.C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:893-898, 2008.
- MOTTA, A.C.V. & MELO, V.F. Química dos solos ácidos. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F. eds. Química e mineralogia do solo - Parte II. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 313-380.
- MOTTA, C.V.; SERRAT, B.M.; REISMANN, C.B. & DIONÍSIO, J.A. Micronutrientes na rocha, no solo e na planta. Curitiba, Editora UFPR, 2007. 246p.
- NEARY, G. D.; KLOPATEK, C. C.; DeBANO, L. F. & FOLLIOTT, P. F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *For. Ecol. Managem.*, 122: 51-71, 1999.

- NOVAIS, R.F. & KAMPRATH, E.J. Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:931-935, 1978.
- NUMATA, I.; SOARES, J. V. & LEÔNIDAS, F. C. Comparação da fertilidade de solos em Rondônia com diferentes tempos de conversão de floresta em pastagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 26: 949-955, 2002.
- OLIVEIRA, O. A. Geografia de Rondônia Espaços & Produção. Porto Velho, Editora Dinâmica, 2005. 203p.
- PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:135-140, 1991.
- REED, S.T. & MARTENS, D.C. Copper and Zinc. In: J.M. BARTELS. ed. *Methods of Soil Analysis – Part. 3. Chemical Methods*. Madison, Soil Science Society American, 1996. p. 703-722.
- SAMPAIO, F.A.R., FONTES, L.E.F., COSTA, L.M., & JUCKSCH I. Balanço de nutrientes e da fitomassa em um Argissolo amarelo sob floresta tropical Amazônica após a queima e cultivo com arroz. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1161-1170, 2003.
- SANCHEZ, P., VILLACHICA, J.H. & BANDY, D.E. Soil fertility dynamics after cleaning a tropical rainforest in Peru. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 1171-1178, 1983.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, 100p.
- SERRÃO, E.A.S., FALESI, I.C., VEIGA, J.B. & TEIXEIRA, J.F. Productivity of cultivated pastures in low fertility soils of the Amazon of Brazil. In: SANCHES, P.A., TERGAS, L.E. eds. *Pasture production in acid soils of the tropics*. Cali, CIAT, 1979. p. 195-226.
- SERRÃO, E.A.S.; FALESI, E.C.; VEIGA, J.B. da. & TEIXEIRA NETO, J.F. Produtividade de pastagens cultivadas em solos de baixa fertilidade das áreas de florestas do tropico úmido brasileiro. Belém, Embrapa-Cpatu, 1978. 73p.
- TEIXEIRA, L.B.; SERRÃO, E.A.S. & TEIXEIRA NETO, J.F. Pastagens cultivadas na Amazônia: sustentabilidade e sua relação com a fertilidade do solo. *Amazônia: agricultura sustentável*. Manaus, Editora da Universidade do Amazonas, 1997. 78p.
- TISDALL, J.M. & OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Austr. J. Soil Res.*, 17:429-441, 1979.
- TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A.M. & MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de Latossolos Roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:271-278, 1997.

VOLK, L.B.S. Erosão hídrica relacionada à condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, induzidas por formas de cultivo e manejo dos resíduos culturais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 68p. (Tese de Mestrado)

XU, X.; NIEBER, J.L. & GUPTA, S.C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 56: 1743-1750, 1992.

CAPÍTULO 3 - MINERALOGIA E RESERVA DE K DE SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES MANEJOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL, MUNICÍPIO DE CACOAL (RO)⁶

Alessandro Góis Orrutéa ⁽⁷⁾, Vander de Freitas Melo ⁽⁸⁾, Antônio Carlos Vargas Motta ⁽⁸⁾ & Valmiqui Costa Lima ⁽⁸⁾

RESUMO

As altas temperaturas verificadas durante a queima na floresta Amazônica pode induzir transformações mineralógicas da fração argila. O presente trabalho objetivou avaliar as alterações na mineralogia das frações areia, silte e argila. O trabalho avaliou a reserva mineral de solos submetidos a diferentes manejos após a derruba e queima da floresta (11 anos de mata secundária, pastagem e café) na Amazônia Meridional, no 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 queima e posteriormente cultivada. Após abertura de uma trincheira em cada manejo, os 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 (difração de raios X) e químicas da fração argila (extração com ditonito-citrato-bicarbonato - DCB e oxalato de amônio - OA). Os teores não trocáveis de K no solo foram extraídos com solução de HNO₃ 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. Não houve efeito do manejo nos teores de Fe₂O₃DCB e Fe₂O₃OA, ao contrário da relação entre os óxidos cristalinos da fração argila: a maior relação goethita (Gt)/hematita (Hm) no horizonte A da floresta indica uma possível transformação parcial de Gt em Hm durante a queima da floresta para a implantação dos manejos agricultura migratória (mata secundária), pastagem e café.

Termos de indexação: derruba e queima, óxidos de ferro, caulinita, mica.

⁽⁶⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná – UFPR.

⁽⁷⁾ Professor Adjunto do 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

⁽⁸⁾ Professor Associado do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná – UFPR. Rua dos Funcionários 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mails: vanderfm@ufpr.br; mottaacv@ufpr.br; valmiqui@ufpr.br.

CHAPTER 3 – MINERALOGY AND K RESERVE OF SOILS UNDER DIFFERENTS MANAGERMENTS AT MERIDIONAL AMAZON, IN CACOAL, RONDÔNIA STATE, BRAZIL.

ABSTRACT

The high soil temperatures observed during the burning in the Amazon rainforest may induce mineralogical transformations of the soil fractions. This study aimed to evaluate the alterations of sand, silt and clay mineralogy and the mineral reserved in soils submitted to different managements after the slash and burn forest (11 years of secondary forest, pasture and coffee) in the Southern Amazon, in the municipality of Cacoal – Rondonia State – Brazil. An area of ombrophilous dense native forest, with similar pedologic feature, was divided into four parts and subsequently three of the four areas were submitted to the slash and burn and then cultivated. After opening a trench in each management area, the soil profiles were described and soil samples from A, AB, B1, 2B2 e 2 BC horizons were collected. Mineralogy analyzes for clay, silt and sand fractions were performed by X-ray diffraction. Clay fraction was also submitted to dithionite-citrate-bicarbonate - DCB and ammonium oxalate (OA) attack to obtain chemical properties. The soil no-exchangeable fraction of K was extracted by boiling HNO_3 1 mol L^{-1} solution. The soil mineralogical analysis indicated that there was a predominance of Kaolinite in the clay fraction. Also, there was a large mineral reservoir of K which was associated with the occurrence of mica in the clay, silt and sand fractions. Chemical analysis indicated that land use did not change the concentration of $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{DCB}$ and $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{OA}$. However, it was observed a change on oxides crystallinity of the clay fraction. Since, the highest goethite (Gt)/hematite (Hm) ratio was observed for A horizon for forest, indicating a possible transformation of Gt into Hm during a forest burn process when the establishment of slash-and-burn agriculture (secondary forest), pasture and coffee.

Index terms: cut down and burned, iron oxides, kaolinite, mica.

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). Em sua maioria, a Amazônia Meridional tem solos com poucas reservas minerais, profundos e intemperizados, influenciados pelo material de origem, pelas condições bioclimáticas e pelo relevo (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). No entanto, a bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná, onde se localiza a área de estudo, é uma exceção a este padrão geral, sendo coberta por solos eutróficos em 60 % de sua área (IBGE, 2001).

Por ser uma característica estável no solo, não se espera variações significativas na mineralogia de suas frações em função apenas 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.

Contudo, a queima do material vegetal após derruba da floresta, prática muito utilizado nos ecossistemas agrícolas e florestais na Região Amazônica Meridional, pode induzir a alterações qualitativas e quantitativas dos minerais, principalmente da fração argila. Vários trabalhos mostraram efeito significativo da queima sobre as características físicas (McNabb et al., 1989; Neary et al., 1999; Mataix-Solera e Doerr, 2004) e químicas (McGrath et al., 2001; Numata et al., 2002; Sampaio et al., 2003; Menezes et al., 2008;) dos solos cultivados em relação a floresta.

Soares (1977) observou que a variação da temperatura do solo durante a queima na floresta Amazônica, dependendo da duração e da intensidade do fogo, podem chegar a valores acima de 600 °C. Resende et al. (2005) observaram que ocorre em determinados locais da área queimada, mudança da cor do solo, tornando-o avermelhado, devido a 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 desidroxilação (Costa e Bighan, 2009). Com relação aos óxidos de Al, temperaturas próximas a 350 °C já seriam suficientemente elevadas para a destruição de gibbsita e neoformação

de boehmita. A temperatura de desidroxilação da caulinita é superior e está em torno de 500 °C (Jackson, 1979).

Além dos minerais secundários, possíveis alterações nos minerais primários fontes de nutrientes com a utilização dos solos da Amazônia podem interferir na reserva mineral e no potencial produtivo da região. O cultivo intensivo sem fertilização por vários anos após a derruba 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 na solução do solo (Richards et al., 1988). Estas formas estão em equilíbrio dinâmico, e a disponibilidade deste nutriente para as plantas, portanto, não depende somente da sua concentração na solução do solo, mas principalmente da capacidade do solo em mantê-la. Melo et al. (1995a,b) observaram estreita relação entre reserva de K no solo e teor de minerais primários fontes do nutriente no material de origem em diferentes classes de solos no Rio Grande do Sul. Os maiores teores totais foram verificados para solos originados de rochas graníticas, ricas em microclínio, ortoclássio e mica, portanto, com alta reserva potencial de K.

Os métodos mais utilizados para estimar a contribuição da reserva de K na nutrição de plantas tem sido feita, em diversos estudos, utilizando cultivos sucessivos, extrações químicas empregando HNO₃ fervente 1 mol L⁻¹, lavagens sucessivas com HCl 0,01 mol L⁻¹, ácidos orgânicos de baixo peso molecular (cítrico e oxálico) e resinas trocadoras de cátions (Richards et al., 1988; Simard et al., 1992; Martins et al., 2004a). Esses métodos têm apresentado boa correlação com o K absorvido pelas plantas (Nachtigal e Vahl, 1991a,b; Melo et al., 1995b; Benipal e Pasricha, 2002; Martins et al., 2004b).

O HNO₃ 1 mol L⁻¹ fervente é o método mais rápido e simples de estimar o teor de K não trocável do solo. O método baseia-se na acidificação do meio pela produção de H⁺ que irá atacar as estruturas, principalmente, de feldspatos e micas. A liberação de K pelo ácido nítrico envolve reação muito forte de hidrólise, dissolvendo minerais do solo, o que pode trazer problemas na separação das formas de K não trocável e K estrutural (Simard et al., 1992). Contudo, ambas as formas são contabilizadas na reserva mineral.

O presente trabalho objetivou avaliar as alterações na mineralogia das frações areia, silte e argila e na reserva mineral de solos submetidos a diferentes manejos (11 anos de mata secundária, pastagem e café), quando comparados a 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), na bacia do Rio Ji-Paraná, responsável por drenar uma área de 75.000 km² (IBGE, 2001). 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 a média anual de temperatura do ar entre 23 °C e 26 °C.

Na região predomina rochas do Pré-Cambriano Superior (em quase sua totalidade biotita granito/gnaiss), representado pelo Grupo Uatumã, formação Serra da Providência, com cronologia do Pré-Cambriano Superior (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 é pedregosa, ligeiramente rochosa, com relevo ondulado (Figura 1), erosão não aparente e acentuadamente drenada. O relevo regional é suave ondulado a ondulado, dominado por colinas e interflúvios tabulares.

A vegetação original é caracterizada pela Floresta Ombrófila Densa Submontana e as principais espécies florestais encontradas são (Oliveira, 2005): 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*), cacau (*Theobroma cacao L.*), dentre outras.

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) derruba e queima da floresta + Pastagem (*Braquiaria brizantha*) - em uso por 11 anos, com total ausência de fertilização orgânica e mineral. A lotação média da área de pastagem no ano de 2008 (época de amostragem dos solos) foi de aproximadamente 1,5 unidade animal ha⁻¹; 3) derruba e queima + cultivo agrícola (sem revolvimento do solo e plantio com matraca) + mata secundária - utilizada com o cultivo de arroz/feijão no 1º ano e milho/feijão no 2º ano, mantendo-se em pousio nos nove anos seguintes. Em nenhum momento houve fertilização orgânica e mineral; 4) derruba e queima + cultivo de café (*Coffea canephora*) - utilizou-se o cultivo consorciado de arroz/feijão no 1º ano e nos anos que se

seguiram cultivou-se milho/feijão/abóbora até o 8º ano (sem revolvimento do solo e plantio com matraca). Em uso por 11 anos, sem fertilização mineral e adubação orgânica com casca de café, oriunda do beneficiamento dos grãos produzidos. A produtividade da cultura de café no ano de 2008 foi de 5,2 sacas de café beneficiadas ha⁻¹.

O estudo foi planejado e instalado 11 anos antes da coleta de amostras de solo em 2008 e durante o período de condução o experimento foi sistematicamente acompanhado para evitar interferências extras em relações às condições definidas nos manejos, mantendo-se, apenas, os tratos culturais usados pelos produtores da região.

Foi aberta uma trincheira em cada tratamento, em 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 (2,0 m de profundidade) procedeu-se a descrição morfológica dos perfis e a coleta das amostras dos horizontes. Todos os quatro perfis apresentaram a mesma sequência de horizontes pedogenéticos (A, AB, B1, 2B2 e 2BC), morfologia dos horizontes subsuperficiais praticamente igual (Quadro 1), o que indica que foram submetidos a condições similares em relação aos fatores e processos de formação dos solos, e foram classificados como Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico.

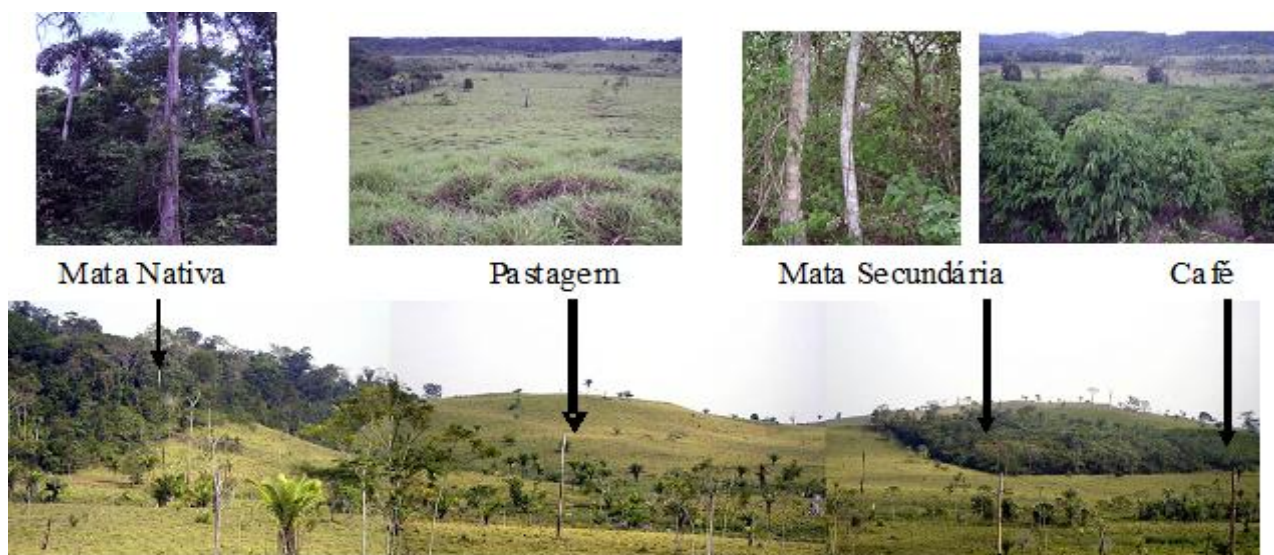


Figura 1 - Vista parcial da área contígua de estudo com a localização dos tratamentos: Floresta (mata nativa), Pastagem, Mata Secundária e Café.

Outra similaridade morfológica foi à ocorrência de linha de pedra (D1) (Quadro 1), constituída de fragmentos de rochas (granito/gnaiss) do tamanho calhau e matacão entre o horizonte B1 e 2B2. Essa descontinuidade litológica foi decorrente do colúvio de áreas adjacentes mais elevadas, uma

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

Hori- zonte ⁽¹⁾	Prof. cm	Cor Úmida	Classe textural	Es trutura	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	--

⁽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.

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

Hori- zonte ⁽¹⁾	Prof. cm	Cor Úmida	Classe textural	Es trutura	Consistência		Transição
					Úmida	Molhada	
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
D1	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 média 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	ligeirmente 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
D1	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 média 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⁾ D1 - 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 d1 (descontinuidade litológica) em todos os tratamentos. Nessa camada não foi coletada amostra para as determinações físico-químicas; ⁽²⁾ cor variegada.

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 (Quadro 2), em que a média dos teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 nos horizontes 2B2 e 2BC são muito superiores em relação aos horizontes mais superficiais.

Caracterização dos solos

A análise textural foi feita pelo método da pipeta (Embrapa, 1997). Foram determinados os seguintes parâmetros da fertilidade (Embrapa, 1997): pH em H_2O ; teores trocáveis de Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} - extração com KCl 1 mol L^{-1} ; teores trocáveis de K^+ - extração com HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ (Mehlich-1); acidez potencial não trocável (H) - extração com $\text{Ca}(\text{OAc})_2$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7,0. Os teores de carbono orgânico (CO) foram determinados pelo método fotocolorimétrico, com solução oxidante de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ e H_2SO_4 concentrado a frio. Os teores de óxidos de Si, Al e Fe foram determinados após extração pelo ataque sulfúrico (diluição 1:1) (Embrapa, 1997). Os teores de Al^{3+} trocável em todas as amostras foram iguais a zero e por esse motivo foram omitidos do Quadro 2.

Reserva mineral de K

Para a extração de K não trocável ou estrutural foi utilizado o HNO_3 $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ fervente como extrator (Melo et al., 1995). Foram colocados 10 g de amostra da TFSA em frascos de vidro, na presença de 100 mL de solução de HNO_3 $1,0 \text{ mol L}^{-1}$. Os frascos foram depositados sobre bandeja de alumínio, contendo óleo vegetal, colocada sobre chapa quente. Nesta condição, os frascos permaneceram durante um período de 15 minutos em fervura, sendo a temperatura do óleo mantida em $113 \text{ }^\circ\text{C}$. Em seguida, os extratos obtidos foram filtrados para balão de 100 mL e o solo retido no papel de filtro, foi submetido a quatro lavagens com 15 mL de solução de HNO_3 $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Os volumes dos balões foram completados, usando-se a mesma solução empregada na lavagem. Os teores de K foram determinados por fotometria de emissão de chama.

Quadro 2. Análise textural e caracterização química dos perfis de solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)

Manejo	Horiz.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H	CTC	CO	Argila	Ataque sulfúrico			Ki
										SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	
			----- 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	A	7,9	10,7	1,0	0,5	1,6	13,9	49,2	312	98,6	100,8	61,5	1,7
Secundária	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

Análises mineralógicas

As amostras de TFSA foram tratadas com H_2O_2 a 30% para remoção de matéria orgânica, e com NaOH $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ para dispersão das partículas. Após esses tratamentos prévios, 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 em placas de Koch para identificação dos minerais por DRX (amostras não-orientadas). Os difratogramas foram obtidos em goniômetro vertical Philips, modelo PW 1050/70, com velocidade do goniômetro de $1^\circ 2\theta \text{ min}^{-1}$, e amplitude de varredura de 4 a $65^\circ 2\theta$. O difratômetro, equipado com tubo de cobre, filtro de Ni e utilizando radiação de $\text{CuK}\alpha$, foi operado a 20 mA e 40 KV.

Para determinar os teores e a composição química dos óxidos de Fe de baixa cristalinidade e óxidos de Fe mais cristalinos, foram utilizadas extrações com oxalato de amônio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$, pH 3,0 (OA) (McKeague, 1978) e ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Mehra e Jackson, 1960), respectivamente, conforme detalhes apresentados por Melo et al. (2001a). O teor de Fe foi determinado pelo método colorimétrico da ortofenantrolina (Braga, 1980).

Os óxidos de Fe da fração argila foram concentrados utilizando-se NaOH 5 mol L^{-1} a quente (Norrish e Taylor, 1961). Foi adicionado silício, na forma de metassilicato de sódio ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), de modo que a concentração de Si na solução fosse de $0,2 \text{ mol dm}^{-3}$, evitando, assim, a dissolução de óxidos de ferro com alta substituição isomórfica em Al (Kämpf e Schwertmann, 1982). A sodalita [$\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$] formada durante o tratamento com NaOH 5 mol L^{-1} foi removida por lavagens com HCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (Norrish e Taylor, 1961), empregando-se duas lavagens de 10 minutos com 50 mL de solução, sendo a suspensão continuamente agitada com bastão de vidro (Singh e Gilkes, 1991). A amostra em pó da fração de óxidos de Fe concentrada foi analisada por DRX numa amplitude de 10 a $40^\circ 2\theta$. Estimou-se a relação (R) entre goethita (Gt) e hematita (Hm) ($R = \text{Gt}/\text{Gt} + \text{Hm}$) com base na área dos picos dos minerais por DRX, segundo Torrent e Cabedo (1986).

Análise estatística

Foram feitas análises de correlações simples (Pearson) entre os dados das análises químicas e mineralógicas dos solos. Adotaram-se as seguintes notações para os níveis de significâncias dos

coeficientes de correlações (r): **, *, ^{ns} - significativos aos níveis de 1 e 5 e não significativo ao nível de 10 % 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 e mica em todos os horizontes dos perfis, seguindo o mesmo padrão do difratograma de raios X (DRX) do manejo café (Figura 2). A composição mineralógica das frações areia e silte do solo (Figuras 3 e 4) refletiu a riqueza do material de origem (granito/gnaiss) da região em quartzo e presença de biotita e feldspato-K (BRASIL, 1978).

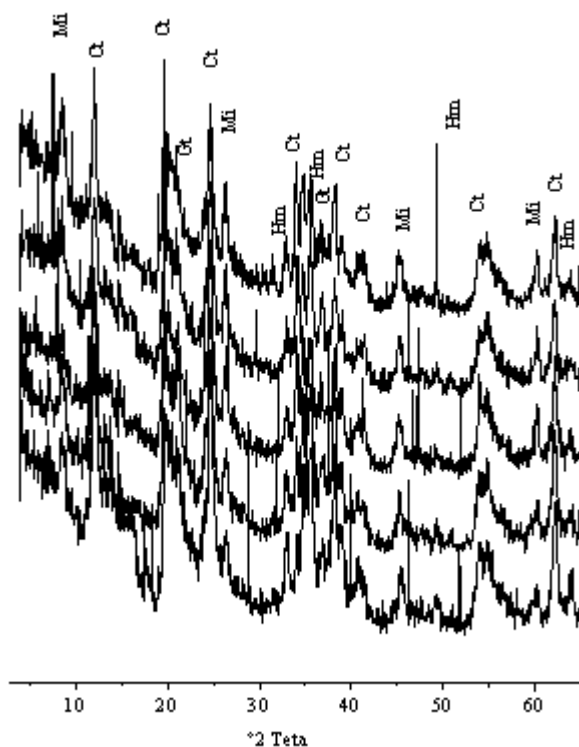
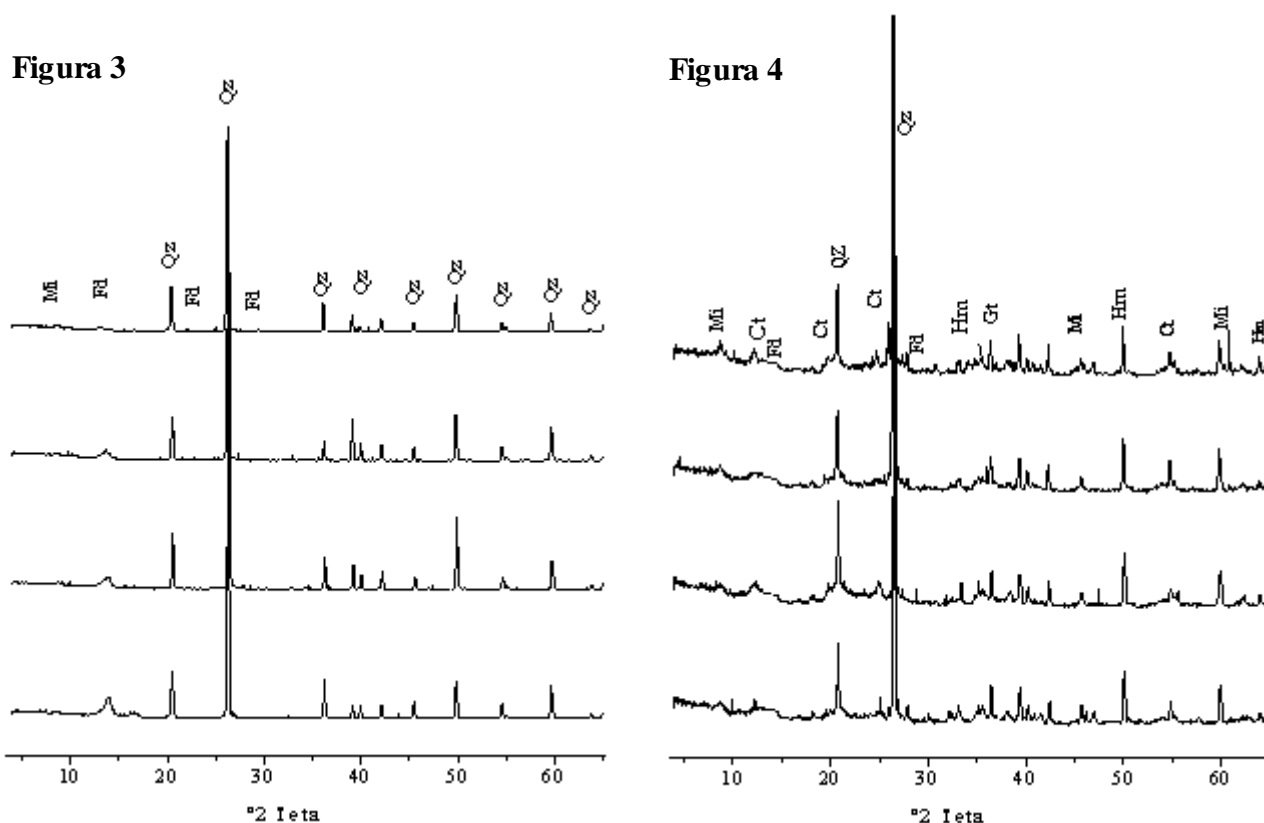


Figura 2 – Mineralogia da fração argila dos diferentes horizontes do perfil de solo sob o manejo café. Ct – caulinita; Hm – hematita; Gt – goethita e Mi – mica. Horizontes representados, da posição mais alta para a mais baixa: A, AB, B1, 2B2, 2BC.

Algumas condições pedobioclimáticas determinaram o predomínio da caulinita na fração argila. A taxa de rejuvenescimento relativamente rápida da paisagem, através da erosão natural, 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 (Nwadiaro e Lietzke, 1989); apesar da abundância de feldspato-K no granito/gnaiss (BRASIL, 1978), não se observou reflexões do mineral na fração argila (Figura 2) e nas frações areia e silte as reflexões foram de baixa intensidade (Figuras 3 e 4).



Figuras 3 e 4 – Mineralogia da fração areia (3) e silte (4) do horizonte B1 dos perfis de solos sob os diferentes manejos. Qz – quartzo; Mi – mica; Fd – feldspato-K; Ct – caulinita; Gt – goethita; Qz – quartzo; Fd – feldspato-K e Mi – mica. Manejos representados, da posição mais alta para a mais baixa: café, pastagem, mata secundária, floresta.

As baixas intensidades das reflexões de hematita e goethita na fração argila (Figura 2) refletiram a reduzida ocorrência de minerais ferromagnesianos (biotita e anfibólio) no granito/gnaiss de origem dos solos. Por correspondência, verificaram-se baixos teores de Fe_2O_3 da TFSA pelo ataque sulfúrico concentrado (Quadro 2) e da fração argila extraído com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Quadro 3).

Quadro 3. Teores de óxidos de Fe extraídos pelo oxalato de amônio (OA) e ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e relação goethita (Gt)/hematita (Hm) na fração argila dos perfis de solos, na Amazônia Meridional, município de Cacoal (RO)

Manejo/ Horizonte ⁽¹⁾	Fe ₂ O ₃ OA	Fe ₂ O ₃ DCB	Fe ₂ O ₃ OA/ Fe ₂ O ₃ DCB	Gt/(Gt+Hm)
	----- g kg ⁻¹ -----			
F-A	8,6	52,8	0,2	0,64
M-A	9,3	53,4	0,2	0,55
P-A	9,0	52,2	0,2	0,57
C-A	9,0	48,5	0,2	0,47
F-AB	7,8	50,6	0,2	-
M-AB	7,7	51,2	0,2	-
P-AB	9,3	54,5	0,2	-
C-AB	8,6	51,8	0,2	-
F-B1	9,0	51,5	0,2	-
M-B1	8,8	50,6	0,2	-
P-B1	8,9	52,0	0,2	-
C-B1	7,9	50,6	0,2	-
F-2B2	4,2	50,5	0,1	-
M-2B2	5,0	50,2	0,1	-
P-2B2	4,4	50,4	0,1	-
C-2B2	5,0	50,7	0,1	-
F-2BC	4,2	50,8	0,1	-
M-2BC	5,3	49,8	0,1	-
P-2BC	3,6	50,6	0,1	-
C-2BC	3,7	50,9	0,1	-

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

Com base nos DRX da fração argila sem tratamento não ocorreram variações mineralógicas entre os manejos dos solos (a exemplo do manejo café - Figura 2). Caso a gibbsita estivesse

presente na fração argila, o efeito do aquecimento poderia ser observado pelo desaparecimento ou redução da intensidade do reflexo principal do mineral [(002) - 18,3 ° 2 θ]. A temperatura característica de desidroxilação da gibbsita, transformando-se em boehmita, está em torno de 350 °C. Em relação a caulinita, não houve variações nas intensidades das reflexões por DRX entre os manejos; a desidroxilação da caulinita ocorre em temperaturas mais altas (em torno de 500 °C) (Jackson, 1979).

Óxidos de Fe amorfos e cristalinos

Os teores de Fe₂O₃ dos solos obtidos com as extrações sucessivas com DCB variaram de 48,5 g kg⁻¹ a 54,5 g kg⁻¹ (Quadro 3) e foram de mesma ordem de grandeza dos teores observados na fração argila de solos de outras regiões da Amazônia: Vale Júnior (2000), em Roraima e Lima et al. (2006), no Amazonas.

Os teores de Fe₂O₃ extraídos pelo oxalato de amônio (OA) foram relativamente altos no horizonte A de todos os manejos, variando de 8,6 g kg⁻¹ a 9,3 g kg⁻¹ (Quadro 3). Os maiores teores de materiais amorfos podem ser atribuídos aos maiores teores de carbono orgânico do horizonte A (Quadro 2), uma vez que a fração húmica tem efeito inibidor na cristalização dos óxidos de Fe (Kämpf e Schwertmann, 1983). Os valores da relação Fe₂O₃OA/Fe₂O₃DCB (Quadro 3) indicaram o predomínio de formas cristalinas de óxidos de Fe.

Não foram observadas variações expressivas nos teores de Fe₂O₃OA e Fe₂O₃DCB em função do manejo dos solos. Contudo, quando se considera a relação entre os óxidos de Fe cristalinos goethita (Gt) e hematita (Hm) [Gt/(Gt+Hm)], os menores valores para essa relação foram encontrados na superfície dos solos das áreas onde a vegetação foi derrubada e queimada (Quadro 3). Em observações à campo no local do estudo logo após a queima para a implantação dos manejos (11 anos antes da coleta de amostras de solo) era visível o avermelhamento de determinados pontos do horizonte superficial, o que sugere a transformação da Gt em Hm por aquecimento. Temperaturas acima de 250 °C, observadas em manejos de derruba e queima, podem transformar goethita em hematita e lepidrocita em maghemita, por desidroxilação (Costa e Bighan, 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, 1981). Durante a desidroxilação, 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 Bighan, 2009).

Na figura 5 percebe-se redução da intensidade do reflexo principal da Gt (110) no manejo café em relação à argila da floresta e nos demais manejos com derruba e queima ocorre aumento da largura a meia altura (LMH) dessa reflexão (valores de LMH: floresta - $0,46^{\circ}2\theta$; mata secundária - $0,74^{\circ}2\theta$; pastagem - $0,65^{\circ}2\theta$; café - $0,74^{\circ}2\theta$); a LMH das reflexões da Gt podem ser usadas como indicativo do grau de cristalinidade do mineral. Menores valores de LMH estão associados a 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, além de converter os óxidos de Fe, promoveu redução na cristalinidade da Gt.

Pelos baixos teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{DCB}$ (Quadro 3) e teores inferiores a 500 g kg^{-1} de argila nos solos (Quadro 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, o que pode resultar na maior formação de cargas do solo (Costa e Bighan, 2009). Outro fato que concorre para aumentar a atividade desses minerais no solo é a redução da cristalinidade.

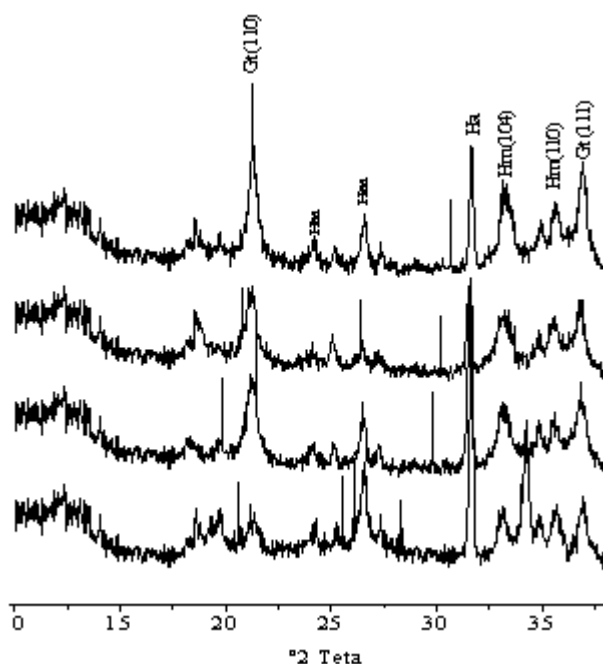


Figura 5 - Mineralogia da fração argila do horizonte A dos perfis de solos sob os diferentes manejos tratadas com $\text{NaOH } 5 \text{ mol L}^{-1}$ (Fe concentrada). Gt: goethita; Hm: hematita. Manejos representados, da posição mais alta para a mais baixa: Floresta, mata secundária, pastagem, café.

Reserva mineral de K

Os maiores teores não trocáveis de K no manejo café (Quadro 4) estão relacionados, principalmente, a maior intensidade das reflexões de minerais micáceos na fração argila por DRX (Figura 6), demonstrando que mesmo em solos amazônicos, partículas finas de mica resistiram ao intemperismo e nesse ambiente passaram a constituir importantes fontes de formas de reserva de K.

Quadro 4. Teores de K não trocáveis (extração com HNO_3 1 mol L^{-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.

Os maiores teores de mica no solo do manejo café (Figura 6) podem ser atribuídos a diferenças locais na composição mineralógica do granito/gnaiss de origem. Mesmo no horizonte A, a reflexão basal (001) ($8,9^\circ 2\Theta$) do mineral foi expressiva.

Houve aumento nos teores de K não trocáveis 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. A relação inversa entre grau de intemperismo e reserva mineral de K nos solos foi observada por outros autores (Simard et al., 1992; Melo et al., 1995a,b).

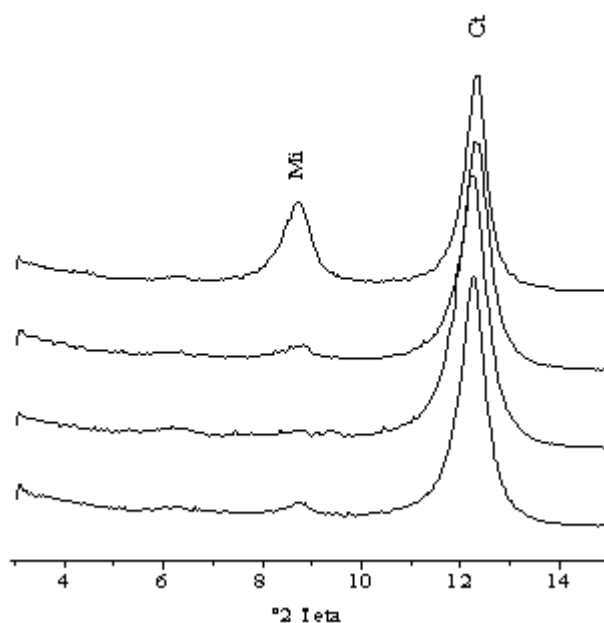


Figura 6 - Mineralogia da fração argila desferrificada (tratada com DCB) do horizonte B1 dos diferentes manejos, mostrando a intensidade relativa do pico de mica. Mi: mica; Ct: caulinita. Manejos representados, da posição mais alta para a mais baixa: café, pastagem, mata secundária, floresta.

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 entre K extraído com HNO_3 1 mol L^{-1} e intensidade dos picos desse mineral por DRX para o manejo café ($r=0,90^*$).

As correlações positivas entre teores de K não trocável (Quadro 4) e K trocável (Mehlich-1) (Quadro 2) nos horizontes dos solos para os manejos café ($r=0,75^{\text{ns}}$), pastagem ($r=0,70^{\text{ns}}$), mata secundária ($r=0,72^{\text{ns}}$) e mata nativa ($r=0,97^{**}$), sugerem a estreita relação entre essas formas do

nutriente. Devido à maior suscetibilidade ao intemperismo, o K é liberado mais facilmente das micas trioctaedrais (biotita) (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. A liberação de H⁺ e ácidos orgânicos aceleram o intemperismo de minerais primários fontes de nutrientes na região da rizosfera (Song e Huang, 1988).

CONCLUSÕES

1. 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, o que garante adequado suprimento do nutriente nos ciclos e plantios futuros.

2. Os baixos teores de Fe₂O₃ da fração argila extraído com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) refletiu a reduzida ocorrência de minerais ferromagnesianos (biotita e anfibólio) no granito/gnaiss de origem dos solos. Não houve efeito do manejo nos teores de Fe₂O₃DCB e Fe₂O₃OA (oxalato de amônio) da fração argila.

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

LITERATURA CITADA

BENIPAL, D.S. & PASRICHA, N.S. Nonexchangeable K release and supplying power of Indo-Gangetic alluvial soils. *Geoderma*, 108: 197-206, 2002.

BRAGA, J.M. Avaliação de fertilidade do solo (análise química) - Parte I. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 1980. 87 p.

BRASIL. 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. 1978. (Boletim técnico)

COSTA, A.C.S. & BIGHAN, JM. Óxidos de ferro. In: Melo, V.F.; Alleoni, L.R.F. (Eds.). Química e mineralogia do solo - Parte II. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais. 2009. p. 573-610.

- CPRM - Serviço Geológico Do Brasil. Mapa de insumos minerais para agricultura e áreas potenciais de Rondônia. Disponível em: <<ftp://ftp.cprm.gov.br/pub/pdf/recmin/pimainforme7.pdf>>. Acesso em 25 agosto 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de Métodos de análise de solo. 2 ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio de Janeiro. 1997. 212p.
- FITZPATRICK, R.W. & SCHWERTMANN, U. Al-substituted goethite – An indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. *Geoderma*, 27: 335-347, 1982.
- GONÇALVES, D.; LEITE, W.C.; BRINATTI, A.M.; SAAB, S.C; IAROSZ, K.C.; MASCARENHAS, Y.P.; CARNEIRO, P.I.B. & ROSA, J.A. Mineralogia de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes manejos por 24 anos. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 2647-2652, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro, 2001.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis - advanced course. Prentice-Hall, Madison, USA, 1979. 895p.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays Clay Minerals*, 30: 401-408, 1982.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. *Geoderma*, 29: 27-39, 1983.
- LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C. & LIMA, A.M.N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *R. Bras. Ci. Solo*, 30: 59-68, 2006.
- MARTINS, R.; MELO, V.F. & SERRAT, B.M. Reserva Mineral de potássio em solos dos Campos Gerais, estado do Paraná. *Revista Ceres*, 51: 521-533, 2004a.
- MARTINS, R.; MELO, V.F. & SERRAT, B.M. 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, 2004b.
- MATAIX-SOLERA, J. & DOERR, S.H. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma*, 118: 77-88, 2004.
- MCGRATH, D.A.; SMITH, C.K.; GHOLZ, H.L. & OLIVEIRA, F.A. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazônia. *Ecosystems*, 4: 625-645, 2001.

- MCKEAGUE, J.A. Manual on soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science, Ottawa, Canadá, 1978. 212p.
- MCNABB, D.H.; GAWEDA, F. & FROEHLICH, H.A. Infiltration, water repellency, and soil moisture content after broadcast burning a forest site in southwest Oregon. *Journal Soil Water Conservation*, 44: 87-90, 1989.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Minerals*, 7: 317-327, 1960.
- MELO, V.F.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F.; FONTES, M.P.F. & NOVAIS, R.F. Reserva mineral e caracterização mineralógica de alguns solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 19: 159-164, 1995a.
- MELO, V.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 19: 165-171, 1995b.
- MENEZES, J.M.T.; VAN LEEUWEN, J.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P. & LEANDRO, R.C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 893-898, 2008.
- NACHTIGALL, G.R. & VAHL, L.C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da Região Sul do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 15: 37-42, 1991a.
- NACHTIGALL, G.R. & VAHL, L.C. Dinâmica de liberação de potássio dos solos da região Sul do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 15: 43-47, 1991b.
- NEARY, G.D.; KLOPATEK, C.C.; DEBANO, L.F. & FOLLIOTT, P.F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology Management*, 122: 51-71, 1999.
- NORRISH, K. & TAYLOR, M. The isomorphous replacement of iron by aluminium in soil goethites. *Journal Soil Science*, 12: 294-306, 1961.
- NUMATA, I.; SOARES, J.V. & LEÔNIDAS, F.C. Comparação da fertilidade de solos em Rondônia com diferentes tempos de conversão de floresta em pastagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 26: 949-955, 2002.
- NWADIALO, B.E. & LIETZKE, D.A. Mineralogy and weathering of soils in the Tennessee Copper basin. *Soil Science*, 147: 162-173, 1989.
- OLIVEIRA, O.A. *Geografia de Rondônia Espaços & Produção*. Editora Dinâmica, Porto Velho, Rondônia, 2005. 203 p.
- RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J.C. & REZENDE, S.B. *Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações*. Editora UFLA, Lavras, Minas Gerais. 2005. 192p.

- RICHARDS, J.E.; BATES, T.E. & SHEPPARD, S.C. Studies on the potassium-supplying capacities of Southern Ontario soils. I - Field and greenhouse experiments. *Canadian Journal Soil Science*, 68: 183-197, 1988.
- SAMPAIO, F.A.R.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.M. & JUCKSCH, I. Balanço de nutrientes e da fitomassa em um Argissolo amarelo sob floresta tropical Amazônica após a queima e cultivo com arroz. *R. Bras. Ci. Solo*, 27: 1161-1170, 2003.
- SANCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H. & BANDY, D.E. Soil fertility dynamics after cleaning a tropical rainforest in Peru. *Soil Science Society American Journal*, 47: 1171-1178, 1983.
- 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. *Série Ciência da Terra*, 12: 63-104, 2000.
- SIMARD, R.R.; KIMPE, C.R. & ZIZKA, J. Release of potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. *Soil Science Society American Journal*, 56: 1421-1428, 1992.
- SINGH, B. & GILKES, R.J. Concentration of iron oxides from soil clays by 5 M NaOH treatment: The complete removal of sodalite and kaolin. *Clay Minerals*, 26: 463-472, 1991.
- 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. 1977. 203p.
- SONG, S.K. & HUANG, P.M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Science Society American Journal*, 52: 383-390, 1988.
- TORRENT, J. & CABEDO, A. Sources of iron oxides in reddish brown soil profiles from calcarenites in Southern Spain. *Geoderma*, 37, p. 5766, 1986.
- VALE JUNIOR, J.F. Pedogênese e alterações dos solos sob manejo itinerante, em rochas calcânicas ácidas e básicas, no nordeste de Roraima. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2000. 185p.

CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO GERAL

A mata nativa possui eficiente ciclagem, com uma rápida decomposição dos restos vegetais, liberação dos nutrientes minerais e reabsorção dos mesmos pelas raízes, conseguindo se sustentar com quantidades mínimas de nutrientes. No entanto, após a antropização da área e implantação dos diferentes manejos, são observadas modificações no comportamento das propriedades originais do solo.

Os atributos morfológicos observados no presente estudo permitiram localizar as alterações físicas ocorridas no solo, enquanto que as propriedades físicas avaliadas possibilitaram quantificar o início da ocorrência da degradação do solo. Algumas características físicas, químicas, mostraram-se sensíveis para detectar os efeitos advindos do uso e manejo do solo, constituindo uma técnica adequada para monitorar as atividades antrópicas nos diversos ambientes.

A maioria dos nutrientes e o carbono orgânico encontravam-se em teores médios a altos, concentrados nos primeiros centímetros de solo, tendendo a um incremento com o tempo de uso, nas sucessões mata nativa-pastagem; mata nativa- mata secundária e uma diminuição na sucessão mata nativa-café.

A alta reserva mineral de K nos solos, associada à ocorrência de mica nas frações argila, silte e areia, garante o adequado suprimento do nutriente nos ciclos presentes e plantios futuros. A queima da floresta para a implantação dos manejos agricultura migratória (mata secundária), pastagem e café aumentou a relação $Gt/(Gt+Hm)$ no horizonte A, o que indica a transformação parcial de Gt em Hm.

Portanto, sistemas de manejo através da agricultura migratória e pastagem são manejos conservacionistas, sendo adequados a área de estudo. Sistema de manejo com a cultura do café, como o utilizado no estudo, tendem a degradar as áreas, principalmente pela perda de solo via erosão superficial. Nos quatro perfis do manejo café, ocorreu rejuvenescimento superficial por erosão diferencial, acumulando material grosseiro e removendo os finos, contribuindo para o incremento de relação textural.

Das propriedades analisadas, as variações nas propriedades edáficas que melhor refletiram a intensidade de manejo e as práticas de cultivo, nas diferentes unidades de paisagem, podendo ser apontadas como bons índices de qualidade do solo nas condições do presente estudo são: Propriedades químicas: a Soma de Bases (SB), a CTC e a saturação de bases (V%); Propriedades físicas: a granulometria, a micro e macroporosidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência de solos eutróficos, mesmo que em pequena extensão, como acontece na Amazônia, é de grande importância, por serem de alta fertilidade natural e, portanto, bastante propícios para a instalação de colonizações pioneiras. Eles podem manter, por alguns anos, uma agricultura razoável, com gastos mínimos de fertilizantes, formando núcleos fornecedores de alimentos para o desenvolvimento da região e fazendo com que a pressão para a abertura de novas áreas seja aliviada.

O que se conhece hoje a respeito da Amazônia é suficiente para afirmar que, apesar da maioria dos solos serem pobres, existem muitas áreas como a do presente estudo, em boas condições para a implantação de uma agricultura produtiva sustentável, sem grandes danos ao ambiente, desde que se use uma tecnologia apropriada para os trópicos úmidos, observando-se adequadamente as práticas de manejo dentro dos princípios de proteção ambiental e observando as práticas intensivas de conservação do solo.

Este estudo, em nenhum momento quer incentivar a substituição da floresta para implantação da agricultura ou pecuária, mas sim, orientar em relação aos manejos mais sustentáveis, isto porque a floresta amazônica deve ser conservada no máximo possível de sua extensão, tanto por ser uma área de grande biodiversidade, como por conter espécies vegetais de alto valor comercial.

Além disso, o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de uso da terra, que possibilitem o retorno de áreas abandonadas e degradadas da Amazônia ao processo produtivo e evitem que novas áreas se degradem será não apenas economicamente, mas ecologicamente adequado e socialmente justo, contribuindo de forma indireta para a redução da pressão sobre o desmatamento de novas áreas de mata nativa.

Por isso, devemos considerar que os sistemas de uso das terras cultiváveis nesta região devem ser caracterizados pelo: a) mínimo de perdas de nutrientes (causados tanto pela lixiviação, que nos solos amazônicos podem ser elevadas, devido às intensas precipitações associadas à alta permeabilidade natural do solo; quanto pelo escoamento superficial); b) eficiente absorção e retenção dos nutrientes disponíveis (provenientes da água da chuva, fertilizantes, decomposição da liteira, etc.) e eficiente transformação dos limitados nutrientes em biomassa e colheitas.

Os resultados obtidos neste trabalho permitem a apresentação das seguintes propostas de utilização das terras na região em estudo: a) áreas de pastagem: Diminuição da pressão de pastoreio através de sistemas de rodízios com exclusão da prática de queimadas e utilização de sistemas

mistos (silvopastoris) ou a conservação de espécies florestais em associação a pastagem diminuindo a degradação através da diminuição do impacto da gota da chuva e impedimento físico a erosão, além de criar um ambiente mais favorável à criação de animais; b) áreas de agricultura: Cultivos anuais e perenes preferencialmente com a adoção de práticas conservacionistas; c) áreas de Floresta: preservação das áreas de florestas já existentes e recomposição de matas de galeria e de cabeceiras e ao longo de toda a encosta, reflorestamento com espécies que possibilitem a proteção do solo e exploração econômica da mata e adoção de sistemas mistos (agroflorestais).