

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**COMPARTIMENTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DA MATÉRIA
ORGÂNICA DE LATOSSOLO EM SISTEMAS DE MANEJO DE
PASTAGENS DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RS**

**Graciele Sarante Santana
(DISSERTAÇÃO)**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**COMPARTIMENTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DA MATÉRIA
ORGÂNICA DE LATOSSOLO EM SISTEMAS DE MANEJO DE
PASTAGENS DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RS**

GRACIELE SARANTE SANTANA
Engenheira Agrônoma (UNESP)

Dissertação apresentada como
um dos requisitos para a obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Fevereiro de 2010

GRACIELE SARANTE SANTANA
Engenheira Agrônoma (UNESP)

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
Para a obtenção do Grau de

MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em:

Homologada em:

Pela Banca Examinadora

Por

DEBORAH PINHEIRO DICK
Orientadora – PPG Ciência do
Solo/UFRGS

FLÁVIO A. O. CAMARGO
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Ciência do
Solo

ALBERTO VASCONCELLOS INDA
JUNIOR
PPG Ciência do Solo/UFRGS

CIMÉLIO BAYER
PPG Ciência do Solo/UFRGS

PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade de
Agronomia

ETELVINO HENRIQUE NOVOTNY
Embrapa Solos

Agradeço,

*A Deus, pela minha vida e saúde, por estar ao meu lado nos momentos alegres
e nas dificuldades, e por sempre iluminar meus caminhos....*

Dedico,

*Aos meus Pais, Heber e Iria e a minha tia Esdra, por todo amor, incentivo,
paciência, dedicação, por sempre me apoiarem nas difíceis decisões. Amo
você!*

Ofereço,

*A minha irmã, Gisele pela grande companheira que és, por todo apoio, força,
incentivo, carinho e amizade!*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

À professora Dr^a. Deborah Pinheiro Dick por ter me acolhido com carinho, pela excelente orientação, dedicação, confiança, apoio, constante incentivo e grande amizade.

Ao professor Dr. Cimélio Bayer pela confiança, apoio, incentivo, ensinamentos e amizade.

Ao professor Dr. Alberto Vasconcellos Inda Junior pela atenção e ajuda com a parte das determinações mineralógicas.

Ao professor Dr. Aino V.A. Jacques pela área cedida para realização das coletas, ajuda e esclarecimentos.

À Dr^a. Michely Tomazi pela dedicação, ensinamentos, compreensão e grande amizade.

Ao professor Dr. Paulo Brenner pela ajuda constante nas análises de CHN.

Aos Laboratoristas Luís Antonio e Adão Luís, pela ajuda nas determinações analíticas, e agradeço também pelos excelentes momentos de convívio e por toda a amizade.

Aos funcionários Fabiana Grosser e Júlio Vagheti do Departamento de Química pela ajuda nas análises espectroscópicas e termogravimétricas.

Ao secretário Jader pelo excelente trabalho e ajuda.

Aos bolsistas de iniciação científica, Guilherme Chitarra, Francielle Bertotto e Lízia Brack por toda ajuda, dedicação e amizade.

Aos companheiros do laboratório K 104-B, pela confraternização diária, carinho e a amizade, em especial a Cecília Sacramento, Daniela Barbosa, Henrique Almeida, Letícia Ávila, Mariana Potes, Mauro Hirsch, Simone Leite e Rosane Martinazzo.

A todos os meus colegas do PPG Ciência do Solo pelos bons momentos vividos e amizade. Em especial, agradeço Benjamin Osório, Edicarlos Damacena, Éric Victor, Fabíola Lopes, Genuir Denega, Gleidson Gimenes, José Roberto Rambo, Josiléia Zanatta, Juliana Gomes, Lucélia Cabral, Luiz Chaves, Luiza Escobar, Luiz França (Lula), Marquel Jonas, Mirla Andrade, Natália Rocha, Osmar Conte, Patrícia Quadros, Renan Vieira, Ricardo Schenato, Rodrigo Schoenfeld, Tiago Zschornack, Viviane Pereira.

As minhas amigas Cecília Sacramento, Daniela Barbosa, Lídia Ivasa, Lucélia Cabral, Regilene Souza, Rosane Martinazzo e Vanessa Martins, obrigada pelo excelente convívio, pelo ombro amigo nos momentos difíceis, pelos desabafos e conselhos, pelas ótimas gargalhadas e, maravilhosos momentos juntos, por todo carinho e amizade. Amo vocês!!!!

A minha pequena, Laurinha, que trouxe alegria e fortalecimento ao meu coração. Obrigada pelos momentos mais alegres e divertidos nesse período que estive comigo.

Agradeço a minha família, pelo amor incondicional e incentivo, e mesmo a distância sempre estiveram ao meu lado.

Agradeço ainda, a todos que participaram desta etapa da minha vida, meus sinceros agradecimentos.

COMPARTIMENTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DE LATOSSOLO EM SISTEMAS DE MANEJO DE PASTAGENS DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RS ^{1/}

AUTOR: Graciele Sarante Santana
ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. Deborah Pinheiro Dick

RESUMO

Sistemas de manejo de pastagens variam-se quanto à intensidade e pressão de pastejo, roçada, melhoramento da fertilidade do solo ou queima da vegetação. Tendo em vista que o manejo do solo afeta a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), este trabalho teve como objetivo principal avaliar o efeito do manejo da pastagem nos seus estoques, sua distribuição em compartimentos químicos e físicos, e sua composição química em Latossolo Vermelho distroférico da região dos Campos de Cima da Serra, RS. No estudo 1 foram avaliadas as substâncias húmicas (SH) da MOS e suas interações com os íons Fe e Al, em ambientes de pastagem nativa sem queima há 41 anos (PN), sem queima há 8 anos (PQ), sem queima há 41 anos e melhorada (PM) e mata nativa (MN), nas profundidades de 0-5, 0-20, 20-40 e 40-60 cm. A composição química das SH foi avaliada por espectroscopia de FTIR. O melhoramento da fertilidade do solo estimulou a formação de huminas. No ambiente PQ as SH ocorreram preferencialmente na forma de ácidos fúlvicos ($10,7 \text{ g kg}^{-1}$) enquanto em PN, os ácidos húmicos foram mais abundantes ($9,8 \text{ g kg}^{-1}$). Em todos os ambientes, o íon Fe associou-se preferencialmente aos ácidos húmicos e o íon Al aos ácidos fúlvicos. O estudo 2 foi realizado apenas na camada de 0-5 cm, sendo determinados os estoques de carbono (COT) e nitrogênio (NT) do solo e das frações físicas da MOS (FLL-fração leve livre, FLO-fração leve oclusa, e FP-fração pesada), e sua qualidade foi avaliada por meio de espectroscopia de FTIR e termogravimetria. O ambiente PM apresentou o maior teor de COT e de NT do solo ($37,7$ e $2,13 \text{ Mg ha}^{-1}$) e nas frações leves da MOS ($7,0$ e $4,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) entre os ambientes de pastagem. A FLL apresentou o menor grau de aromaticidade em PQ e a maior recalcitrância química em MN. A FP não se diferenciou quanto ao teor e composição química entre os ambientes estudados, comprovando ser a fração menos afetada pelos sistemas de manejo. O melhoramento da pastagem representa uma alternativa sustentável à queima para manejo das pastagens nativas.

^{1/} Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (81 p.) Fevereiro, 2010. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

**CHEMICAL AND PHYSICAL COMPARTMENTS OF SOIL ORGANIC
MATTER IN AN OXISOL UNDER PASTURE MANAGEMENT SYSTEMS IN
CAMPOS DE CIMA DA SERRA REGION, RS^{2/}**

AUTHOR: Graciele Sarante Santana
ADVISER: Prof^a. Dr^a. Deborah Pinheiro Dick

ABSTRACT

Pasture management systems are mainly based on intensity and frequency of grazing, grassland cutting, liming and fertilization of soil, and vegetation burning. Considering that soil management systems affect the dynamic of soil organic matter (SOM), this work aimed to evaluate the effect of pasture systems on the stock, distribution in chemical and physical compartments, and on the chemical composition of SOM in an Oxisol from *Campos de Cima da Serra Region, RS*. In the first study, humic compartments (HS) and their interactions with Fe and Al ions were investigated in samples collected in the 0-5, 0-20, 20-40 and 40-60 cm layers from the following environments: native pasture without burning in the last 41 years (NP), without burning in the last 8 years (BP), without burning in the last 41 years and ameliorated (AP) and native forest (NF). Chemical composition of HS was evaluated by FTIR spectroscopy. We observed that pasture amelioration stimulated humine formation. In the PQ environment HS occurred preferentially as fulvic acids (10.7 g kg^{-1}) while in the PN humic acids prevailed (9.8 g kg^{-1}). Ionic Fe associated preferentially with humic acids and Al with fulvic acids in all environments. The second study was conducted solely with the 0-5 cm layer and investigated stocks of organic carbon (COT) and nitrogen (NT) of soil and of SOM physical fractions (LFF- light free fraction, LOF- light occluded fraction and HF- heavy fraction). SOM quality was evaluated by means of FTIR spectroscopy and thermogravimetry. PM environment presented the highest contents of COT and NT (37.7 and 2.13 Mg ha^{-1}) and of SOM light fractions (7.0 and 4.7 Mg ha^{-1}) among the pasture environments. LFF showed the lowest aromaticity degree in the PQ and the greatest chemical recalcitrance in the NF. FP did not differ concerning its content and chemical composition among the studied sites. It confirms that the influence of management systems is lower in the FP than in other fractions. Pasture amelioration represents a sustainable alternative for vegetation burning in management of native pastures.

^{2/} Dissertation in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (81 p.) February, 2010. Research supported by CNPq.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1 Área de abrangência | 3 |
| 2.2 Manejo das pastagens no RS | 4 |
| 2.3 Matéria orgânica do solo | 5 |
| 2.3.1 Efeito da queima na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo..... | 7 |
| 2.3.2 Avaliações da matéria orgânica do solo..... | 9 |
| 3. HIPÓTESES | 12 |
| 4. ESTUDO I: SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E SUA ASSOCIAÇÃO COM Fe E Al EM LATOSSOLO SUBTROPICAL SOBRE DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE PASTAGEM | 13 |
| 4.1 Introdução | 13 |
| 4.2 Material e métodos..... | 15 |
| 4.2.1 Descrição da área de estudo e caracterização das amostras..... | 15 |
| 4.2.2 Quantificação e purificação das substâncias húmicas e determinação de Fe e Al co-extraídos | 18 |
| 4.2.3 Espectroscopia de Infravermelho | 19 |
| 4.2.4 Análise estatística | 19 |
| 4.3. Resultados e discussão..... | 20 |
| 4.3.1 Distribuição de C e N, relação C/N..... | 20 |
| 4.3.2 Distribuição da MOS em compartimentos químicos..... | 22 |
| 4.3.3 Comportamento espectral das substâncias húmicas | 24 |
| 4.3.4 Teores de Fe e de Al associados às frações húmicas | 29 |
| 4.4 Conclusões..... | 32 |
| 5. ESTUDO II. ESTOQUES DE C E DE N DO SOLO E DAS FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DE LATOSSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE PASTAGEM | 33 |
| 5.1 Introdução | 33 |
| 5.2 Material e métodos..... | 35 |
| 5.2.1 Localização da área e coleta do solo | 35 |
| 5.2.2 Determinação dos estoques de carbono e nitrogênio do solo..... | 36 |

| | |
|--|-----------|
| 5.2.3 Fracionamento físico densimétrico da MOS..... | 36 |
| 5.2.4 Análise espectroscópica das frações físicas da MOS | 37 |
| 5.2.5 Análise termogravimétrica das frações físicas da MOS | 38 |
| 5.2.6 Análise estatística | 38 |
| 5.3 Resultados e discussão..... | 38 |
| 5.3.1 Estoques de carbono e nitrogênio do solo | 38 |
| 5.3.2 Distribuição das frações físicas da matéria orgânica do solo..... | 39 |
| 5.3.3 Estoques de carbono e nitrogênio nas frações físicas da matéria orgânica do solo | 41 |
| 5.3.4 Relação entre o estoque de C nas frações e o COT do solo | 42 |
| 5.3.5 Comportamento espectral das frações físicas da matéria orgânica do solo..... | 45 |
| 5.3.6 Decomposição térmica das frações físicas da matéria orgânica do solo | 46 |
| 5.4 Conclusões..... | 49 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 50 |
| 7. APÊNDICES | 59 |

RELAÇÃO DE TABELAS

1. Acúmulo médio estacional e total anual de matéria seca de forragem verde (MSFV) em pastagem natural sob diferentes manejos. 1997/98.....16
2. Atributos químicos, análise granulométrica e teores de ferro e alumínio extraídos com DCB (Fed e Ald) em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).17
3. Teores de C e de N e relação C/N em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).21
4. Distribuição dos compartimentos químicos do carbono (C) em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).22
5. Proporção dos compartimentos químicos do C do solo em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).25
6. Intensidades relativas e índice de aromaticidade de ácidos húmicos (AH) e huminas (HU), nas profundidades de 0-5 e 40-60 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).28
7. Teores de Fe_{HCl} , Fe_{SHs} , Fe_{AF} , Fe_{AH} , Al_{HCl} , Al_{SHs} , Al_{AF} , Al_{AH} e razões molares em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).30
8. Relação entre os teores de ferro e alumínio determinados em diferentes compartimentos químicos e mineralógicos em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).32
9. Estoque de carbono (COT), de nitrogênio (NT) e relação C/N do solo, na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).39
10. Estoque de carbono e nitrogênio nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) da matéria orgânica do solo e, respectivas relações C/N, na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).44

- 11.** Intensidade relativas e índice de aromaticidade (FTIR) das frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) da MOS tratadas com HF, na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).48
- 12.** Perda de massa das frações leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO), da MOS tratadas com HF, em quatro intervalos de temperatura, resíduo e relação entre a perda de massa no terceiro e no segundo intervalo de temperatura (m_3^0/m_2^0), na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).49

RELAÇÃO DE FIGURAS

1. Espectros de FTIR das frações de: ácidos fúlvicos (AF) (a), ácidos húmicos (AH) (b) e huminas (HU) (c) da camada de 0-5 cm e de AF (d), AH (e) e de HU (f) da camada de 40-60 cm em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).26
2. Distribuição percentual da massa das frações leve livre (FLL) leve oclusa (FLO) e pesada (FP) da matéria orgânica do solo, na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).40
3. Relação do estoque de carbono das frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e fração pesada (FP) da matéria orgânica do solo com o estoque de carbono do solo (COT), na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).43
4. Espectros de FTIR das frações: leve livre (FLL) (a), leve oclusa (FLO) (b) e pesada (FP) (c) da MOS tratadas com HF, na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).47

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é destaque na produção e exportação de carne bovina, produzindo em torno de 6,3 milhões de toneladas de carne por ano. A pecuária brasileira se caracteriza pela criação de gado em pastagens, que são, normalmente, de baixa qualidade em virtude da fertilidade deficiente dos solos e das espécies presentes.

A região dos Campos de Cima da Serra, RS, é constituída de extensas áreas de pastagens nativas intercaladas com “manchas” de mata de araucária, sendo a pecuária a principal atividade econômica.

Uma das estratégias tradicionais de manejo da pastagem nesta região é a queima da vegetação, que em virtude do intenso e rigoroso período de inverno, facilita o manejo pela eliminação do material morto, estimula o rebrote e, segundo os produtores, promove o aumento da disponibilidade dos nutrientes do solo. No entanto, esse aumento imediato da disponibilidade dos nutrientes ocorre pela rápida mineralização dos resíduos vegetais, e, portanto, os efeitos podem se refletir, a curto prazo, retornando aos valores originais ou até mesmo a condições inferiores.

A queima como prática agrícola é um assunto polêmico devido aos efeitos ambientais, principalmente na emissão de gases de efeito estufa e ao seu possível efeito na diminuição da matéria orgânica do solo (MOS). Resultados sobre o efeito da queima na qualidade e quantidade de MOS são contraditórios, e dependem de diversos fatores como intensidade do fogo, estação do ano, umidade, quantidade e tipo de biomassa, entre outros.

Visando suprimir a prática de queima, alternativas têm sido estudadas, tais como o melhoramento da fertilidade do solo por meio de adubação e calagem. O aumento dos nutrientes do solo proporcionado por essa prática agrícola resulta normalmente em aumento da produção de forragem e, conseqüentemente, pode favorecer o acúmulo de MOS.

Estudos sobre a composição florística e produção de forragem em ambientes submetidos a queima, e a adubação e calagem já foram realizados anteriormente nesta região, porém ainda são escassos trabalhos que visam o estudo da dinâmica e qualidade da MOS nos seus diferentes compartimentos químicos e físicos. Assim, este trabalho visa contribuir para um melhor conhecimento da dinâmica da MOS nestes ambientes, a fim de complementar estudos anteriores e contribuir para maior sustentabilidade do sistema produtivo nesta região.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Área de abrangência

A região dos Campos de Cima da Serra está localizada na porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo uma área de 12.737,5 km² numa altitude entre 900 a 1300 m. A região é considerada a mais fria e com maior volume de chuva do Estado, com temperatura média anual de 14,1°C e precipitação de 2470 mm ano⁻¹ (Streck et al., 2008).

O relevo varia de suave a forte ondulado com predomínio de rochas vulcânicas ácidas, ocorrendo solos como Cambissolos, Neossolos e Gleissolos e, nas áreas menos elevadas, os Latossolos Brunos e Vermelhos (Streck et al., 2008).

A vegetação nativa dos Campos de Cima da Serra é constituída de extensas áreas de pastagens nativas intercaladas com “manchas” de mata de *Araucária* sp. As pastagens são providas de uma grande diversidade de espécies vegetais, com aproximadamente 800 espécies de gramíneas e 200 de leguminosas (Nabinger et al., 1999). Esta riqueza em espécies faz da pecuária extensiva a principal atividade econômica da região, a qual foi introduzida pelos Jesuítas há 200 anos (Behling e Pillar, 2007).

A produção e qualidade das gramíneas apresentam adequado valor forrageiro na estação quente, porém, no período de inverno ficam envelhecidas e crestadas por geadas, não suprimindo assim as necessidades nutricionais dos animais (Ferreira et al., 2008).

Na região dos Campos de Cima da Serra, devido ao período de inverno rigoroso e intenso, o manejo da pastagem é realizado tradicionalmente, a cada dois anos, e consiste na queima da vegetação após o inverno, cujo objetivo, segundo os pecuaristas, é destruir as sobras de forragem, aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo imediatamente após a queima e facilitar o rebrote (Jacques, 2003).

Embora trabalhos comprovem esse aumento, outros têm demonstrado que a queima nesta região deteriora as condições de fertilidade do solo a médio prazo (Heringer e Jacques, 2002). Além disso, o uso sistemático do fogo associado a pouco ou nenhuma utilização da prática de diferimento estratégico, pode afetar a composição florística, pela menor incidência de gramíneas e leguminosas, acentuando o problema da estacionalidade da produção de forragem (Ferreira et al., 2008).

2.2 Manejo das pastagens no RS

No estado do Rio Grande do Sul as pastagens nativas ocupavam originalmente 46,6% do território. No entanto, essas áreas vêm sendo substituídas por outras culturas, o que tem levado a uma redução das áreas de pastagem nativa, que hoje ocupam em torno de 23,0% da área total do estado (Hasenack et al., 2007).

Apesar dessa redução, as pastagens nativas ainda constituem o principal recurso forrageiro da produção bovina e ovina no Estado, apresentando grande diversidade de espécies vegetais de grande potencial forrageiro (Ferreira et al., 2008).

A região dos Campos de Cima da Serra, onde a pecuária constitui a atividade mais antiga, vem sofrendo impacto ambiental acentuado pelo manejo inadequado das áreas nativas, como o uso frequente do fogo e manejo inadequado dos animais, os quais reduzem a diversidade originalmente presente nos campos naturais (Heringer, 2000).

Visando preservar as pastagens nativas e potencializar a produção, algumas práticas agrícolas podem ser adotadas, dentre elas destacam-se o diferimento, roçada, correção e adubação do solo, e introdução de outras espécies (Ferreira et al., 2008).

O diferimento consiste na suspensão do pastejo por um curto período, e visa o suprimento de forragem nos períodos de deficiência alimentar. Esta prática pode auxiliar na recuperação de áreas degradadas pelo excesso de pastejo e fogo, por promover o acúmulo de matéria orgânica do solo e desenvolvimento radicular (Heringer e Jacques, 2002). Além disso, pode ser utilizada para ajustar flutuações na oferta de forragem com a carga animal (Ferreira et al., 2008), evitando assim, a necessidade do uso de queimadas.

A prática de roçada constitui uma alternativa mais econômica para o produtor e, quando utilizada adequadamente, ajuda na redução de espécies de menor interesse forrageiro.

Resultados satisfatórios têm sido obtidos em estudos sobre o uso de fertilizantes para o desenvolvimento de espécies nativas (Sant'Anna e Nabinger, 2007). No entanto, as respostas são variáveis dependendo da composição botânica das pastagens, tipo de solo, clima, tipo de fertilizante, método de incorporação, entre outros. A adubação com potássio e fósforo, em geral, estimula o desenvolvimento de leguminosas, enquanto que a adição de nitrogênio proporciona maior participação das gramíneas (Nabinger, 2006). Adicionalmente ao melhoramento da fertilidade do solo, a introdução de espécies cultivadas também constitui uma alternativa para aumentar a eficiência e produção de forragem, principalmente no período de inverno.

Assim, como a pastagem nativa representa a base alimentar da pecuária no Estado, estudos sobre o manejo nessas áreas, que diminuam o impacto ambiental, são necessários para alcançar índices produtivos e econômicos satisfatórios.

2.3 Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) representa o principal compartimento da reserva de carbono da superfície terrestre, o que a torna extremamente importante principalmente em regiões tropicais e subtropicais, onde o clima quente e úmido, e o intenso revolvimento do solo contribuem para a rápida mineralização de resíduos vegetais.

Embora represente uma pequena proporção no solo quando comparado com a massa total de solos minerais tropicais, a MOS desempenha

grande influência sobre vários processos físicos, químicos e biológicos do solo, servindo como fonte de nutrientes para as culturas e de carbono para microrganismos heterotróficos, além de contribuir para capacidade de troca de cátions e retenção de nutrientes, complexação de elementos tóxicos e, melhorar a infiltração e retenção de água no solo (Bayer e Mielniczuk, 2008).

A capacidade de armazenamento, composição e distribuição do carbono nos diferentes compartimentos da MOS são influenciados pelo tipo de solo, condições ambientais, atividade microbiana, qualidade do resíduo, e sistema de preparo do solo (Santos, 2005; Conceição, 2006; Tomazi, 2008; Vasconcelos et al., 2009).

O solo, dependendo do uso e sistema de manejo adotado, pode funcionar como fonte ou dreno de CO₂ atmosférico. Áreas sob intenso revolvimento do solo com culturas anuais sob sistemas convencionais, tendem a apresentar menor estoque de carbono em relação a sistema conservacionistas (Zinn et al., 2005) devido à exposição da MOS ao ataque dos microrganismos pelo rompimento dos macroagregados, ocasionando a liberação do carbono armazenado. No entanto, sistemas conservacionistas que visam o mínimo ou nenhum revolvimento do solo, proporcionam uma maior mineralização dos resíduos e, conseqüentemente, maior acúmulo de carbono do solo.

Bayer et al. (2006) estudando solos agrícolas no sul do Brasil, estimaram uma taxa média de retenção de carbono atmosférico de 0,48 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em solos com plantio direto, quando comparados a solos com preparo convencional. Estima-se que a inclusão de pastagem em integração com lavouras amplie esse potencial de retenção de carbono atmosférico no solo devido ao desenvolvido sistema radicular das forrageiras (d'Andrea et al., 2004).

As gramíneas perenes possuem grande potencial em acumular carbono no solo e, estudos mostram que os estoques de carbono podem ser próximos aos teores encontrados em áreas de floresta nativa (Silva et al., 2004; Zinn et al., 2005).

Este acúmulo de carbono proporcionado pelas gramíneas ocorre tanto na camada superficial do solo quanto em profundidade, uma vez que está

relacionado ao aporte de resíduos orgânicos na superfície e ao extenso sistema radicular das gramíneas (Silva e Mielniczuk et al., 1997).

Quando solos sob manejo convencional são convertidos em pastagens e quando pastagens degradadas são melhoradas de forma a aumentar a produção de fitomassa, usualmente ocorre aumento nos teores de MOS e na estabilidade de agregados. Richards et al. (2007) observaram semelhança entre os estoques de carbono de floresta subtropical secundária convertida para pastagem após 39 anos, entretanto, na conversão da floresta para o plantio de árvores nativas houve uma redução do estoque de carbono de 20 t ha⁻¹ após 50 anos de plantação.

Esse efeito benéfico proporcionado pelas gramíneas está atribuído à alta densidade de raízes, que promove ligação entre partículas minerais e agregados, contribuindo para sua formação e estabilidade.

2.3.1 Efeito da queima na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo

A queima da vegetação pode ser oriunda de um fenômeno natural, frequentemente observada em diversas regiões do mundo, ou antropogênica, visando abertura de novas fronteiras agrícolas e facilitar o manejo das pastagens.

A prática de queimada é conhecida pelos produtores por estimular o crescimento da pastagem, inibir a invasão de plantas daninhas, além de aumentar a disponibilidade dos nutrientes no solo (Brye, 2006). No entanto, a queima conduz a alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, o que pode afetar a quantidade e qualidade da MOS (De la Rosa et al., 2008).

O efeito do fogo no conteúdo da MOS é variável, e depende de diversos fatores como a intensidade do fogo, tipo de vegetação, textura do solo e relevo (Knicker, 2007). Além disso, a época/período da realização desta prática também afeta a MOS. Fynn et al. (2003) estudando diferentes tempos e frequências de queimadas, observaram decréscimo no carbono orgânico, na camada de 0-2 cm, quando submetido a queima anual e bienal no período de inverno e a queima bienal e trienal no período de outono. A queima realizada

na primavera não afetou o conteúdo de carbono orgânico, provavelmente, devido à quantidade de resíduos decompostos e/ou incorporados no solo pela atividade da fauna antes da queima.

A intensidade da queima pode afetar a composição química do produto formado e, segundo Knicker et al. (2006) a queima de menor intensidade ($T < 350^{\circ}\text{C}$) produz maior quantidade de material carbonizado, porém com menor grau de aromaticidade em relação a queima mais intensa, e isto, pode afetar a decomposição e recalcitrância desses materiais (Knicker, 2007).

Almendros et al. (2003) observaram por espectroscopia de RMN de ^{13}C que o aquecimento (à 350°C) aumentou a aromaticidade da turfa para valores típicos encontrado no carbono pirogênico. Estes resultados estão de acordo com os obtidos em outros trabalhos que mostram um aumento de carbono aromático e perda de estruturas do tipo O-alkil com o aquecimento da MOS (Certini, 2005; Tinoco et al., 2006).

Estudos sobre o efeito da queima nos estoques e teor de MOS têm fornecido informações diferenciadas, dependendo do tipo de solo e da fração analisada.

O efeito da queima na proporção das substâncias húmicas (SH) é diferenciado, existindo trabalhos que observaram tanto um aumento dos ácidos húmicos (AH) em detrimento dos ácidos fúlvicos (AF) (Trompowsky et al., 2005), quanto uma diminuição dos AF e AH com aumento da fração húmica (HU) (Knicker et al., 2005; Hatten et al., 2008). Tinoco et al. (2006), estudando o efeito do fogo nas frações da MOS em solos cultivados com Pinus, também observaram um decréscimo dos AF nos ambientes submetidos à queima, resultando em maior razão AH/AF, e atribuíram esse fato a uma descarboxilação e condensação da matéria orgânica ocasionada pelo fogo.

Em AH de solos sujeitos à queima no passado, os teores de carbono tenderam a serem superiores e valores de razão H/C inferiores aos observados em AH de solos não submetidos à queima, indicando maior aromaticidade dos AH de solos sujeitos a queima (Benites et al., 2005).

Quanto ao efeito da queima nas frações físicas da MOS, Spagnollo (2004) observou em Latossolo Vermelho que a prática de queima bienal durante 100 anos provocou diminuição do conteúdo de carbono e de nitrogênio

na fração da MOS > 53 μm até a profundidade de 2,5 cm. Nas frações < 53 μm , essa diminuição foi observada até os 10 cm.

Potes (2009) não observou diferença na camada superficial (0-5 cm) no estoque de carbono na fração leve livre (FLL) em ambientes submetidos a 1 e a 23 anos sem queima. No entanto, nesta mesma camada, verificaram um aumento do estoque de carbono na fração leve oclusa (FLO) de 3,85 Mg ha^{-1} no ambiente de 1 ano sem queima em relação ao de 23 anos sem queima. Esse resultado foi atribuído a diferentes intensidades de pastejo. No ambiente há 23 anos sem queima o pastejo mais intensivo (2,0 animais ha^{-1}) levou à menor ocorrência de agregados com diâmetro menor que 2 mm, e, conseqüentemente, menor proteção física da MOS neste ambiente em comparação ao ambiente de 1 ano sem queima (0,5 animal ha^{-1}).

2.3.2 Avaliações da matéria orgânica do solo

Em virtude da importância que a matéria orgânica representa para os solos, principalmente tropicais e subtropicais, tem-se desenvolvido técnicas que avaliam a quantidade e qualidade da matéria orgânica no solo, para melhor entendimento da sua dinâmica no ambiente.

A MOS pode ser avaliada utilizando-se solo inteiro e/ou suas frações químicas e físicas. Para o seu estudo como um todo por técnicas químicas e espectroscópicas, é realizado um pré-tratamento com solução de ácido fluorídrico 10% para remover a fração inorgânica que interfere na resolução instrumental (Gonçalves et al., 2003).

O estudo dos diferentes compartimentos da MOS, visam o conhecimento da sua dinâmica, baseando-se na sua complexidade estrutural, localização e interação com a matriz mineral do solo, para o desenvolvimento de estratégias para uma utilização sustentável dos solos, com vistas em reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre o ambiente.

A escolha do método de fracionamento depende do objetivo do estudo que se conduz, seja ele para a caracterização e identificação química da MOS ou para a quantificação ou descrição dos seus compartimentos. Esses métodos são frequentemente empregados em estudos de manejo e uso do

solo, para avaliação da reatividade e dinâmica da matéria orgânica nos solos (Bayer et al., 2002).

O fracionamento químico da MOS baseia-se nas diferentes propriedades físico-químicas da matéria orgânica, como solubilidade, carga de superfície e sorção. Esse fracionamento, em geral, é utilizado em estudos para caracterização química e estrutural dos componentes húmicos, e avaliação do grau de decomposição e reatividade dos compartimentos químicos (Dick et al., 2009).

No fracionamento químico, a solubilidade em meio básico e em meio ácido da MOS leva à obtenção de três frações húmicas, que podem diferir quanto a sua composição elementar: AH, AF e HU (Dick e Martinazzo, 2006). Os AH e AF constituem a fração mais reativa da MOS, devido a maior proporção de grupos funcionais, como carboxílicos e fenólicos, contribuindo para as propriedades químicas do solo, principalmente na capacidade de troca de cátions, complexação com metais e contaminantes do solo (Stevenson, 1994). A fração HU é insolúvel em qualquer valor de pH, sendo atribuída essa insolubilidade a sua forte interação com a matriz mineral do solo (Dick e Martinazzo, 2006).

Os AF, em geral, apresentam menor teor de carbono e maior teor de oxigênio do que os AH (Sparks, 1995). No entanto, segundo Dick et al. (2009) a distribuição do carbono nas frações de AH, AF e HU variam com o tipo de solo, tipo de vegetação, o uso e manejo e das condições climáticas e de drenagem do solo.

O fracionamento químico também permite distinguir a reatividade das frações húmicas frente a diferentes minerais e metais (Dick et al., 1999; Dick et al., 2003). Em Neossolos, Cambissolos e Gleissolos de altitude, os AH apresentaram maior afinidade por Fe enquanto a fração de AF interagiu preferencialmente com Al (Silva, 2007). Considerando que as interações organo-minerais e complexos metal-orgânicos afetam a dinâmica da MOS, esta especificidade pode afetar o teor e qualidade da MOS nestes ambientes.

O fracionamento físico é comumente usado para estudar a relação entre a estabilização da MOS nos diferentes compartimentos e as funções destes na dinâmica da mesma, demonstrando ser uma ferramenta promissora em estudos de mudanças de uso do solo (Christensen, 1992). Neste tipo de

fracionamento as frações orgânicas podem ser separadas por densidade (fracionamento densimétrico), tamanho de partícula (fracionamento granulométrico) ou combinação de ambos.

No fracionamento físico granulométrico, em geral, utiliza-se a dispersão do solo com solução dispersante por agitação seguido por peneiramento (malha de 53 μm) para obtenção da fração areia. As frações granulométricas silte e argila são separadas por sedimentação baseada na lei de Stokes (Salton, 2005).

O fracionamento físico densimétrico consiste na separação das frações da MOS de acordo com sua densidade e a força utilizada para dispersão dos agregados, e, de acordo com a densidade da solução, a MOS é separada em fração leve (FL) e pesada (FP) (Christensen, 1992).

A FL da MOS é separada por flotação em líquido de densidade 1,8 a 2,2 g cm^{-3} , e pode estar livre (FLL) ou oclusa (FLO) em microagregados do solo. A FLL possui composição comparável a de materiais vegetais, enquanto que a FLO possui um grau de decomposição mais avançado que a FLL, além de estar protegida no interior dos agregados do solo (Freixo et al., 2002). A MOS associada aos minerais (FP) compreende as moléculas orgânicas que apresentam forte interação com os minerais presentes nas frações silte e argila, com maior grau de decomposição (Roscoe e Machado, 2002) e elevado tempo de residência no solo, contribuindo para a maior parte do carbono estocado (Tomazi, 2008).

Embora a composição da MOS seja bastante complexa, o uso de técnicas espectroscópicas como de FTIR e de RMN de ^{13}C , termogravimétrica (TGA e DSC) e outras, permite avaliar a composição e qualidade da matéria orgânica, e relacioná-la com o tipo de manejo do solo.

3. HIPÓTESES

- A queima frequente da vegetação aumenta a recalcitrância química da MOS e o teor de huminas de pastagens em Latossolos dos Campos de Cima da Serra.
- A adubação e calagem do solo por melhorar a fertilidade do solo, aumenta os compartimentos mais lábeis da matéria orgânica do solo.

4. ESTUDO I: SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E SUA ASSOCIAÇÃO COM Fe E Al EM LATOSSOLO SUBTROPICAL SOBRE DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE PASTAGEM

4.1 Introdução

As pastagens naturais constituem o principal recurso forrageiro para o rebanho bovino e ovino no estado do Rio Grande do Sul, sendo importante o desenvolvimento de práticas de manejo que resultem na manutenção ou no aumento da produtividade dessas áreas.

Práticas de manejo baseadas na intensidade e pressão de pastejo, roçada, introdução de espécies e correção e adubação do solo, quando bem conduzidas melhoram a qualidade e aumentam a produção das pastagens nativas (Heringer e Jacques, 2002; Ferreira et al., 2008). A queima da pastagem, embora proibida por lei estadual (Lei nº. 9.519, Art.28), é uma prática de manejo que tem sido utilizada tradicionalmente após o rigoroso inverno na região dos Campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul. Os benefícios imediatos ocasionados pela queima, segundo os produtores, são devido à rápida mineralização da vegetação, levando ao aumento da disponibilidade dos nutrientes no solo logo após a queima. Porém, a médio e longo prazo esse efeito cessa e o teor de nutrientes tende a diminuir (Rheinheimer et al., 2003; Dick et al., 2008).

Informações sobre os efeitos da queima na quantidade da matéria orgânica do solo (MOS) são conflitantes, sendo relatado tanto um aumento

(Brye, 2006; Silva e Batalha, 2008; Potes et al., 2010) quanto uma diminuição (Spagnollo, 2004; De la Rosa et al., 2008) da mesma. Quanto ao efeito na sua qualidade, a produção de MOS carbonizada depende da intensidade e duração do fogo (Santín et al., 2008) e também das condições ambientais do local, como velocidade do vento, topografia, umidade do ar, quantidade de resíduos (Certini, 2005).

Alterações das substâncias húmicas devido à ação do fogo podem ocorrer na sua composição química com diminuição das razões H/C e O/C, sugerindo perda dos grupos oxigenados, desidratação e condensação (Fernández et al., 1997). A queima da vegetação pode afetar também a distribuição dos compartimentos húmicos da MOS, ocasionando aumento da concentração de humina em detrimento daquela de ácidos húmicos e de ácidos fúlvicos (Fernández et al., 1997; Knicker et al., 2005).

Uma alternativa para suprimir a queima da vegetação de pastagens é o melhoramento da fertilidade do solo por meio de correção da acidez e de adubação, que além de aumentar a produção da forragem, favorece o desenvolvimento de espécies nativas, que são mais resistentes ao outono/inverno (Ferreira et al., 2008). Embora existam vários relatos sobre a influência dos sistemas de manejo agrícola nas substâncias húmicas (Barreto et al., 2008; Portugal et al., 2008), são escassos, porém, estudos que abordem o efeito do melhoramento da fertilidade de pastagens nessas frações orgânicas.

Os ácidos húmicos e fúlvicos são considerados a principal fração da MOS que contribui para suas reações com íons e minerais devido a abundância de grupos funcionais oxigenados, como carboxilas e hidroxilas (Dick et al., 2009).

A complexação da matéria orgânica dissolvida e de ácidos húmicos e fúlvicos com íons tais como Al, Fe, Cu e Mn entre outros, determina a mobilidade destes em ambientes aquáticos e terrestres (González-Pérez et al., 2008). No processo de podzolização, a precipitação de óxidos de Fe e Al em horizontes B de solos aerados é atribuída à mineralização dos ligantes orgânicos e consequente liberação do metal (Buurman e Jongmans, 2005). Já em solos ácidos ou hidromórficos, estes autores propõem que a mineralização da MOS é inibida pela complexação com Fe e com Al. A estabilização da MOS

em Cambissolos e Neossolos dos Campos de Cima da Serra, RS, devido à complexação com Al foi verificada recentemente (Silva et al., 2008).

Este trabalho teve como objetivo obter informações sobre o efeito do manejo de pastagem no teor e na composição da MOS e nas suas interações com os íons Fe e Al em Latossolo Vermelho distroférico típico sob três sistemas de manejo de pastagem na região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, RS. Para fins de comparação dos tipos de vegetação nativa da área foi incluído no estudo o ambiente de mata nativa.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Descrição da área de estudo e caracterização das amostras

O trabalho foi realizado no município de André da Rocha (28°38'S, 51°34'O) na região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, RS, localizado a 900 m acima do nível do mar. O clima da região é mesotérmico, com temperatura média anual de 14,1°C e precipitação de 2470 mm ano⁻¹ (Streck et al., 2008). O solo, de origem basáltica, apresenta textura argilosa e é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico (Embrapa, 2006).

Os ambientes selecionados para as avaliações constaram de mata nativa (MN); pastagem nativa sem queima e sem roçada há 41 anos e com lotação de 1,2 animais ha⁻¹, (PN), pastagem nativa sem queima há 8 anos e com lotação de 0,5 animais ha⁻¹ (PQ), e pastagem nativa sem queima há 41 anos e melhorada com lotação de 1,2 animais ha⁻¹ (PM). Este ambiente recebeu aplicação de calcário por um período de sete anos (totalizando 8 Mg ha⁻¹) e 200 kg ha⁻¹ de adubo da fórmula 05-30-15, anualmente, até o quarto ano. Posteriormente, realizou-se adubação de manutenção onde foram aplicados 100 kg ha⁻¹ da mesma formulação, por um período de 10 anos, quando foi realizada a coleta. A vegetação das áreas de pastagem é constituída principalmente por espécies das famílias Poaceae, Asteraceae e Fabaceae, totalizando estas três famílias 70% das espécies identificadas (Heringer, 2000).

Em cada ambiente foi selecionada uma área representativa de 150 x 150 m em posição semelhante na paisagem e, aleatoriamente, foram demarcados três locais para a abertura de trincheiras de aproximadamente 1 x 1 m de superfície e 1,5 m de profundidade. De cada uma das trincheiras foi realizada a coleta de amostras deformadas de solo nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Para avaliar-se o efeito do manejo na MOS da superfície foram coletadas adicionalmente amostras da camada de 0-5 cm em cada ambiente.

As amostras de solo foram destorroadas, secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm, sendo determinados em cada repetição de campo os atributos químicos (Tedesco et al., 1995) e a distribuição granulométrica (Embrapa, 1997) (Tabela 2). Foram determinados os teores de ferro e de alumínio associados aos óxidos de ferro pedogênicos (Fe_d e Al_d) (Inda Junior e Kämpf, 2003) e os associados aos óxidos de ferro de baixa cristalinidade (Fe_o e Al_o) (Schwertmann, 1964) (Tabela 2). Os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) foram determinados por combustão seca (Perkin Elmer 2400), sendo calculada a relação C/N.

O acúmulo de forragem nos sistemas de manejo das pastagens, foi determinado por Heringer (2000) e encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1. Acúmulo médio estacional e total anual de matéria seca de forragem verde (MSFV) em pastagem natural sob diferentes manejos. 1997/98.

| Ambientes | Estações do ano | | | | Total |
|-----------|--------------------------------------|-------|--------|---------|-------|
| | Primavera | Verão | Outono | Inverno | |
| | ----- MSFV kg ha ⁻¹ ----- | | | | |
| PN | 3.702 | 3.682 | 1.324 | 847 | 9.555 |
| PQ | 1.499 | 1.463 | 10 | 293 | 3.665 |
| PM | 3.184 | 4.568 | 661 | 735 | 9.148 |

Fonte: Heringer (2000)

TABELA 2. Atributos químicos, análise granulométrica e teores de ferro e alumínio extraídos com DCB (Fed e Ald) em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Prof. | pH | P | Ca | Mg | K | Al | CTC _{ef} | m | Argila | Silte | Areia | Fe _d | Al _d |
|-----------|---------|-----|--------|-----|-----|-------|-----|-------------------|----|--|-------|-------|-----------------|-----------------|
| | | | | | | | | | | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | ----- % ----- | |
| PN | 0 - 5 | 4,6 | 0,01 | 2,8 | 2,1 | 0,7 | 2,6 | 8,3 | 32 | 63 | 27 | 8 | 55,1 | 9,9 |
| | 0 - 20 | 4,6 | 0,01 | 2,6 | 1,4 | 0,6 | 3,7 | 8,3 | 44 | 56 | 31 | 10 | 55,3 | 10,3 |
| | 20 - 40 | 4,7 | < 0,01 | 2,0 | 0,4 | 0,4 | 4,4 | 7,2 | 60 | 58 | 29 | 8 | 58,4 | 11,1 |
| | 40 - 60 | 4,7 | < 0,01 | 1,9 | 0,2 | 0,1 | 5,1 | 7,3 | 69 | 68 | 22 | 6 | 61,2 | 11,5 |
| PQ | 0 - 5 | 4,7 | 0,01 | 1,3 | 1,2 | 0,3 | 4,9 | 7,7 | 64 | 64 | 28 | 10 | 60,9 | 10,4 |
| | 0 - 20 | 4,7 | 0,01 | 0,8 | 0,7 | 0,2 | 5,8 | 7,5 | 78 | 56 | 34 | 12 | 56,5 | 10,9 |
| | 20 - 40 | 4,7 | 0,01 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 5,6 | 6,3 | 90 | 63 | 33 | 11 | 60,4 | 11,2 |
| | 40 - 60 | 4,7 | 0,01 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 6,0 | 6,5 | 94 | 73 | 26 | 4 | 66,1 | 12,3 |
| PM | 0 - 5 | 4,9 | 0,05 | 8,6 | 5,4 | 0,4 | 0,8 | 15,2 | 5 | 55 | 35 | 10 | 47,6 | 9,0 |
| | 0 - 20 | 5,1 | 0,02 | 8,5 | 4,1 | 0,2 | 0,6 | 13,4 | 5 | 54 | 36 | 10 | 49,9 | 9,5 |
| | 20 - 40 | 4,8 | 0,01 | 5,3 | 2,5 | 0,1 | 1,7 | 9,6 | 18 | 61 | 31 | 8 | 56,3 | 10,9 |
| | 40 - 60 | 4,4 | 0,01 | 2,0 | 1,4 | < 0,1 | 4,6 | 8,0 | 57 | 74 | 21 | 5 | 65,5 | 12,0 |
| MN | 0 - 5 | 4,2 | 0,03 | 2,4 | 1,0 | 0,2 | 5,5 | 9,2 | 60 | 61 | 30 | 8 | 69,7 | 11,1 |
| | 0 - 20 | 4,2 | 0,02 | 0,9 | 0,4 | 0,1 | 6,7 | 8,1 | 83 | 55 | 36 | 9 | 62,8 | 9,9 |
| | 20 - 40 | 4,4 | 0,01 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 7,5 | 7,9 | 95 | 64 | 29 | 7 | 50,4 | 9,3 |
| | 40 - 60 | 4,5 | 0,01 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 7,3 | 7,6 | 96 | 72 | 23 | 5 | 57,7 | 9,3 |

m: saturação por alumínio

4.2.2 Quantificação e purificação das substâncias húmicas e determinação de Fe e Al co-extraídos

As substâncias húmicas foram separadas quimicamente empregando solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Dick et al., 1998). A uma massa de 0,8 g de solo foram adicionados 30 mL de HCl 0,1 mol L⁻¹ e procedeu-se à agitação (2 horas). Após centrifugação (1529 g, 15 minutos) o extrato ácido, foi separado e o procedimento foi repetido mais duas vezes. A seguir realizaram-se as extrações com 30 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ sob agitação (3 horas) até o sobrenadante ficar incolor (5 a 6 extrações). O extrato alcalino contendo as substâncias húmicas solúveis (SHs) teve seu volume medido e foi retirada uma alíquota (10 mL) para análise de C, Fe e Al. A solução alcalina foi acidificada a pH 2,0 com HCl 4 mol L⁻¹, deixada em repouso por 24 horas e, após, centrifugada para separação dos ácidos fulvicos (AF - sobrenadante) e ácidos húmicos (AH - precipitado). O volume do extrato de AF foi medido e uma alíquota (2 mL) foi retirada para análise de C, Fe e Al. Os teores de carbono no extrato ácido (C_{HCl}), no extrato das substâncias húmicas solúveis (C_{SHs}) e no extrato de ácidos fúlvicos (C_{AF}) foram quantificados, determinando-se a absorbância em 580 nm (Shimadzu – UV-160 A) após oxidação do carbono com dicromato de potássio em meio ácido à 60°C durante 4 horas (Dick et al., 1998). O teor de C do solo referente aos ácidos húmicos (C_{AH}) foi calculado a partir da equação: $C_{AH} = C_{SHs} - C_{AF}$. O teor de C presente na forma de huminas (C_{HU}) foi obtido por: $C_{HU} = C - (C_{SHs} + C_{HCl})$, onde C é o teor de carbono do solo. Neste cálculo, a fração leve, que foi incluída na determinação de C do solo e que é separado no tratamento com HCl, pode levar a uma superestimação de C_{HU}.

Os AF foram purificados por passagem em coluna contendo resina DAX-8. Após retenção dos AF, a coluna foi lavada com dois volumes de HCl 0,1 mol L⁻¹ e os AF foram eluídos com solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹. O extrato de AF foi acidificado até pH 2 com HCl 0,1 mol L⁻¹ e submetido à agitação magnética por 1 hora para assegurar protonação de grupos carboxílicos e liberação de metais complexados. Após diálise contra água destilada em membranas de “cut-off” de 1 kDa (Sigma Aldrich) até teste negativo para cloreto com AgNO₃, foi retirada uma alíquota de 2,5 mL para determinação de

Fe e Al nesta fração (AFp) e a suspensão foi seca em estufa a 60°C. Amostras de AH e HU foram purificadas, empregando-se respectivamente, solução de HF/HCl 5% (v/v) e HF 10% (v/v) (Dick et al., 2003).

As determinações de ferro e de alumínio foram realizadas por espectroscopia de absorção atômica (Perkin-Elmer 240).

4.2.3 Espectroscopia de Infravermelho

As substâncias húmicas purificadas foram analisadas (duplicatas) por espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) (Shimadzu FTIR 8300) em pastilhas de KBr (1 mg amostra : 100 mg KBr, 32 scans, resolução de 4 cm^{-1} , intervalo espectral de 4000 a 400 cm^{-1}). A atribuição das bandas de absorção foi realizada segundo Tan (1996), sendo calculado o índice de aromaticidade (I_{1630}/I_{2920}) (Chefetz et al., 1996). A intensidade foi obtida pelo programa do espectrômetro, após estabelecer a linha de base entre 1696 e 1530 cm^{-1} e entre 3000 e 2800 cm^{-1} , respectivamente. As intensidades relativas das principais bandas de absorção foram calculadas segundo Gerzabek et al. (2006), dividindo-se a intensidade corrigida de um dado pico (p.ex., em torno de 2920, 1720, 1630, 1540 e 1070-1030 cm^{-1}) pela soma das intensidades de todos os picos e multiplicando-se por 100%. Os limites (cm^{-1}) para determinação da base para cada pico foram estabelecidos como segue (base1/pico/base2): 1800/1720/1700; 1560/1540/1490 e 1190/1070-1030/900.

4.2.4 Análise estatística

Os resultados foram analisados por meio de estatística descritiva, obtendo-se a média e o desvio padrão (1sd - 68,26% probabilidade de um valor estar a um desvio padrão da média) dos diferentes atributos avaliados, verificando-se assim, a variação destes atributos em relação aos ambientes estudados.

4.3. Resultados e discussão

4.3.1 Distribuição de C e N, relação C/N

Os teores de C e de N variaram entre 18 a 60 g C kg⁻¹ e entre 0,5 a 4,5 g N kg⁻¹, decrescendo gradualmente em profundidade (Tabela 3). O teor de C na camada de 0-5 cm superou o verificado para a respectiva camada de 0-20 cm, evidenciando a importante contribuição da camada superficial do solo para a concentração de MOS na camada de espessura 20 cm.

Nos ambientes sob pastagem o maior teor de C na camada de 0-5 cm ocorreu na pastagem nativa melhorada, superando os valores observados em PQ (Tabela 3). Este resultado pode estar relacionado ao maior aporte de resíduos superficiais em PM, decorrente da maior produção de forragem conforme observado por Heringer (2000), que resulta dos bons níveis de fertilidade neste ambiente (Tabela 1). Em contrapartida quando considerado os primeiros 20 cm, não foram observadas diferenças entre os ambientes, e tampouco ao longo do perfil.

No solo sob mata os teores de C e de N superaram os de PN apenas na camada de 0-20 cm (Tabela 3), indicando que a elevada contribuição do aporte da parte aérea para a formação da MOS usualmente observado em ambiente de floresta (Ferreira et al., 2007), se verificou além dos 5 cm superficiais.

A relação C/N variou de 14 a 19 na camada de 0-5 cm, e, com exceção do ambiente PQ, aumentou em profundidade (Tabela 3). Este resultado diverge do observado para Latossolos subtropicais sob campo nativo (Dick et al., 2005) e pode estar relacionado com a MOS residual formada no passado pela queima periódica da vegetação. Na camada de 0-5 cm, onde o aporte de resíduo vegetal é constante, a MOS formada recentemente e sem a ação do fogo provoca um efeito de diluição na relação C/N, diminuindo-a. Aumento da relação C/N na MOS em virtude de queima periódica de vegetação foi observada por outros autores em solos sob pastagem de regiões subtropicais (Brye, 2006).

No ambiente PQ, onde a ação do fogo foi suspensa mais recentemente, a relação C/N na camada 0-20 cm foi superior à observada na

mesma camada nos outros ambientes, bem como superior ao valor obtido para a camada 0-5 cm deste ambiente (Tabela 3). O elevado desvio padrão dos valores de razão C/N indica uma heterogeneidade da composição química da MOS, corroborando a presença de material recalcitrante residual. No ambiente da mata, os valores altos de C/N nas camadas mais profundas do que 20 cm se devem à presença de fragmentos de MOS recalcitrante formada no passado pela queima da vegetação original de pastagem (Behling e Pillar, 2007).

TABELA 3. Teores de C e de N e relação C/N em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Prof. (cm) | C | N | C/N |
|----------------------|------------|--------------------------------|------------------|--------------------|
| | | ----- g kg ⁻¹ ----- | | |
| PN | 0 - 5 | 48,5 ± 8,5 | 2,8 ± 0,5 | 17 ± 3,0 |
| | 0 - 20 | 32,2 ± 3,7 | 1,7 ± 0,3 | 19 ± 1,3 |
| | 20 - 40 | 25,7 ± 1,1 | 1,0 ± 0,4 | 30 ± 12,6 |
| | 40 - 60 | 18,3 ± 1,4 | 0,5 ± 0,1 | 36 ± 9,8 |
| Média 0-60 cm | | 25,4 ± 6,4 | 1,1 ± 0,6 | 28,5 ± 10,9 |
| PQ | 0 - 5 | 42,7 ± 4,4 | 2,3 ± 0,1 | 19 ± 1,7 |
| | 0 - 20 | 31,9 ± 0,6 | 1,0 ± 0,2 | 34 ± 7,2 |
| | 20 - 40 | 25,1 ± 2,4 | 1,1 ± 0,2 | 24 ± 5,1 |
| | 40 - 60 | 19,6 ± 2,1 | 0,9 ± 0,4 | 24 ± 11,7 |
| Média 0-60 cm | | 25,6 ± 5,6 | 1,0 ± 0,3 | 27,6 ± 8,8 |
| PM | 0 - 5 | 56,5 ± 8,8 | 3,4 ± 0,4 | 18 ± 1,4 |
| | 0 - 20 | 31,5 ± 2,6 | 1,5 ± 0,2 | 21 ± 3,1 |
| | 20 - 40 | 24,2 ± 1,6 | 1,1 ± 0,4 | 26 ± 13,3 |
| | 40 - 60 | 19,7 ± 0,4 | 0,5 ± 0,1 | 40 ± 9,2 |
| Média 0-60 cm | | 25,1 ± 5,4 | 1,0 ± 0,5 | 29,3 ± 12,1 |
| MN | 0 - 5 | 60,4 ± 7,9 | 4,5 ± 1,1 | 14 ± 2,1 |
| | 0 - 20 | 41,0 ± 5,6 | 2,7 ± 0,5 | 15 ± 0,7 |
| | 20 - 40 | 24,2 ± 2,8 | 1,3 ± 1,0 | 25 ± 13,4 |
| | 40 - 60 | 18,8 ± 0,5 | 0,7 ± 0,2 | 28 ± 5,6 |
| Média 0-60 cm | | 28,0 ± 10,5 | 1,6 ± 1,1 | 22,5 ± 9,3 |

Média ± desvio padrão (1sd)

4.3.2 Distribuição da MOS em compartimentos químicos

O teor de C_{HCl} variou entre 0,3 e 2,5 $g\ kg^{-1}$ (Tabela 4) e contribuiu com 1,1 a 7,6% do carbono total do solo (Tabela 4). O teor de C neste extrato corresponde a compostos hidrofílicos menores do que as estruturas de ácidos húmicos e fúlvicos, solúveis em meio ácido e que são principalmente oriundos da atividade microbiana e da exsudação das raízes (Potes et al., 2010). Esses compostos, que são quimicamente mais lábeis do que as substâncias húmicas, estão associados fracamente à fração mineral como também entre si por meio de pontes de cátions de esfera externa (Dick et al., 1998).

TABELA 4. Distribuição dos compartimentos químicos do carbono (C) em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Prof. (cm) | C_{HCl} | C_{SHs} | C_{AF} | C_{AH} | C_{HU} |
|--------------------------|------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| ----- $g\ kg^{-1}$ ----- | | | | | | |
| PN | 0 - 5 | 1,9 ± 0,1 | 20,3 ± 3,2 | 4,8 ± 0,6 | 15,6 ± 2,9 | 26,3 ± 8,4 |
| | 0 - 20 | 2,5 ± 0,7 | 19,3 ± 2,6 | 5,0 ± 1,4 | 14,2 ± 2,2 | 10,5 ± 5,0 |
| | 20 - 40 | 1,5 ± 0,4 | 13,0 ± 1,3 | 4,7 ± 1,3 | 8,3 ± 1,5 | 11,2 ± 1,2 |
| | 40 - 60 | 1,1 ± 0,5 | 10,1 ± 1,9 | 3,3 ± 0,7 | 6,8 ± 1,8 | 7,0 ± 3,0 |
| Média 0-60 cm | | 1,7 ± 0,7 | 14,1 ± 4,1 | 4,3 ± 1,2 | 9,8 ± 3,5 | 9,6 ± 3,5 |
| PQ | 0 - 5 | 0,9 ± 0,1 | 20,0 ± 4,9 | 5,6 ± 1,2 | 14,4 ± 5,5 | 21,8 ± 8,3 |
| | 0 - 20 | 0,7 ± 0,1 | 17,1 ± 3,7 | 10,8 ± 5,7 | 6,4 ± 3,9 | 14,1 ± 4,0 |
| | 20 - 40 | 0,3 ± 0,1 | 19,7 ± 4,3 | 15,7 ± 3,3 | 3,9 ± 2,3 | 5,2 ± 3,1 |
| | 40 - 60 | 0,3 ± 0,1 | 10,9 ± 3,8 | 5,7 ± 0,3 | 5,2 ± 3,5 | 8,4 ± 4,9 |
| Média 0-60 cm | | 0,4 ± 0,2 | 15,9 ± 5,2 | 10,7 ± 5,1 | 5,2 ± 2,9 | 9,2 ± 5,0 |
| PM | 0 - 5 | 1,3 ± 0,7 | 20,2 ± 3,3 | 8,3 ± 1,1 | 11,9 ± 2,4 | 34,9 ± 4,9 |
| | 0 - 20 | 0,3 ± 0,2 | 11,7 ± 0,2 | 5,0 ± 2,2 | 6,7 ± 2,0 | 19,4 ± 2,4 |
| | 20 - 40 | 0,3 ± 0,3 | 9,5 ± 0,3 | 4,1 ± 0,3 | 5,4 ± 0,1 | 14,4 ± 1,6 |
| | 40 - 60 | 1,1 ± 0,2 | 10,6 ± 0,1 | 4,4 ± 0,6 | 6,2 ± 0,7 | 8,0 ± 0,2 |
| Média 0-60 cm | | 0,6 ± 0,4 | 10,6 ± 0,9 | 4,5 ± 1,1 | 6,1 ± 1,2 | 13,9 ± 4,9 |
| MN | 0 - 5 | 1,9 ± 0,3 | 23,2 ± 1,0 | 9,3 ± 0,5 | 14,0 ± 0,5 | 35,3 ± 7,2 |
| | 0 - 20 | 1,2 ± 0,6 | 15,1 ± 2,0 | 7,5 ± 0,9 | 7,6 ± 1,3 | 24,7 ± 3,4 |
| | 20 - 40 | 1,3 ± 0,8 | 9,7 ± 0,8 | 5,9 ± 0,4 | 3,8 ± 0,5 | 13,2 ± 4,2 |
| | 40 - 60 | 1,2 ± 0,5 | 9,6 ± 1,1 | 5,7 ± 0,2 | 3,9 ± 1,3 | 8,1 ± 2,1 |
| Média 0-60 cm | | 1,2 ± 0,6 | 11,5 ± 3,0 | 6,4 ± 1,0 | 5,1 ± 2,1 | 15,3 ± 7,9 |

Média ± desvio padrão (1sd), C_{HCl} , C_{SHs} , C_{AF} , C_{AH} e C_{HU} representam os teores de carbono contido nos extratos ácido, de substâncias húmicas solúveis e de ácidos fúlvicos, e os contidos sob forma de ácidos húmicos e huminas, respectivamente.

No ambiente PQ, o teor (C_{HCl}) e a proporção (relação C_{HCl}/C) destes compostos lábeis ao longo do perfil do solo foram menores do que em PN (Tabelas 4 e 5). No ambiente de pastagem nativa melhorada, os teores de C_{HCl} foram semelhantes aos da PN nas camadas de 0-5 cm e de 40-60 cm, porém a proporção C_{HCl}/C foi sempre inferior em PM (Tabelas 4 e 5). Enquanto que nos ambientes PN e PM a proporção de compostos orgânicos mais lábeis aumenta em profundidade, sugerindo migração, no ambiente PQ o comportamento é inverso (Tabela 5). No ambiente de mata nativa os teores de C_{HCl} e a proporção (C_{HCl}/C) foram semelhantes aos de PN (Tabela 4 e 5).

Os teores de SHs não diferiram entre os ambientes na camada de 0-5 cm (Tabela 4). Entretanto, no ambiente PM, C_{SHs} foi inferior aos teores observados em PQ e em PN nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, indicando menor formação de substâncias húmicas solúveis no campo submetido à calagem e adubação. Este comportamento é corroborado pela razão C_{SHs}/C que nessas camadas de 20 cm variaram de 51 a 78% em PQ e PN e de 37 a 39% em PM (Tabela 5).

O teor de SHs no ambiente de mata diferiu de PN apenas na camada de 20-40 cm (Tabela 4), porém a proporção de C_{SHs}/C foi sempre inferior no ambiente MN. Esta razão apresenta valores semelhantes aos observados em PM, aumentando também em profundidade (Tabela 5).

A fração húmica, que contribuiu com mais de 50% para o C do solo na camada de 0-5 cm (Tabela 5), decresceu em profundidade em todos os ambientes (Tabela 4), concordando com os resultados obtidos por Melo e Schaefer. (2009). Em geral a variação de C_{HU}/C foi inversa à observada para C_{SHs}/C , e diminuiu gradativamente em profundidade nos ambientes PM e MN (Tabela 5).

O ambiente PQ apresentou em média maior teor de AF ($C_{AF} = 10,7 \text{ g kg}^{-1}$) quando comparado com PN ($C_{AF} = 4,3 \text{ g kg}^{-1}$). Comportamento inverso ocorreu com AH, onde a média de C_{AH} foi menor em PQ quando comparado à PN (Tabela 4). Portanto, apesar do teor de SHs ser semelhante nesses dois ambientes, a sua distribuição nos compartimentos húmicos difere: C_{AF}/C varia entre 10 e 18% em PN e entre 13 e 63% em PQ (Tabela 5). Adicionalmente, a razão C_{AH}/C_{AF} é sempre maior no ambiente PN e, com exceção da camada 0-5 cm, atinge valores menores do que a unidade em PQ. Estes resultados indicam

uma diferente dinâmica de formação de AH e de AF, sendo que no ambiente afetado pelo fogo até há 8 anos a formação de AF foi favorecida em detrimento de AH. A maior proporção de micelas húmicas de maior tamanho (AH) em PN pode ser indicativo de maior estabilização da MOS neste ambiente. Nossa hipótese baseia-se na proposta de estrutura de matéria orgânica de Kleber et al. (2007), onde a fração hidrofóbica da MOS se posiciona no interior da micela e os grupos hidrofílicos se localizam na parte externa. Quanto maior a porção hidrofóbica, maior o tamanho da micela e, portanto, maior sua estabilidade.

A menor abundância de C_{SHs} nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm no ambiente PM em relação à PN é devido ao menor teor de C_{AH} no ambiente de pastagem nativa melhorada. O empobrecimento relativo de AH ($21 \leq C_{AH}/C \leq 31\%$) em PM quando comparado a PN ($32 \leq C_{AH}/C \leq 44\%$), se reflete na razão C_{AH}/C_{AF} que variou em torno de 1,3 em PM enquanto em PN foi $\geq 1,8$ (Tabela 4). Portanto, em comparação ao ambiente de pastagem nativa, o melhoramento do campo tende a diminuir as micelas húmicas.

O teor de AH nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de MN foi menor do que em PN (Tabela 4) e a maior abundância de AF em ambiente de mata é evidenciada pelos valores de $C_{AH}/C_{AF} \leq 1,5$ (Tabela 5). A formação preferencial de AF em Latossolo Vermelho amarelo sob mata nativa em comparação a ambiente de pastagem foi reportada recentemente por Martins et al. (2009).

4.3.3 Comportamento espectral das substâncias húmicas

Os espectros de FTIR de AH e HU purificados da camada 0-5 cm apresentaram o mesmo padrão (Figura 1b e c), sendo identificadas as seguintes bandas de absorção e suas respectivas atribuições: banda larga em $3345-3355 \text{ cm}^{-1}$ atribuída ao estiramento OH em ponte; banda na região de $2923-2845 \text{ cm}^{-1}$ devido ao estiramento C-H alifático; banda em 1720 cm^{-1} referente ao estiramento C=O do grupo carboxílico; banda na região em $1635-1619 \text{ cm}^{-1}$ atribuída ao estiramento C=C aromático; banda em torno de 1541 cm^{-1} referente à deformação N-H e ao estiramento C=N; bandas em torno de 1400 cm^{-1} devido ao estiramento C-H alifático, banda em 1233 cm^{-1} atribuída ao estiramento C-O e à deformação OH do grupo carboxílico; pico em 1070 cm^{-1}

correspondente aos estiramentos C-O de carboidratos. A presença de fração inorgânica nas amostras de AH e HU da camada de 40-60 cm, mesmo após sua purificação, interferiu nas absorvâncias da região entre 1500 e 1000 (Figura 1e e f), inviabilizando a análise das intensidades relativas.

TABELA 5. Proporção dos compartimentos químicos do C do solo em Latossolo Vermelho distroférrico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Prof. (cm) | C_{HCl}/C | C_{SHs}/C | C_{AF}/C | C_{AH}/C | C_{HU}/C | C_{AH}/C_{AF} |
|----------------------|------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|
| ----- % ----- | | | | | | | |
| PN | 0 - 5 | 4,0 ± 0,8 | 42 ± 8,1 | 10 ± 2,6 | 32 ± 6,1 | 54 ± 8,4 | 3,3 ± 0,7 |
| | 0 - 20 | 7,9 ± 2,8 | 60 ± 12 | 16 ± 6,4 | 44 ± 6,4 | 32 ± 13 | 3,0 ± 0,9 |
| | 20 - 40 | 5,7 ± 1,3 | 51 ± 4,1 | 18 ± 4,5 | 32 ± 6,3 | 44 ± 5,1 | 1,9 ± 0,9 |
| | 40 - 60 | 6,2 ± 2,7 | 56 ± 13 | 18 ± 5,2 | 37 ± 11 | 38 ± 15 | 2,2 ± 0,7 |
| Média 0-60 cm | | 6,6 ± 2,1 | 56 ± 9,3 | 17 ± 4,5 | 38 ± 8,2 | 38 ± 11 | 2,4 ± 0,8 |
| PQ | 0 - 5 | 2,1 ± 0,2 | 48 ± 14 | 13 ± 1,4 | 34 ± 15 | 50 ± 15 | 2,7 ± 1,2 |
| | 0 - 20 | 2,2 ± 0,3 | 54 ± 12 | 34 ± 18 | 20 ± 12 | 44 ± 12 | 1,0 ± 1,2 |
| | 20 - 40 | 1,2 ± 0,5 | 78 ± 14 | 62 ± 7,6 | 16 ± 9,6 | 21 ± 14 | 0,2 ± 0,1 |
| | 40 - 60 | 1,7 ± 0,4 | 56 ± 22 | 29 ± 2,8 | 27 ± 19 | 42 ± 22 | 0,9 ± 0,6 |
| Média 0-60 cm | | 1,7 ± 0,5 | 63 ± 18 | 42 ± 18,3 | 21 ± 13 | 36 ± 18 | 0,7 ± 0,7 |
| PM | 0 - 5 | 2,3 ± 1,1 | 36 ± 1,1 | 15 ± 1,1 | 21 ± 1,0 | 62 ± 1,9 | 1,4 ± 0,2 |
| | 0 - 20 | 1,1 ± 0,8 | 37 ± 2,5 | 16 ± 5,6 | 22 ± 7,7 | 62 ± 2,6 | 1,6 ± 0,9 |
| | 20 - 40 | 1,4 ± 1,1 | 39 ± 2,3 | 17 ± 1,1 | 22 ± 1,9 | 59 ± 3,1 | 1,3 ± 0,1 |
| | 40 - 60 | 5,5 ± 0,7 | 54 ± 0,6 | 23 ± 3,7 | 31 ± 3,1 | 41 ± 0,5 | 1,4 ± 0,3 |
| Média 0-60 cm | | 2,7 ± 2,3 | 43 ± 8,0 | 18 ± 4,6 | 25 ± 6,3 | 54 ± 10 | 1,5 ± 0,5 |
| MN | 0 - 5 | 3,1 ± 0,7 | 39 ± 4,3 | 15 ± 1,6 | 23 ± 2,7 | 58 ± 4,7 | 1,5 ± 0,0 |
| | 0 - 20 | 2,9 ± 1,1 | 37 ± 1,8 | 18 ± 2,1 | 19 ± 0,6 | 60 ± 0,7 | 1,0 ± 0,1 |
| | 20 - 40 | 5,7 ± 3,7 | 41 ± 7,2 | 25 ± 3,9 | 16 ± 3,3 | 54 ± 10 | 0,6 ± 0,0 |
| | 40 - 60 | 6,3 ± 3,2 | 51 ± 7,3 | 30 ± 1,1 | 21 ± 7,7 | 43 ± 10 | 0,7 ± 0,3 |
| Média 0-60 cm | | 5,0 ± 3,0 | 43 ± 8,2 | 24 ± 5,7 | 18 ± 4,6 | 52 ± 11 | 0,8 ± 0,2 |

Média ± desvio padrão (1sd), C_{HCl}/C , C_{SHs}/C , C_{AF}/C , C_{AH}/C e C_{HU}/C representam a proporção dos teores de carbono contido nos compostos de baixo peso molecular, nas substâncias húmicas solúveis, frações de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, huminas em relação ao carbono total do solo.

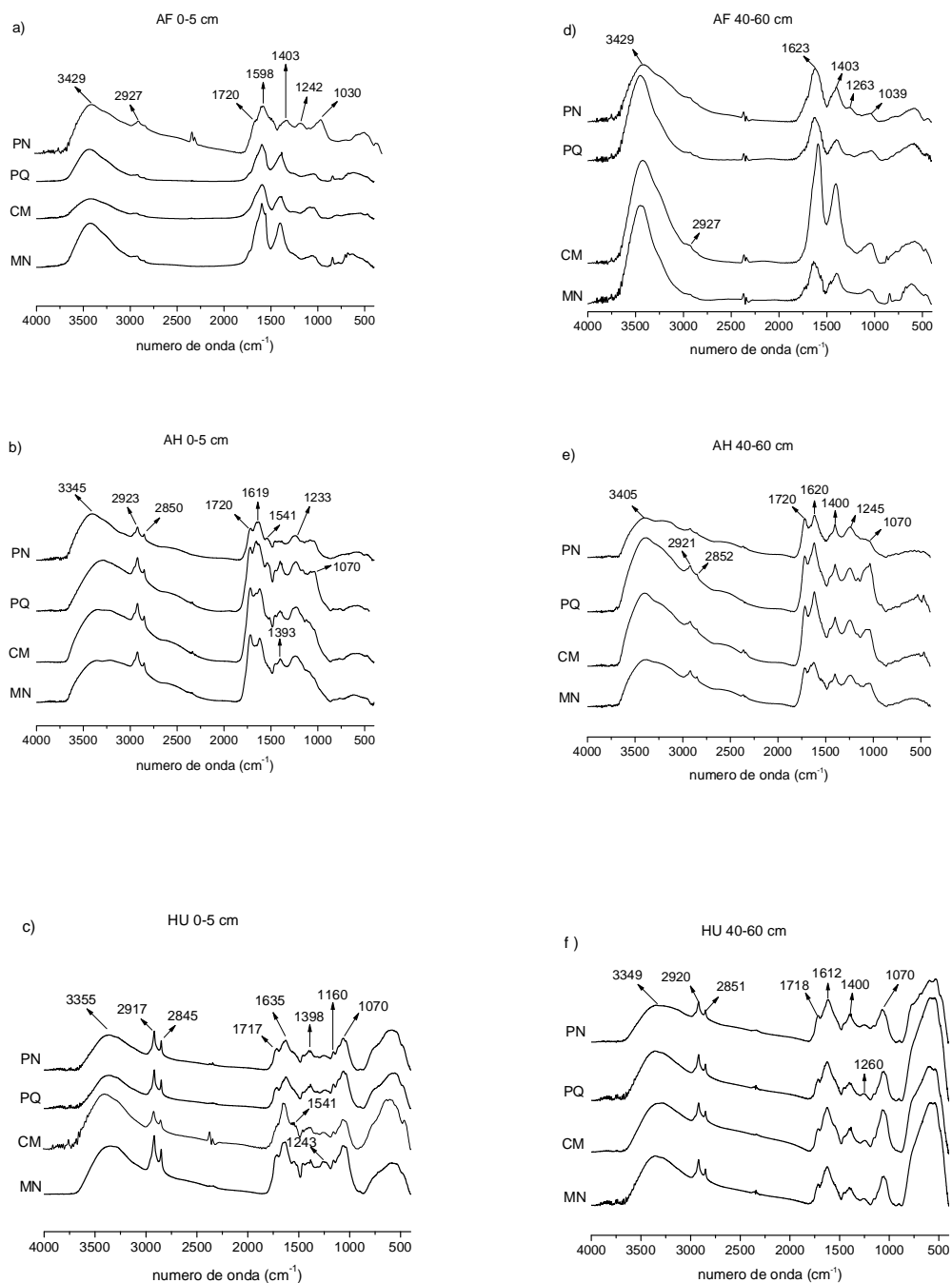


FIGURA 1. Espectros de FTIR das frações de: ácidos fúlvicos (AF) (a), ácidos húmicos (AH) (b) e huminas (HU) (c) da camada de 0-5 cm e de AF (d), AH (e) e de HU (f) da camada de 40-60 cm em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

Nos ambientes de pastagem, a fração de AH da camada de 0-5 cm apresentou maior valor de IR_{1720} em PM (Tabela 6). Este resultado pode ser devido à maior oxidação da MOS, decorrente da atividade microbiana mais intensa neste ambiente resultante dos bons níveis de fertilidade, menor saturação de Al e maior pH (Fuentes et al., 2006). O AH do ambiente PQ diferiu dos demais por apresentar maior valor de IR_{1070} , indicando maior proporção de estruturas tipo carboidratos neste ambiente (Tabela 6), concordando com os resultados de Potes et al. (2010) obtidos em Neossolos submetidos periodicamente à ação do fogo. O AH de mata nesta camada apresentou maior valor de IR_{1720} e de IR_{1630} e menor valor de IR_{1070} do que os ambientes PN e PQ (Tabela 6). A maior abundância de estruturas aromáticas carboxiladas e menor de carboidratos na MOS da MN provavelmente é devido a estruturas derivadas de lignina presente neste ambiente (Shrestha et al., 2008), o que levaria ao pequeno teor de SHs, em virtude da difícil decomposição destes resíduos.

Na fração HU da camada 0-5 cm de PQ, o valor de IR_{1070} foi maior do que em PN repetindo-se o comportamento observado para AH. Tanto no ambiente PM como no MN não foram detectadas diferenças nas intensidades relativas de HU em relação à PN (Tabela 6). Os maiores valores de IR_{1070} nas HU em comparação aos AH pode ser tanto devido à maior abundância de estruturas tipo carboidratos que estariam encapsuladas nos nichos hidrofóbicos, como também pode ser um artefato. A permanência de grupos silicatos nesta fração, apesar de sua purificação, absorve na região de 1030 cm^{-1} acarretando uma superestimação da banda em 1070 cm^{-1} .

As amostras de AH de mata e HU de pastagem nativa melhorada apresentaram os maiores valores de índice de aromaticidade na camada de 0-5 cm, confirmando tendência constatada pelas intensidades relativas (Tabela 6). Em todos os ambientes e nas duas frações analisadas o índice I_{1630}/I_{2920} aumentou em profundidade indicando um aumento do caráter aromático, corroborando resultados obtidos anteriormente em Latossolos subtropicais (Dick et al., 2005).

Os espectros de AF em ambas profundidades se caracterizaram por apresentar bandas proeminentes de carboxilato, apesar do processo de purificação, o que inviabilizou o cálculo dos índices de FTIR.

TABELA 6. Intensidades relativas e índice de aromaticidade de ácidos húmicos (AH) e huminas (HU), nas profundidades de 0-5 e 40-60 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Fração | IR (%) | | | | | I ₁₆₃₀ /I ₂₉₂₀ | | |
|-----------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|-----------|--|
| | | IR ₂₉₂₀ | IR ₁₇₂₀ | IR ₁₆₃₀ | IR ₁₅₄₀ | IR ₁₀₇₀ | 0-5 cm | 40-60 cm | |
| | | ----- 0-5 cm ----- | | | | | | | |
| PN | AH | 24,2 ± 0,9 | 21,6 ± 0,8 | 29,1 ± 2,0 | 8,8 ± 0,7 | 16,4 ± 2,5 | 1,2 ± 0,1 | 4,6 ± 1,0 | |
| PQ | | 20,8 ± 5,1 | 21,5 ± 1,0 | 24,9 ± 6,6 | 9,0 ± 4,3 | 23,8 ± 3,7 | 1,2 ± 0,6 | 3,1 ± 0,2 | |
| PM | | 25,5 ± 5,3 | 27,1 ± 1,6 | 26,2 ± 2,7 | 8,9 ± 4,1 | 12,4 ± 0,1 | 1,0 ± 0,4 | 4,4 ± 0,5 | |
| MN | | 22,3 ± 1,4 | 28,4 ± 4,6 | 32,3 ± 0,2 | 8,9 ± 3,0 | 8,1 ± 3,1 | 1,5 ± 0,1 | 1,5 ± 0,4 | |
| ----- | | | | | | | | | |
| PN | HU | 28,6 ± 8,8 | 9,3 ± 0,5 | 26,2 ± 7,3 | 7,6 ± 6,2 | 28,3 ± 4,1 | 0,9 ± 0,6 | 1,9 ± 1,2 | |
| PQ | | 29,6 ± 7,4 | 10,5 ± 1,3 | 25,8 ± 4,5 | 1,9 ± 0,5 | 32,1 ± 1,0 | 0,9 ± 0,4 | 1,7 ± 0,8 | |
| PM | | 21,7 ± 2,9 | 7,7 ± 1,9 | 36,0 ± 2,7 | 8,2 ± 0,9 | 26,3 ± 0,8 | 1,7 ± 0,3 | 2,3 ± 1,8 | |
| MN | | 33,1 ± 3,2 | 10,8 ± 0,6 | 21,7 ± 5,0 | 6,8 ± 0,3 | 27,7 ± 2,2 | 0,7 ± 0,2 | 1,8 ± 1,6 | |

Média ± desvio padrão (1sd)

4.3.4 Teores de Fe e de Al associados às frações húmicas

O teor de Fe_{HCl} variou de 0,14 a 1,56 $g\ kg^{-1}$ e decresceu em profundidade em todos os ambientes (Tabela 7). O Fe_{HCl} pode ser representado pelo ferro associado aos compostos orgânicos lábeis, bem como o Fe disponível, uma vez que a solução de HCl 0,1 $mol\ L^{-1}$ extrai também os íons na forma trocável.

Em média os valores de Fe_{HCl} foram maiores nos ambientes PN e PQ e menores em MN e PM (Tabela 7).

A razão Fe_{HCl}/Fe_o variou de 0,05 a 0,82 (Tabela 8), o que indica que parte de Fe extraído por oxalato em meio ácido (pH=3) pode ser proveniente da forma de Fe associado aos compostos orgânicos lábeis.

No extrato das substâncias húmicas, o teor de ferro (Fe_{SHs}) variou entre 0,04 e 1,57 $g\ kg^{-1}$, e em média, foi superior nos ambientes MN e PM (Tabela 7). Interessante observar que nesses dois ambientes o teor de Fe_{HCl} é menor do que o Fe_{SHs} , comportamento inverso ao observado em PN e PQ. Esse resultado sugere que os dois compartimentos orgânicos são interconvertíveis, porém isto deve ser investigada por estudos futuros.

O ferro encontrado associado às substâncias húmicas solúveis está principalmente associados aos ácidos húmicos ($0,02 \leq Fe_{AH} \leq 1,43\ g\ kg^{-1}$), enquanto nos AF a concentração de Fe foi muito baixa ($\leq 0,14\ g\ kg^{-1}$) (Tabela 7). Este resultado indica associação preferencial de Fe pela fração de ácidos húmicos.

O teor de alumínio do extrato de HCl (Al_{HCl}) variou de 1,41 a 4,03 $g\ kg^{-1}$ e analogamente ao verificado com Fe_{HCl} foi em média superior nos ambientes PN e PQ. Com exceção da mata nativa, o teor de Al_{HCl} aumentou em profundidade e este comportamento pode ser relacionado à contribuição de Al trocável para Al_{HCl} que também aumentou em profundidade (Tabela 2). O método com solução de HCl 0,1 $mol\ L^{-1}$, extrai também a fração de Al determinado na forma trocável, que emprega extração com um sal neutro (cloreto de potássio) em pH do solo. O ambiente PM, onde a concentração de Al trocável é menor, apresentou os maiores valores para razão $Al_{HCl}/Al_{trocável}$, enquanto os menores valores desta razão foram verificados em MN que apresenta os maiores valores para Al trocável (Tabelas 3 e 8).

TABELA 7. Teores de Fe_{HCl}, Fe_{SHs}, Fe_{AF}, Fe_{AH}, Al_{HCl}, Al_{SHs}, Al_{AF}, Al_{AH} e razões molares em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Prof.(cm) | Fe _(HCl) | Fe _(SHs) | Fe _(AF) | Fe _(AH) | Al _(HCl) | Al _(SHs) | Al _(AF) | Al _(AH) | Al/Fe | | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------|-------------|-------------------|
| | | | | | | | | | | AH | AF | AF _p |
| ----- g kg ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | | | |
| ----- mol/ mol ----- | | | | | | | | | | | | |
| PN | 0 - 5 | 1,56 ± 0,01 | 0,57 ± 0,03 | 0,06 ± 0,00 | 0,51 ± 0,03 | 2,82 ± 0,12 | 21,27 ± 2,04 | 17,16 ± 1,31 | 4,11 ± 1,78 | 17 | 593 | 24 |
| | 0 - 20 | 0,90 ± 0,04 | 0,42 ± 0,06 | 0,04 ± 0,01 | 0,38 ± 0,07 | 2,95 ± 0,35 | 22,42 ± 0,89 | 17,44 ± 3,19 | 4,98 ± 4,07 | 27 | 880 | 107 |
| | 20 - 40 | 0,73 ± 0,03 | 0,27 ± 0,02 | 0,04 ± 0,02 | 0,23 ± 0,02 | 3,16 ± 0,09 | 22,75 ± 0,73 | 19,85 ± 0,11 | 2,90 ± 0,83 | 26 | 1086 | 21 |
| | 40 - 60 | 0,49 ± 0,07 | 0,09 ± 0,02 | 0,04 ± 0,01 | 0,04 ± 0,03 | 3,17 ± 0,24 | 22,79 ± 2,78 | 21,26 ± 1,92 | 1,52 ± 1,07 | 79 | 1089 | 208 ¹ |
| | Média 0-60 cm | 0,71 ± 0,18 | 0,26 ± 0,15 | 0,04 ± 0,01 | 0,22 ± 0,15 | 3,09 ± 0,24 | 22,65 ± 1,52 | 19,52 ± 2,50 | 3,13 ± 2,62 | 44 | 1018 | 112 |
| PQ | 0 - 5 | 1,02 ± 0,16 | 0,59 ± 0,04 | 0,11 ± 0,00 | 0,48 ± 0,04 | 3,52 ± 0,27 | 19,94 ± 2,59 | 19,73 ± 3,83 | 0,66 ± 1,14 | 3 | 381 | 8 |
| | 0 - 20 | 0,88 ± 0,02 | 0,45 ± 0,04 | 0,10 ± 0,01 | 0,35 ± 0,04 | 3,61 ± 0,23 | 21,15 ± 1,93 | 18,97 ± 0,35 | 2,18 ± 1,58 | 13 | 407 | 28 |
| | 20 - 40 | 0,66 ± 0,07 | 0,22 ± 0,01 | 0,04 ± 0,01 | 0,18 ± 0,01 | 3,85 ± 0,20 | 22,49 ± 2,78 | 21,42 ± 2,22 | 1,07 ± 0,86 | 12 | 1160 | 279 ¹ |
| | 40 - 60 | 0,52 ± 0,10 | 0,04 ± 0,01 | 0,02 ± 0,01 | 0,02 ± 0,02 | 4,03 ± 0,29 | 24,31 ± 3,64 | 23,11 ± 4,46 | 1,43 ± 2,04 | 148 | 1960 | 1381 ¹ |
| | Média 0-60 cm | 0,69 ± 0,17 | 0,24 ± 0,18 | 0,05 ± 0,03 | 0,18 ± 0,15 | 3,83 ± 0,28 | 21,17 ± 2,84 | 22,65 ± 3,08 | 1,56 ± 1,45 | 58 | 1176 | 563 |
| PM | 0 - 5 | 0,51 ± 0,15 | 1,04 ± 0,09 | 0,12 ± 0,02 | 0,92 ± 0,08 | 1,41 ± 0,46 | 14,61 ± 0,82 | 12,51 ± 0,67 | 2,10 ± 0,76 | 5 | 214 | 24 |
| | 0 - 20 | 0,33 ± 0,09 | 0,48 ± 0,11 | 0,08 ± 0,02 | 0,40 ± 0,10 | 1,50 ± 0,18 | 16,15 ± 0,98 | 13,01 ± 0,58 | 3,14 ± 0,61 | 16 | 327 | 7 |
| | 20 - 40 | 0,24 ± 0,02 | 0,15 ± 0,01 | 0,10 ± 0,03 | 0,06 ± 0,04 | 1,97 ± 0,18 | 18,51 ± 1,11 | 16,68 ± 0,20 | 1,42 ± 1,70 | 49 | 358 | 159 ¹ |
| | 40 - 60 | 0,18 ± 0,02 | 0,08 ± 0,00 | 0,09 ± 0,00 | n.d. | 2,20 ± 0,07 | 21,85 ± 2,10 | 18,10 ± 0,91 | 3,74 ± 1,31 | 139 ² | 401 | 0 ³ |
| | Média 0-60 cm | 0,25 ± 0,08 | 0,24 ± 0,19 | 0,09 ± 0,02 | 0,23 ± 0,19 | 1,89 ± 0,34 | 18,84 ± 2,79 | 15,93 ± 2,34 | 2,77 ± 1,53 | 68 | 362 | 55 |
| MN | 0 - 5 | 0,38 ± 0,07 | 1,57 ± 0,06 | 0,14 ± 0,03 | 1,43 ± 0,06 | 1,95 ± 0,07 | 13,57 ± 0,51 | 10,86 ± 0,93 | 2,71 ± 0,45 | 4 | 161 | 19 |
| | 0 - 20 | 0,30 ± 0,04 | 0,65 ± 0,18 | 0,12 ± 0,01 | 0,53 ± 0,19 | 1,62 ± 0,06 | 12,46 ± 0,57 | 11,25 ± 0,73 | 1,22 ± 0,38 | 5 | 196 | 9 |
| | 20 - 40 | 0,26 ± 0,03 | 0,24 ± 0,07 | 0,09 ± 0,01 | 0,16 ± 0,07 | 1,52 ± 0,14 | 13,27 ± 0,82 | 14,60 ± 0,55 | n.d. | 0 ³ | 340 | 10 |
| | 40 - 60 | 0,14 ± 0,03 | 0,14 ± 0,04 | 0,10 ± 0,01 | 0,04 ± 0,04 | 1,56 ± 0,19 | 15,09 ± 1,80 | 17,16 ± 0,21 | n.d. | 0 ³ | 348 | 255 ¹ |
| | Média 0-60 cm | 0,23 ± 0,08 | 0,34 ± 0,25 | 0,10 ± 0,02 | 0,24 ± 0,25 | 1,66 ± 0,13 | 13,61 ± 1,55 | 14,34 ± 2,61 | 1,22 ± 0,38 | 2 | 295 | 91 |

Média ± desvio padrão (1sd), Fe_(HCl) e Al_(HCl): ferro e alumínio do extrato ácido HCl; Fe_(SHs) e Al_(SHs): ferro e alumínio do extrato da substância húmica solúvel; Fe_(AF) e Al_(AF): ferro e alumínio do extrato de ácido fúlvico; Fe_(AH) e Al_(AH): ferro e alumínio do extrato de ácido húmico; n.d.: não detectado. ¹ teores de Fe abaixo do limite de detecção, foi considerado como sendo = 1 mmol Fe kg⁻¹AF; ² teor de Fe abaixo do limite de detecção, foi considerado como sendo = 1 mmol Fe kg⁻¹ solo; ³ teores de Fe e de Al abaixo do limite de detecção, foi considerado Al = 0 mmol Fe kg⁻¹ solo

O teor de Al_{SHs} variou entre 12 e 24 g kg⁻¹ e foi superior a Al_{HCl} em todos os ambientes (Tabela 7). O teor de Al no extrato fúlvico não purificado (Al_{AF}) foi superior ao de Al_{AH} , enquanto para o Fe foi observado comportamento inverso: $Fe_{AH} > Fe_{AF}$ (Tabela 7). Ao separar-se AH de AF, por acidificação do meio, a competição com íons hidrogênio pode provocar a liberação do Al complexado pelo AH e pelo AF para a forma iônica livre, que permanece no extrato fúlvico. Uma vez que o pK da hidrólise do Ferro (em torno de 3,0) é mais baixo do que o do Al (4,5), se espera que o Fe seja menos afetado por este processo.

A fim de investigar a contribuição do Al e Fe livre nos extratos de AF, esses íons foram quantificados no extrato de AF purificado. A razão molar Al/Fe nos AF purificados variou de 55 a 563 (Tabela 7) e foi inferior à Al/Fe_{AF} confirmando a presença de íons livres no extrato de AF. No entanto, os valores superaram aqueles observados em AH, indicando complexação preferencial de Al por AF comparativamente ao Fe.

A diferente afinidade de Fe e de Al pode estar relacionada à composição química diferenciada das duas frações húmicas. O Al é ácido duro, e, portanto, apresenta maior afinidade por bases duras, tais como COOH, mais abundantes em AF (Sparks, 1995). A interação de Fe com a MOS se verifica principalmente com os grupos OH (Schwertmann et al., 2005), os quais são mais abundantes em AH, tais como grupos fenólicos ligados as cadeias alquila e a estruturas mais hidrofóbicas (Dobbss et al., 2009).

TABELA 8. Relação entre os teores de ferro e alumínio determinados em diferentes compartimentos químicos e mineralógicos em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Prof. (cm) | Relações | | | | | |
|-----------|------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | Fe _{HCl} /Fe _o | Al _{HCl} /Al _o | Fe _{AF} /Fe _{SHs} | Al _{AF} /Al _{SHs} | Al _{HCl} /Al _t | Al _{SHs} /Al _t |
| PN | 0 - 5 | 0,82 | 1,34 | 0,89 | 0,81 | 0,12 | 0,90 |
| | 0 - 20 | 0,50 | 1,60 | 0,90 | 0,78 | 0,12 | 0,95 |
| | 20 - 40 | 0,36 | 1,38 | 0,86 | 0,87 | 0,08 | 0,58 |
| | 40 - 60 | 0,29 | 1,33 | 0,53 | 0,93 | 0,07 | 0,50 |
| PQ | 0 - 5 | 0,34 | 1,74 | 0,82 | 0,99 | 0,08 | 0,45 |
| | 0 - 20 | 0,25 | 1,57 | 0,79 | 0,90 | 0,07 | 0,41 |
| | 20 - 40 | 0,26 | 1,75 | 0,83 | 0,95 | 0,08 | 0,44 |
| | 40 - 60 | 0,40 | 1,76 | 0,42 | 0,95 | 0,07 | 0,45 |
| PM | 0 - 5 | 0,25 | 0,77 | 0,88 | 0,86 | 0,20 | 2,03 |
| | 0 - 20 | 0,20 | 0,86 | 0,83 | 0,81 | 0,26 | 2,83 |
| | 20 - 40 | 0,14 | 0,86 | 0,37 | 0,90 | 0,13 | 1,19 |
| | 40 - 60 | 0,10 | 0,92 | 0,00 | 0,83 | 0,05 | 0,53 |
| MN | 0 - 5 | 0,22 | 0,85 | 0,91 | 0,80 | 0,04 | 0,27 |
| | 0 - 20 | 0,17 | 0,68 | 0,82 | 0,90 | 0,03 | 0,21 |
| | 20 - 40 | 0,11 | 0,55 | 0,64 | 1,10 | 0,02 | 0,20 |
| | 40 - 60 | 0,05 | 0,57 | 0,27 | 1,14 | 0,02 | 0,23 |

Fe_(HCl) e Al_(HCl): ferro e alumínio do extrato ácido HCl; Fe_o e Al_o: ferro e alumínio oxalato; Fe_(SHs) e Al_(SHs): ferro e alumínio do extrato da substância húmica solúvel; Fe_(AH): ferro do extrato de ácido húmico; Al_(AF): alumínio do extrato de ácido fúlvico; Al_t: alumínio trocável.

4.4 Conclusões

O melhoramento da fertilidade do solo por meio de adubação e calagem favorece o acúmulo de carbono e nitrogênio na superfície do solo em comparação aos ambientes não manejados e submetidos recentemente à queima.

A alteração das condições físico-químicas do solo, pelos diferentes uso e manejo do solo, afeta a dinâmica de formação das SHs. A queima da pastagem por mais de 100 anos no passado, favoreceu a maior incidência de AF, enquanto que a adubação e calagem estimulou a formação de HU, estabilizando a MOS.

Os compartimentos húmicos apresentam afinidades diferentes pelos íons Fe e Al, sendo o Fe associado preferencialmente ao AH e o Al ao AF.

5. ESTUDO II. ESTOQUES DE C E DE N DO SOLO E DAS FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DE LATOSSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE PASTAGEM

5.1 Introdução

A estabilidade da matéria orgânica do solo (MOS), promovida pelo efeito integrado dos mecanismos de recalcitrância química, proteção física e interação organo-mineral (Christensen, 2001), é afetada diretamente pelo uso e manejo do solo.

Os sistemas de manejo que incluem mínimo ou nulo revolvimento mecânico do solo, sistema de cultivo perene com alta produção de biomassa e sistema radicular bem desenvolvido, como é o caso das pastagens, favorecem o acúmulo de MOS (Grandy e Robertson, 2007; Tan et al., 2007; Tomazi, 2008), melhorando a atividade biológica e disponibilidade de nutrientes no meio.

Estima-se que no Brasil 178 milhões de hectares sejam destinados às pastagens (Silva e Júnior Nascimento, 2006), sendo 10,5 milhões de hectares representados pelos campos do RS (Jacques e Nabinger, 2006). Considerando-se o alto aporte de carbono do solo promovido pelas gramíneas perenes, infere-se a importância das pastagens no sequestro de carbono. Em geral, para um dado tipo de solo e clima, sistemas de pastagens apresentam maior estoque de carbono do solo em relação a áreas de cultivo mais intensivo com culturas anuais (Zinn et al., 2005). Esse efeito está relacionado ao amplo

sistema radicular das gramíneas que permite eficiente ciclagem de nutrientes pelas raízes. Além disso, algumas espécies têm alta produção de forragem, que se não exportada totalmente pelo pastejo, contribui também para o acúmulo de carbono no solo.

A influência dos sistemas de manejo sobre a composição das frações físicas da MOS é observada em diversos estudos, sendo estes compartimentos, principalmente a fração leve livre (FLL), altamente sensíveis e diretamente afetados pelo manejo do solo (Freixo et al., 2002; Wu et al., 2004; Rangel e Silva, 2007; Lima et al., 2008).

Conceição (2006) e Boeni (2007) observaram maior quantidade de fração leve (FL) em Latossolos com presença de gramíneas em comparação à áreas agrícolas, e isso foi atribuído à eficiente proteção física da MOS no interior dos macroagregados, provavelmente promovida pelo maior sistema radicular e não revolvimento do solo.

Dentre as FL, a fração leve oclusa (FLO) é a que apresenta maior tempo de residência no solo por ser mais eficientemente protegida fisicamente pela agregação (Von Lützow et al., 2007), no entanto, sua decomposição é favorecida pelo uso e cultivo intenso do solo. Em Cambissolo sob clima subtropical foi constatado aumento relativo da fração leve livre (FLL) e uma diminuição da fração leve oclusa (FLO) com o aumento do pastejo da área (Potes, 2009). Esse resultado foi atribuído a dificuldade de formação e manutenção de agregados maiores em áreas de maior carga animal.

A fração associada às partículas minerais do solo (FP) é considerada a mais estável, com uma taxa de decomposição muito lenta (Bayer et al., 2001), em função da maior resistência proporcionada pelos três mecanismos de proteção (Roscoe e Machado, 2002). Rangel e Silva (2007) observaram em diferentes sistemas de manejo, uma contribuição média da FP de 94% do carbono orgânico do solo, comprovando a maior estabilidade desta fração.

Além da influência do manejo das pastagens no estoque da MOS, tem-se verificado efeito na qualidade da MOS e nas suas frações físicas, como constatado por Potes (2009), que verificou em um Cambissolo, aumento da recalcitrância química da matéria orgânica da FLO em área submetida periodicamente à queima no final do inverno.

Em Latossolo da região dos Campos de Cima da Serra, RS, sob pastagem natural foram constatadas diferenças nos compartimentos húmicos da MOS em função do tipo de manejo (Santana et al., 2010). No ambiente sob maior período submetido a queima, ocorreu proporcionalmente a formação preferencial de ácidos fúlvicos, enquanto o melhoramento do solo promoveu a formação de humina.

A fim de complementar esses resultados e obter informações sobre a dinâmica da MOS nos ambientes estudados por Santana et al. (2010), este trabalho teve como objetivos principais investigar o efeito do manejo da pastagem na distribuição da MOS em compartimentos físicos e na sua qualidade. A fim de investigar a contribuição do tipo de vegetação nativa da área foi estudada uma área de mata nativa.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Localização da área e coleta do solo

O trabalho foi realizado no município de André da Rocha, RS (28°38'S e 51°34'O), localizado numa altitude de 900 m. O clima da região é mesotérmico, com verões amenos, temperatura média de 14,1°C e precipitação de 2470 mm ano⁻¹ (Streck et al., 2008). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico de origem basáltica e textura argilosa (Embrapa, 2006). A vegetação natural representa uma zona de transição entre o campo e a mata de *Araucaria* sp, com grande cobertura e dominância de gramíneas cespitosas (Heringer, 2000). Os ambientes selecionados para as avaliações constaram de mata nativa (MN); pastagem nativa sem queima e sem roçada há 41 anos e com lotação de 1,2 animais ha⁻¹ (PN), pastagem nativa sem queima há 8 anos e com lotação de 0,5 animal ha⁻¹ (PQ), e, pastagem nativa sem queima há 41 anos e melhorada com lotação de 1,2 animais ha⁻¹ (PM). Este ambiente recebeu aplicação de calcário por um período de sete anos (totalizando 8 Mg ha⁻¹) e 200 kg ha⁻¹ de adubo da fórmula 05-30-15 até o quarto ano. Posteriormente, realizou-se adubação de manutenção onde foram aplicados 100 kg ha⁻¹ da mesma formulação, por um período de 10 anos, quando foi realizada a coleta.

Em cada ambiente foi selecionada uma área representativa de 150 x 150 m em posição semelhante na paisagem e, aleatoriamente, foram coletadas amostras deformadas de solo na camada de 0-5 cm, em triplicata em cada trincheira para compor uma amostra composta de cada repetição de campo (três repetições). As amostras de solo foram destorroadas, secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm.

5.2.2 Determinação dos estoques de carbono e nitrogênio do solo

Os teores de carbono e de nitrogênio do solo foram determinados em amostras de solo moídas em gral de ágata por combustão seca (Perkin Elmer 2400).

Os estoques de carbono (COT) e nitrogênio (NT) (Mg ha^{-1}) do solo foram calculados em massa equivalente de solo (Ellert e Bettany, 1995). Para estes cálculos, foi considerada o ambiente a PN como referência entre os ambientes de pastagens. Os valores de densidade do solo encontram-se descritas em Dick et al. (2008).

5.2.3 Fracionamento físico densimétrico da MOS

O fracionamento físico densimétrico da MOS foi realizado segundo Conceição et al. (2008) com agregados de diâmetro menor que 2,0 mm.

Preparou-se uma suspensão com 10 g de solo e 80 mL de solução de politungstato de sódio (PTS) com densidade de $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ em tubo de centrífuga de 100 mL. O tubo foi fechado com rolha e invertido lenta e manualmente por cinco vezes, para a liberação da Fração Leve Livre (FLL – MOS) localizada entre os agregados. A suspensão foi centrifugada a 2000 g por 90 minutos e o sobrenadante contendo a FLL foi filtrado sob vácuo, em filtro de fibra de vidro (Whatman GF/A) previamente pesado. Posteriormente o material retido no filtro foi lavado com água destilada seguido de solução CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) para remover o PTS, e finalmente com água destilada (200 mL) para remover o CaCl_2 das frações. A solução de PTS filtrada foi re-adicionada ao precipitado (solo) o qual foi submetido à sonicação (Vibracel. VC, 750) a 630

J mL⁻¹ para romper os agregados e liberar a fração leve oclusa (FLO). Após a dispersão, a suspensão foi centrifugada e filtrada conforme realizado com a FLL. O solo residual (fração pesada, FP) que permanece no tubo após separação das frações leves (FL) foi lavado com água destilada (200 mL) e solução de CaCl₂ (200 mL). As frações leves (livre e oclusa) e a FP foram secas à 50°C em estufa até peso constante, pesadas e trituradas.

Os teores de C e de N das frações leves (FLL e FLO) foram determinados por análise elementar (Perkin Elmer 2400). O teor de C e de N contido na FP foi obtido por diferença entre o teor de C e de N do solo e o teor de C e N das frações leves.

Após descontado o peso do filtro, os cálculos dos estoques de C e de N (Mg ha⁻¹) das frações físicas da MOS foram realizados conforme feito para o solo inteiro.

5.2.4 Análise espectroscópica das frações físicas da MOS

As frações físicas da MOS foram tratadas com ácido fluorídrico (HF) 10% (v/v) (Gonçalves et al., 2003) e analisadas em duplicatas por espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) (Shimadzu FTIR 8300) em pastilhas de KBr (1 mg amostra : 100 mg KBr) empregando-se 32 scans e resolução de 4 cm⁻¹, no intervalo de 4000 a 400 cm⁻¹. A atribuição das bandas de absorção foi realizada segundo Tan (1996), sendo calculado o índice de aromaticidade (I_{1630}/I_{2920}) (Cheftetz et al., 1996), que relaciona a intensidade de absorção em torno de 1630 cm⁻¹, atribuída aos grupos aromáticos, com aquela em 2920 cm⁻¹, que representa os grupos alifáticos.

A intensidade foi obtida pelo programa do espectrômetro, após estabelecer a linha de base entre 1696 e 1530 cm⁻¹ e entre 3000 e 2800 cm⁻¹, respectivamente. As intensidades relativas das principais bandas de absorção foram calculadas segundo Gerzabek et al. (2006), dividindo-se a intensidade corrigida de um dado pico (p.ex. em torno de 2920, 1720, 1630, 1540, 1455 e 1045 cm⁻¹) pela soma das intensidades de todos os picos e multiplicando-se por 100%. Os limites (cm⁻¹) para determinação da base para cada pico foram estabelecidos como segue (base1/pico/base2): 3000/2920/2800;

1800/1720/1700; 1700/1630/1500; 1560/1540/1490; 1500/1455/1400 e 1190/1045/900.

5.2.5 Análise termogravimétrica das frações físicas da MOS

A análise termogravimétrica das FLL e FLO, previamente tratadas com HF 10%, foi realizada sob atmosfera de ar estático, utilizando-se entre 5 a 10 mg de amostra (TGA-Q50 TA Instruments). O peso inicial foi estabilizado a 45°C e a razão de aquecimento foi de 20°C min⁻¹ até temperatura de 105°C com um tempo de espera de 5 minutos, posteriormente a razão de aquecimento foi de 10°C min⁻¹ até 700°C. As curvas de termodecomposição foram divididas em quatro regiões de acordo com a perda de massa ao longo do aquecimento. Foi calculado o índice de recalcitrância pela razão entre a perda de massa no terceiro intervalo (350-600°C) e do segundo intervalo (105-350°C) de temperatura (Benites et al., 2005). O maior valor do índice indica maior recalcitrância química do material estudado.

5.2.6 Análise estatística

Os resultados do fracionamento densimétrico e intensidades relativas dos espectros de FTIR foram analisados por meio de estatística descritiva, obtendo-se a média e o desvio padrão (1sd - 68,26% probabilidade de um valor estar a um desvio padrão da média) dos diferentes atributos avaliados.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Estoques de carbono e nitrogênio do solo

Os estoques de carbono do solo variaram entre 26 e 38 Mg ha⁻¹ nos ambientes estudados na profundidade de 0-5 cm (Tabela 9). Nos ambientes de pastagem, PQ apresentou estoque de carbono do solo (COT) semelhante a PN, indicando que a suspensão da queima há oito anos e com menor lotação de animais, permitiu o restabelecimento dos estoques de COT originais. O

melhoramento da fertilidade do solo em PM, também possibilitou a recuperação dos estoques de COT, e ainda, apresentou um acréscimo médio de $7,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C do solo em comparação a PN. Esse resultado se deve ao alto aporte de matéria seca neste ambiente (Tabela 1) (Heringer 2000) favorecendo o acúmulo de carbono do solo (Silva et al., 2004).

O ambiente MN apresentou estoque de COT semelhante ao de PN, porém não superou o de PM. Provavelmente, na camada superficial, a deposição de C ao solo pelo sistema radicular bem desenvolvido das gramíneas, se equipara a alta contribuição da serrapilheira para o acúmulo de carbono do solo no ambiente de mata (Mafra et al., 2008).

Os estoques de NT variaram entre 1 e 3 Mg ha^{-1} (Tabela 9). Conforme ocorrido com C, no ambiente PM o estoque de N foi maior em relação ao observado em PQ. A relação C/N variou de 16 a 19, não havendo diferença entre os ambientes.

TABELA 9. Estoque de carbono (COT), de nitrogênio (NT) e relação C/N do solo, na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambiente | COT | NT | C/N |
|----------|---------------------------------|-----------------|--------------|
| | ----- Mg ha^{-1} ----- | | |
| PN | $30,33 \pm 5,31$ | $1,77 \pm 0,31$ | $17 \pm 3,0$ |
| PQ | $26,69 \pm 2,78$ | $1,42 \pm 0,04$ | $19 \pm 1,6$ |
| PM | $37,77 \pm 4,98$ | $2,13 \pm 0,23$ | $18 \pm 2,2$ |
| MN | $32,45 \pm 1,42$ | $2,09 \pm 0,65$ | $14 \pm 3,7$ |

Média \pm desvio padrão (1sd)

5.3.2 Distribuição das frações físicas da matéria orgânica do solo

A distribuição percentual da massa das frações físicas da MOS apresentou mesmo comportamento entre os ambientes e cresceu em geral na ordem $\text{FLO} < \text{FLL} < \text{FP}$ (Figura 2).

Entre os ambientes de pastagem a massa da FLL decresceu na ordem de $\text{PM} > \text{PN} > \text{PQ}$ (Apêndice 5) e a mesma tendência se verificou na distribuição percentual (Figura 2). A distribuição percentual da FLO seguiu o

comportamento, $PM > PN > PQ$. Esses resultados indicam que a maior produção de forragem no ambiente PM, favorecido pela adubação e calagem do solo, reflete-se no incremento das frações livres nesse ambiente, quando comparado aos demais.

Para a FP, a distribuição percentual variou entre 93 e 96% nos ambientes de pastagem e foi inversa à verificada com as FL: $PM < PN \sim PQ$.

O ambiente de MN apresentou maior proporção de massa das FL (33% de FLL, 67% de FLO), em relação à média das pastagens (Apêndice 5).

A maior contribuição das FL no ambiente MN, principalmente para FLL, pode ser atribuída à maior resistência à decomposição dos resíduos vegetais de mata, devido a sua granulometria mais grosseira e maior recalcitrância química (Rangel e Silva, 2007) comparativamente aos ambientes de pastagem.

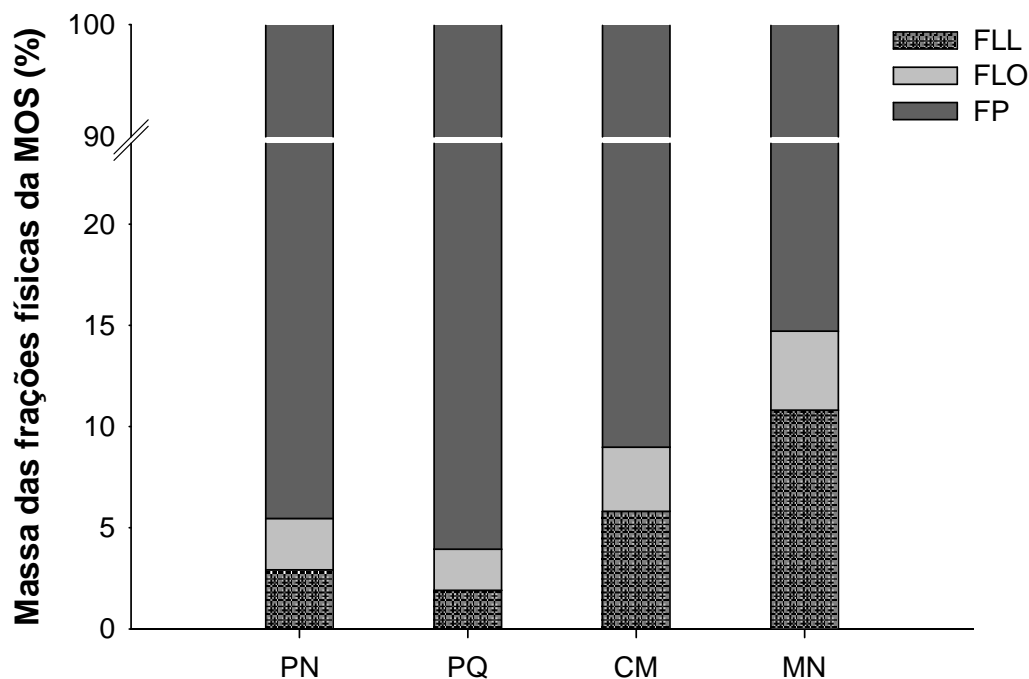


FIGURA 2. Distribuição percentual da massa das frações leve livre (FLL) leve oclusa (FLO) e pesada (FP) da matéria orgânica do solo, na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

5.3.3 Estoques de carbono e nitrogênio nas frações físicas da matéria orgânica do solo

O estoque de C na FLL variou entre 2 a 8 Mg ha⁻¹ entre os ambientes em estudo na profundidade de 0-5 cm (Tabela 10). Nos ambiente sob pastagem, o estoque de C na FLL foi mais alto em PM, o que é devido à maior proporção desta fração nesse ambiente em comparação aos demais (Figura 2).

Quanto ao estoque de C na FLO, a amplitude de variação entre os ambientes foi menor do que em FLL, sendo os maiores estoques também observados na pastagem nativa melhorada (Tabela 10). Este resultado sugere que a prática de adubação e calagem, ao estimular a produção de forragem, promove o desenvolvimento do sistema radicular, o qual é responsável pelo mecanismo de proteção da MOS por oclusão (Salton et al., 2008).

O estoque de C na FP, nos ambientes de pastagem, variou entre 17 e 26 Mg ha⁻¹ (Tabela 10) e representa a maior parte do C do solo, o que é devido a maior proteção dessa fração em virtude dos três mecanismos de proteção: recalcitrância química, oclusão dentro dos agregados e interação com minerais (Conceição et al., 2008). Não houve diferença entre os ambientes estudados e, esse resultado corrobora com outros trabalhos, indicando que esta fração é menos afetada pelo manejo e uso do solo em relação às frações leves (Freixo et al., 2002; Rangel e Silva, 2007; Potes, 2009).

O solo sob mata apresentou maior estoque de C na FLL quando comparado com os sistemas de pastagem, superando em até 5,0 Mg ha⁻¹ a PN, porém não diferiu do ambiente PM. Comportamento semelhante ocorreu com os estoques de C na FLO, superando os valores observados em PN e PQ (Tabela 10). Por outro lado, esse ambiente apresentou o menor estoque de C na FP dos ambientes em estudo, concordando com os resultados obtidos em Cambissolo sob pastagem e mata (Potes, 2009).

O estoque de N na FLL variou de 0,08 a 0,62 Mg ha⁻¹, e entre os ambientes em estudo decresceu na ordem MN>PM>PN>PQ (Tabela 10). O ambiente PQ apresentou os menores estoques de N nas três frações, mostrando um empobrecimento de N em ambiente mais recentemente afetado pelo fogo. Este resultado pode estar relacionado à menor diversidade de

espécies nesse ambiente, principalmente de leguminosas (Jacques, 2003). O estoque de N na FP não apresentou diferença entre os ambientes.

Entre os ambientes de pastagem, os maiores valores de C/N na FLL e FLO ocorreram em PQ confirmando a depleção relativa de N (Tabela 10). Não houve diferença da relação C/N nas FL entre os ambientes PN e PM, suportando a hipótese de que a diferença entre os estoques de C nesses ambientes é devido à maior produção de forragem, não estando relacionado à composição da vegetação. A relação C/N na FP não apresentou diferença entre os ambientes (Tabela 10), o que era esperado uma vez que esta fração apresenta produtos de origem microbiana e encontra-se em estágio mais avançado de decomposição (Tomazi, 2008).

A MN apresentou maior relação C/N na FLO, conferindo com os resultados obtidos anteriormente e indicando maior recalcitrância neste ambiente, no entanto, na FLL essa relação foi inversa.

5.3.4 Relação entre o estoque de C nas frações e o COT do solo

Em geral, a contribuição das frações físicas da MOS nos estoques de COT do solo (Figura 3) aumentou na mesma ordem das massas das frações, $FLO < FLL < FP$ (Figura 2). A proporção de C na FP foi maior em relação à contribuição das demais frações (57 a 88%) (Apêndice 6), em virtude da maior estabilidade proporcionada pelos mecanismos de proteção da MOS, já discutidos anteriormente.

Entre os ambientes de pastagem, PM apresentou maior proporção do estoque de C na FLL (19%), porém não diferenciou de PN, corroborando os resultados da Tabela 10. Em relação à proporção do C_{FLO}/COT , não houve diferença entre os sistemas de pastagem.

A proporção de C_{FP} em relação ao COT foi semelhante entre os ambientes de pastagem, comprovando que esta fração é menos afetada pelos sistemas de manejo.

No ambiente de MN, o estoque de C na FLL representou 28% do COT do solo e foi superior aos demais ambientes, resultante da maior massa dessa fração decorrente do maior aporte de resíduo neste ambiente. A menor

proporção do C_{FP}/COT (57%) no ambiente de mata é resultante da maior contribuição das frações leves (28 e 20%).

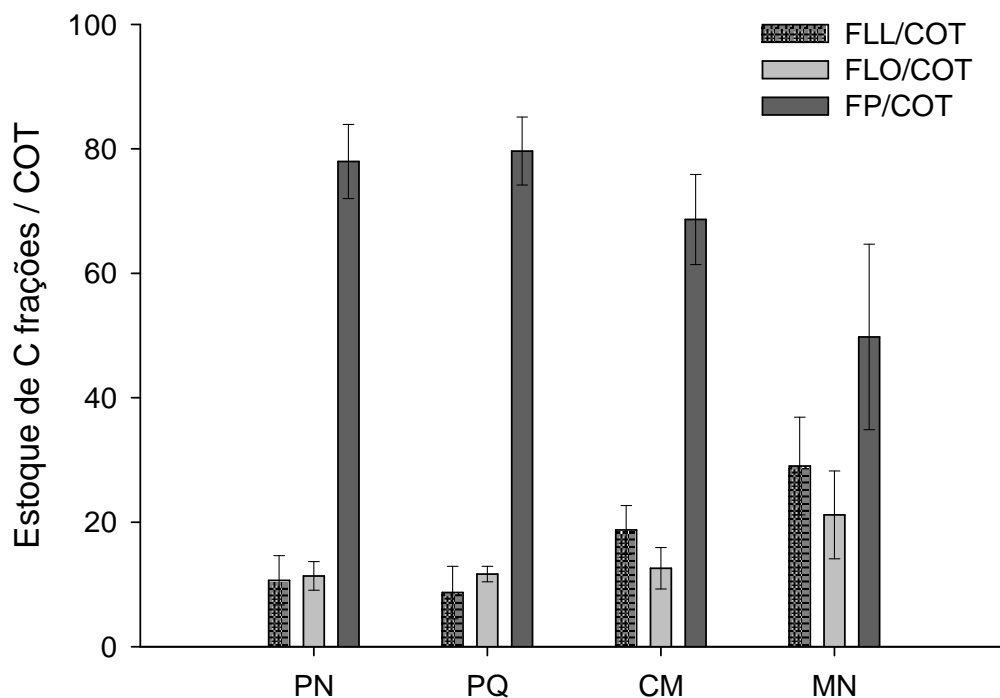


FIGURA 3. Relação do estoque de carbono das frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e fração pesada (FP) da matéria orgânica do solo com o estoque de carbono do solo (COT), na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

TABELA 10. Estoque de carbono e nitrogênio nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) da matéria orgânica do solo e, respectivas relações C/N, na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Carbono | | | Nitrogênio | | | C/N | | |
|-----------|---------------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|
| | FLL | FLO | FP | FLL | FLO | FP | FLL | FLO | FP |
| | ----- Mg ha ⁻¹ ----- | | | | | | | | |
| PN | 3,18 ± 1,08 | 3,38 ± 0,39 | 23,77 ± 5,56 | 0,19 ± 0,06 | 0,24 ± 0,04 | 1,35 ± 0,22 | 17 ± 0,6 | 14 ± 1,1 | 20 ± 4,0 |
| PQ | 2,24 ± 0,92 | 3,09 ± 0,05 | 21,35 ± 3,70 | 0,08 ± 0,02 | 0,16 ± 0,01 | 1,18 ± 0,04 | 28 ± 6,1 | 19 ± 1,6 | 20 ± 1,8 |
| PM | 6,98 ± 0,90 | 4,66 ± 0,71 | 26,13 ± 5,66 | 0,39 ± 0,04 | 0,34 ± 0,07 | 1,40 ± 0,19 | 18 ± 0,5 | 14 ± 0,9 | 23 ± 2,3 |
| MN | 8,33 ± 1,01 | 6,05 ± 1,10 | 17,17 ± 6,45 | 0,62 ± 0,07 | 0,34 ± 0,07 | 1,32 ± 0,52 | 13 ± 0,2 | 18 ± 0,6 | 17 ± 9,8 |

Média ± desvio padrão (1sd)

5.3.5 Comportamento espectral das frações físicas da matéria orgânica do solo

Os espectros de FTIR foram semelhantes entre as frações e ambientes estudados (Figura 4) e as principais bandas identificadas foram: 3405 cm^{-1} de estiramento O-H, 2920 cm^{-1} e 1383 cm^{-1} de estiramento C-H de grupos alifáticos, 1720 cm^{-1} de estiramento C=O de grupos carboxílicos, 1643 cm^{-1} de estiramento C=C de grupos aromáticos, 1540 cm^{-1} de estiramento C=N e deformação N-H, 1260 cm^{-1} de estiramento C-O de ácido carboxílico e 1045 cm^{-1} de estiramento C-O de carboidrato.

As diferenças observadas entre as frações físicas e entre os ambientes se referem às intensidades relativas (IR) e aos índices de aromaticidade (Tabela 11).

Nos ambientes de pastagem, a FLL apresentou maior IR_{2920} e menor IR_{1630} no ambiente PQ em relação à PN. Esse resultado se refletiu no menor índice de aromaticidade no ambiente PQ (Tabela 11), indicando enriquecimento relativo de grupos alifáticos não-substituídos, que está relacionado ao tipo de vegetação nesse ambiente (Dick et al., 2008).

No ambiente MN, a FLL apresentou maior valor de IR_{1720} e menor de IR_{1045} em comparação ao ambiente PN, indicando formação preferencial de ácidos carboxílicos em ambiente de mata e de carboidratos em ambiente de pastagem nativa sem melhoramento. Marín-Spiota et al. (2008) observaram por espectroscopia RMN de ^{13}C maior proporção de grupos carboidratos em ambiente de pastagem quando comparado a floresta. O maior índice de aromaticidade na FLL foi verificado no ambiente MN, corroborando com a hipótese de que compostos presentes neste ambiente são de difícil decomposição. Em relação à FLO, a MN apresentou maior IR_{2920} e IR_{1720} em comparação a PN e PM, respectivamente, e, menor IR_{1045} em relação aos ambientes de pastagem.

Em geral, não foram observadas diferenças entre os distintos sistemas de manejo na FP quanto às intensidades relativas.

Entre as frações físicas, as principais diferenças ocorreram para IR_{2920} , IR_{1630} e IR_{1045} . A FP apresentou, em média, IR_{2920} e IR_{1045} menores do

que das frações leves e maior IR_{1630} , indicando enriquecimento dos grupamentos aromáticos e consumo de carboidratos com o avanço da humificação (Zech et al., 1997). Esta afirmação é corroborada pelos maiores valores da razão I_{1630}/I_{2920} , que foram superiores em FP.

5.3.6 Decomposição térmica das frações físicas da matéria orgânica do solo

A perda de massa no intervalo de temperatura de 45-105°C corresponde à perda de água e variou de 3,6 a 4,7% na massa das frações leves da MOS (FLL e FLO) (Tabela 12). No segundo intervalo de temperatura, que corresponde à decomposição de cadeias alifáticas e grupos funcionais, e no terceiro intervalo onde ocorre a decomposição de anéis aromáticos, houve as maiores perdas de massa: 34 a 51%. No intervalo de 600 a 700°C as perdas de massas foram baixas (0,4 a 1,1%) e o resíduo para $T > 700^\circ\text{C}$ foi $\leq 18\%$.

O índice de recalcitrância ($m_{(3^\circ)}/m_{(2^\circ)}$), nas frações leves variou de 0,9 a 1,5. Para cada ambiente, a FLO apresentou maior valor em relação à FLL, indicando maior recalcitrância daquela fração. Esse resultado era esperado uma vez que a FLO encontra-se num estágio mais avançado de decomposição do que a FLL (Boeni, 2007). No ambiente de MN os elevados valores de ($m_{(3^\circ)}/m_{(2^\circ)}$) observados nas duas FL, comparativamente aos ambientes de pastagem, confirmam a maior recalcitrância da vegetação original de mata (Dick et al., 2008).

Os valores similares do índice (m_{3°/m_{2°) para FLO no PQ indica a ausência de material carbonizado nessa fração. Esse resultado contrasta com o obtido por Potes (2009) em FLO de Cambissolo submetido periodicamente a queima. Infere-se, portanto que, caso tenha havido formação de carbono pirogênico em PQ, este já foi decomposto em 8 anos de suspensão da queima, ou foi suficientemente diluído que não é mais detectado pela técnica de TGA.

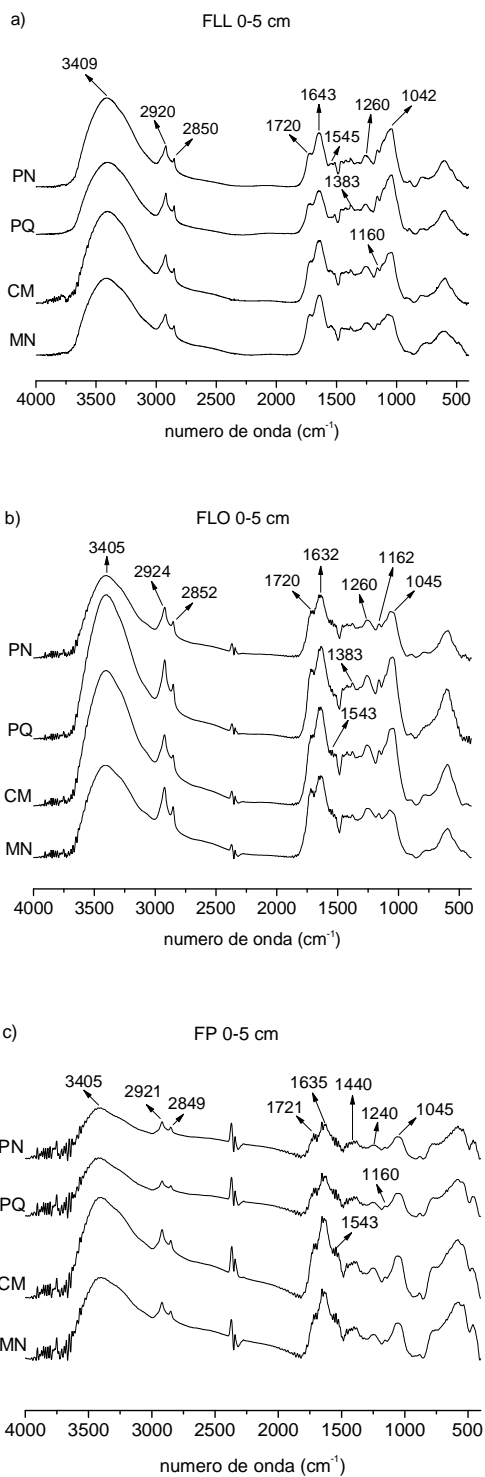


FIGURA 4. Espectros de FTIR das frações: leve livre (FLL) (a), leve oclusa (FLO) (b) e pesada (FP) (c) da MOS tratadas com HF, na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

TABELA 11. Intensidade relativas e índice de aromaticidade (FTIR) das frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) da MOS tratadas com HF, na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambiente | Fração | Intensidade relativa/banda | | | | | | I_{1630}/I_{2920} |
|-----------------------|--------|----------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | IR ₂₉₂₀ | IR ₁₇₂₀ | IR ₁₆₃₀ | IR ₁₅₄₀ | IR ₁₄₅₅ | IR ₁₀₄₅ | |
| | | ----- % ----- | | | | | | |
| PN | FLL | 18,42 ± 0,79 | 7,78 ± 1,98 | 22,25 ± 2,24 | 8,30 ± 0,88 | 9,95 ± 0,35 | 33,29 ± 0,18 | 1,21 ± 0,07 |
| PQ | | 21,92 ± 1,80 | 9,62 ± 1,90 | 17,77 ± 0,42 | 6,52 ± 1,26 | 10,64 ± 0,91 | 33,52 ± 2,70 | 0,81 ± 0,09 |
| PM | | 19,15 ± 2,64 | 11,39 ± 2,58 | 22,38 ± 3,84 | 7,50 ± 1,37 | 10,59 ± 1,81 | 28,98 ± 0,72 | 1,17 ± 0,04 |
| MN | | 18,83 ± 1,24 | 11,34 ± 0,17 | 27,74 ± 2,06 | 7,88 ± 2,00 | 10,91 ± 0,02 | 23,30 ± 1,50 | 1,47 ± 0,01 |
| Média ± desvio | | 19,58 ± 1,98 | 10,03 ± 2,13 | 22,53 ± 4,21 | 7,55 ± 1,29 | 10,52 ± 0,86 | 29,77 ± 4,60 | 1,16 ± 0,25 |
| PN | FLO | 23,66 ± 1,89 | 10,90 ± 0,58 | 22,09 ± 0,74 | 6,44 ± 0,99 | 10,52 ± 1,11 | 26,38 ± 1,54 | 0,94 ± 0,11 |
| PQ | | 24,65 ± 1,78 | 12,30 ± 0,02 | 20,96 ± 0,69 | 3,71 ± 0,54 | 9,36 ± 0,28 | 29,03 ± 0,30 | 0,85 ± 0,09 |
| PM | | 23,40 ± 3,56 | 9,83 ± 0,59 | 22,09 ± 1,95 | 7,46 ± 0,15 | 9,55 ± 0,47 | 27,65 ± 0,40 | 0,98 ± 0,33 |
| MN | | 30,05 ± 4,08 | 13,34 ± 2,78 | 23,46 ± 0,70 | 5,01 ± 2,00 | 11,91 ± 0,09 | 16,23 ± 0,09 | 0,79 ± 0,08 |
| Média ± desvio | | 25,44 ± 3,91 | 11,59 ± 1,81 | 22,15 ± 1,48 | 5,65 ± 1,75 | 10,34 ± 1,19 | 24,82 ± 5,43 | 0,89 ± 0,16 |
| PN | FP | 16,63 ± 2,00 | 12,87 ± 3,32 | 26,37 ± 1,14 | 8,27 ± 2,13 | 13,29 ± 0,35 | 22,56 ± 4,24 | 1,60 ± 0,22 |
| PQ | | 13,54 ± 2,95 | 12,26 ± 2,58 | 28,39 ± 2,58 | 7,81 ± 2,21 | 15,36 ± 2,58 | 22,14 ± 1,84 | 2,17 ± 0,66 |
| PM | | 16,17 ± 0,97 | 11,75 ± 0,72 | 26,88 ± 3,05 | 9,66 ± 0,94 | 12,46 ± 3,03 | 23,09 ± 0,72 | 1,67 ± 0,29 |
| MN | | 15,91 ± 1,55 | 11,43 ± 0,60 | 29,81 ± 0,26 | 9,06 ± 2,94 | 12,06 ± 1,34 | 21,74 ± 0,37 | 1,88 ± 0,17 |
| Média ± desvio | | 15,56 ± 1,98 | 12,20 ± 1,76 | 27,86 ± 2,13 | 8,70 ± 1,80 | 13,29 ± 2,10 | 22,38 ± 1,85 | 1,83 ± 0,38 |

Média ± desvio padrão (1sd)

TABELA 12. Perda de massa das frações leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO), da MOS tratadas com HF, em quatro intervalos de temperatura, resíduo e relação entre a perda de massa no terceiro e no segundo intervalo de temperatura (m_3^0/m_2^0), na camada de 0-5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem nativa queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Fração | Intervalo de temperatura | | | | Resíduo T=700°C | Índice m(3°)/m(2°) |
|-----------|--------|--------------------------|----|----|-----|--------------------|-----------------------|
| | | 1° | 2° | 3° | 4° | | |
| | | ----- % ----- | | | | | |
| PN | FLL | 4,4 | 39 | 36 | 0,6 | 18 | 0,92 |
| PQ | | 4,6 | 43 | 39 | 0,4 | 11 | 0,91 |
| PM | | 4,7 | 40 | 37 | 1,1 | 16 | 0,92 |
| MN | | 3,6 | 34 | 43 | 0,8 | 18 | 1,27 |
| PN | FLO | 4,2 | 37 | 43 | 0,7 | 14 | 1,16 |
| PQ | | 4,7 | 38 | 42 | 0,7 | 13 | 1,10 |
| PM | | 4,5 | 37 | 43 | 1,1 | 13 | 1,16 |
| MN | | 3,6 | 34 | 51 | 0,6 | 9,2 | 1,50 |

Intervalo de temperatura 1° = 45-105°C; 2° = 105-350°C; 3° = 350-600°C; 4° = 600-700°C; $m(3^0)/m(2^0)$ = índice de recalcitrância

5.4 Conclusões

O melhoramento da fertilidade do solo favorece o acúmulo de carbono no solo e nas frações leves da matéria orgânica do solo.

A suspensão da queima há 8 anos não foi suficiente para o restabelecimento do estoque de carbono e nitrogênio do solo. Efeitos do fogo nesse ambiente se manifestaram na redução da quantidade e no aumento da aromaticidade da fração leve livre. A maior contribuição das frações físicas para o carbono total do solo foi proporcionado pela fração pesada, que foi menos afetada pelos sistemas de manejo da pastagem.

O tipo de vegetação nativa afetou a proporção das frações físicas e de sua qualidade, sendo que a presença de compostos mais recalcitrantes no ambiente de mata favoreceu o acúmulo de fração leve livre.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMENDROS, G.; KNICKER, H.; GONZALEZ-VILA, J.F. Rearrangement of carbon and nitrogen forms in peat after progressive thermal oxidation as determined by solid-state ^{13}C - and ^{15}N -NMR spectroscopy. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 34, n. 11, p. 1559-1568, 2003.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. F.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p.1471-1478, 2008.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, n. 5, v. 65, p.1473-1478, 2001.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO L.; ERNANI, P. R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 238, p. 133-140, 2002.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237–245, 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e funções da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L.; CANELLAS, L. P. ; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. rev., atual. e amp. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-16.

BEHLING, H.; PILLAR, V.P. Late quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazil highland and their implication for conservation and management of modern araucaria forest and grassland ecosystems. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v. 362, p. 243-251, 2007.

BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFFER, C. E. G. R.; NOVOTNY, E. H.; REIS, E. L.; KER, J. C. Properties of black soil humic acids from high

altitude rocky complexes in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 127, n. 1-2, p. 104-113, 2005.

BOENI, M. **Proteção física da matéria orgânica em solos de Cerrado afetada pela pastagem**. 2007. 136 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

BRYE, K. R. Soil physiochemical changes following 12 years of annual burning in a humid-subtropical tallgrass prairie: a hypothesis. **Acta Oecologica**, Paris, v.30, n. 3, p.407- 413, 2006.

BUURMAN, P.; JONGMANS, A.G. Podzolisation and soil organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 125, n. 1-2, p. 71-83, 2005.

CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, Heidelberg, v. 143, n. 1, p. 1-10, 2005.

CHEFETZ, B.; HATCHER, P.; HADAR, Y.; CHEN, Y. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 25, n. 4, p. 776-785, 1996.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v.20, p. 1-90, 1992.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal Soil Science**, Dordrecht, v. 52, n. 3, p. 345-353, 2001.

CONCEIÇÃO, P. C. **Agregação e proteção física da matéria orgânica em solos tropicais e subtropicais**. 2006. 138 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 541-549, 2008.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

De La ROSA, J. M.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A.; GONZÁLEZ-VÁZQUEZ, R.; KNICKER, H.; LÓPEZ-CAPEL, E.; MANNING, D. A. C.; GONZÁLEZ-VILA, F. J. Use of pyrolysis/GC-MS combined with thermal analysis to monitor C and N changes in soil organic matter from a Mediterranean fire affected forest. **Catena**, Amsterdam, v. 74, n. 3, p. 296-303, 2008.

DICK, D. P.; GOMES, J.; ROSINHA, P. B. Caracterização de substâncias húmicas extraídas de solos e de lodo orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 603-611, 1998.

DICK, D. P.; BURBA, P.; HERZOG, H. Influence of extractant and soil type on molecular characteristics of humic substances from two Brazilian soils. **Journal Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 140-145, 1999.

DICK, P. D.; FERRANTI, E. M.; SANTOS, J. H. Chemical characterization and infrared spectroscopy of soil organic matter from two southern Brazilian soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 29-39, 2003.

DICK, D. P.; GONÇALVES, C. N.; DALMOLIN, R. S. D.; KNICKER, H.; KLAMT, E.; KÖGEL-KNABNER, I.; SIMÕES, M. L., MARTIN-NETO, L. Characteristic of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as a function of soil depth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 3-4, p. 319-333, 2005.

DICK, D. P.; MARTINAZZO, R. Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: composição, reações e técnicas de caracterização. In: POLETO, C.; MERTEN, G. (Org.). **Qualidade de Sedimentos**. Porto Alegre: 2006, v. 1, p. 65-80.

DICK, D. P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R. S. D.; JACQUES, A. V. A.; MIELNICZUK, J.; ROSA, A. S. Impacto da queima nos atributos químicos do solo, na composição da matéria orgânica e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 633-640, 2008.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.) **Química e mineralogia do solo**. 1. ed. Viçosa: SBCS, 2009. p. 1-67.

DOBBSS, L.B.; RUMJANECK, V.M.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X.; CANELLAS, L.P. Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos e fúlvicos isolados da camada superficial de Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 51-63, 2009.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 529-538, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

FERNÁNDEZ, I.; CABANEIRO, A.; CARBALLAS, T. Organic matter changes immediately after a wildfire in an atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam v. 29, n. 1, p. 1-11, 1997.

FERREIRA, P. F.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 381-388, 2007.

FERREIRA E. T.; NABINGER, C.; FREITAS, A. D.; ELEJALDE, D. G.; SCHIMITT, F.; BRAMBILLA, D. M. Melhoramento do campo nativo: tecnologias e o impacto no sistema de produção. In: CICLO DE PALESTRAS EM PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS, 13., Canoas, 2008. **Anais...** Canoas: Ulbra, 2008. p. 27-87.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 425-434, 2002.

FUENTES, J.P.; BEZDICEK, D.F.; FLURY, M.; ALBRECHT, S. SMITH, J.L. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, p. 123-131, 2006.

FYNN, R. W. S.; HAYNES, R. J.; O'CONNOR, T. G. Burning causes long-term changes in soil organic matter content of a South African grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 35, n. 5, p. 677-687, 2003.

GERZABEK, M. H.; ANTIL, R. S.; KOÜGEL-KNABNER, I.; KNICKER, H.; KIRCHMANN, H.; HABERHAUER, G. How are soil use and management reflected by soil organic matter characteristics: a spectroscopic approach. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 57, n. 4, p. 485-494, 2006.

GONÇALVES, C. N.; DALMOLIN, R. S. D.; DICK, D. P.; KNICKER, H.; KLAMT, E.; KOEGEL-KNABNER, I. The effect of 10% HF treatment in the resolution of CP-MAS ^{13}C NMR spectra and on the quality of organic matter in Ferralsols. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, n. 3-4, p. 373-392, 2003.

GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; TORRADO, P. V.; COLNAGO, L. A.; MARTIN-NETO, L.; OTERO, X. L.; MILORI, D. M. B. P.; GOMES, F. H. ^{13}C NMR and FTIR spectroscopy characterization of humic acids in spodosols under tropical rain forest in southeastern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 146, n. 3-4, p. 425-433, 2008.

GRANDY, A.; ROBERTSON, G. Land-Use Intensity Effects on Soil Organic Carbon Accumulation Rates and Mechanisms. **Ecosystems**, New York, v. 10, n. 1, p. 59-74, 2007.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; COSTA, B. S. C. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL, 2. **Anais...** Canoas: Ulbra, 2007. p. 15-21.

HATTEN, J. A.; ZABOWSKI, D.; OGDEN, A.; THIES, W. Soil organic matter in a ponderosa pine forest with varying seasons and intervals of prescribed burn. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 7, p. 2555-2565, 2008.

HERINGER, I. **Efeitos do fogo por longo período e de alternativas de manejo sobre o solo e a vegetação de uma pastagem natural**. 2000. 208 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia/Plantas Forrageiras, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. A. Acumulação de forragem e material morto em pastagem nativa sob distintas alternativas de manejo em relação às queimadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 599-604, 2002.

INDA JUNIOR, A. V.; KÄMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1139-1147, 2003.

JACQUES, A. V. A. A queima das pastagens naturais: Efeitos sobre o solo e vegetação. **Ciência Rural**, Santa Maria, n. 1, v. 33, p. 177-181, 2003.

JACQUES, A. V. A.; NABINGER, C. **O ecossistema pastagens naturais. In: Simpósio de forrageiras e produção animal**, 1., Canoas, 2006. Anais... Canoas: Ulbra, 2006. p.07-10.

KLEBER, M.; SOLLINS, P.; SUTTON, R. A conceptual model of organo-mineral interactions in soils: self-assembly of organic molecular fragments into zonal structures on mineral surfaces. **Biogeochemistry**, Netherlands, v. 85, n. 1, p. 9-24, 2007.

KNICKER, H.; GONZÁLEZ-VILA, F. J.; POLVILLO, O.; GONZÁLEZ, J. A.; ALMENDROS, G. Wildfire induced alterations of the chemical composition of humic material in a Dystric Xerochrept under a Mediterranean pine forest (*Pinus pinaster* Aiton). **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 37, n. 4, p. 701-718, 2005.

KNICKER, H.; ALMENDROS, G.; GONZALEZ-VILA, F. J.; GONZALES-PEREZ, J. A.; POLVILLO, O. Characteristic alterations of quantity and quality of soil organic matter caused by forest fires in continental Mediterranean ecosystems: a solid-state ^{13}C NMR study. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 57, n. 4, p. 558-569, 2006.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry**, Netherlands, v. 85, n. 1, p. 91-118, 2007.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R. D.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. D.; BARROS, N. F. D.; MENDONÇA, E. D. S.; DEMOLINARI, M. D. S. M.; LEITE, F. P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1053-1063, 2008.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, n. 2, v. 32, p. 217-224, 2008.

MARÍN-SPIOTTA, E.; SWANSTON, C. W.; TORN, M. S.; SILVER, W. L.; BURTON, S. D. Chemical and mineral control of soil carbon turnover in abandoned tropical pastures. **Geoderma**, Amsterdam, v. 143, n. 1-2, p. 49-62, 2008.

MARTINS, E. L.; CORINGA, J. E. S.; WEBER, O. L. S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho

Amarelo distrófico – LVAd sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 3, p. 655-660, 2009.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Matéria Orgânica em Solos Desenvolvidos de Rochas Máficas no Nordeste de Roraima. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 1, p. 53-60, 2009.

NABINGER, C. Manejo e produtividade das pastagens naturais do subtropico brasileiro. In: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL, Porto Alegre, 2006. **Anais...** Canoas: Ulbra, 2006. p. 25-76.

NABINGER, C.; MARASCHIN, G. E.; MORAES, A. Campos in southern Brazil In: *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. Cambridge: University Press, p. 355-376, 1999.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R. Determinação de estoques total de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 2091-2100, 2008.

POTES, M. L. **Matéria orgânica e sua distribuição em compartimentos físicos em Neossolo Litólico sob pastagem e mata nativa nos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

POTES, M. L.; DICK, D. P.; DALMOLIN, R. S. D.; KNICKER, H.; ROSA, A. S. Matéria orgânica em Neossolos de altitude: influência da queima da pastagem e do tipo de vegetação na sua composição e teor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2010, submetido.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, J. C. P.; FERNANDES, V. B. B.; MAFRA, A. L.; ALMEIDA, J. A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 49-55, 2003.

RICHARDS, A. E.; DALAL, R. C.; SCHMIDT, S. Soil carbon turnover and sequestration in native subtropical tree plantations. **Soil Biology and Biochemistry**, New York, v. 39, n. 8, p. 2078-2090, 2007.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste: 2002. 86 p.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura pastagem em ambiente tropical**. 2005. 258 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; CARVALHO F. A.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SANT'ANNA, D. M.; NABINGER, C. Adubação e implantação de forrageiras de inverno em campo nativo. In: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL, 2. **Anais...** UFRGS, Porto Alegre, 2007, p. 123-156.

SANTANA, G. S.; DICK, D. P.; TOMAZI, M.; BAYER, C. Estoques de C e de N do solo e das frações físicas da matéria orgânica de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2010. (Submetido)

SANTÍN, C.; KNICKER, H.; FERNÁNDEZ, S.; MENÉNDEZ-DUARTE, R.; ÁLVAREZ, M.A. Wildfires influence on soil organic matter in an Atlantic mountainous region (NW of Spain). **Catena**, Amsterdam, v. 74, n. 3, p. 286-295, 2008.

SANTOS, C. A. A. **Matéria orgânica de Argissolo Vermelho e Latossolo Bruno sob diferentes sistemas de manejo e sob vegetação nativa: distribuição em frações físicas, qualidade e sorção do herbicida atrazina.** 2005. 204 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. **Zeitschrift fuer Pflanzenernährung Düng Bodenkdunde**, Weinheim, v. 105, p. 194-202, 1964.

SCHWERTMANN, U.; WAGNER, F.; KNICKER, H. Ferrihydrite-humic associations: magnetic hyperfine interactions, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, p. 1009-1015, 2005.

SHRESTHA, B. M.; CERTINI, G.; FORTE, C.; SINGH, B. R. Soil organic matter quality under different land uses in a mountain watershed of Nepal. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 72, p. 1563-1569, 2008.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SILVA, E. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 357-363, 2004.

SILVA, S. C.; NASCIMENTO JUNIOR, D. Sistema intensivo de produção de pastagens. In: **Congresso Latino-Americano de Nutrição Animal**, 2., 2006, São Paulo.

SILVA, L. B. **Quantificação e caracterização da matéria orgânica do horizonte A de solos sob pastagem nativa dos Campos de Cima da Serra, RS.** 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em

Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

SILVA, D. M.; BATALHA, M. A. Soil-vegetation relationships in cerrados under different fire frequencies. **Plant and Soil**, v. 311, n. 1/2, p. 87-96, 2008.

SILVA, L. B.; DICK, D. P.; INDA JUNIOR, A. V. Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e sua resistência à oxidação química. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1167-1171, 2008.

SPAGNOLLO, E. **Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos a queima e manejos dos resíduos culturais**. 2004. 186 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SPARKS, D. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press, 1995.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. Wiley, New York. 1994. 496p.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2a ed. UFRGS, Porto Alegre, 2008.

TAN, K. H. Infrared spectroscopy. In: TAN, H.K., ed. **Soil sampling, preparation and analysis**. New York, Marcel Dekker, p. 278-298, 1996.

TAN, Z.; LAL, R.; OWENS, L.; IZAURRALDE, R. C. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1-2, p. 53-59, 2007.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TINOCO, P.; ALMENDROS, G.; SANZ, J.; GONZÁLEZ-VÁZQUEZ, R.; GONZÁLEZ-VILA, F. J. Molecular descriptors of the effect of fire on soils under pine forest in two continental Mediterranean soils. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 37, n. 12, p. 1995-2018, 2006.

TOMAZI, M. **Estabilidade da matéria orgânica em Latossolos do cerrado sob sistemas de uso e manejo**. 2008. 108 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

TROMPOWSKY, P. M.; BENITES, V.M.; MADARI, B.E.; PIMENTA, A.S.; HOCKADAY, W.C.; HATCHER, P.G. Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 36, n. 11, p. 1480-1489, 2005.

VASCONCELOS, L. G. T. R.; KATO, O. R.; NASCIMENTO, E. P. Estoque de Carbono e Diversidade Florística de Vegetação de Pousio em Áreas Submetidas aos Sistemas de Corte-e-Queima e Corte-e-Trituração em

Marapanim, Nordeste Paraense. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 2558-2561, 2009.

VON LÜTZOW, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; EKSCHMITT, K.; FLESSA, H.; GUGGENBERGER, G.; MATZNER, E.; MARSCHNER, B. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 39, n. 9, p. 2183-2207, 2007.

WU, T.; SCHOENAU, J. J.; LI, F.; QIAN, P.; MALHI, S. S.; SHI, Y.; XU, F. Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 59-68, 2004.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, n. 1-4, p. 117-161, 1997.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, 2005.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Teores de carbono, nitrogênio e relação C/N do solo, teores de carbono nos compartimentos químicos da matéria orgânica do solo nas profundidades de 0-5, 0-20, 20-40 e 40-60 cm em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Prof. (cm) | C | N | C/N | C _{HCl} | C _{SHs} | C _{AF} | C _{AH} | C _{HU} |
|-----------|------------|------|------|--------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | % | | g kg ⁻¹ | | | | | |
| PN | 0-5 | 4,64 | 0,33 | 14,06 | 1,8 | 23,6 | 5,4 | 18,2 | 21,0 |
| | 0-5 | 5,79 | 0,29 | 19,97 | 1,9 | 20,1 | 4,1 | 16,0 | 35,9 |
| | 0-5 | 4,13 | 0,23 | 17,96 | 2,0 | 17,3 | 4,8 | 12,5 | 22,0 |
| | 0-20 | 2,87 | 0,14 | 20,50 | 2,8 | 21,2 | 6,7 | 14,5 | 4,7 |
| | 0-20 | 3,61 | 0,20 | 18,05 | 1,7 | 20,3 | 4,1 | 16,3 | 14,1 |
| | 0-20 | 3,17 | 0,16 | 19,81 | 2,9 | 16,3 | 4,3 | 11,9 | 12,6 |
| | 20-40 | 2,65 | 0,14 | 18,93 | 1,9 | 14,5 | 5,3 | 9,3 | 10,1 |
| | 20-40 | 2,62 | 0,06 | 43,67 | 1,4 | 12,2 | 5,6 | 6,6 | 12,5 |
| | 20-40 | 2,44 | 0,09 | 27,11 | 1,1 | 12,2 | 3,2 | 9,1 | 11,0 |
| | 40-60 | 1,75 | 0,04 | 43,75 | 1,5 | 12,3 | 3,6 | 8,7 | 3,7 |
| | 40-60 | 1,75 | 0,07 | 25,00 | 0,6 | 8,9 | 3,8 | 5,1 | 8,1 |
| | 40-60 | 1,99 | 0,05 | 39,80 | 1,3 | 9,2 | 2,4 | 6,8 | 9,4 |
| PQ | 0-5 | 3,92 | 0,22 | 17,82 | 0,8 | 18,8 | 4,6 | 14,3 | 19,5 |
| | 0-5 | 4,12 | 0,23 | 17,91 | 1,0 | 25,4 | 5,4 | 20,0 | 14,8 |
| | 0-5 | 4,77 | 0,23 | 20,74 | 0,9 | 15,7 | 6,9 | 8,9 | 31,1 |
| | 0-20 | 3,26 | 0,08 | 40,75 | 0,6 | 16,3 | 14,2 | 2,1 | 15,7 |
| | 0-20 | 3,15 | 0,09 | 35,00 | 0,9 | 21,2 | 14,0 | 7,2 | 9,5 |
| | 0-20 | 3,17 | 0,12 | 26,42 | 0,7 | 14,0 | 4,2 | 9,8 | 17,1 |
| | 20-40 | 2,32 | 0,08 | 29,00 | 0,4 | 14,6 | 12,5 | 2,2 | 8,2 |
| | 20-40 | 2,78 | 0,11 | 25,27 | 0,3 | 22,1 | 19,0 | 3,1 | 5,4 |
| | 20-40 | 2,44 | 0,13 | 18,77 | 0,2 | 22,4 | 15,8 | 6,5 | 1,9 |
| | 40-60 | 1,89 | 0,05 | 37,80 | 0,4 | 15,2 | 6,0 | 9,3 | 3,3 |

APÊNDICE 1. Continuação

| Ambientes | Prof. (cm) | C | N | C/N | C _{HCl} | C _{SHs} | C _{AF} | C _{AH} | C _{HU} | |
|-----------|------------|---------------|------|-------|--------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| | | ----- % ----- | | | ----- g kg ⁻¹ ----- | | | | | |
| PQ | 40-60 | 2,20 | 0,14 | 15,71 | 0,3 | 8,6 | 5,7 | 2,9 | 13,1 | |
| | 40-60 | 1,79 | 0,09 | 19,89 | 0,3 | 8,8 | 5,4 | 3,4 | 8,8 | |
| PM | 0-5 | 4,66 | 0,31 | 15,03 | 0,5 | 16,4 | 7,1 | 9,2 | 29,8 | |
| | 0-5 | 6,37 | 0,38 | 16,76 | 1,7 | 22,4 | 8,6 | 13,8 | 39,6 | |
| | 0-5 | 5,91 | 0,33 | 17,91 | 1,8 | 21,9 | 9,2 | 12,6 | 35,4 | |
| | 0-20 | 3,43 | 0,14 | 24,50 | 0,5 | 11,9 | 7,5 | 4,4 | 21,9 | |
| | 0-20 | 3,10 | 0,17 | 18,24 | 0,1 | 11,7 | 3,4 | 8,4 | 19,2 | |
| | 0-20 | 2,92 | 0,14 | 20,86 | 0,5 | 11,6 | 4,2 | 7,4 | 17,1 | |
| | 20-40 | 2,49 | 0,06 | 41,50 | 0,6 | 9,8 | 4,5 | 5,3 | 14,5 | |
| | 20-40 | 2,24 | 0,12 | 18,67 | 0,4 | 9,3 | 3,8 | 5,5 | 12,7 | |
| | 20-40 | 2,53 | 0,14 | 18,07 | 0,1 | 9,4 | 4,0 | 5,4 | 15,9 | |
| | 40-60 | 1,97 | 0,05 | 39,40 | 1,0 | 10,6 | 4,1 | 6,5 | 8,1 | |
| | 40-60 | 1,93 | 0,06 | 32,17 | 1,0 | 10,5 | 5,2 | 5,4 | 7,8 | |
| | 40-60 | 2,02 | 0,04 | 50,50 | 1,3 | 10,8 | 4,0 | 6,8 | 8,1 | |
| | MN | 0-5 | 6,23 | 0,50 | 12,46 | 2,2 | 22,7 | 9,0 | 13,7 | 37,4 |
| | | 0-5 | 6,73 | 0,53 | 12,70 | 1,6 | 24,4 | 9,8 | 14,5 | 41,3 |
| 0-5 | | 5,17 | 0,32 | 16,16 | 1,8 | 22,6 | 9,0 | 13,6 | 27,3 | |
| 0-20 | | 3,63 | 0,24 | 15,13 | 1,2 | 13,0 | 6,4 | 6,6 | 22,1 | |
| 0-20 | | 4,73 | 0,33 | 14,33 | 1,8 | 16,9 | 7,8 | 9,1 | 28,6 | |
| 0-20 | | 3,95 | 0,25 | 15,80 | 0,6 | 15,4 | 8,2 | 7,2 | 23,5 | |
| 20-40 | | 2,75 | 0,25 | 11,00 | 0,4 | 9,0 | 5,6 | 3,5 | 18,0 | |
| 20-40 | | 2,27 | 0,06 | 37,83 | 1,5 | 10,7 | 6,3 | 4,3 | 10,5 | |
| 20-40 | | 2,25 | 0,09 | 25,00 | 2,0 | 9,5 | 5,9 | 3,7 | 11,0 | |
| 40-60 | | 1,92 | 0,09 | 21,33 | 0,9 | 9,5 | 5,6 | 3,8 | 8,8 | |
| 40-60 | | 1,82 | 0,06 | 30,33 | 1,8 | 10,7 | 5,5 | 5,2 | 5,6 | |
| 40-60 | | 1,90 | 0,06 | 31,67 | 0,8 | 8,5 | 6,0 | 2,5 | 9,7 | |

APÊNDICE 2. Teores de $Fe_{(HCl)}$, $Fe_{(SHs)}$, $Fe_{(AF)}$, $Fe_{(AH)}$, $Al_{(HCl)}$, $Al_{(SHs)}$, $Al_{(AF)}$, $Al_{(AH)}$ nas profundidades de 0-5, 0-20, 20-40 e 40-60 cm em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Prof. (cm) | $Fe_{(HCl)}$ | $Fe_{(SHs)}$ | $Fe_{(AF)}$ | $Fe_{(AH)}$ | $Al_{(HCl)}$ | $Al_{(SHs)}$ | $Al_{(AF)}$ | $Al_{(AH)}$ |
|--------------------------------|------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| ----- g kg ⁻¹ ----- | | | | | | | | | |
| PN | 0-5 | 1,57 | 0,60 | 0,06 | 0,54 | 2,74 | 19,04 | 16,86 | 2,18 |
| | 0-5 | 1,56 | 0,57 | 0,06 | 0,51 | 2,78 | 23,04 | 18,59 | 4,45 |
| | 0-5 | 1,55 | 0,54 | 0,06 | 0,48 | 2,96 | 21,74 | 16,03 | 5,71 |
| | 0-20 | 0,90 | 0,38 | 0,06 | 0,32 | 3,27 | 21,85 | 18,88 | 2,97 |
| | 0-20 | 0,85 | 0,49 | 0,04 | 0,45 | 2,58 | 23,45 | 13,78 | 9,67 |
| | 0-20 | 0,93 | 0,40 | 0,03 | 0,37 | 2,99 | 21,96 | 19,66 | 2,30 |
| | 20-40 | 0,75 | 0,28 | 0,05 | 0,23 | 3,14 | 23,45 | 19,77 | 3,68 |
| | 20-40 | 0,69 | 0,25 | 0,03 | 0,22 | 3,07 | 22,80 | 19,81 | 2,99 |
| | 20-40 | 0,75 | 0,28 | 0,03 | 0,25 | 3,26 | 21,99 | 19,97 | 2,03 |
| | 40-60 | 0,57 | 0,11 | 0,04 | 0,07 | 2,95 | 25,80 | 23,47 | 2,33 |
| | 40-60 | 0,46 | 0,07 | 0,03 | 0,05 | 3,14 | 22,25 | 20,32 | 1,93 |
| | 40-60 | 0,44 | 0,07 | 0,06 | 0,01 | 3,42 | 20,31 | 20,00 | 0,31 |
| PQ | 0-5 | 0,94 | 0,64 | 0,11 | 0,53 | 3,22 | 17,56 | 15,59 | 1,97 |
| | 0-5 | 1,20 | 0,58 | 0,11 | 0,47 | 3,73 | 19,57 | 20,46 | 0,00 |
| | 0-5 | 0,91 | 0,56 | 0,11 | 0,45 | 3,62 | 22,70 | 23,15 | 0,00 |
| | 0-20 | 0,88 | 0,49 | 0,10 | 0,39 | 3,40 | 19,84 | 18,79 | 1,06 |
| | 0-20 | 0,91 | 0,45 | 0,09 | 0,36 | 3,57 | 20,24 | 18,75 | 1,49 |
| | 0-20 | 0,86 | 0,41 | 0,10 | 0,32 | 3,86 | 23,36 | 19,37 | 3,99 |
| | 20-40 | 0,59 | 0,21 | 0,03 | 0,18 | 3,65 | 19,84 | 19,01 | 0,84 |
| | 20-40 | 0,72 | 0,23 | 0,04 | 0,19 | 3,86 | 22,25 | 21,90 | 0,35 |
| | 20-40 | 0,68 | 0,22 | 0,05 | 0,17 | 4,05 | 25,39 | 23,37 | 2,03 |
| | 40-60 | 0,41 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 3,78 | 25,11 | 21,34 | 3,77 |

APÊNDICE 2. Continuação

| Ambientes | Prof. (cm) | Fe _(HCl) | Fe _(SHs) | Fe _(AF) | Fe _(AH) | Al _(HCl) | Al _(SHs) | Al _(AF) | Al _(AH) | |
|--------------------------------|------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------|
| ----- g kg ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | |
| PQ | 40-60 | 0,61 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 3,98 | 20,33 | 19,81 | 0,53 | |
| | 40-60 | 0,52 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 4,34 | 27,48 | 28,18 | 0,00 | |
| PM | 0-5 | 0,48 | 0,99 | 0,13 | 0,86 | 1,49 | 13,70 | 11,97 | 1,72 | |
| | 0-5 | 0,37 | 0,99 | 0,10 | 0,89 | 0,91 | 15,27 | 12,28 | 2,99 | |
| | 0-5 | 0,68 | 1,15 | 0,13 | 1,01 | 1,83 | 14,87 | 13,26 | 1,60 | |
| | 0-20 | 0,43 | 0,61 | 0,10 | 0,51 | 1,70 | 15,03 | 12,43 | 2,60 | |
| | 0-20 | 0,25 | 0,43 | 0,07 | 0,36 | 1,37 | 16,81 | 13,01 | 3,80 | |
| | 0-20 | 0,32 | 0,40 | 0,08 | 0,32 | 1,43 | 16,62 | 13,60 | 3,02 | |
| | 20-40 | 0,26 | 0,15 | 0,10 | 0,05 | 1,99 | 17,91 | 16,68 | 0,00 | |
| | 20-40 | 0,23 | 0,14 | 0,12 | 0,02 | 1,78 | 19,80 | 16,48 | 3,32 | |
| | 20-40 | 0,22 | 0,16 | 0,07 | 0,09 | 2,15 | 17,82 | 16,87 | 0,95 | |
| | 40-60 | 0,19 | 0,07 | 0,09 | 0,00 | 2,22 | 19,62 | 17,37 | 2,25 | |
| | 40-60 | 0,19 | 0,07 | 0,10 | 0,00 | 2,26 | 23,79 | 19,12 | 4,67 | |
| | 40-60 | 0,16 | 0,08 | 0,09 | 0,00 | 2,13 | 22,13 | 17,81 | 4,32 | |
| | MN | 0-5 | 0,34 | 1,63 | 0,16 | 1,47 | 1,87 | 14,06 | 11,57 | 2,48 |
| | | 0-5 | 0,34 | 1,51 | 0,15 | 1,36 | 2,01 | 13,03 | 9,80 | 3,23 |
| 0-5 | | 0,47 | 1,57 | 0,11 | 1,47 | 1,97 | 13,61 | 11,20 | 2,41 | |
| 0-20 | | 0,25 | 0,48 | 0,13 | 0,35 | 1,58 | 12,87 | 12,04 | 0,84 | |
| 0-20 | | 0,30 | 0,84 | 0,11 | 0,74 | 1,60 | 12,70 | 11,10 | 1,60 | |
| 0-20 | | 0,33 | 0,62 | 0,11 | 0,51 | 1,69 | 11,82 | 10,60 | 1,22 | |
| 20-40 | | 0,22 | 0,21 | 0,08 | 0,13 | 1,36 | 12,73 | 14,60 | 0,00 | |
| 20-40 | | 0,29 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 1,60 | 14,21 | 15,15 | 0,00 | |
| 20-40 | | 0,25 | 0,33 | 0,09 | 0,23 | 1,60 | 12,87 | 14,06 | 0,00 | |
| 40-60 | | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 1,55 | 13,02 | 17,37 | 0,00 | |
| 40-60 | | 0,11 | 0,18 | 0,09 | 0,09 | 1,38 | 15,97 | 17,16 | 0,00 | |
| 40-60 | | 0,16 | 0,14 | 0,12 | 0,02 | 1,75 | 16,29 | 16,96 | 0,00 | |

APÊNDICE 3. Teores de ferro e alumínio ditionito e oxalato e relação Fe_o/Fe_d , Al_o/Al_d nas profundidades de 0-5, 0-20, 20-40 e 40-60 cm em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | Prof. (cm) | Fe_d | Fe_o | Fe_o/Fe_d | Al_d | Al_o | Al_o/Al_d |
|-----------|------------|--------------------|--------|-------------|--------------------|--------|-------------|
| | | g kg ⁻¹ | | | g kg ⁻¹ | | |
| PN | 0-5 | 51,1 | 2,08 | 0,04 | 9,8 | 2,12 | 0,22 |
| | 0-5 | 59,0 | 1,54 | 0,03 | 10,1 | 2,12 | 0,21 |
| | 0-5 | - | 2,11 | - | - | 2,12 | - |
| | 0-20 | 54,6 | 1,79 | 0,03 | 10,1 | 1,84 | 0,18 |
| | 0-20 | 56,0 | 1,90 | 0,03 | 10,4 | 2,39 | 0,23 |
| | 0-20 | - | 1,66 | - | - | 1,30 | - |
| | 20-40 | 59,2 | 1,92 | 0,03 | 10,9 | 2,39 | 0,22 |
| | 20-40 | 57,6 | 1,80 | 0,03 | 11,2 | 2,66 | 0,24 |
| | 20-40 | - | 1,79 | - | - | 1,84 | - |
| | 40-60 | 65,8 | 1,25 | 0,02 | 11,4 | 1,84 | 0,16 |
| | 40-60 | 56,7 | 1,82 | 0,03 | 11,5 | 2,66 | 0,23 |
| | 40-60 | - | 2,11 | - | - | 2,66 | - |
| | PQ | 0-5 | 60,1 | 2,29 | 0,04 | 10,5 | 1,84 |
| 0-5 | | 61,7 | 4,62 | 0,07 | 10,3 | 2,12 | 0,20 |
| 0-5 | | - | 2,10 | - | - | 2,12 | - |
| 0-20 | | 57,9 | 4,40 | 0,08 | 11,0 | 2,39 | 0,22 |
| 0-20 | | 55,1 | 2,57 | 0,05 | 10,8 | 2,12 | 0,20 |
| 0-20 | | - | 3,58 | - | - | 2,39 | - |
| 20-40 | | 54,3 | 2,24 | 0,04 | 11,1 | 2,39 | 0,22 |
| 20-40 | | 66,5 | 4,07 | 0,06 | 11,3 | 2,12 | 0,19 |
| 20-40 | | - | 1,23 | - | - | 2,12 | - |
| 40-60 | | 66,4 | 1,18 | 0,02 | 12,2 | 2,12 | 0,17 |

APÊNDICE 3. Continuação

| Ambientes | Prof. (cm) | Fe _d | Fe _o | Fe _o /Fe _d | Al _d | Al _o | Al _o /Al _d |
|-----------|------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|
| | | ----- % ----- | | | ----- % ----- | | |
| PQ | 40-60 | 65,8 | 1,46 | 0,02 | 12,4 | 1,84 | 0,15 |
| | 40-60 | - | 1,23 | - | - | 2,93 | - |
| PM | 0-5 | 46,5 | 1,98 | 0,04 | 9,0 | 2,12 | 0,23 |
| | 0-5 | 48,6 | 2,37 | 0,05 | 8,9 | 1,84 | 0,21 |
| | 0-5 | - | 1,90 | - | - | 1,57 | - |
| | 0-20 | 49,1 | 1,66 | 0,03 | 9,4 | 1,84 | 0,20 |
| | 0-20 | 50,6 | 1,75 | 0,03 | 9,6 | 1,84 | 0,19 |
| | 0-20 | - | 1,56 | - | - | 1,57 | - |
| | 20-40 | 59,8 | 1,44 | 0,02 | 10,9 | 2,12 | 0,19 |
| | 20-40 | 52,8 | 2,11 | 0,04 | 10,8 | 2,39 | 0,22 |
| | 20-40 | - | 1,44 | - | - | 2,39 | - |
| | 40-60 | 68,3 | 1,88 | 0,03 | 12,0 | 2,39 | 0,20 |
| | 40-60 | 62,8 | 1,87 | 0,03 | 12,0 | 2,66 | 0,22 |
| | 40-60 | - | 1,48 | - | - | 2,12 | - |
| | MN | 0-5 | 50,0 | 1,62 | 0,03 | 11,0 | 2,39 |
| 0-5 | | 50,8 | 1,62 | 0,03 | 11,1 | 2,66 | 0,24 |
| 0-5 | | - | 1,88 | - | - | 1,84 | - |
| 0-20 | | 54,0 | 1,49 | 0,03 | 9,8 | 2,39 | 0,24 |
| 0-20 | | 61,3 | 1,62 | 0,03 | 10,1 | 2,39 | 0,24 |
| 0-20 | | - | 2,00 | - | - | 2,39 | - |
| 20-40 | | 61,6 | 2,02 | 0,03 | 9,3 | 2,66 | 0,29 |
| 20-40 | | 64,0 | 1,62 | 0,03 | 9,2 | 2,12 | 0,23 |
| 20-40 | | - | 3,66 | - | - | 3,47 | - |
| 40-60 | | 74,6 | 3,47 | 0,05 | 9,3 | 2,93 | 0,31 |
| 40-60 | | 64,8 | 1,93 | 0,03 | 9,2 | 2,39 | 0,26 |
| 40-60 | | - | 2,77 | - | - | 2,93 | - |

APÊNDICE 4. Densidade do solo (DS), estoques de carbono (COT) e nitrogênio (NT) do solo e estoques de COT e NT das frações físicas da MOS nas profundidades de 0-5 cm em Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | DS | Carbono | | | | | Nitrogênio | | |
|---------------------------------|------|---------|------|------|------|-------|------------|------|------|
| | | COT | NT | FLL | FLO | FP | FLL | FLO | FP |
| ----- Mg ha ⁻¹ ----- | | | | | | | | | |
| PN | 1,33 | 29,00 | 2,06 | 4,40 | 3,83 | 20,77 | 0,25 | 0,27 | 1,54 |
| | 1,18 | 36,19 | 1,81 | 2,82 | 3,19 | 30,18 | 0,17 | 0,23 | 1,41 |
| | 1,25 | 25,81 | 1,44 | 2,33 | 3,12 | 20,36 | 0,13 | 0,20 | 1,10 |
| PQ | 1,22 | 24,50 | 1,38 | 3,11 | 3,15 | 18,24 | 0,09 | 0,15 | 1,13 |
| | 1,15 | 25,75 | 1,44 | 2,34 | 3,04 | 20,38 | 0,09 | 0,16 | 1,18 |
| | 1,33 | 29,81 | 1,44 | 1,28 | 3,09 | 25,44 | 0,05 | 0,17 | 1,21 |
| PM | 1,41 | 38,94 | 1,94 | 5,94 | 3,89 | 29,11 | 0,34 | 0,26 | 1,34 |
| | 1,30 | 42,06 | 2,38 | 7,57 | 4,82 | 29,68 | 0,41 | 0,35 | 1,62 |
| | 1,38 | 32,31 | 2,06 | 7,43 | 5,29 | 19,60 | 0,42 | 0,40 | 1,25 |
| MN | 1,15 | 34,08 | 2,84 | 9,50 | 7,31 | 14,59 | 0,70 | 0,43 | 1,77 |
| | 0,98 | 31,62 | 1,71 | 7,83 | 5,53 | 18,26 | 0,59 | 0,30 | 1,11 |
| | 1,09 | 31,62 | 1,71 | 7,67 | 5,30 | 18,65 | 0,58 | 0,30 | 1,09 |

APÊNDICE 5. Distribuição de massa das frações físicas da matéria orgânica do solo na camada de 0-5 cm de um Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | FLL | FLO | FP |
|------------------|------------|------------|-----------|
| | | % | |
| PN | 3,78 | 2,94 | 93,28 |
| PN | 2,83 | 2,30 | 94,87 |
| PN | 2,15 | 2,38 | 95,47 |
| PQ | 2,53 | 2,03 | 95,44 |
| PQ | 1,75 | 1,90 | 96,35 |
| PQ | 1,44 | 2,16 | 96,40 |
| PM | 4,78 | 2,56 | 92,66 |
| PM | 6,70 | 3,13 | 90,17 |
| PM | 5,96 | 3,82 | 90,22 |
| MN | 11,54 | 4,53 | 83,93 |
| MN | 10,45 | 3,79 | 85,77 |
| MN | 10,45 | 3,38 | 86,18 |

APÊNDICE 6. Relação do estoque de carbono das frações físicas da matéria orgânica do solo com o estoque de carbono (COT) na camada de 0-5 cm de um Latossolo Vermelho distroférico típico sob ambientes de pastagem nativa (PN), pastagem queimada (PQ), pastagem nativa melhorada (PM) e mata nativa (MN).

| Ambientes | FLL/COT | FLO/COT | FP/COT |
|------------------|----------------|----------------|---------------|
| | | % | |
| PN | 15,18 | 13,21 | 71,61 |
| PN | 7,78 | 8,81 | 83,41 |
| PN | 9,03 | 12,09 | 78,87 |
| PQ | 12,70 | 12,85 | 74,44 |
| PQ | 9,07 | 11,80 | 79,13 |
| PQ | 4,31 | 10,36 | 85,33 |
| PM | 15,26 | 9,99 | 74,75 |
| PM | 17,99 | 11,45 | 70,56 |
| PM | 22,99 | 16,37 | 60,65 |
| MN | 32,55 | 25,07 | 27,84 |
| MN | 28,92 | 20,43 | 67,47 |
| MN | 28,35 | 19,57 | 68,90 |