

**IDELFONSO COLARES DE FREITAS**

**ATRIBUTOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO DA PRÉ-AMAZÔNIA SOB AGROECOSSISTEMAS DE PRODUÇÃO FAMILIAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientadora:

**Profa. Dra. Vladia Correchel**

Goiânia, GO – Brasil  
2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
GPT/BC/UFG**

**F866a Freitas, Idelfonso Colares de.**  
**Atributos de um Neossolo Quartzarênico da Pré-  
Amazônia sob Agroecossistemas de Produção Familiar  
[manuscrito] / Idelfonso Colares de Freitas. - 2013.**  
**83 f.: il. figs, tabs.**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vladia Correchel.**

**Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás,  
Escola de Agronomia, 2013.**

**Bibliografia.**

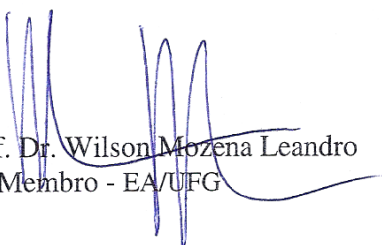
**1. Sustentabilidade – Indicadores. 2. Serrapilheira. 3.  
Agricultura migratória. 4. Solos – Conservação. I. Título.**

**CDU: 631.41**


## IDELFONSO COLARES DE FREITAS

TÍTULO: “Atributos de um Neossolo Quartzarênico da Pré-Amazônia sob agroecossistemas de produção familiar”

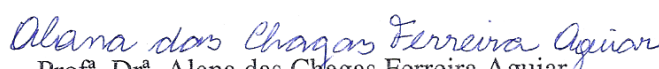
Tese DEFENDIDA em 10 de junho de 2013, e APROVADA pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



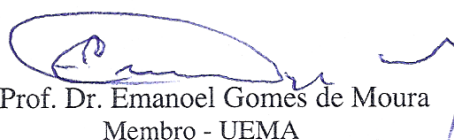
Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro  
Membro - EA/UFG




Prof. Dr. Leonardo Santos Collier  
Membro - EA/UFG



Prof.ª Dr.ª Alana das Chagas Ferreira Aguiar  
Membro - UFMA



Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura  
Membro - UEMA



Prof.ª Dr.ª Vladia Correchel  
Orientadora/Presidente – EA/UFG

Goiânia - Goiás  
Brasil

## DEDICATÓRIA

*À mulher da minha vida, Raimunda M<sup>a</sup> R. Colares, pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incertezas, muito comum para quem tenta trilhar novos caminhos.*

*Se não fosse você, certamente não teria entrado nessa empreitada.*

*Aos meus filhos, Hanna Borges de Freitas, Kamila Rodrigues Colares e Yuri Afonso Rodrigues Colares, cujo amor entusiasma minha determinação.*  
*Sem vocês nenhuma conquista valeria à pena.*

*Aos meus pais, Afonso de Lima Colares e Judite Ferreira de Freitas (in memoriam), que mesmo vivendo da agricultura itinerante, não mediram esforços para educar seus filhos.*  
*Obrigado pela visão de futuro.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Goiás, por meio da Escola de Agronomia e do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, aos professores, coordenadores e funcionários, pelas oportunidades, ensinamentos e apoio técnico-científico.

Ao Instituto Federal do Tocantins (IFTO – Campus Araguatins), pela liberação para realização desta capacitação.

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudo (PIQDTEC).

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vladia Correchel, pela confiança, ensinamentos e contínua disponibilidade em ajudar.

Ao Sr. Damião e Sra. Francisca, proprietários do lote de assentamento onde foram realizados os estudos. Muito obrigado pelo apoio físico e pela “bóia” que saciava nossa fome quando chegávamos dos trabalhos de campo.

Aos professores da Pós-Graduação, Gilmarcos, João Batista, José Alves, Larissa, Jácomo, Wilson Mozena, Alfredo Borges e Kliemann, pelos ensinamentos e convivência harmoniosa.

Ao mestre Ronaldo de Oliveira Custódio Filho, pelo apoio operacional no preparo das amostras e análises laboratoriais.

Ao doutorando Felipe Corrêa Veloso dos Santos, parceiro neste projeto, pelo apoio na amostragem, preparo das amostras, análises laboratoriais, tabulação de dados e discussões dos resultados.

Ao Carlinhos, Kri e Nara (laboratoristas), pelo apoio nas análises químicas e físicas das amostras.

Aos colegas da Pós-Graduação da UFG, especialmente Marcos Mesquita, Sinnara Godoy, Janne Louize e Ricardo, pelos momentos de discussões, companheirismo e descontração.

Ao secretário de Pós-Graduação da UFG, Wellinton Mota e Cleonice do cafezinho, pelo profissionalismo e amizade.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	7
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	8
<b>RESUMO GERAL</b> .....	9
<b>GENERAL ABSTRACT</b> .....	10
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
2.1 AMAZÔNIA LEGAL E SUA EXPLORAÇÃOAGROPECUÁRIA.....	13
2.2 NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS .....	14
2.3 AGRICULTURA FAMILIAR DE BASE AGROECOLÓGICA .....	16
2.4 SUSTENTABILIDADE DOS AGROECOSSISTEMAS .....	18
2.5 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DOS AGROECOSSISTEMAS .....	19
2.5.1 Produção, acúmulo e qualidade de serrapilheira .....	20
2.5.2 Matéria orgânica do solo .....	22
2.5.3 Indicadores químicos de sustentabilidade .....	23
2.5.4 Indicadores físicos de sustentabilidade.....	24
2.6 REFERÊNCIAS .....	26
<b>3 IMPACTOS DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO FAMILIAR DA AMAZÔNIA NO CARBONO DO SOLO, QUANTIDADE E QUALIDADE DA SERRAPILHEIRA</b> .....	34
RESUMO .....	34
ABSTRACT .....	34
3.1 INTRODUÇÃO.....	35
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
3.4 CONCLUSÕES .....	45
3.5 REFERÊNCIAS .....	46
<b>4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DE NEOSSOLO QUARTZARÊNICO EM DIFERENTES USOS DA PRODUÇÃO FAMILIAR</b> .....	49
RESUMO .....	49
ABSTRACT .....	49
4.1 INTRODUÇÃO.....	50
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.4 CONCLUSÕES .....	60
4.5 REFERÊNCIAS .....	61
<b>5 ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO PELA AGRICULTURA FAMILIAR</b> .....	63
RESUMO .....	63

ABSTRACT .....	63
5.1 INTRODUÇÃO .....	64
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	65
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
5.4 CONCLUSÕES .....	74
5.5 REFERÊNCIAS .....	75
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>80</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1.</b>	Estoque de serrapilheira, carbono na serrapilheira, macro e micronutrientes acumulados num Neossolo Quartzarênico em diferentes usos da produção familiar na pré-Amazônia .....	40
<b>Tabela 3.2.</b>	Estoque de carbono calculado pelo método da camada e massa equivalente de solo em dois períodos de amostragem num Neossolo Quartzarênico em diferentes usos da agricultura familiar na pré-Amazônia .....	43
<b>Tabela 4.1.</b>	Análise granulométrica do Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos na profundidade 0-40 cm .....	53
<b>Tabela 4.2.</b>	Matéria orgânica do solo (MOS), acidez ativa (pH), potencial (H+Al), trocável (Al <sup>3+</sup> ), saturação por Al (m) e fósforo disponível (P) nas camadas (Z) e períodos de amostragem de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar .....	55
<b>Tabela 4.3.</b>	Potássio disponível (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC) e saturação por bases (V%) nas camadas (Z) e períodos de amostragem de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar.....	58
<b>Tabela 5.1.</b>	Granulometria da terra fina seca ao ar e fracionamento da fração areia nas camadas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar.....	66
<b>Tabela 5.2.</b>	Qualidade estrutural de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar.....	69
<b>Tabela 5.3.</b>	Atributos físicos nas camadas e períodos de amostragem de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar.....	70

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1.** Relação C/N, lignina, fenóis totais e índice de qualidade de resíduos vegetais (IQRV) no período seco e chuvoso num Neossolo Quartzarênico em diferentes usos da agricultura familiar na pré-Amazônia. MA = Mata nativa, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pastagem cultivada e RT = Roça de toco. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si com o uso do solo para um mesmo período de amostragem, de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).....42
- Figura 3.2.** Dendrograma de similaridade entre as formas de uso do solo na agricultura familiar em Neossolo Quartzarênico na pré-Amazônia, agrupados pelo método de Ward. MA = Mata nativa, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pastagem cultivada e RT = Roça de toco .....45
- Figura 4.1.** Dendrograma de similaridade entre as formas de uso do solo nas camadas e períodos de amostragem de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar. MA = Mata, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pasto e RT = Roça de toco .....60
- Figura 5.1.** Resistência do solo à penetração em incrementos de 2 cm e umidade gravimétrica do solo no perfil de um Neossolo Quartzarênico sob uso da agricultura familiar. MA = Mata; SAF = Sistema agroflorestal; PA = Pasto e RT = Roça de toco .....72
- Figura 5.2.** Dendrograma de similaridade entre as formas de uso do solo nas camadas e períodos de amostragem de um Neossolo Quartzarênico sob uso da agricultura familiar. MA = Mata, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pasto e RT = Roça de toco .....74

## RESUMO GERAL

FREITAS, I. C. **Atributos de um Neossolo Quartzarênico da pré-Amazônia sob agroecossistemas de produção familiar.** 2013. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.<sup>1</sup>

Partindo da premissa que a substituição das florestas nativas por agroecossistemas impacta os solos, foram estudadas diferentes formas de uso do solo em comparação a um fragmento de floresta preservada. O estudo foi realizado em um Neossolo Quartzarênico sob uso da agricultura familiar por 22 anos, manejado sob: SAF – Sistema agroflorestal, PA – Pasto, RT – Roça de toco e MA – Mata preservada. Os impactos do manejo sobre o solo foram estimados por meio das mudanças ocorridas no acúmulo e qualidade da serrapilheira, indicadores físicos e químicos do solo. Coletas de serrapilheira, penetrometrias até 40 cm e amostras deformadas e indeformadas de solo, para fins de análises físicas e químicas, foram feitas em sete repetições por sistema de uso, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, por dois anos consecutivos e em dois períodos de amostragem (Julho 2010/2011 e Janeiro 2011/2012). As variáveis analisadas foram: acúmulo de serrapilheira, teores de nutrientes na serrapilheira, estoque de carbono nos compartimentos serrapilheira e solo, índice de qualidade de resíduo vegetal, matéria orgânica do solo, acidez do solo, bases trocáveis, capacidade de troca de cátions, saturação por bases e alumínio, resistência do solo à penetração, densidade do solo, porosidade e agregação do solo. Os resultados apontaram que o uso do solo com sistema agroflorestal, mesmo após 22 anos de uso, pouco se diferencia da área preservada. A conversão da floresta em agroecossistemas potencializa os atributos químicos do solo e reduz, sensivelmente, o carbono estocado no compartimento serrapilheira, conforme observado na Roça de toco. O uso do solo com Pasto, por sucessivos anos, incrementa a densidade do solo, resistência à penetração do solo, microporosidade e reduz a macroporosidade do solo. Neste estudo, clara distinção entre as formas de uso e manejo do solo foram observadas nos estoques de serrapilheira sobre a superfície do solo e resistência à penetração.

*Palavras-chave:* Indicadores de sustentabilidade, acúmulo de serrapilheira, agricultura migratória, conservação do solo.

---

<sup>1</sup> Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vladia Correchel. EA-UFG.

## GENERAL ABSTRACT

FREITAS, I. C. **Attributes of an Entisol Quartzipsamment on pre-Amazon region under family production agroecosystems.** 2013. 83 f. Thesis (Doctor in Agronomy: Soil and Water) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.<sup>1</sup>

Based on the premise that the replacement of native forests by agroecosystems impacts the soil, were studied different forms of soil use compared to a fragment preserved forest. The study was conducted in an Entisol Quartzipsamment under the family agriculture use for 22 years, managed under: SAF – Agroforestry system, PA - Pasture, RT - Slash and burn field and MA - Preserved forest. The management impacts on the soil were estimated by the changes in the accumulation and quality of the soil mulch and by the changes on the physical and chemical indicators of soil. The collect of soil mulch, the soil resistance to penetration, until 40 cm depth, and the collect of deformed and undeformed soil samples, for of physical and chemical analyzes, collected in seven repetitions for each system, layers 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm depths for two consecutive years and in two sampling periods (July 2010/2011 and January 2011/2012). The variables analyzed were: accumulation of soil mulch and its nutrient content, carbon stock on soil mulch and the soil, plant residue quality index, soil organic matter, soil acidity, exchangeable bases, cation exchange capacity, bases and aluminum saturation, strength penetration, bulk density, porosity and soil aggregation. The results showed that soil use with agroforestry system, even after 22 years of use, little differentiates itself from the preserved area. The conversion of forest in agroecosystems enhances the soil chemical properties and significantly reduces the stocked carbon in the soil mulch compartment, as noted in the “slash and burn” field. The soil use with pasture for successive years increases bulk density, strength penetration, microporosity and reduces soil macroporosity. In this study, clear distinctions between the forms of use and soil management were observed in stocks of litter on the soil surface and strength penetration.

*Key words:* sustainability indicators, soil mulch accumulation, shifting cultivation, soil conservation.

---

<sup>1</sup> Adviser: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vladia Correchel. EA-UFG.

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

Embora não exista consenso na literatura quanto a dimensão real da Amazônia legal brasileira (Aragón, 2011), estima-se uma superfície aproximada de 5 milhões de Km<sup>2</sup>, correspondente a cerca de 60% do território brasileiro. Sua importância no contexto mundial é externada pela biomassa aérea acumulada, que varia entre 250 e 450 t ha<sup>-1</sup> e biodiversidade com mais de 250 espécies vasculares por hectare (Fearnside, 1992). No entanto, parcelas significativas desse “patrimônio da humanidade” vêm sendo suprimida nos últimos anos, sobretudo após a década de 70 do século XX, com o avanço da agropecuária nesse bioma (Barni et al., 2012).

Em estudo recente, usando imagens orbitais, o Programa de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal (PRODES) fez um levantamento de informações do uso e cobertura da terra na Amazônia, o qual é apresentado pelo TerraClass (2011). Os dados revelados foram os seguintes: 3.214.300,37 Km<sup>2</sup> de cobertura florestal, 719.210,99 Km<sup>2</sup> de desflorestamento até 2008, 114.938,01 Km<sup>2</sup> de hidrografia e 953.262,50 Km<sup>2</sup> de áreas denominadas como não florestada. Em valores percentuais e, considerando apenas o domínio de floresta tropical, os números apresentados são: 79,4% de floresta preservada, 17,8% de desmatamento acumulado e 2,8% de hidrografia. Da área desflorestada relativa à floresta original, 446.566,06 Km<sup>2</sup> (62,1%) estão sobre uso de pastagem, dos quais 62.823,75 Km<sup>2</sup> (8,7%) enquadram-se como pasto sujo e 48.027,37 Km<sup>2</sup> (6,7%) como regeneração com pasto. A agricultura anual tecnificada ocupa uma área de 34.927,27 Km<sup>2</sup> (4,9%), enquanto a agricultura familiar, denominada no levantamento como “mosaico de ocupação”, ocupa área de 24.416,57 Km<sup>2</sup> (3,4%) da floresta original.

A principal característica da agricultura familiar praticada nessa região é o cultivo sobre as cinzas produzidas pela combustão da vegetação nativa. Por falta de recursos tecnológicos ou financeiros, um relevante contingente desse segmento de agricultores ainda faz uso do fogo como forma de preparo do solo (Moura et al., 2009). Atraídos pelos benefícios transitórios das cinzas na fertilidade do solo, que se traduz em colheitas satisfatórias enquanto duram seus efeitos, os agricultores permanecem em ciclos de cultivo, na mesma área, que não ultrapassam dois anos consecutivos decorrentes da queda de

produtividade do sistema pela perda da fertilidade natural do solo (Dubois et al., 1996; Lepsch, 2002).

Para agravar mais ainda a situação, uma expressiva parcela dos assentamentos rurais foi constituída sobre solos de estrutura frágil, tal como os Neossolos Quartzarênicos. Esses solos, quando antropizados, necessitam de uma política de aporte de matéria orgânica rigorosa para um manejo sustentável (Zuo et al., 2008; Carneiro et al., 2009), pois a maior parte de sua capacidade de troca catiônica advém da fração orgânica do solo (Silva et al., 2011). Somam-se a esses problemas as adversidades inerentes ao trópico úmido equatorial, tais como altas temperaturas anuais, que aceleram o processo de mineralização da matéria orgânica do solo e precipitações intensas, que favorecem a lixiviação de bases trocáveis para o subsolo (Lima et al., 2011).

Como proposta tecnológica de uso sustentável do solo para esse segmento de agricultores, em especial sobre solos de estrutura frágil, as pesquisas tem apontado os sistemas agroflorestais (Menezes et al., 2008; Lima et al., 2011; Iwata et al., 2012), possivelmente pela semelhança com os ecossistemas naturais no que tange a estrutura de seus componentes (Silva et al., 2011). Tal semelhança possibilita as interações entre espécies e dinamizam os processos ecológicos naturais, como ciclagem de nutrientes e controle de populações (Aguiar et al., 2010). No entanto, o fato de se tratar de um sistema aberto, onde há saídas de energia na forma de alimentos para o consumo e comercialização da família, coloca em dúvida sua sustentabilidade a longo prazo. Assim, são necessárias mais pesquisas para comprovar a suposta sustentabilidade dessa forma de uso do solo, sobretudo em sistemas com longo histórico de uso (Aguiar et al., 2010; Silva et al., 2011).

Neste contexto, o estudo da sustentabilidade das formas de uso do solo praticadas pela agricultura familiar, em comparação às áreas preservadas, pode contribuir para o entendimento de seus impactos sobre o solo e, assim, melhorar a utilização dos recursos naturais no bioma Amazônia. Diante disso, a hipótese do presente trabalho é a de que os sistemas de manejo do solo alteram a qualidade e quantidade da serrapilheira sobre o solo, o carbono estocado no sistema e os atributos químicos e físicos do solo. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito do manejo do solo pela agricultura familiar da pré-Amazônia no estoque de carbono, no acúmulo e qualidade da serrapilheira e nos atributos químicos e físicos do solo em comparação a uma floresta preservada de mesma classe de solo.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 AMAZÔNIA LEGAL E SUA EXPLORAÇÃOAGROPECUÁRIA**

Historicamente, os estudos da aptidão agrícola dos solos da Amazônia tem se apresentado de forma controvertida, decorrente, principalmente, da baixa densidade demográfica e dificuldade de acesso. Inicialmente, as primeiras ideias eram de que os solos desse bioma eram constituídos, em maior parte, por planícies pantanosas com domínio de solos hidromórficos. Posteriormente, associado à exuberância da floresta, acreditava-se que se a cobertura florestal fosse suprimida, a delgada camada de húmus se perderia e o solo se tornaria “tão estéril como um deserto”. Outros chegaram a afirmar que a camada superficial do solo, se diretamente exposta ao Sol, “endureceria como um tijolo”. Tais ideias eram frutos de crenças de que o material mineral do horizonte “A” era composto de areia lavada ou camada ferruginosa (Lepsch, 2002).

Atualmente, sabe-se que essas teorias são errôneas, porque as várzeas úmidas e os pântanos estão localizados em uma faixa relativamente estreita, ao longo dos principais rios, e constituem menos de 10% da área total. A maior parte dos solos do complexo regional da Amazônia situa-se em locais bem drenados, regionalmente denominados “terras firmes” (Lepsch, 2002). Essa região apresenta elevada diversidade geológica, geomorfológica, edáfica, climática e de vegetação, assemelhando-se a uma colcha de retalhos (Vale Júnior et al., 2011).

No que se refere à ocupação desse bioma, representada pela conversão da floresta em agroecossistemas, Jardim et al. (2004) citam que: “A agropecuária tem sido uma atividade econômica controvertida na Amazônia, devido a complexidade que envolve a região e os diferentes interesses de segmentos da sociedade que se colocam em posições antagônicas. Esses interesses têm como extremos aqueles que nas décadas de 70 e 80 do século XX pensavam que a região deveria ser desbravada e domesticada pela “pata do boi” e hoje a vêm como um manancial de recursos naturais sempre disponíveis aos anseios de enriquecimento fácil. Do lado oposto, os que entendem que a região deve permanecer intocada, como um santuário, preservado em sua grandeza continental. Entre essas posições

extremas, há um meio termo que aponta para a exploração sustentável dos recursos naturais renováveis”.

## 2.2 NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), os Neossolos Quartzarênicos constituem-se em solos pouco evoluídos e com ausência de horizontes “B” diagnóstico. O radical “*neo*” indica solo jovem, pouco desenvolvido. O critério de classificação, nesta classe de solo, é a insuficiência de atributos diagnósticos que caracterizem sua pedogênese, como pouca diferenciação entre horizontes, com o horizonte “A” sucedido pelo horizonte “C” ou “R”, e predominância de características provenientes do material de origem.

No segundo nível categórico (subordem), os Neossolos são classificados em: Litólicos, Regolíticos, Flúvicos e Quartzarênicos. Os Neossolos Quartzarênicos se caracterizam por apresenta ausência de contato lítico nos primeiros 50 cm de profundidade, sequência de horizontes “A-C”, textura areia ou areia franca em todos os horizontes, fração areia grossa e areia fina com 95% ou mais de quartzo e ausência de minerais primários alteráveis.

Os Neossolos ocupam 14,57% (1.246.898,89 Km<sup>2</sup>) do território brasileiro, dos quais 42% (523.697,53 Km<sup>2</sup>) são de Neossolos Quartzarênicos (IBGE, 2001). Ocorrem em praticamente todos os estados brasileiros, porém, com predominância no Cerrado, englobando, aproximadamente, 15% de sua área total. São solos que apresentam sérias limitações ao uso agrícola, devido a textura excessivamente arenosa, baixa fertilidade natural, toxidez por alumínio, baixa capacidade de retenção de água e elevada erodibilidade (Coelho et al., 2002).

Os Neossolos Quartzarênicos apresentam baixos teores de matéria orgânica e capacidade de troca de cátions (CTC), mesmo no horizonte “A”, reduzindo em profundidade até o horizonte “C” (Prado, 2008). São constituídos, basicamente, por quartzo, desprovidos de minerais alteráveis, o que limita a reserva de nutrientes para as plantas. Assim, a reduzida capacidade de adsorção de nutrientes desta classe de solo implica em elevadas perdas de nutrientes por lixiviação, sobretudo quando adicionados via adubação mineral (Oliveira, 2008).

Pesquisas envolvendo atributos químicos em Neossolos Quartzarênicos sob

diferentes formas de manejo em comparação a áreas preservadas podem ser encontradas em Frazão et al. (2008) e Carneiro et al. (2009). No entanto, tais estudos envolvem a adição de calcário e adubos solúveis nos sistemas antropizados, o que induz a melhoria na qualidade dos indicadores nesses sistemas. Essa situação se distingue da realidade da agricultura familiar praticada na Amazônia, o que dificulta a avaliação da extensão dos impactos gerados pelo manejo do solo quando os indicadores de sustentabilidade são atributos químicos. Ainda assim, nestes estudos, pode-se constatar a baixa fertilidade natural nas áreas preservadas, como mostram os resultados obtidos por Carneiro et al. (2009).

Nesses trabalhos, os autores concluíram que é viável a exploração com lavouras de grãos nessa classe de solo, entretanto, alertam quanto à necessidade de um manejo criterioso para maximizar o potencial produtivo sem degradar o ambiente. O manejo do sistema fundamentado em uma política de aporte constante de matéria orgânica ao solo é a principal recomendação dos autores para o uso sustentável, uma vez que a maioria absoluta das cargas da capacidade de troca de cátions desses solos advém da fração orgânica.

No que tange aos atributos físicos, os Neossolos Quartzarênicos se caracterizam pela textura arenosa, o que resulta em limitações na disponibilidade de água para as plantas, exceção feita aos Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos, que estão sob influência do lençol freático. Nos Neossolos Quartzarênicos Órticos, elevados teores de areia fina pode disponibilizar mais água as plantas em relação aos que apresentam elevados teores de areia grossa, embora sejam mais propensos ao selamento superficial (Oliveira, 2008).

Em Neossolo Quartzarênico Órtico, Sales et al. (2010) avaliaram o efeito do manejo, em comparação a um Cerrado nativo, sobre a densidade do solo e porosidade até a profundidade de 20 cm. Os autores observaram incrementos na densidade do solo da ordem de  $1,42 \text{ Kg dm}^{-3}$  no Cerrado para  $1,51 \text{ Kg dm}^{-3}$  a  $1,57 \text{ Kg dm}^{-3}$  nos sistemas antropizados. A microporosidade mostrou-se insensível ao manejo, variando entre  $0,13 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$  e  $0,15 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ . Já a macroporosidade foi maior no Cerrado nativo ( $0,32 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ ) em relação aos sistemas manejados ( $0,25 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ ). Entre os atributos avaliados nesse trabalho, a densidade do solo e a macroporosidade foram os mais sensíveis ao manejo adotado. Os autores concluíram que a redução da macroporosidade em áreas antropizadas pode afetar a recarga do lençol freático e aumentar o processo erosivo. Ainda alertaram que a manutenção da cobertura vegetal sobre o solo é condição fundamental para seu uso sustentável.

Souza et al. (2005) avaliaram o efeito do manejo do solo, em comparação a uma área preservada, sobre um Neossolo Quartzarênico Órtico nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e

15-20 cm e avaliaram a densidade do solo o volume total de poros e resistência à penetração do solo nos sistemas de manejo integração lavoura-pecuária, pastagem, cultivo de milho e Cerrado em regeneração. Os autores constataram incrementos na densidade do solo dos sistemas antropizados em relação ao Cerrado nativo para todas as camadas avaliadas. O menor valor observado foi de  $1,41 \text{ kg dm}^{-3}$  no Cerrado nativo e o maior valor foi  $1,60 \text{ kg dm}^{-3}$  na pastagem. Os autores constataram, também, redução do volume total de poros e macroporosidade nos sistemas antropizados em relação à área de referência, enquanto na microporosidade não foram observadas variações significativas. O maior valor de resistência do solo à penetração registrada no referido trabalho foi de 1,2 MPa na camada superficial, o que, segundo os autores, não chega a causar restrições ao crescimento radicular.

Incrementos na densidade do solo, resistência à penetração do solo, redução na porosidade total e macroporosidade, em relação a Cerrado nativo, também foram observadas por Carneiro et al. (2009) ao avaliarem um Neossolo Quartzarênico Órtico sob sistemas de manejo agricultura-pecuária, pastagem cultivada, plantio direto com soja no verão e milho no verão. A exemplo dos outros autores citados anteriormente, Carneiro et al. (2009) não constataram diferenças significativas na microporosidade, o que sugere ser um atributo de baixa sensibilidade ao manejo adotado, por ser caracterizado, principalmente, pela textura do solo.

### 2.3 AGRICULTURA FAMILIAR DE BASE AGROECOLÓGICA

O conceito de agroecologia ainda é alvo de disputa entre as diferentes correntes de pensamento, migrando desde aqueles que entendem como um sistema de produção até os que a concebem como uma ciência ou ramo desta. Neste sentido, Gliessman (2009) conceitua a agroecologia como a aplicação de conceitos e princípios da ecologia no desenho e manejo de agroecossistemas, enquanto Altieri (2002) como um campo do conhecimento de caráter multidisciplinar que apresenta uma série de princípios, conceitos e metodologias que permitem estudar, analisar, dirigir, desenhar e avaliar agroecossistemas. Desse modo, ainda que os conceitos sejam distintos no que se referem aos limites da agroecologia, eles se complementam em sua abrangência.

Esses autores atribuem à agroecologia uma força transformadora capaz de construir uma nova concepção da relação homem/natureza e um novo entendimento de

desenvolvimento econômico, centrado na valoração e conservação dos recursos naturais. No entanto, Navarro (2008) pontua que “a agroecologia não passa de um “nome fantasia” para designar um conjunto de técnicas de cultivo desenvolvido pelos agricultores como resposta a condições políticas e socioeconômicas que lhes foram impostas. Tratam-se de técnicas de cultivo que tem o objetivo de baratear os custos de produção. Portanto, não implica, necessariamente, dizer que o produtor tenha uma “consciência ambiental”, muito embora esta, certamente, possa se desenvolver com o tempo”. Neste sentido, Assis & Romeiro (2005), ao estudarem o comportamento sócio econômico de produtores familiares do Paraná, observaram que quanto maior o poder econômico dos produtores, mais eles se afastavam das técnicas agroecológicas.

Sejam por características intrínsecas aos produtores, sejam por condições impostas, o certo é que a agroecologia encontra terreno fértil na agricultura familiar (Finatto & Corrêa, 2011). A necessidade de produzir alimentos para seu sustento e comercialização dos excedentes para prover suas necessidades em áreas relativamente pequenas leva a uma diversificação da produção. Na maioria dos casos, a área é dividida em glebas em que cada uma tem um sistema de produção, assemelhando-se a uma colcha de retalhos, característica da agricultura sustentável (Gliessman, 2009). Também é comum observar, dentro da mesma gleba, consórcio de culturas como forma de otimizar o espaço e economizar mão de obra (Finatto & Corrêa, 2011), o que aumenta a diversidade e a resiliência do sistema de produção. A prática do pousio florestal é outra forma de agricultura praticada por esses produtores, o que permite uma recuperação parcial do solo, sobretudo quando se dispõe de áreas maiores para trabalhar, de forma a viabilizar que a vegetação espontânea recupere a fertilidade do solo (Gehring, 2006).

Em geral, os princípios da agroecologia são compatíveis com as formas familiares de produção (Finatto & Corrêa, 2011). Assim, tem-se:

- Entrada de energia limpa: a mão de obra geralmente é braçal, familiar, com eventuais contratações de terceiros, no sistema de “troca de diárias”. Os insumos são adquiridos na própria localidade ou com vizinhos e são representados por adubos orgânicos e sementes da própria comunidade. As saídas de energia ocorrem em pequena intensidade e bastante diversificada, o que garante o equilíbrio do sistema.

- Mecanismo de controle de populações: a diversificação do sistema, o pousio e os policultivos favorecem o controle de pragas, doenças e ervas espontânea. Nos sistemas de policultivos, o sombreamento diminui a incidência de ervas espontânea e os sistemas são

manejados por meio da capina seletiva com mão de obra braçal. O controle de pragas e doenças é governado por mecanismos naturais, onde a diversidade de espécies com baixa densidade populacional de plantas de mesma espécie constitui em um dos principais mecanismos de controle.

- Mecanismo de ciclagem de nutrientes: a nutrição das plantas se dá via reservas mineralógicas do solo e pelo processo de ciclagem via serrapilheira. Compostagens são usadas para adubação de culturas de maior valor agregado como laranja, coco, acerola, hortas, plantas medicinais, etc. Nos roçados, uma política de produção e manejo da matéria orgânica do solo do tipo adubação verde, poda de árvores, entre outras, apresenta-se como prática rotineira, para viabilizar a fertilidade do solo.

- Resiliência do sistema: a diversificação da produção possibilita uma cobertura permanente do solo, protegendo-o dos efeitos da erosão e lixiviação de bases. Com a ocupação diversificada, raízes de diferentes profundidades e com diferentes necessidades nutricionais bombeiam nutrientes para a superfície do solo de forma equilibrada. A ocupação do espaço aéreo mais diversificado permite melhor eficiência na captação da energia luminosa, traduzindo-se em maior acúmulo de biomassa para ser colhida e manutenção do sistema produtivo. Tudo isso permite maior resiliência ao sistema solo, dando melhor condição deste prover suas funções.

## 2.4 SUSTENTABILIDADE DOS AGROECOSSISTEMAS

As discussões sobre desenvolvimento sustentável tiveram início em Estocolmo em 1972 e ganharam popularidade a partir da conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92) realizada no Brasil em 1992. Existem diversos entendimentos sobre o conceito de sustentabilidade. Em todo o mundo, diversas políticas baseadas nestes conceitos têm sido planejadas, gerenciadas e avaliadas no intuito de tornar a sustentabilidade uma realidade (Silva & Holanda, 2009).

O conceito de sustentabilidade mais difundido no mundo encontra-se no chamado “Relatório Brundtland”, onde desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz suas necessidades sem diminuir as perspectivas das gerações futuras. Neste contexto, destaca-se, também, o conceito de sociedade sustentável, tida como “aquela que discute, a partir da sua realidade local, formas de relacionarem as dimensões sociais, ambientais, econômicas, políticas, culturais e éticas, construindo no dia a dia, ações que contribuam para

a melhoria da qualidade de vida daquele local e do planeta como um todo” (Brasil, 2005).

Gliessman (2009) conceitua agricultura sustentável como “aquela que reconhece a natureza sistêmica da produção de alimentos, forragens e fibras, equilibrando, com equidade, preocupações relacionadas à saúde ambiental, justiça social e viabilidade econômica, entre diferentes setores da população, incluindo distintos povos e diferentes gerações”. Inerente ao conceito de sustentabilidade dos agroecossistemas está a ideia de longevidade do uso dos recursos naturais pela atividade antrópica, de forma produtiva, sem danificar as bases destes recursos (Gliessman, 2009; Vezzani & Mielniczuk, 2009).

Neste contexto, a sustentabilidade dos agroecossistemas fica no campo da presunção, afinal, por quanto tempo um sistema de produção deve se manter produzindo economicamente viável sem danificar, significativamente, sua base de recursos para ser considerado sustentável? Já a insustentabilidade é real e pode ser medida a partir da construção de indicadores de qualidade do solo, medido pelo gradiente de mudança, atribuído ao manejo do solo, em relação a um referencial (Gliessman, 2009).

Um número significativo de trabalhos relacionados à avaliação da sustentabilidade dos agroecossistemas tem usado como referenciais áreas preservadas (Araújo et al., 2007; Menezes et al., 2008; Carneiro et al., 2009; Silva et al., 2011; Iwata et al., 2012), por entenderem que se tratam de ecossistemas onde a produção de biomassa foi otimizada em função dos recursos disponíveis (Salmi et al., 2009). Outro segmento de pesquisadores tem usado parâmetros considerados ideais para o desenvolvimento das culturas (Flores et al., 2007; Melo Filho et al., 2007; Chioderoli et al., 2012), os quais irão variar de acordo com as condições edafoclimáticas do local (Araújo et al., 2012).

Em geral, há consenso na literatura quanto à necessidade de monitoramento do desempenho dos agroecossistemas no que concerne a seus impactos ao ambiente (Gliessman, 2009). No entanto, o grande desafio da pesquisa é a construção de indicadores simples e confiáveis, que permitam o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo (Doran & Parkin, 1994).

## 2.5 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DOS AGROECOSSISTEMAS

A sustentabilidade dos agroecossistemas tem estreita relação com a qualidade do solo (Vezzani & Mielniczuk, 2009). Os primeiros cientistas a alertarem sobre a relação entre

o manejo do solo e a sustentabilidade agrícola foram Lal & Pierce (1991). Devido ao número alarmante de áreas degradadas por fatores físicos, químicos e contaminadas por agroquímicos, esses autores instigaram a comunidade científica a buscarem sistemas de manejo capazes de conciliar produção agrícola e conservação ambiental. A partir daí, um número considerável de trabalhos, na área de ciência do solo, indexados em periódicos nacionais e internacionais, puderam ser observados, os quais têm como “pano de fundo” à tão sonhada sustentabilidade (Karlen et al., 1997; Gliessman, 2009).

Pesquisadores propuseram um conjunto de indicadores de qualidade do solo para avaliação dos agroecossistemas (Doran & Parkin, 1994; Larson & Pierce, 1994), mas a tarefa de escolher indicadores fáceis de medir, interpretar e bem correlacionados com o manejo não tem sido fácil, dado o caráter regional e o difícil estabelecimento de parâmetros para comparações. A escolha de determinados indicadores pode ser adequada a locais específicos, mas sua transferência para outros locais está condicionada as características físicas, químicas e biológicas similares (Liebig & Doran, 1999). Neste sentido, a infiltração de água no solo, por exemplo, não seria indicado para solos de várzeas, e sim para outras áreas agrícolas.

No Brasil, um número significativo de trabalhos têm avaliado a sustentabilidade dos agroecossistemas tomando como referência o aporte e qualidade da serrapilheira (Alves et al., 2006; Ferreira et al., 2007; Sanches et al., 2009), os atributos químicos (Frazão et al., 2008; Lima et al., 2011; Iwata et al., 2012), físicos (Flores et al., 2007; Chioderoli et al., 2012; Freitas et al., 2012), biológicos do solo (Silva et al., 2007; Cardoso et al., 2009; Lisboa et al., 2012), ou a interação entre esses atributos (Araújo et al., 2007; Carneiro et al., 2009; Cunha et al., 2012).

### **2.5.1 Produção, acúmulo e qualidade de serrapilheira**

Os estudos quantitativos e qualitativos da serrapilheira são importantes para compreensão do funcionamento dos ecossistemas florestais (Alves et al., 2006), pois externam as estratégias de adaptação das diferentes espécies às limitações nutricionais e climáticas de diferentes ambientes (Ferreira et al., 2007). Assim, esses estudos fornecem subsídio para o desenho e manejo de sistemas de produção agrícola fundamentados em processos ecológicos naturais (Sanches et al., 2009).

Além disso, o estudo da serrapilheira tem despertado a comunidade científica por representar o principal caminho de transferência de carbono e nutrientes, sobretudo o

nitrogênio, da planta para o solo (Vieira et al., 2009). Representa, também, um importante mecanismo de regulação da nutrição das plantas (Vital et al., 2004), protege o solo da erosão superficial e os nutrientes da lixiviação vertical (Caldeira et al., 2007), além de funcionar como dreno de carbono (Araújo et al., 2011).

Sabe-se que a produção e o acúmulo de serrapilheira em ecossistemas tropicais e subtropicais seguem padrões sazonais (Sanches et al., 2009; Vieira et al., 2009), governados por fatores como fertilidade do solo, regime pluviométrico, taxa de decomposição e, principalmente, tipo de cobertura vegetal (Vital et al., 2004; Alves et al., 2006; Ferreira et al., 2007). Valores entre 3,1 Mg ha<sup>-1</sup> e 16,5 Mg ha<sup>-1</sup> de acúmulo de serrapilheira em florestas tropicais são relatadas por Caldeira et al. (2007). Os valores máximos observados foram encontrados em florestas submontanas na Colômbia, atribuídos ao baixo teor de nutrientes nas folhas associados a restrições climáticas para decomposição. No entanto, os autores argumentam que a média, em florestas tropicais, é de 6,0 Mg ha<sup>-1</sup>.

A decomposição da serrapilheira em ecossistemas tropicais pode chegar a ser cinco vezes mais rápida que em regiões temperadas (Sanchez & Logan, 1992), sendo regida, entre outros fatores, por condições de fertilidade do solo, temperatura, umidade, qualidade dos resíduos (Caldeira et al., 2007), fauna do solo de cada região e pelas espécies formadoras de serrapilheira (Sanches et al., 2009). No entanto, os autores dos dois últimos trabalhos citados argumentam que a qualidade dos resíduos justifica melhor as variações na decomposição que as condições ambientais.

Tian et al. (1995) consideram resíduos de alta qualidade aqueles que apresentam baixa relação C/N, polifenóis totais e lignina, ou seja, apresentam taxa de decomposição alta. No entanto, do ponto de vista do estoque de carbono nesse compartimento, tais características não são desejadas. Já do ponto de vista agrícola, espera-se que a decomposição seja rápida e em sincronia com a demanda de nutrientes pelas culturas cultivadas.

A quantidade de nutrientes ciclados via serrapilheira pode variar em função das espécies formadoras, da fertilidade do solo, da quantidade de resíduos aportados e da concentração de nutrientes na biomassa seca (Schumacher, 2004). Entretanto, os resultados obtidos por Caldeira et al. (2007) e Vieira et al. (2009) apontam que os nutrientes mais reciclados são o nitrogênio, potássio e cálcio.

## 2.5.2 Matéria orgânica do solo

A fase sólida do solo é constituída da fração mineral e orgânica. A fração orgânica compreende a matéria orgânica do solo (MOS), composta, basicamente, por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e fósforo. O carbono compreende cerca de 58% da matéria orgânica do solo, o hidrogênio 6%, o oxigênio 33%, enquanto nitrogênio, enxofre e fósforo contribuem, individualmente, com cerca de 3% (Silva & Mendonça, 2007). Devido a grande participação do carbono na sua constituição, os estudos da dinâmica da MOS estão, na grande maioria, associados ao ciclo do carbono (Figueiredo, 2009).

Estima-se que a biomassa terrestre armazena, aproximadamente, 1500 Pg (1 Pg =  $10^9$  Mg) de carbono nos primeiros 100 cm do solo e outros 600 Pg de carbono na vegetação, que somados equivalem a três vezes a quantidade de C contida na atmosfera (Cerri et al., 2008). Portanto, mudanças nos estoques de carbono da vegetação e no solo podem causar impactos significativos nas concentrações de CO<sub>2</sub> e outros gases do efeito estufa.

O carbono total dos solos minerais agrícolas varia de 0,2 a 5,0%, sendo que, em solos ácidos, a maior parte encontra-se na forma orgânica e os menores valores são observados em solos de textura arenosa. O carbono do solo encontra-se na biomassa dos microrganismos, nas substâncias húmicas, nos resíduos vegetais e animais em diferentes estágios de decomposição e em materiais inertes como carvão vegetal ou mineral (Mendonça & Matos, 2005).

Entre os indicadores de qualidade, a matéria orgânica do solo é componente principal em diversos processos químicos, físicos e biológicos de ecossistemas terrestres. Diversos trabalhos têm ressaltado suas funções na manutenção da qualidade do solo (Maia et al., 2006; Oliveira Junior et al., 2008; Aragão et al., 2012), na sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas (Araújo et al., 2007; Carneiro et al., 2009; Cunha et al., 2012) e no balanço de gases do efeito estufa (Mutuo et al., 2005; Carvalho et al., 2011; Froufe et al., 2011). Entretanto, trabalhos vêm sendo realizados para identificar qual componente da MOS melhor expressa os impactos do manejo do solo (Vezzani & Mielniczuk, 2009).

Nesse cenário, destacam-se os trabalhos que envolvem o fracionamento físico e químico da MOS. Entre os primeiros, os resultados apontam a fração particulada como a mais sensível ao manejo (Bayer et al., 2004; Nunes et al., 2011; Schiavo et al., 2011) e no fracionamento químico, entre as frações estabilizadas da MOS, os ácidos fúlvicos têm se

mostrado mais passivos de mudanças (Neto et al., 2011; Primo et al., 2011; Pessoa et al., 2012).

### **2.5.3 Indicadores químicos de sustentabilidade**

Fatores de ordem química influenciam o crescimento das plantas e, devido às suas interações, são difíceis de classificá-los ou separá-los. Em geral, os indicadores químicos são agrupados em variáveis relacionadas com o conteúdo de MOS, acidez do solo, conteúdo de nutrientes, elementos fitotóxicos e determinadas relações como a saturação por base e por alumínio (Araújo et al., 2012).

O potencial de hidrogênio (pH) é uma variável química que expressa a reatividade do solo e, assim, tem relação direta com o crescimento das plantas. Suas principais interferências residem: i) na disponibilidade dos elementos essenciais à nutrição das plantas; ii) na solubilidade de elementos que podem ter efeito tóxico sobre as plantas; iii) na atividade da biota do solo; iv) no controle de pragas e doenças; v) na competição entre espécies de plantas; vi) nas reações de sorção, dessorção e precipitação do solo (Meurer, 2007).

A despeito da disponibilidade dos nutrientes para as plantas, sabe-se que macronutrientes como N, K, Ca, Mg e S, por efeito direto ou indireto, apresentam maior disponibilidade para os vegetais em faixa de pH de 6,0 a 6,5. O fósforo, na maioria dos solos brasileiros, é pouco disponível em ambiente muito ácido. Isso decorre da afinidade que esse nutriente tem com a fração mineral do solo, no caso, os óxidos de ferro, muito comum nos solos brasileiros, formando complexos de esfera interna de baixa labilidade. Nessas condições, associada à baixa mobilidade do fósforo, a nutrição das plantas com esse elemento dar-se-ia, principalmente, pela decomposição da MOS nas camadas superficiais do solo (Vale Júnior et al., 2011).

Os micronutrientes de carga positiva aumentam sua disponibilidade com a redução do pH. Neste caso, o aumento do pH implica em incrementos de cargas negativas na superfície coloidal, dominadas por óxidos de ferro, e conseqüente redução na disponibilidade dos cátions por adsorção desses elementos na superfície dos colóides. Em geral, a faixa de pH de 5,5 a 6,5 é a mais favorável ao crescimento das plantas, por possibilitar melhor equilíbrio na disponibilidade dos nutrientes essenciais. No entanto, em valores de pH abaixo de 5,5 podem ocorrer danos ao crescimento da plantas em razão da elevada concentração de elementos potencialmente tóxicos, como o Al e Mn. Nestas

condições, a solubilidade do Al aumenta e mais da metade do complexo de troca pode ser ocupado por ele (Foy, 1974).

No trópico úmido, o principal elemento que tem efeito fitotóxico nas plantas é o Al na forma de cátion trivalente hidratado ( $\text{Al}^{3+}$ ) ou parcialmente hidratado [ $(\text{Al}(\text{OH})_2^+$  ou  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ]. Esse elemento atua no sistema radicular das plantas causando alterações morfológicas e no crescimento das raízes que, como consequência, diminui o potencial de absorver água e nutrientes. A tolerância das plantas ao Al na solução do solo varia entre espécies e dentro da mesma espécie de acordo com o genótipo, no entanto, o principal mecanismo natural de tolerância reside na sua complexação pela MOS (Foy, 1974).

Outro indicador de qualidade do solo relevante é a capacidade de troca de cátions (CTC), por se relacionar com as reservas de nutrientes que, potencialmente, podem ser absorvidos pelas plantas. Além de representar essa reserva de nutrientes, as reações de adsorção de esfera externa que ocorrem na superfície coloidal protegem os nutrientes da lixiviação no perfil do solo. A densidade de cargas que irá determinar a CTC do solo é uma medida dependente do tipo de coloide que compõe o solo e, no trópico úmido, a maioria das cargas da superfície do solo advém da fração orgânica (Silva & Mendonça, 2007).

Embora não expresse a quantidade de nutriente prontamente disponível para as plantas, a saturação por bases (V) é um bom indicador de qualidade do solo, pois indica a porcentagem da CTC que está saturada por cátions essenciais (Ca, Mg e K) disponíveis ao crescimento das plantas. O valor de 50% de saturação por bases é o limite superior para o solo ser considerado distrófico e, portanto, de baixo potencial agrônomico. Valores acima de 50% indicam solos eutróficos e considerados de boa fertilidade (Embrapa, 2006).

Pelo que foi exposto, pode-se observar que os atributos químicos do solo são fortemente correlacionados com a reatividade do solo, representados pelo pH. Este, por sua vez, tem estreita relação com os fatores de formação do solo, em especial o material de origem e as condições climáticas em que foram formados (Meurer, 2007). No Brasil, essas condições favorecem o intemperismo, o que se traduz na formação de solos ácidos (geralmente com  $\text{pH} < 5,5$ ), com problemas na sua fertilidade natural do ponto de vista agrônomico.

#### **2.5.4 Indicadores físicos de sustentabilidade**

Os atributos físicos, por estarem envolvidos no suporte ao crescimento radicular, armazenamento de água, trocas gasosas e atividade biológica, constituem-se em importantes

indicadores de sustentabilidade dos agroecossistemas (Araújo et al., 2012). Araújo et al. (2007) destacam os atributos físicos como essenciais à qualidade do solo pela estreita relação entre estes e os atributos químicos e biológicos. Entre esses indicadores, destacam-se a textura e estrutura do solo.

A textura é uma das propriedades mais estáveis, sendo usada nos estudos de impactos de manejo do solo para caracterizar as condições nas quais a pesquisa foi feita. No entanto, está intimamente ligada a resiliência do solo por se correlacionar com outras propriedades físicas e químicas do solo. A capacidade de troca de cátions, a retenção e infiltração de água, a drenagem, a erodibilidade, dentre outras, tem relação direta com a textura, definindo as práticas de manejo e capacidade de suporte do solo à produção vegetal (Meurer, 2007).

A estrutura refere-se ao arranjo espacial das partículas do solo. Assim, fatores como agregação, o complexo do espaço poroso, a resistência do solo a penetração, são alguns aspectos da estrutura em diferentes escalas (Dexter, 1988).

A densidade do solo é a propriedade física mais dinâmica e, em condições naturais, é dependente da textura, variando de 0,2 a 0,5 kg dm<sup>3</sup> nos solos turfosos até 1,6 kg dm<sup>3</sup> nos solos arenosos (Meurer, 2007). É alterada pelo cultivo, pela compressão de máquinas agrícolas, pelo pisoteio animal e condições de clima (Arshad & Martins, 2002). Incrementos na densidade do solo diminuem a porosidade, reduzem a permeabilidade e alteram o padrão de crescimento radicular dos vegetais (Araújo et al., 2012). Já a densidade de partículas não é alterada pelo manejo, pois representa a massa específica do solo. Como a fração orgânica quantidade do volume total de sólidos, poucas mudanças são observadas nessa variável.

A dinâmica do espaço poroso do solo tem se apresentado como importante indicador de sustentabilidade dos agroecossistemas por se relacionar com a condutividade hidráulica do solo, capacidade de drenagem, de retenção de água para as plantas, erodibilidade, suprimento de O<sub>2</sub> para as raízes, dentre outras (Doran & Parkin, 1994). Operacionalmente, costuma-se classificar os poros do solo de acordo com a classe de tamanho, ou seja, macroporos e microporos, cujo limite está nos poros com diâmetro maiores e menores que 0,6 mm, respectivamente.

A altura da coluna de água de uma mesa de tensão de 60 cm é o parâmetro usado para separar macroporos de microporos, admitindo-se que os macroporos sejam responsáveis pelo livre movimento do ar, água e do crescimento radicular, e os microporos

um reservatório de água (Reichardt, 1990). O limite mínimo de 10% de macroporos e o máximo possível de mesoporos têm sido defendidos como condição ideal do solo para uso agrícola (Carneiro et al., 2009).

A agregação do solo é um processo dependente de fatores bióticos e abióticos do solo (Baldock, 2002). No entanto, Silva & Mendonça (2007) argumentam que, nas condições de solos tropicais e subtropicais dominados por argilas 1:1 e oxihidróxidos, esse processo é mais dependente de interações físico-químicas. Assim, os fatores bióticos como MOS e sistema radicular, tem papel secundário na formação de agregados nos solos tropicais.

Sá et al. (2000) relatam que a estabilidade de agregados é o parâmetro que melhor se correlaciona com a erodibilidade do solo, influencia na infiltração e retenção de água, a aeração, o encrostamento superficial e a resistência à penetração. Diversos trabalhos têm usado esse atributo do solo como indicador de sustentabilidade dos agroecossistemas (Junqueira et al., 2010; Bonini & Alves, 2011; Dantas et al., 2012).

Outro atributo que tem sido usado em estudos de impactos do manejo do solo é a resistência do solo à penetração (Borges et al., 2004; Oliveira et al., 2007; Freitas et al., 2012), pela facilidade de sua determinação e sensibilidade às variações de manejo do solo (Klein, 2008). Sabe-se que sua determinação está associada aos valores de densidade global, umidade do solo, textura e matéria orgânica, pela sua relação de dependência com essas variáveis. No entanto, não há consenso na literatura quanto aos valores restritivos ao crescimento radicular, os quais podem variar de acordo com a cultura explorada e sistema de manejo do solo adotado.

## 2.6 REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. C. F.; FREITAS, I. C.; CARVALHO, C. S.; MONROE, P. H. M.; MOURA, E. G. Efficiency of an agrosystem designed for family farming in the pre-Amazon region. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 26, n. 1, p. 24-30, 2010.

ALTIERI, M. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba: Agropecuária, 2002. 592 p.

ALVES, A. L.; SOUTO, J. S.; HOLANDA, A. C. Aporte e decomposição de serapilheira em área de Caatinga, na Paraíba. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Belém, v. 6, n. 2, p. 194-203, 2006.

ARAGÃO, D. V.; CARVALHO, C. R. R.; KATO, O. R.; ARAÚJO, C. M.; SANTOS, M. T. P.; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo no Nordeste

paraense. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 2, p. 11-18, 2012.

ARAGÓN, L. E. Introdução ao estudo da migração internacional na Amazônia. **Contexto Internacional**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 71-102, 2011.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

ARSHAD, M. A.; MARTINS, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 153-160, 2002.

ASSIS, R. L.; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura familiar na região centro-sul do estado do Paraná. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 1, p. 155-177, 2005.

BALDOCK, J. A. Interactions of organic materials and microorganisms with minerals in the stabilization of soil structure. In: HUANG, P. M.; BOLLAG, J. M.; SENESI, N. (Ed.). **Interactions between soil particles and microorganisms: impacts on the terrestrial ecosystem**. IUPAC: Series on analytical and physical chemistry of environmental systems, 2002. p. 58-132.

BARNI, P. E.; FEARNEDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Desmatamento no sul do estado de Rondônia: padrões de distribuição em função de projetos de assentamentos do INCRA e da distância das principais rodovias (BR-174 e BR-210). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 2, p. 195-204, 2012.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINOTO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis de matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1263-1270, 2011.

BORGES, J. R.; PUAULETTO, E. A.; SOUSA, R. O.; PINTO, L. F. S.; LEITZKE, V. W. Resistência à penetração de um Gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 10, n. 1, p. 83-86, 2004.

BRASIL: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Coletivos jovens de meio ambiente**: manual do orientador. Brasília: Breams, 2005. 39 p.

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em floresta ombrófila mista montana-Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 631-637, 2009.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, J. L. M.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. M.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2011.

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2 ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 325-357. Parte III – ecossistemas.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e brachiaria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

COELHO, M. R.; SANTOS, H. G.; SILVA, E. F.; AGLIO, M. L. D. O Recurso Natural do Solo. In: MANZATTO, C. V. (Org.). **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 1-12.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; DIDONET, A.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solos sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.

DANTAS, J. D. N.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. E.; ASSIS, C. P. Qualidade do solo sob diferentes usos e manejo no perímetro irrigado Jaguaribe/Apodí, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 18-26, 2012.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 1, p. 199-238, 1988.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; CELEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.

DUBOIS, J. C. L.; VIANA, V. M.; ANDERSON, A. B. **Sistemas e práticas agroflorestais para Amazônia**: Manual agroflorestal para a Amazônia. Rio de Janeiro: REBRAAF, 1996. 2-27 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 306 p.

FEARNSIDE, P. M. Forest biomass in Brazilian Amazon: Comments on the estimate by Brown and Lugo. **Interciência**, Caracas, v. 17, n. 1, p. 19-27, 1992.

FERREIRA, R. L. C.; LIRA JUNIOR, M. A.; ROCHA, M. S.; SANTOS, V. S.; LIRA, M. A.; BARRETO, L. P. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa Caesalpinifolia* Benth.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 7-12, 2007.

FIGUEIREDO, C. C. **Compartimentos da matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e vegetação natural de Cerrado**. 2009. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água)–Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

FINATTO, R. A.; CORRÊA, W. A organização da agricultura familiar de base agroecológica em Pelotas/RS. **Revista de Geografia Agrária**, Uberlândia, v. 6, n. 11, p. 280-311, 2011.

FLORES, J. P. C.; ANCHINOLI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 771-780, 2007.

FOY, C. D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E. W. (Ed.). **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p. 601-642.

FRAZÃO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FIEGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 641-648, 2008.

FREITAS, I. C.; SANTOS, F. C. V.; CUSTODIO FILHO, R. O.; SILVA, N., R.; CORRECHEL, V. Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1275-1281, 2012.

FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G.; SEOANE, C. E. S. Potencial de sistemas agroflorestais multiestrata para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de floresta atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 143-154, 2011.

GEHRING, C. O ambiente do trópico úmido e o manejo sustentável dos agroecossistemas. In: MOURA, E. G.; AGUIAR, A. C. F. (Org.). **O desenvolvimento rural como forma de ampliação dos direitos no campo: Princípios e tecnologias**. São Luís: UEMA-Série Agroecologia, 2006. p. 101-129.

GLIESSMAN, R. S. **Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 654 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de solos do Brasil**: escala

1:5.000.000. 2001.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.

JARDIM, F. C. S.; RIBEIRO, G. D.; S., R. L. Avaliação preliminar de sistema agroflorestral no projeto água verde, Albrás, Barcarena, Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 41, n. 1, p. 25-46, 2004.

JUNQUEIRA, K. R.; CORRECHEL, V.; CUSTÓDIO FILHO, R. O.; SANTOS, F. C. V.; JUNQUEIRA, M. F. R. Estabilidade de agregados de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem e mata em Baliza-GO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 10, p. 1-7, 2010.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Society American Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: UFP, 2008. 212 p.

LAL, R.; PIERCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIERCE, F. J. (Ed.). **Soil management for sustainability**. Ankeny: Soil Water Conservation Society, 1991. p. 1-5.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDIECEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1994. p. 37-52.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação do solo**. São Paulo: Oficina de textos, 2002. 178 p.

LIEBIG, M. A.; DORAN, J. W. Evaluation of point-scale assessments of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 54, n. 3, p. 510-518, 1999.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B. Atributos químicos e estoque de carbono e nitrogênio em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 51-60, 2011.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 45-55, 2012.

MAIA, S. M.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1599-1608,

2007.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.

MENEZES, J. M. T.; LEEUWEN, J. V.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P.; LEANDRO, R. C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 893-898, 2008.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 67-90.

MOURA, E. G.; COELHO, K. P.; FREITAS, I. C.; AGUIAR, A. C. F. Chemical and physical fertility indicators of a weakly-structured Ultisol after liming and mulching. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 800-805, 2009.

MUTUO, P. K.; CADISCH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C. A.; VERCHOR, M. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soil in the tropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 73, n. 1, p. 43-54, 2005.

NAVARRO, Z. A estranha associação entre o poder do atraso, a história lenta e a “sociologia militante”, e o acaso da reforma agrária no Brasil. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 13, n. 2, p. 5-51, 2008.

NETO, F. A.; LEITE, L. F. C.; ARNHOLD, E.; MACIEL, G. A.; CARNEIRO, F. V. Compartimentos de carbono em Latossolo Vermelho sob cultivo de eucalipto e fitofisionomias de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 849-856, 2011.

NUNES, R. S.; LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; MENDES, I. C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de Cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1407-1419, 2011.

OLIVEIRA, G. C.; SEVERINO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho na microregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 265-270, 2007.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592 p.

OLIVEIRA JUNIOR, A. C.; SILVA, C. A.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G.; RANGEL, O. J. P. Indicadores químicos de qualidade da matéria orgânica de solo da sub-bacia do rio das mortes sob manejo diferenciais de cafeeiro. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 7, p. 1733-1737, 2008.

PESSOA, P. M. A.; DUDA, G. P.; BARROS, R. B.; FREIRA, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; CORREA, M. M. Frações de carbono orgânico de um Latossolo Húmico sob diferentes usos no agreste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 97-104, 2012.

PRADO, H. **Pedologia fácil**: Aplicações na agricultura. Piracicaba, 2008. 145 p.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, Aracajú, v. 7, n. 5, p. 1-13, 2011.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JUNIOR, M. S. Comparison of methods for aggregate stability studies in soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1825-1834, 2000.

SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERINO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 667-674, 2010.

SALMI, A. P.; SOUZA, A. C.; GUERRA, J. G. M.; RISSO, I. A. M. Teores de nutrientes na biomassa aérea da leguminosa *Flemingia macropylla*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 4, n. 2, p. 873-876, 2009.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 183-189, 2009.

SANCHEZ, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soil in the tropics. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. A. (Org.). **Myths and science of soil of the tropics**. Madison: SSSA/ASA, 1992. p. 35-46.

SCHIAVO, J. A.; ROSSET, J. S.; PEREIRA, M. G.; SALTON, J. C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos e Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1332-1388, 2011.

SCHUMACHER, M. V. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no municipal de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 29-37, 2004.

SILVA, C. E.; HOLANDA, F. S. R. Indicadores de sustentabilidade para avaliação de agroecossistemas extrativistas; o caso da Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) no baixo São Francisco, Brasil. **Revista Campus**, Poripiranga, v. 2, n. 1, p. 111-126, 2009.

SILVA, D. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F. S.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e florestas nativa. **Revista de Estudos Ambientais (online)**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência de cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

TERRACLASS. **Levantamento de informações de uso e cobertura da terra da Amazônia**: Sumario executivo. Belém: Embrapa Amazônia Oriental / INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. 36 p.

TIAN, G.; BRUSSAARD, L.; KANG, B. T. An index for assessing the quality of plant residues and evaluation their effects on soil and crop in the sub-humid tropics. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 13, n. 2, p. 25-32, 1995.

VALE JÚNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agro@ambiente Online**, Boa Vista, v. 5, n. 2, p. 158-165, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, n. 33, p. 743-755, 2009.

VIEIRA, J. A. G.; TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; LIMA, E.; ZONTA, E. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes ao solo pela espécie *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Altas, v. 4, n. 2, p. 40-43, 2009.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecídua em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.

ZUO, X.; H., Z.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; GUO, Y.; WANG, S.; DRAKE, S. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, n. 2, p. 202-212, 2008.

### **3 IMPACTOS DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO FAMILIAR DA AMAZÔNIA NO CARBONO DO SOLO, QUANTIDADE E QUALIDADE DA SERRAPILHEIRA**

#### **RESUMO**

Na Amazônia, a conversão das florestas em agroecossistemas tem se caracterizado pela redução nos estoques de carbono vegetal, o que não se alinha com os princípios da sustentabilidade. O objetivo deste estudo foi avaliar os impactos do uso do solo pela agricultura familiar nos estoques de carbono do solo, na quantidade acumulada e qualidade da serrapilheira. As formas de uso avaliadas foram: SAF=sistema agroflorestal, PA=pastagem cultivada, RT=roça de toco e MA=mata nativa, todos sobre Neossolo Quartzarênico. Em cada sistema foram coletadas sete amostras de serrapilheira e de solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm nos meses de julho de 2010 e janeiro de 2011. Foram analisados os teores de macro e micronutrientes, relação C/N, lignina, polifenóis e carbono na serrapilheira e no solo. Entre os sistemas antropizados, o SAF apresentou maior produção de serrapilheira e acúmulo de nutrientes nos resíduos nos dois períodos avaliados e maior estoque de carbono no solo no período seco. No entanto, seus resíduos foram mais recalcitrantes que os tratamentos MA e PA.

*Palavras-chave:* Sistema agroflorestal, agricultura itinerante, agricultura familiar.

#### **ABSTRACT**

### **IMPACTS OF PRODUCTION SYSTEMS FAMILY THE AMAZON IN SOIL CARBON, QUANTITY AND QUALITY LITTER**

In the Amazon, the conversion of forests into agricultural ecosystems has been characterized by a reduction in carbon stocks in vegetation, which does not align with the principles of sustainability. The aim of this study was to evaluate the impacts of soil use by family farmers in soil carbon stocks, quantity and quality of litter accumulated. Forms of use were evaluated: SAF=agroforestry system, PA=pasture, RT=stump field and MA=preserved forest, all about Entisol Quartzipsamment. In each system were collected seven samples of litter and soil at depths of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm in July 2010 and January 2011. The contents of macro and micronutrients, C/N ratio, lignin, polyphenols and carbon in the litter and soil were analyzed. Among the anthropogenic systems the SAF system presented higher litter production, accumulation of nutrients in the residues in these

two periods of collection and increased carbon storage in the soil during the dry season. However, their residues were more recalcitrant than those of the MA and PA treatments.

*Key words:* Agroforestry system, shifting agriculture, family farming.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Na Amazônia, a conversão das florestas em agroecossistemas tem sido marcada pela redução dos estoques de carbono (C) na biomassa, o que implica em sua transferência para a atmosfera. Segundo Matheus (2012), as plantações e pastos podem ter de 20 a 100 vezes menos carbono estocado por unidade de área que as florestas, e a estimativa de transferência de C para a atmosfera, decorrente desta conversão, corresponde a 1,7 bilhões de toneladas por ano. No solo, a quantidade de C armazenada chega a quase 1.500 Gt (1 Gt =  $10^9$  toneladas), enquanto a atmosfera contém, aproximadamente, 750 Gt, ou seja, metade do C do solo. Assim, pequena mudança no carbono do solo pode afetar significativamente seus estoques na atmosfera.

O grande desafio da pesquisa na Amazônia é desenvolver agroecossistemas que aliem produção e conservação ambiental, sobretudo para a agricultura familiar que, tradicionalmente, cultiva sobre as cinzas produzidas pela combustão da vegetação natural. Uma alternativa, supostamente sustentável, que vem sendo apresentada para essa região é o uso de sistemas agroflorestais (Mutuo et al., 2005). Esses sistemas de produção, por manterem uma cobertura vegetal semelhante às áreas sob floresta, permitem a manutenção da fertilidade do solo fundamentada no aporte e ciclagem dos resíduos orgânicos (Silva et al., 2011). Isso, além de garantir a sustentabilidade da produção, especialmente nos solos de baixa fertilidade da Amazônia, pelos benefícios da matéria orgânica nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, possibilita grande acúmulo de carbono nos compartimentos biomassa, serrapilheira e solo (Mutuo et al., 2005; Froufe et al., 2011).

Na literatura, a maioria dos trabalhos relativos à serrapilheira estuda a produção e o acúmulo em ecossistemas preservados (Vital et al., 2004; Ferreira et al., 2007; Sanches et al., 2009) ou agroecossistemas silviagrícolas (Vieira et al., 2009). Entretanto, estudos comparativos entre ecossistemas antropizados e preservados são importantes para fornecer subsídios no desenho e manejo de agroecossistemas sustentáveis, pois, nos solos de baixa fertilidade do trópico úmido, a matéria orgânica responde pela maior parte da capacidade de troca de cátions no solo (Silva et al., 2011), sendo aportada ao solo via resíduos da parte

aérea das comunidades vegetais que integram o agroecossistema (Sanches et al., 2009).

No entanto, fatores ambientais como elevadas temperaturas e umidade, características da região, favorecem a mineralização da serrapilheira e matéria orgânica do solo (Caldeira et al., 2007). Do ponto de vista de nutrição das plantas, essa rápida mineralização é importante, porém, quando se trata da imobilização do carbono, como forma de mitigação biológica dos efeitos do gás carbônico na atmosfera, configura-se como uma característica negativa. Neste contexto, a natureza bioquímica dos resíduos orgânicos formadores da serrapilheira é decisiva para o tempo de residência do material sobre o solo (Sanches et al., 2009).

Neste sentido, Tian et al. (1995) desenvolveram um modelo matemático que permite prever a qualidade dos resíduos vegetais, o qual integra a relação C/N, conteúdo de polifenóis e lignina do resíduo, correlacionando-se muito bem com estudos desenvolvidos em sacos plásticos (*littler bags*). Trata-se de uma metodologia alternativa para estudos onde não se adaptam os coletores metálicos ou de madeira com fundo telado, a qual tem sido utilizada em estudos comparativos relativos à qualidade dos resíduos de plantas e restos culturais (Aguiar et al., 2010a; Aguiar et al., 2010b).

Com base nessas informações, este trabalho testou a hipótese de que os sistemas de manejo do solo pela agricultura familiar, afetam, de forma diferenciada, a quantidade e qualidade da serrapilheira estocada, bem como o carbono do solo, os quais podem ser utilizados como parâmetros para avaliação de sua qualidade. Dessa forma, conduziu-se este estudo com o objetivo de comparar indicadores de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo, utilizados pela agricultura familiar, com vistas à definição de sistemas de manejo sustentáveis.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no lote 52 do Assentamento Tobasa no município de Esperantina (Tocantins), Brasil, nas coordenadas geográficas: 5° 22' 02'' S e 48° 35' 57'' O e altitude média local de 90 m. A precipitação média local é de 1.500 mm ano<sup>-1</sup> e a temperatura média anual de 28,5°C. O clima, classificado como Aw (Köppen), apresenta seis meses de período chuvoso (dezembro a maio) e seis meses de período seco (junho a novembro). O solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico (RQ<sub>0</sub>), conforme Embrapa (2006) e descrição no Apêndice A.

Os sistemas de manejo do solo avaliados foram:

1 - SAF: sistema agroflorestal implantado em 1989 em volta da sede, onde convivem, livremente, 65 galinhas do tipo caipira. Evoluiu de um quintal agroflorestal para uma agrofloresta, com mais de sessenta espécies cultivadas em consórcio, sendo o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) a principal cultura econômica do sistema, com produção anual de polpa de 1.500 Kg, seguida pela do bacuri (*Platonia insignis*), com produção anual de polpa de 750 Kg. Ocupa uma área de três hectares, na qual são adicionados, anualmente, resíduos oriundos da atividade doméstica como cascas e sementes de frutas, cascas de mandioca e feijão, palhas e sabugos de milho, entre outras, estimando-se em uma adubação orgânica anual de 1,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Encontra-se em estágio de sucessão ecológica de capoeira grossa, com biomassa aérea de, aproximadamente, 70% da observada visualmente na mata nativa.

2 - PA: pastagem cultivada implantada em 1989 com capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*), localizada ao lado do sistema agroflorestal. Ocupa uma área de 16 hectares, usada no pastejo de bovinos, equinos e ovinos, mantendo uma pressão de pastejo constante de 0,8 unidades animal (UA) por hectare (1UA = 450 Kg de peso vivo). O proprietário comercializa anualmente cinco bezerros de oito meses de idade, descarta duas matrizes para o abate (150 Kg de carcaça) e ordenha quinze litros de leite diariamente.

3 - RT: roça de toco, caracterizada pela retirada da floresta nativa, que teve sua fitomassa seca queimada em 2009, sendo utilizada para cultivo com arroz (*Oryza sativa*), milho (*Zea mays*), feijão trepa-pau (*Vigna unguiculata*) e mandioca (*Manihot esculenta*) até maio de 2010. Ocupa uma área de 2,5 hectares, na qual são colhidos, em média, 1.200 Kg de arroz, 900 Kg de milho, 120 Kg de feijão e a mandioca (bianual), encontrando-se em fase de crescimento. Todas as espécies são cultivadas na forma de consórcio.

4 - MA: mata nativa do tipo floresta aberta, com expressivo estoque de biomassa aérea, usada como testemunha. Localiza-se ao lado da roça de toco, é usada como reserva e, eventualmente, é colhida lenha, madeira para o fabrico de casas para moradia e frutas nativas da região.

Todos os sistemas antropizados tiveram como preparo inicial do solo o corte e queima da vegetação natural, sem uso de mecanização nem de adubos solúveis ao longo dos anos. Em cada sistema de uso do solo, foi delimitada uma transeção na qual foram coletadas amostras de solo e serrapilheira em sete pontos distantes entre si de dez metros. No entorno de cada ponto de amostragem foram realizadas quatro coletas aleatórias de serrapilheira,

utilizando-se um quadrado metálico de 0,50 m de aresta, para compor uma amostra composta, totalizando sete amostras compostas por sistema de manejo em cada período de amostragem. Após a coleta, o material foi pesado e retirado uma alíquota de peso conhecido, acondicionado em saco de papel e colocado em estufa de ventilação forçada à temperatura de 58°C até peso constante para estimativa do rendimento de massa seca. Posteriormente, parte do material seco foi triturada em moinho tipo Willy com peneira de 30 mesh, acondicionado em pote plástico e identificado para análises.

As análises de C, N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn da serrapilheira foram feitas seguindo metodologia preconizada por Malavolta et al. (1997). As análises de lignina seguiram a metodologia proposta por Robertson & Van Soest (1981) e Mertens (2002) em análises sequenciais de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) e lignina. Os fenóis totais foram determinados de acordo com Makkar et al. (1993).

Em cada período de coleta e ponto de amostragem foi aberta uma mini-trincheira. Em suas paredes, em posição mediana na camada amostrada, foram coletadas amostras de terra, com auxílio de anéis volumétricos com dimensões de 5x5 cm para determinação da densidade do solo e, com um facão, uma porção de, aproximadamente, 0,2 kg de solo para análises do carbono. As análises destas variáveis foram feitas seguindo os métodos descritos em Embrapa (1997). O carbono do solo foi analisado por digestão úmida e a densidade do solo pela relação entre a massa do solo seco e o volume total. As amostras de solo foram coletadas nas camadas representativas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em duas épocas do ano, período seco (julho/2010) e período chuvoso (janeiro/2011).

Foi usado o índice de qualidade de resíduos vegetais (IQRV), proposto por Tian et al. (1995), calculado por meio da fórmula:  $IQRV = [1/(a \times \text{relação C/N} + b \times \text{lignina} + c \times \text{polifenóis})] \times 100$ ; em que: *a*, *b* e *c* são coeficientes de contribuição relativa da relação C/N (*a*=0,423), dos conteúdos de lignina em porcentagem (*b*=0,439) e polifenóis em porcentagem (*c*=0,138) para a qualidade do resíduo vegetal.

O estoque de carbono orgânico nas respectivas camadas de solo foi transformado pelos métodos da camada equivalente de solo (Bayer et al., 2000) e da massa equivalente de solo (Ellert & Bettany, 1995). O método da camada equivalente de solo leva em consideração a espessura da camada e a densidade do solo avaliada, enquanto o método da massa equivalente de solo utiliza como referência a massa de solo de um tratamento, a qual é tomada como base para o cálculo do estoque de carbono em todos os demais tratamentos. Neste estudo, consideraram-se como referência as massas de solo das camadas

correspondentes da mata nativa, a qual representa a condição original do solo. Para ambos os métodos utilizou-se a fórmula proposta por Arevalo et al. (2002), em que:  $CS=(PVs \times C)/100$ ; onde: CS=carbono orgânico estocado no solo, em  $Mg \text{ ha}^{-1}$ , PVs=peso do volume do solo ( $Mg \text{ ha}^{-1}$ ), C=teor de carbono em porcentagem analisado em laboratório e 100=fator de correção. O PVs foi calculado multiplicando-se a densidade do solo pela espessura do horizonte (em metro) amostrado e por 10.000 (constante).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, segundo o delineamento inteiramente casualizado, e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Para viabilizar a comparação entre os sistemas, frente ao conjunto de variáveis envolvidas, foi feita análise multivariada, por meio da técnica de análise de conglomerados, pela distância mínima (método de Ward). A medida de similaridade usada para diferenciar as formas de manejo foi a distância euclidiana. As análises estatísticas foram feitas com o auxílio do aplicativo computacional PAST versão 2.08b (Hammer et al., 2001).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que o estoque de serrapilheira, no período seco, deu-se de forma significativa, na ordem: mata (MA), sistema agroflorestal (SAF), pasto (PA) e roça de toco (RT), enquanto no período chuvoso a ordem foi: SAF, MA, PA e RT (Tabela 3.1). Os resultados do período seco eram esperados, uma vez que o estoque de serrapilheira sobre o solo é dependente da cobertura vegetal predominante no sistema (Vital et al., 2004; Alves et al., 2006; Ferreira et al., 2007). Como a MA era, notadamente, o sistema com maior biomassa aérea, a deposição de serrapilheira sobre esse sistema foi mais expressiva que as demais formas de uso. Na roça de toco, pelo uso recente do fogo, era esperado baixo acúmulo de resíduos, conforme o observado.

No período chuvoso, destacou-se o estoque de serrapilheira no sistema SAF, inclusive com valores maiores que os encontrados na MA. Esse resultado pode ser explicado pelo estágio de sucessão ecológica que se encontra o sistema (capoeira grossa), que leva a uma renovação intensa de suas folhas em relação à mata (Caldeira et al., 2007). A qualidade dos resíduos que compõe a serrapilheira, também, pode ter contribuído com um tempo de residência da serrapilheira sobre o solo mais longo nesse sistema em relação à mata (Sanches et al., 2009), uma vez que o SAF é um sistema bem menos diversificado.

**Tabela 3.1.** Estoque de serrapilheira, carbono na serrapilheira, macro e micronutrientes acumulados num Neossolo Quartzarênico em diferentes usos da produção familiar na pré-Amazônia

Indicadores (Kg ha <sup>-1</sup> )	Período seco				Período chuvoso			
	MA <sup>1</sup>	SAF	PA	RT	MA	SAF	PA	RT
Serrapilheira	11.210 a	10.670 b	8.780 c	3.830 d	6.740 b	12.430 a	4.830 c	1.260 d
C	4.290 a	4.310 a	3.320 b	1.550 c	2.270 b	4.230 a	1.750 c	420 d
N	67,28 a	65,01 a	55,48 b	30,44 c	81,42 b	129,77 a	38,15 c	16,87 d
P	8,1 b	12,66 a	5,51 c	2,94 d	4,97 b	8,47 a	3,63 c	1,31 d
K	70,78 b	80,18 a	51,41 c	22,77 d	28,48 b	54,86 a	25,98 b	7,12 c
Ca	28,71 a	22,88 b	21,25 b	14,26 c	45,24 a	47,43 a	16,6 b	5,88 c
Mg	11,21 a	13,67 a	10,01 a	4,97 b	9,64 b	20,8 a	7,66 b	3,1 c
S	2,24 b	2,29 b	3,02 a	1,26 c	9,14 b	15,56 a	6,35 c	1,75 d
Cu	0,25 c	0,28 b	0,31 a	0,09 d	0,11 b	0,14 a	0,04 c	0,01 d
Fe	4,52 a	4,16 a	3,13 b	3,04 b	3,98 b	8,04 a	2,85 b	0,66 c
Mn	2,08 a	1,57 b	1,4 b	0,64 c	1,05 a	1,39 a	0,43 b	0,12 b
Zn	1,04 a	0,05 b	0,06 b	0,03 c	0,08 b	0,23 a	0,1 b	0,02 c

<sup>1</sup> MA = Mata nativa, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pastagem cultivada e RT = Roça de toco. Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si com o uso do solo para um mesmo período de amostragem, de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

Nos Neossolos Quartzarênicos, elevado aporte de resíduos orgânicos pode representar, entre outras vantagens, proteção aos nutrientes dos efeitos da lixiviação e erosão do solo. Essa é uma condição de exploração sustentável dessa classe de solo (Sales et al., 2010) e, nesse caso, o SAF mostrou elevado potencial.

No que se refere aos nutrientes estocados na serrapilheira, no período seco, o SAF foi superior ou semelhante a MA em carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, enxofre, cobre e ferro, e inferior em cálcio, manganês e zinco, enquanto PA teve valores intermediários e RT os menos expressivos. No período chuvoso, o SAF foi superior aos demais sistemas de uso avaliados em todos os nutrientes e RT o que menos estocou nutrientes em sua serrapilheira (Tabela 3.1).

Esses resultados são decorrentes do elevado aporte de estoque de serrapilheira sobre o solo no sistema SAF, pois o acúmulo de nutrientes nesse compartimento é dependente, principalmente, do volume de resíduo aportado pelo sistema (Schumacher, 2004). Ressalta-se ainda, o fato de, no período seco, o SAF acumular menos resíduos que a MA, ainda assim, os valores da maioria dos nutrientes em SAF foram iguais ou superiores a mata. A razão para tais resultados reside nas maiores concentrações dos nutrientes nos resíduos do SAF, que é dependente das características das espécies formadoras da serrapilheira (Ferreira et al., 2007), bem como da adição de nutrientes via adubação orgânica realizada no SAF.

O carbono foi o constituinte mais expressivo nos resíduos, porque é o principal elemento formador da matéria orgânica. Entre os nutrientes absorvidos pelas plantas do solo, os maiores valores encontrados na serrapilheira foram de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio. Isso sugere que os resíduos orgânicos produzidos pelos sistemas são bons recicladores desses nutrientes e alerta para a nutrição com fósforo como um possível limitante na produção desses sistemas, uma vez que, na agricultura familiar da Amazônia, a nutrição com fósforo é dependente da matéria orgânica (Vale Júnior et al., 2011).

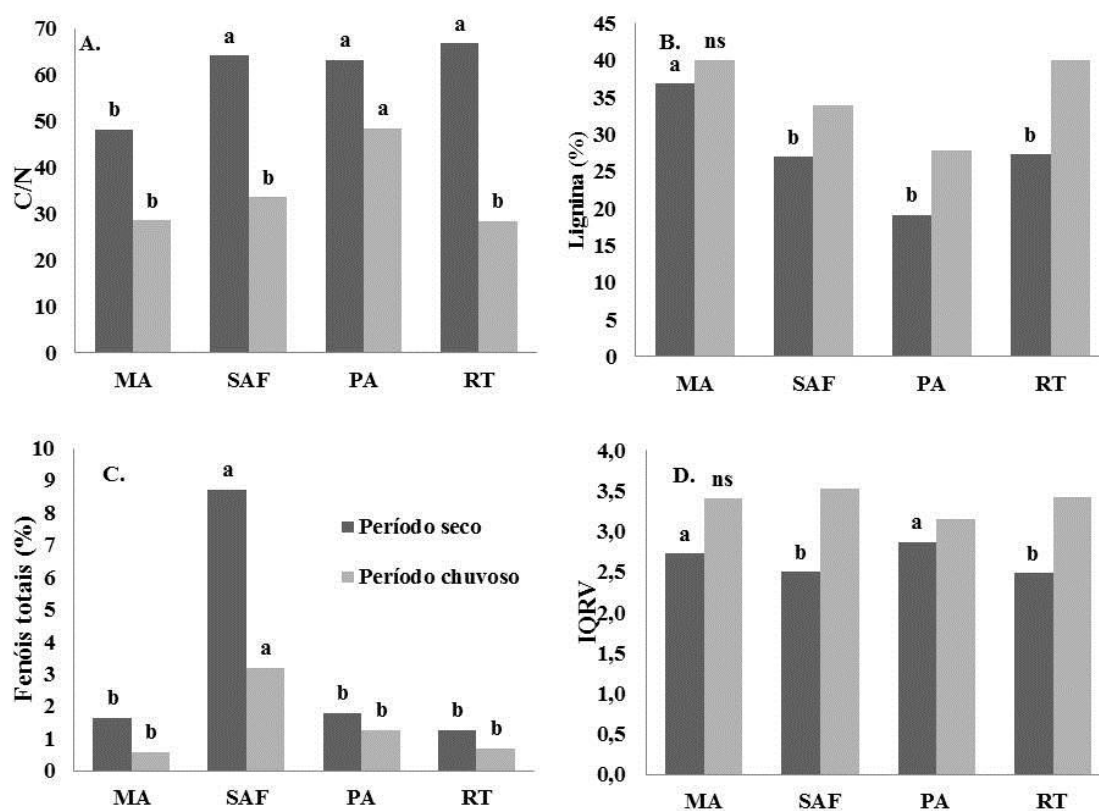
No que se refere à qualidade dos resíduos vegetais, o padrão dos resultados da relação C/N e lignina, apresenta relação inversa, ou seja, menores valores de C/N implicam em maiores de lignina (Figuras 3.1A e 3.1B). Nos polifenóis totais, destacaram-se os valores do SAF nos dois períodos de amostragem (Figura 3.1C), e no Índice de Qualidade de Resíduo Vegetal (IQRV) observa-se que a MA e o PA apresentaram maiores valores no período seco, enquanto no chuvoso o IQRV não difere com os usos do solo avaliados (Figura 3.1D).

Embora na MA existam muitas espécies lenhosas, o que favorece elevados teores de lignina, a presença de outras espécies ricas em nitrogênio, como as leguminosas, favorece uma menor relação C/N quando comparada à obtida na PA. Os elevados valores de polifenóis totais no SAF, em relação aos demais sistemas avaliados nos dois períodos de amostragem, podem estar associados ao domínio das espécies cupuaçu e bacuri nesse sistema de uso.

Os resultados do IQRV, que dá uma ideia comparativa do tempo de residência dos resíduos sobre o solo, sugerem que a serrapilheira da MA e do PA, no período seco, são os primeiros a mineralizar. Esses resultados apontam no sentido de que resíduos lenhosos, porém diversificados (como na MA) são equivalentes aos monocultivos com pasto no que tange ao tempo de meia vida sobre o solo. É possível que isso esteja relacionado à especificidade de organismos decompositores necessários para o consumo dos resíduos pouco diversificados da pastagem (Sanches et al., 2009).

Em geral, os resultados do IQRV encontrados neste estudo são considerados baixos quando comparados aos 4,7 para resíduos de milho e 4,9 para palha de arroz encontrados por Tian et al. (1995) ou aos 8,4 para leguminosas perenes encontrados por Aguiar et al. (2010b). Assim, os resultados deste estudo sugerem que o carbono imobilizado na serrapilheira das formas de uso avaliadas, em especial o SAF entre os antropizados, tem um tempo de meia vida no solo mais recalcitrante, o que contribui para mitigação do efeito

nocivo do CO<sub>2</sub> na atmosfera.



**Figura 3.1.** Relação C/N, lignina, fenóis totais e índice de qualidade de resíduos vegetais (IQRV) no período seco e chuvoso num Neossolo Quartzarênico em diferentes usos da agricultura familiar na pré-Amazônia. MA = Mata nativa, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pastagem cultivada e RT = Roça de toco. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si com o uso do solo para um mesmo período de amostragem, de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

Nesse estudo, independente da metodologia adotada, roça de toco foi a forma de uso que menos estocou carbono na profundidade 10-20 cm, enquanto pela metodologia de massa equivalente no período seco, o sistema agroflorestal apresentou teores de carbono no solo superior aos demais sistemas na camada 0-5 cm. No período chuvoso não se observaram diferenças significativas entre as formas de uso avaliadas (Tabela 3.2). O estoque de carbono no solo calculado pela metodologia da camada equivalente é diretamente dependente do teor de matéria orgânica, que, no caso da roça de toco na camada de 10-20 cm, foi significativamente inferior aos demais sistemas de uso. A redução na matéria orgânica nessa camada pode estar associada à mineralização de raízes finas após o corte e queima da vegetação natural para o plantio das lavouras.

**Tabela 3.2.** Estoque de carbono calculado pelo método da camada e massa equivalente de solo em dois períodos de amostragem num Neossolo Quartzarênico em diferentes usos da agricultura familiar na pré-Amazônia

Usos*	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Carbono orgânico (%)	Camada equivalente de solo			Massa equivalente de solo		
			Camada (cm)	Massa (Mg ha <sup>-1</sup> )	Carbono	Camada (cm)	Massa (Mg ha <sup>-1</sup> )	Carbono
Período seco								
MA	1,42 b	1,42 b	0 a 5	700	9,94 a	0 a 5	700	9,94 b
SAF	1,23 c	2,14 a	0 a 5	615	13,16 a	0 a 5,7	700	14,98 a
PA	1,51 a	1,34 c	0 a 5	755	10,12 a	0 a 4,6	700	9,38 b
RT	1,50 a	0,95 d	0 a 5	750	7,12 a	0 a 4,7	700	6,65 b
MA	1,45 a	0,94 b	5 a 10	725	6,81 a	5 a 10	725	6,81 a
SAF	1,37 b	1,20 a	5 a 10	685	8,22 a	5,7 a 11	725	8,7 a
PA	1,50 a	1,07c	5 a 10	750	8,03 a	4,6 a 9,4	725	7,76 a
RT	1,46 a	0,79 c	5 a 10	730	5,77 a	4,7 a 9,7	725	5,73 a
MA	1,45 a	0,67 a	10 a 20	1.450	9,72 a	10 a 20	1.450	9,72 a
SAF	1,37 c	0,70 a	10 a 20	1.370	9,59 a	11 a 21,6	1.450	10,15 a
PA	1,48 a	0,80 a	10 a 20	1.480	11,84 a	9,4 a 19,2	1.450	11,6 a
RT	1,40 b	0,51 b	10 a 20	1.400	7,14 b	9,7 a 20,1	1.450	7,39 b
MA	1,46 a	0,38 b	20 a 40	2.920	11,1 a	20 a 40	2.920	11,1 a
SAF	1,37 b	0,53 a	20 a 40	2.740	14,52 a	21,6 a 42,9	2.920	15,48 a
PA	1,44 a	0,39 b	20 a 40	2.880	11,23 a	19,2 a 39,5	2.920	11,39 a
RT	1,40 b	0,26 b	20 a 40	2.800	7,28 a	20,1 a 41	2.920	7,59 a
Período chuvoso								
MA	1,35 b	0,81a	0 a 5	675	5,46 a	0 a 5	675	5,46 a
SAF	1,22 c	1,35 a	0 a 5	610	8,23 a	0 a 5,5	675	9,11 a
PA	1,51 a	0,94 a	0 a 5	755	7,1 a	0 a 4,5	675	6,34 a
RT	1,38 b	1,02 a	0 a 5	690	7,04 a	0 a 4,9	675	6,88 a
MA	1,48 a	1,61 a	5 a 10	740	4,51 a	5 a 10	740	4,51 a
SAF	1,41 b	0,69 b	5 a 10	705	4,86 a	5,5 a 10,7	740	5,11 a
PA	1,50 a	0,84 b	5 a 10	750	6,3 a	4,5 a 9,4	740	6,22 a
RT	1,52 a	0,74 b	5 a 10	760	5,62 a	4,9 a 9,8	740	5,48 a
MA	1,51 a	0,49 a	10 a 20	1.510	7,4 a	10 a 20	1.510	7,4 a
SAF	1,46 b	0,44 a	10 a 20	1.460	6,42 a	10,7 a 21	1.510	6,64 a
PA	1,52 a	0,59 a	10 a 20	1.520	8,97 a	9,4 a 19,3	1.510	8,91 a
RT	1,50 a	0,56 a	10 a 20	1.500	8,4 a	9,8 a 19,9	1.510	8,46 a
MA	1,56 a	0,35 a	20 a 40	3.120	10,92 a	20 a 40	3.120	10,92 a
SAF	1,39 b	0,29 a	20 a 40	2.780	8,06 a	21 a 43,4	3.120	9,05 a
PA	1,52 a	0,30 a	20 a 40	3.040	9,12 a	19,3 a 39,8	3.120	9,36 a
RT	1,48 a	0,32 a	20 a 40	2.960	9,47 a	19,9 a 41	3.120	9,98 a

\* MA = Mata nativa, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pastagem cultivada e RT = Roça de toco. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si com o uso do solo para um mesmo período de amostragem, de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

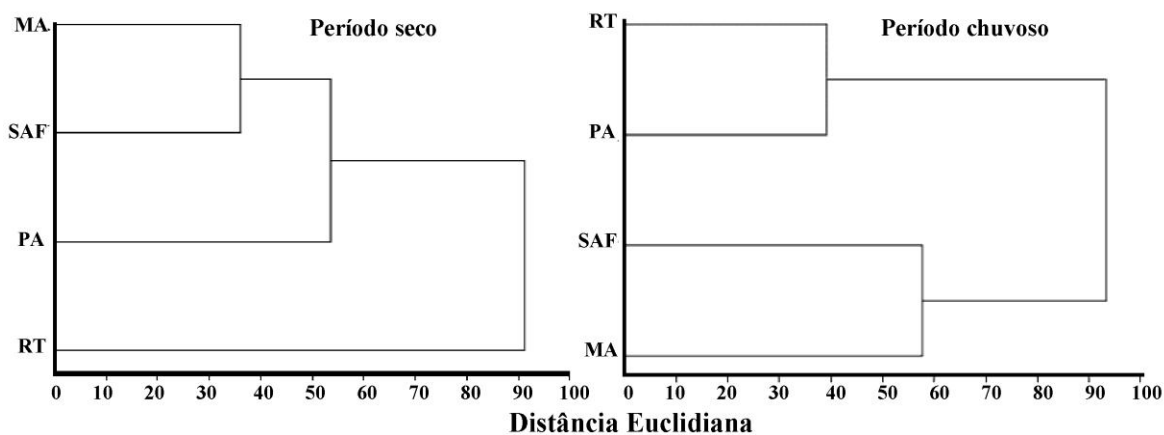
A metodologia da massa equivalente, além dos teores de matéria orgânica, leva em consideração a densidade do solo, com o propósito de equiparar a massa do solo a uma referência, no caso, a mata. Como a densidade do solo da roça de toco na camada de 10-20 cm foi pouco alterada pelo manejo (em relação à mata), o estoque de carbono continuou mais baixo na metodologia de massa equivalente, influenciada, principalmente, pelo baixo

teor de matéria orgânica no solo. No sistema agroflorestal, o maior estoque de carbono no solo pela metodologia de massa equivalente resulta do maior teor de matéria orgânica no solo, em relação aos demais sistemas de uso, que pode estar associado à adubação orgânica recebida anualmente.

A ausência de diferenças significativas entre as formas de uso nos estoques de carbono no período chuvoso pode ser explicada pela reduzida influência do manejo adotado na matéria orgânica do solo nesse período de amostragem, que é característico dos sistemas de produção que não revolvem o solo. As variações observadas na densidade do solo não foram suficientes para resultar em diferenças significativas no estoque de carbono no solo pela metodologia de massa equivalente. Outro fato que pode estar associado a esses resultados é que no período chuvoso há maior intensidade de desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas, bem como da atividade biológica do solo. Assim, no pasto e na roça de toco, onde há maior quantidade de raízes capilares, há também grande reciclagem de nutrientes (Luca et al., 2008), o que pode resultar em um estoque de carbono semelhante ao encontrado na MA e SAF.

Nesse estudo, o carbono do solo mostrou-se pouco alterado pelo manejo, o que pode estar associado ao uso do solo sem revolvimento, fato também observado por Luca et al. (2008), Rozane et al. (2010) e Froufe et al. (2011). No entanto, em todas as camadas em que as diferenças foram significativas, o sistema agroflorestal estocou mais carbono e a roça de toco menos. Esses resultados colocam os sistemas de manejo do solo com sistema agroflorestal e roça de toco em posições opostas no que se refere à adoção de estratégias de manejo voltadas para a imobilização do carbono no solo.

A análise de agrupamento aplicada aos indicadores de qualidade do solo confirma a separação dos sistemas de manejo estudados. Independente da época amostrada, o sistema agroflorestal forma grupo com a mata, indicando semelhança, enquanto roça de toco distancia-se da testemunha (mata), sugerindo diferenças significativas (Figura 3.2). O estoque de serrapilheira sobre o solo e os nutrientes contidos nela é, provavelmente, a razão principal para esses resultados. No período chuvoso, roça de toco e pastagem forma grupo e distanciam-se da mata, indicando serem as formas de uso mais impactadas pelo manejo adotado, o que pode ser confirmado ao comparar os indicadores nas formas de uso individualmente (Tabelas 3.1 e 3.2, Figura 3.1).



**Figura 3.2.** Dendrograma de similaridade entre as formas de uso do solo na agricultura familiar em Neossolo Quartzarênico na pré-Amazônia, agrupados pelo método de Ward. MA = Mata nativa, SAF = Sistema agroflorestral, PA = Pastagem cultivada e RT = Roça de toco

Os resultados da análise de agrupamento, usando todos os indicadores avaliados, sinaliza que, no período seco, os impactos gerados pelo manejo adotado nos sistemas de uso antropizados deram-se na ordem roça de toco > pastagem > sistema agroflorestral, enquanto no período chuvoso foi roça de toco = pastagem > sistema agroflorestral. Esses resultados eram esperados uma vez que maior intensidade de uso resulta em maiores impactos sobre o solo (Salmi et al., 2009), e apontam o sistema agroflorestral como uma alternativa de manejo de baixo impacto a longo prazo.

### 3.4 CONCLUSÕES

- 1 – A conversão da floresta em agroecossistemas resultou em alterações na quantidade e qualidade da serrapilheira sobre o solo, bem como no carbono estocado no solo.
- 2 – Diferenças mais clara entre as formas de uso do solo foram observadas no estoque de serrapilheira sobre o solo e nos nutrientes contidos nela.
- 3 – O sistema agroflorestral se equiparou a área de mata no estoque de serrapilheira, carbono e nutrientes na massa seca e carbono no solo, porém, seus resíduos apresentaram tempo de meia vida maior que os da mata.
- 4 – O sistema de manejo e uso do solo com roça de toco gerou impactos negativos em todos os indicadores avaliados em relação à mata.

### 3.5 REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. C. F.; BICUDO, S. J.; SOBRINHO, J. R. S. C.; MARTINS, A. L. S.; COELHO, K. P.; MOURA, E. G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a Sandy loam soil in the pré-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 189-198, 2010a.

AGUIAR, A. C. F.; FREITAS, I. C.; CARVALHO, C. S.; MONROE, P. H. M.; MOURA, E. G. Efficiency of an agrosystem designed for family farming in the pre-Amazon region. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 26, n. 1, p. 24-30, 2010b.

ALVES, A. L.; SOUTO, J. S.; HOLANDA, A. C. Aporte e decomposição de serapilheira em área de Caatinga, na Paraíba. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Belém, v. 6, n. 2, p. 194-203, 2006.

AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 41 p. (Documento 73).

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. A. Organic matter storage in Sandy loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1, p. 101-109, 2000.

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em floresta ombrófila mista montana-Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 306 p.

FERREIRA, R. L. C.; LIRA JUNIOR, M. A.; ROCHA, M. S.; SANTOS, V. S.; LIRA, M. A.; BARRETO, L. P. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa Caesalpiniiifolia* Benth.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 7-12, 2007.

FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G.; SEOANE, C. E. S. Potencial de sistemas agroflorestais multiestrata para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de floresta atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 143-154, 2011.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C. C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoque de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 789-800, 2008.

MAKKAR, H. P. S.; BLUEMMEL, M.; BOROWY, N. K.; BECKER, K. J. Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. **Journal of Science Food Agriculture**, London, v. 61, n. 3, p. 161-165, 1993.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MATHEUS, M. T. Sequestro de carbono sob a óptica florestal no Brasil. **Revista Trópica**, Chapadinha, v. 6, n. 1, p. 104-116, 2012.

MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, Washington, v. 85, n. 6, p. 1217-1240, 2002.

MUTUO, P. K.; CADISCH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C. A.; VERCHOR, M. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soil in the tropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 73, n. 1, p. 43-54, 2005.

ROBERTSON, J. B.; VAN SOEST, P. J. The detergent system of analysis. In: JAMES, W. P. T.; THEANDER, O. (Org.). **The analysis of dietary fibre in food** Marcel Dekker. New York, 1981. p. 123-158.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 24-32, 2010.

SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERINO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 667-674, 2010.

SALMI, A. P.; SOUZA, A. C.; GUERRA, J. G. M.; RISSO, I. A. M. Teores de nutrientes na biomassa aérea da leguminosa *Flemingia macropylla*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 4, n. 2, p. 873-876, 2009.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 183-189, 2009.

SCHUMACHER, M. V. Produção de serrapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no municipal de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 29-37, 2004.

SILVA, D. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F. S.; MARTINS,

S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e florestas nativa. **Revista de Estudos Ambientais (online)**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.

TIAN, G.; BRUSSAARD, L.; KANG, B. T. An index for assessing the quality of plant residues and evaluation their effects on soil and crop in the sub-humid tropics. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 13, n. 2, p. 25-32, 1995.

VALE JÚNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agro@mbiente Online**, Boa Vista, v. 5, n. 2, p. 158-165, 2011.

VIEIRA, J. A. G.; TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; LIMA, E.; ZONTA, E. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes ao solo pela espécie *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Altas, v. 4, n. 2, p. 40-43, 2009.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecídua em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.

# **4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DE NEOSSOLO QUARTZARÊNICO EM DIFERENTES USOS DA PRODUÇÃO FAMILIAR**

## **RESUMO**

Uma das características do bioma Amazônia é apresentar condições climáticas favoráveis ao crescimento biológico. O que não se traduz em elevadas produtividades, por sucessivos anos de cultivos, quando a floresta é substituída por agroecossistemas. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do manejo do solo, usado pela produção familiar, nos atributos químicos do solo. As formas de uso avaliadas foram: sistema agroflorestal, pastagem cultivada, roça de toco e mata preservada, todas em Neossolo Quartzarênico. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm em dois anos agrícolas consecutivos (2010/2011 e 2011/2012) nos meses de julho e janeiro, coletando-se sete repetições por sistema. Os atributos do solo avaliados foram: matéria orgânica do solo, acidez, bases trocáveis, teores de fósforo, saturação por bases, alumínio e capacidade de troca de cátions. O manejo agrícola do solo resultou em mudanças nos atributos químicos, sobretudo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. As formas de uso onde mais se observaram mudanças em relação à mata foram roça de toco e pastagem. O sistema agroflorestal comportou-se de forma similar a área de mata.

*Palavras-chave:* agricultura migratória, indicadores de qualidade, propriedades químicas.

## **ABSTRACT**

### **CHEMICAL ATTRIBUTES OF NA ENTISOL QUARTZIPSAMMENT UNDER DIFFERENT USES OF FAMILY PRODUCTION**

One of the Amazon's biome characteristic is to present climatic conditions favorable to biological growth. But this fact does not translate forest is replaced by successive years of cultivation, when the forest is replaced by agroecosystems. The objective of this study was to evaluate the effect of soil management, under family agriculture production, over the soil's chemical attributes. The managements evaluated were: agroforestry, cultivated pasture, stump field end preserved forest, and all of those are over an Entisol Quartzipsamment. The soil samples were collected at 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm layers, in two consecutive years (2010/2011 and 2011/2012) on the months of July and January, collecting seven samples per system. The soil attributes evaluated were:

soil organic matter, acidity, exchangeable bases, phosphorus, base saturation, aluminum and cation exchange capacity. The agricultural management of the soil resulted on changes in chemical properties, especially in the 0-5 and 5-10 cm layers. The management types the most differentiated themselves from the preserved forest were the stump field and the cultivated pasture. The agroforestry system behaved in a similar fashion to the preserved forest.

*Key words:* shifting agriculture, quality indicators, chemical properties.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Uma das características do bioma Amazônia é apresentar condições climáticas favoráveis a produção biológica, principalmente no que concerne a temperatura, luminosidade e umidade adequada ao desenvolvimento de plantas e animais (Luizão, 2007). No entanto, a cobertura pedológica dessa região é, de modo geral, caracterizada por solos ácidos, com baixa capacidade de troca de cátions e reduzida capacidade de disponibilizar água para as plantas (Ferreira et al., 2006). Nestas condições, a floresta tropical da Amazônia retém a maior parte dos nutrientes do ecossistema na biomassa e sua exuberância é fundamentada num processo de reciclagem de nutrientes com ciclo quase fechado, que se contrapõem à lixiviação das bases no perfil do solo pelas precipitações intensas e frequentes (Ferreira et al., 2006).

A conversão dessas florestas em agroecossistemas implica na redução da biomassa do sistema (Chioderoli et al., 2012), o que leva à quebra do equilíbrio no processo de reciclagem de nutrientes (Luizão et al., 2006) e redução dos teores de matéria orgânica do solo. Isso tem consequência na nutrição das plantas por reduzir os sítios de troca do complexo coloidal do solo (Silva et al., 2011) e, assim, expor as bases trocáveis aos efeitos da lixiviação favorecida pela alta permeabilidade do solo associada a precipitações torrenciais características da região. Essas consequências são mais evidentes quando o preparo do solo é fundamentado na aração e gradagem (Chioderoli et al., 2012) e na agricultura de corte e queima da vegetação natural (Iwata et al., 2012).

Neste cenário, o grande desafio na Amazônia tem sido desenvolver agroecossistemas capazes de conciliar, de forma harmoniosa, interesses de conservação ambiental com sustentabilidade econômica, em substituição à agricultura itinerante de corte e queima da vegetação natural comumente praticada (Menezes et al., 2008). Possivelmente por representar uma forma de ocupação do solo pouco onerosa para o produtor e pelos efeitos da cinza proveniente da queima da vegetação espontânea no pH e na disponibilidade

de bases necessárias a nutrição das culturas, um enorme contingente de produtores, sobretudo os de produção familiar, tem optado por esse tipo de preparo do solo (Matos et al., 2012).

No entanto, os nutrientes disponibilizados pela queima das florestas nativas na Amazônia, usualmente, suportam de dois a três anos de cultivos anuais. Passado esse período, a produtividade das culturas decai drasticamente, obrigando os produtores a abandonarem as áreas em pousio florestal para formação de capoeiras, invariavelmente mais pobres em diversidade biológica e biomassa quando comparadas as florestas originais (Matos et al., 2012).

Pesquisas recentes têm apontado os sistemas agroflorestais como alternativa promissora para a agricultura familiar no trópico úmido (Maia et al., 2006; Lima et al., 2011; Iwata et al., 2012), em especial para a região amazônica (Menezes et al., 2008). A diversidade de espécies agrícolas associada ao cultivo simultâneo com espécies florestais parece ser a chave do sucesso na manutenção da fertilidade do solo (Silva et al., 2011), possivelmente por assemelhar-se à estrutura florística das florestas nativas. Segundo esses autores, somente manter a fertilidade natural do solo não é suficiente para garantir a sustentabilidade do sistema, uma vez que, nessas condições, existem exportações de nutrientes por meio da retirada dos frutos e grãos para consumo e comercialização, exaurindo as reservas naturais de nutrientes do solo.

Neste sentido, este trabalho testou a hipótese de que os sistemas de produção familiar afetam, de forma diferenciada, os atributos químicos do solo, os quais podem ser utilizados como indicadores de sua qualidade. Assim, conduziu-se esse estudo com o objetivo de avaliar as alterações químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos e manejos na região Amazônica.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada está localizada no lote 52 do assentamento Tobasa em Esperantina, TO, às coordenadas 5° 22' 02'' S, 48° 35' 57'' W e altitude média local de 90 m. A precipitação média local é de 1.500 mm ano<sup>-1</sup> e a temperatura média anual de 28,5°C. O clima, classificado como Aw (Köppen), apresenta seis meses de período chuvoso (dezembro a maio) e seis meses de período seco (junho a novembro).

O solo dessa área foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo),

de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solos (Embrapa, 2006) e descrição no apêndice A.

Os sistemas de manejo e uso do solo avaliados foram:

1 - SAF: sistema agroflorestal de três hectares implantado em 1989 em volta da sede, onde convivem, livremente, 65 galinhas do tipo caipira. Evoluiu de um quintal agroflorestal para uma agrofloresta, com mais de sessenta espécies cultivadas em consórcio, sendo o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) a principal cultura econômica do sistema, com produção anual de polpa de 1.500 Kg, seguida pela do bacuri (*Platonia insignis*), com produção anual de polpa de 750 Kg. Nesta área eram adicionados, anualmente, resíduos oriundos da atividade doméstica como: cascas e sementes de frutas, cascas de mandioca e feijão, palhas e sabugos de milho, entre outras, estimada em uma adubação orgânica anual de 1,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Encontrava-se em estágio de sucessão ecológica de capoeira grossa, com biomassa aérea de, aproximadamente, 70% da observada visualmente na mata.

2 - PA: pastagem cultivada implantada em 1989 com capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*), localizada ao lado do sistema agroflorestal. Ocupa uma área de 16 hectares, usada no pastejo de bovinos, equinos e ovinos, mantendo uma pressão de pastejo constante de 0,8 unidades animal (UA) por hectare (1UA = 450 Kg de peso vivo). O proprietário comercializa anualmente cinco bezerros de oito meses de idade, descarta duas matrizes para o abate (150 Kg de carcaça) e ordenha quinze litros de leite diariamente.

3 - RT: roça de toco, caracterizada pela retirada da floresta nativa, que teve sua fitomassa seca queimada em 2009, sendo utilizada para cultivo com arroz (*Oryza sativa*), milho (*Zea mays*), feijão trepa-pau (*Vigna unguiculata*) e mandioca (*Manihot esculenta*) até maio de 2010. Ocupa uma área de 2,5 hectares, na qual são colhidos, em média, 1.200 Kg de arroz, 900 Kg de milho, 120 Kg de feijão e a mandioca (bianual), encontrando-se em fase de crescimento. Todas as espécies são cultivadas na forma de consórcio.

4 - MA: mata nativa do tipo floresta aberta, com expressivo estoque de biomassa aérea, usada como testemunha. Localiza-se ao lado da roça de toco, sendo usada como reserva e, na qual, eventualmente, é colhida lenha, madeira para o fabrico de casas para moradia e frutas nativas da região.

Todos os sistemas de uso antropizados avaliados neste estudo foram iniciados com corte e queima da vegetação natural. Não há registro do uso de mecanização nem de adubos solúveis para nenhum dos sistemas estudados.

Em cada sistema de uso do solo foi delimitada uma transeção na qual foram

coletadas amostras de solo em sete pontos distantes entre si de 10 m. A amostragem do solo foi feita por dois anos e em duas épocas: período seco (julho/2010 e 2011) e período chuvoso (janeiro/2011 e 2012), resultando em quatro amostragens. No entorno de cada ponto delimitado na transeção de amostragem foi aberta uma mini-trincheira, onde, em suas paredes, foram coletadas amostras de solo nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. No laboratório, as amostras foram secas ao ar até atingirem peso constante. Depois de secas, foram destorroadas e passadas em peneira com abertura de 2 mm para análise de textura e química de solo.

Todas as análises do solo foram realizadas seguindo metodologia descrita em Embrapa (1997). A textura foi determinada pelo método do densímetro; MOS - oxidação via úmida com solução de dicromato de potássio em meio ácido, utilizando como fonte externa de calor o ácido sulfúrico e extraído com sal de Mohr; pH - extraído com cloreto de cálcio; H+Al - acetato de cálcio; P e K - Mehlich I e determinados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente e;  $Al^{3+}$ , Ca e Mg - espectrofotometria de absorção atômica extraídos com KCl.

A classificação da classe textural do solo é apresentada na Tabela 4.1, com base nos resultados da análise granulométrica.

**Tabela 4.1.** Análise granulométrica do Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos na profundidade 0-40 cm

Uso <sup>1</sup>	Argila	Silte	Areia	Classe textural
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
MA	129	44	827	Areia franca
SAF	112	43	845	Areia franca
PA	118	41	841	Areia franca
RT	129	52	819	Areia franca

<sup>1</sup>MA = mata; SAF = sistema agroflorestal; PA = pasto e; RT = roça de toco.

Os dados foram submetidos à análise de variância, segundo o delineamento inteiramente casualizado, e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Para viabilizar a comparação entre os sistemas, frente ao conjunto de variáveis envolvidas, foi feita análise multivariada, por meio da técnica de análise de conglomerados, pela distância mínima (método de Ward). A medida de similaridade usada para diferenciar as formas de manejos foi a distância euclidiana. Essas análises foram feitas com o auxílio do aplicativo computacional PAST versão 2.08b (Hammer et al., 2001).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independente do período de amostragem, a matéria orgânica de solo (MOS) decresce no perfil do solo em todas as formas de uso estudadas. Os maiores valores foram observados no sistema agroflorestal (SAF) no período seco nas camadas 0-5 e 5-10 cm, enquanto no período chuvoso não houve diferença significativa para nenhuma forma de uso avaliada (Tabela 4.2). A redução nos teores de MOS com a profundidade do solo pode ser atribuída ao não revolvimento do solo, fato já observado por outros autores (Iwata et al., 2012). Os incrementos da MOS no SAF, possivelmente, estão associados a adubação orgânica recebida anualmente. Outro fator que pode ter contribuído para esse incremento em relação às demais formas de uso é o estágio de sucessão ecológica em que se encontrava o sistema SAF (capoeira grosso), que possibilita acúmulo de biomassa e renovação de suas estruturas mais frequentes em relação à mata (MA) (Caldeira et al., 2007).

Ressalta-se neste trabalho que as diferenças entre formas de uso do solo nos teores de MOS para todas as camadas avaliadas foram sempre em favor dos sistemas mais diversificados (MA e SAF) no período seco, o que decorre do aporte mais constante de serrapilheira superfície do solo (Sanches et al., 2009). No período seco, roça de toco (RT) e pasto (PA) apresentaram valores de MOS inferiores aos demais sistemas ao longo de todo perfil do solo, o que decorre do consumo da biomassa pelo fogo (em RT) e pelos animais em pastejo (em PA).

Redução nos valores de MOS no período chuvoso em todos os sistemas de manejo e camadas avaliadas eram esperadas, pela maior oferta de umidade, que favorece a mineralização dos resíduos pela população de decompositores, conforme evidenciado por Ferreira et al. (2006), Lima et al. (2011) e Iwata et al. (2012). Essa redução foi mais significativa nos sistemas mais diversificados (MA e SAF), o que pode ter levado a ausência de diferenças significativas nesse período de amostragem. Isso sugere que as variações temporais nos teores de MOS são dependentes, entre outros fatores, da diversidade de material aportado pelo sistema.

Com relação ao pH, observou-se que, independente do período amostrado, a PA apresentou valores iguais ou superiores as demais formas de uso para todas as camadas avaliadas. No período seco, RT foi semelhante a PA na camada 0-5 cm e no período chuvoso nas camadas 0-5 e 5-10 cm. Na MA foram encontrados os menores valores entre as formas de uso, exceto na camada 20-40 cm no período chuvoso (Tabela 4.2). Os valores

mais expressivos de pH observados nos sistemas antropizados em relação a MA podem ser decorrentes da queima da biomassa por ocasião da abertura do terreno para uso agrícola (Menezes et al., 2008), uma vez que todos os sistemas tiveram essa forma de preparo para o plantio.

**Tabela 4.2.** Matéria orgânica do solo (MOS), acidez ativa (pH), potencial (H+Al), trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), saturação por Al (m) e fósforo disponível (P) nas camadas (Z) e períodos de amostragem de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar

$\Delta$	Z (cm)	MA <sup>1</sup>	SAF	PA	RT	MA	SAF	PA	RT
		-----Período seco-----				-----Período chuvoso-----			
MOS (g kg <sup>-1</sup> )	0-5	33,20Ba	44,40Aa	20,30Ca	17,00Ca	20,90Aa	28,60Aa	20,00Aa	22,30Aa
	5-10	22,60Bb	28,10Ab	17,60Ca	14,30Ca	14,90Ab	15,60Ab	18,10Aa	14,90Ab
	10-20	18,90Ab	15,70Ac	13,40Bb	11,40Bb	11,50Ac	10,00Ac	12,60Ab	11,10Ab
	20-40	11,10Ac	12,10Ac	7,70Bc	7,60Bb	6,80Ad	7,80Ac	7,70Ac	7,10Ac
Ph (CaCl <sub>2</sub> )	0-5	4,04Ba	3,91Bc	4,31Aa	4,42Aa	4,01Bc	4,06Bd	4,54Aa	4,78Aa
	5-10	4,10Ba	4,13Bb	4,33Aa	4,11Ba	4,07Bc	4,24Ac	4,38Aa	4,25Ab
	10-20	4,16Ba	4,26Aa	4,32Aa	4,12Ba	4,19Bb	4,41Ab	4,43Aa	4,17Bb
	20-40	4,24Ba	4,33Aa	4,39Aa	4,23Ba	4,37Ba	4,51Aa	4,45Aa	4,29Cb
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-5	7,69Aa	8,26Aa	7,05Aa	6,21Aa	4,04Aa	3,56Aa	3,44Ab	3,15Aa
	5-10	7,00Aa	6,81Ab	6,86Aa	6,54Aa	3,49Ab	3,04Aa	3,76Aa	3,89Aa
	10-20	6,29Aa	5,03Bc	5,67Bb	6,31Aa	3,14Ac	3,50Aa	3,20Ab	3,86Aa
	20-40	4,79Ab	4,19Ac	4,28Ac	5,03Aa	2,52Cd	2,34Ca	2,73Bc	3,07Aa
$\text{Al}^{3+}$ (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-5	0,79Aa	0,71Aa	0,69Aa	0,48Bb	1,44Aa	0,91Ba	0,51Ca	0,32Cb
	5-10	0,79Aa	0,65Aa	0,69Aa	0,72Aa	1,37Aa	0,69Bb	0,58Ba	0,73Ba
	10-20	0,81Aa	0,59Ba	0,62Ba	0,71Aa	1,20Ab	0,59Bb	0,62Ba	0,73Ba
	20-40	0,77Aa	0,48Bb	0,51Bb	0,69Aa	0,75Ac	0,51Ab	0,73Aa	0,73Aa
m (%)	0-5	53,93Ab	62,07Aa	50,98Aa	37,86Bb	64,61Aa	64,12Aa	33,20Bb	22,83Bb
	5-10	63,35Aa	58,92Aa	57,68Aa	59,07Aa	70,49Aa	56,64Ba	49,25Ba	57,67Ba
	10-20	66,02Aa	57,89Ba	57,43Ba	62,45Aa	67,92Aa	57,68Ba	59,36Ba	60,93Ba
	20-40	64,14Aa	50,75Bb	54,90Ba	60,06Aa	63,49Aa	52,84Ba	56,33Ba	64,28Aa
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0-5	3,86Ba	4,42Ba	1,62Ba	9,48Aa	4,32Ba	2,96Ba	2,51Ba	16,96Aa
	5-10	2,46Ab	2,96Aa	0,83Bb	3,18Ab	2,73Bb	1,71Bb	2,23Ba	5,66Ab
	10-20	1,59Ab	1,84Aa	0,71Bb	1,93Ab	2,09Bb	1,25Bb	2,05Ba	2,92Ab
	20-40	1,25Ab	2,36Aa	0,49Ab	1,32Ab	1,64Ab	1,23Ab	1,34Ab	1,57Ab

<sup>1</sup>MA = Mata, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pasto e RT = Roça de toco. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas não diferem entre sistema de uso para o mesmo período de amostragem e médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre camadas, de acordo com os resultados do teste de Scott-Knott (p < 0,05).

Na RT, pelo curto período entre o uso do fogo e as amostragens, o efeito das cinzas no pH só é evidenciado nos primeiros 5 cm no período seco e até 10 cm no período chuvoso. Os sistemas de uso com expressiva biomassa aérea (MA e SAF), por conter grande parte das bases trocáveis integrada a sua estrutura (Menezes et al., 2008), apresentaram pH mais ácido que as demais formas de uso. Ressalta-se que o maior teor de MOS aportada

nesses sistemas não foi capaz de diminuir a acidez do solo, possivelmente pela qualidade do material adicionado. A adição de MOS resultará em aumento ou redução do pH, dependendo da predominância nos processos de decomposição que consomem ou liberam  $H^+$  (Silva & Mendonça, 2007). Como se trata de um solo com elevada acidez, com a adição de MOS seria esperada a liberação de bases pela decomposição e conseqüentemente incrementos no pH. No entanto, o que deve ter ocorrido com a decomposição foi a liberação de prótons  $H^+$  e complexação de bases como  $Ca^{2+}$  (Mendonça et al., 2006).

O manejo do solo resultou em pouca alteração nos valores de H+Al. Apenas na camada 10-20 cm, no período seco, SAF e PA mostram valores superiores as demais formas de uso. No período chuvoso, na camada 20-40 cm, observou-se que MA e SAF apresentam os menores valores (Tabela 4.2). Poucas variações nos teores de H+Al foram observadas em pesquisa semelhante (Iwata et al., 2012), o que pode estar relacionado com os baixos teores de bases no solo. Os teores de H+Al encontrados neste estudo são muito elevados, o que é característico dos Neossolos Quartzarênicos. Isso implica em nutrição das plantas, basicamente, à custa das reservas de nutrientes contidas na MOS, sobretudo quando o solo é antropizado, o que sugere um manejo criterioso de aporte da MOS (Sales et al., 2010).

Independente do período amostrado e camada avaliada, a acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) e saturação por Al (m), na MA, são superiores ou iguais aos sistemas antropizados (Tabela 4.2). Esses valores são compatíveis com os de pH do solo, e denota melhoria desses indicadores com a conversão da floresta em agroecossistema. Assim, os sistemas com maior imobilização de bases em sua biomassa aérea (MA e SAF) apresentaram os maiores valores de  $Al^{3+}$  e H+Al, enquanto na PA e RT esses parâmetros foram diminuídos, sendo esse fato atribuído aos resíduos da queima da vegetação natural. Esse comportamento é mais evidente no sistema RT na camada 0-5 cm pelo uso recente do fogo. Estudos semelhantes ao deste trabalho relatam melhoras na acidez do solo na conversão de florestas em agroecossistema (Lima et al., 2011; Iwata et al., 2012), o que torna atrativo a adoção desse modelo de agricultura, sobretudo os menos capitalizados, tal como os produtores familiares.

Em relação ao fósforo, os valores decrescem no perfil do solo em todas as camadas e sistemas de uso. Entre sistemas, nas camadas avaliadas, RT apresentou os maiores valores de 0-5 cm nos dois períodos amostrados e de 5-10 cm no período chuvoso (Tabela 4.3). Esses resultados são decorrentes de sua baixa mobilidade no solo (Silva et al., 2011; Iwata et al., 2012), associado ao bombeamento pelas raízes das espécies cultivadas de camadas profundas do solo e posterior deposição na superfície via serrapilheira (Lima et al.,

2011). Os elevados valores de fósforo na RT em superfície, nos dois períodos de amostragem são, provavelmente, decorrentes da deposição das cinzas provenientes da queima (Menezes et al., 2008). O efeito das cinzas na disponibilidade do fósforo não é percebido na PA, o que pode estar associado ao uso mais intenso do solo, com exportação, via consumo animal, durante sucessivos anos pós-queima. Na MA e SAF, os menores valores em superfície, possivelmente, estão associados a maior biomassa aérea, que contém relativas proporções de fósforo (Lima et al., 2011).

No período seco não se percebe efeito do manejo, nas camadas, em nenhum sistema de uso do solo avaliado para as bases trocáveis potássio, cálcio e magnésio. No período chuvoso, as concentrações das bases que se destacaram foram: potássio até 20 cm na PA e, cálcio e magnésio na camada 0-5 cm na PA e RT. Em profundidade (entre sistemas de uso) percebeu-se que, independente da época amostrada, o potássio decresce no perfil em todos os sistemas de manejo, enquanto cálcio e magnésio só decrescem nos sistemas de uso PA e RT no período chuvoso (Tabela 4.3).

O fato de não ter ocorrido diferença significativa entre as formas de manejo nas bases trocáveis no período seco pode estar relacionado aos maiores teores de MOS nesse período de amostragem, sobretudo nos sistemas MA e SAF em relação a PA e RT, o que leva a imobilização das bases em suas estruturas orgânicas. No período chuvoso, os maiores valores de potássio e cálcio observados na PA e magnésio na RT podem estar associados à eficiência das gramíneas em reciclar esses nutrientes na PA e ao uso recente do fogo na RT. Quanto à redução nos teores das bases com a profundidade, trata-se do reflexo de sua mobilidade no solo, como potássio é mais móvel que o cálcio e magnésio, suas variações foram mais expressivas.

Pesquisas relativamente recente com SAF's comparados a florestas nativas têm relatado ganhos significativos de bases trocáveis na solução do solo nos sistemas manejados atribuídos à queima da vegetação natural ou ao aporte de resíduos na superfície do solo (Menezes et al., 2008; Lima et al., 2011; Silva et al., 2011; Iwata et al., 2012). De fato, este trabalho mostra que há incrementos de bases na solução do solo decorrentes da conversão de florestas em agroecossistemas, no entanto, os efeitos dessa conversão só ocorreram significativamente até 20 cm para o potássio e 5 cm de profundidade para o cálcio e magnésio na avaliação feita no período chuvoso, o que é pouco representativo diante das exigências das lavouras comerciais cultivada pela agricultura familiar.

**Tabela 4.3.** Potássio disponível (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC) e saturação por bases (V%) nas camadas (Z) e períodos de amostragem de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar

$\Delta$	Z (cm)	MA <sup>1</sup>	SAF	PA	RT	MA	SAF	PA	RT
		-----Período seco-----				-----Período chuvoso-----			
K (mg dm <sup>-3</sup> )	0-5	32,36 Aa	34,71 Aa	37,21 Aa	36,93 Aa	37,21 Ba	36,71 Ba	50,57 Aa	41,14 Ba
	5-10	28,50 Ab	29,57 Ab	32,86 Aa	29,94 Ab	33,14 Bb	32,82 Bb	43,14 Aa	35,00 Bb
	10-20	27,64 Ab	26,21 Ac	29,93 Ac	29,14 Ab	31,86 Bb	29,79 Bc	36,64 Ab	32,29 Bb
	20-40	26,71 Ab	25,43 Ac	27,57 Ab	28,21 Ab	30,36 Ab	29,00 Ac	29,57 Ab	32,29 Ab
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-5	0,45 Aa	0,23 Aa	0,39 Aa	0,48 Aa	0,44 Ba	0,26 Ba	0,67 Aa	0,80 Aa
	5-10	0,24 Aa	0,25 Aa	0,29 Ab	0,29 Ab	0,30 Aa	0,35 Aa	0,34 Ab	0,29 Ab
	10-20	0,22 Aa	0,24 Aa	0,26 Ab	0,24 Ab	0,31 Aa	0,31 Aa	0,22 Ab	0,26 Ab
	20-40	0,24 Aa	0,30 Aa	0,24 Ab	0,26 Ab	0,24 Aa	0,28 Aa	0,33 Ab	0,20 Ab
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-5	0,22 Aa	0,11 Aa	0,18 Aa	0,18 Aa	0,19 Ba	0,13 Ba	0,26 Aa	0,26 Aa
	5-10	0,14 Aa	0,12 Aa	0,14 Ab	0,11 Ab	0,14 Aa	0,16 Aa	0,15 Ab	0,14 Ab
	10-20	0,12 Aa	0,11 Aa	0,12 Ab	0,10 Ab	0,14 Aa	0,11 Aa	0,11 Ab	0,12 Ab
	20-40	0,12 Aa	0,14 Aa	0,11 Ab	0,13 Ab	0,11 Aa	0,12 Aa	0,14 Ab	0,10 Ab
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-5	8,45 Aa	8,68 Aa	7,72 Aa	6,98 Aa	4,76 Aa	4,04 Aa	4,51 Aa	4,31 Aa
	5-10	7,45 Ab	7,26 Ab	7,36 Aa	7,02 Aa	4,00 Ab	3,63 Aa	4,35 Aa	4,41 Aa
	10-20	6,70 Ab	5,46 Bc	6,13 Bb	6,73 Aa	3,67 Ac	4,00 Aa	3,62 Ab	4,33 Aa
	20-40	5,22 Ac	4,69 Ac	4,71 Ac	5,49 Aa	2,95 Bd	2,82 Ba	3,28 Ab	3,46 Aa
V (%)	0-5	8,90 Aa	5,60 Ab	9,73 Aa	12,95 Aa	15,07 Ba	12,99 Ba	27,22 Aa	28,32 Aa
	5-10	6,35 Aa	6,42 Ab	7,23 Ab	7,45 Ab	13,26 Aa	16,58 Aa	16,58 Aa	13,66 Ab
	10-20	6,36 Ba	8,07 Ab	7,89 Ab	6,45 Bb	15,41 Aa	14,73 Aa	13,66 Ab	12,56 Ab
	20-40	8,39 Aa	11,31 Aa	9,30 Aa	8,57 Ab	15,92 Aa	17,22 Aa	17,64 Ab	12,59 Bb

<sup>1</sup>MA = Mata, SAF = Sistema agroflorestral, PA = Pasto e RT = Roça de toco. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas não diferem entre sistema de uso para o mesmo período de amostragem e médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre camadas, de acordo com os resultados do teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Pouca influência do manejo do solo foi observada nos valores de capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) nos dois períodos de amostragem. No período seco houve redução significativa nos valores de CTC no SAF e PA na camada 10-20 cm em relação a MA e RT, enquanto no período chuvoso, observou-se redução na camada de 20-40 cm nos sistemas MA e SAF em relação a PA e SAF. Nos valores de saturação por bases, as reduções observadas foram para MA e RT na camada 10-20 cm no período seco e na camada 0-5 cm na PA e RT em relação a MA e SAF no período chuvoso (Tabela 4.3).

O manejo do solo sem revolvimento proporcionou pouca alteração na MOS e, conseqüentemente, nos valores de CTC e saturação por bases nos sistemas de uso do solo, devido a estreita relação existente entre essas variáveis (Silva et al., 2011), em especial na condição de solos muito arenosos (Carneiro et al., 2009), tal como o deste trabalho. Os maiores valores de saturação por bases na RT e PA podem ser resultantes da ação das

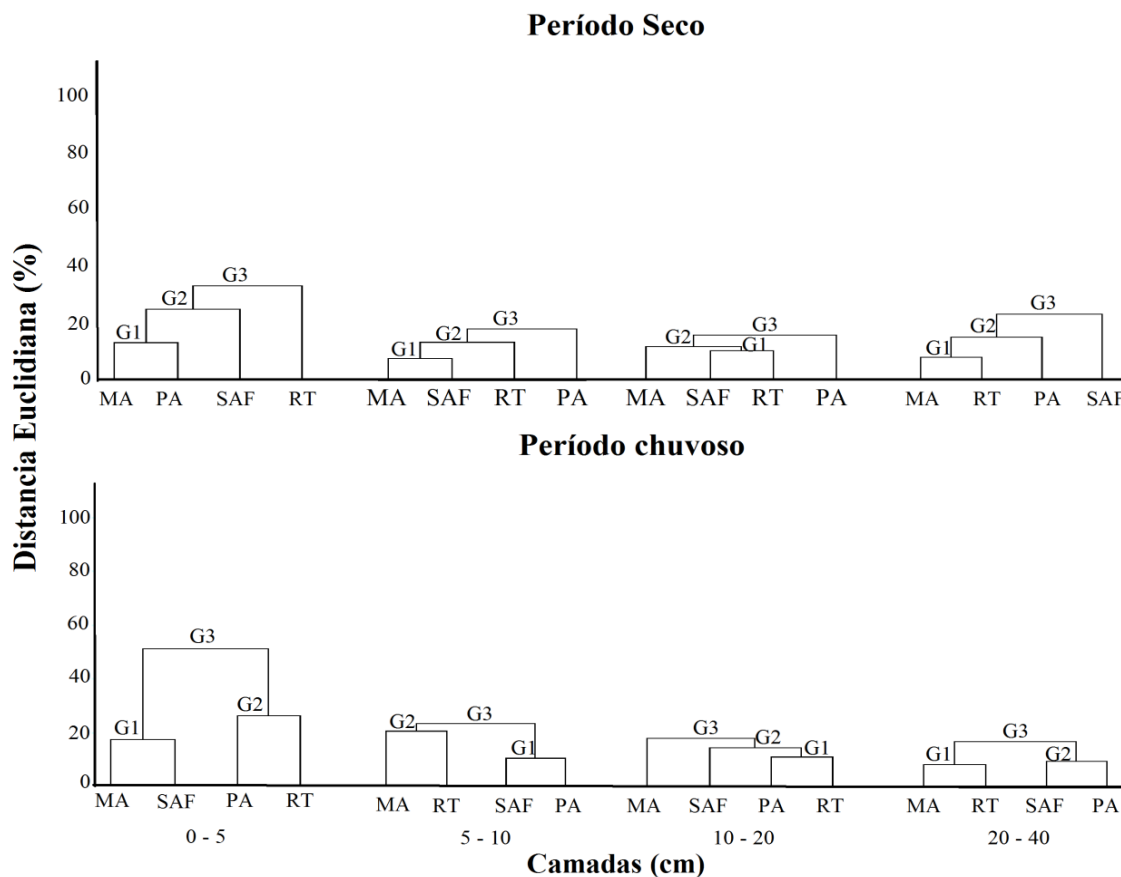
cinzas, conforme observado por Iwata et al. (2012). Com o tempo, possivelmente, essas bases vão sendo transferidas para a biomassa do sistema, uma vez que, no SAF, que teve a mesma forma de preparo inicial do terreno para o plantio da RT e PA (uso do fogo), essas diferenças não foram observadas.

As análises de agrupamentos aplicadas aos atributos químicos do solo confirmam os impactos gerados pelo manejo. Independente do período amostrado observa-se que as maiores diferenças ocorreram na camada de 0-5 cm, representada pela distância euclidiana necessária para que os sistemas se agrupem, principalmente no período chuvoso (Figura 4.1).

A RT foi o sistema que mais se distanciou da MA na camada 0-5 cm nos dois períodos de amostragem, porque houve ganho na qualidade química do solo, decorrente da mineralização dos nutrientes contidos na biomassa queimada por ocasião do preparo do solo para o plantio cerca de 22 meses antes da última amostragem. No entanto, em profundidade (20-40 cm) foi o sistema de uso que mais se assemelhou a MA, indicando pouca influência do fogo nos atributos químicos do solo na profundidade de 20-40 cm.

Ressalta-se neste trabalho que, entre as formas de uso avaliadas, os indicadores químicos mais limitantes ao desenvolvimento das plantas foram observados na MA, possivelmente, decorrentes do acúmulo de nutrientes em suas estruturas aéreas. Assim, a semelhança da MA com PA no período seco na camada 0-5 cm indica saída dos nutrientes do sistema, pois sua biomassa aérea acumulada era, notadamente, inferior a da MA. Entretanto, a dissimilaridade da MA com SAF indica que o tempo decorrido entre a conversão da floresta em sistema agroflorestal não foi suficiente para reequilibrar o sistema, pois, nesses casos, os indicadores químicos do SAF ainda são melhores que os da MA.

Em geral, a conversão da floresta em agroecossistemas por meio do corte e queima da vegetação natural traduziu-se em ganhos na qualidade química do solo para todos os sistemas antropizados em relação à mata nativa. Esses ganhos de nutrientes no solo tem sido o principal atrativo por parte dos produtores familiares para adoção desse sistema de produção agrícola (Matos et al., 2012).



**Figura 4.1.** Dendrograma de similaridade entre as formas de uso do solo nas camadas e períodos de amostragem de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar. MA = Mata, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pasto e RT = Roça de toco

#### 4.4 CONCLUSÕES

1 – A conversão da floresta em agroecossistemas resultou em redução da acidez do solo, incrementos nos teores de fósforo, bases trocáveis e saturação por bases nos sistemas antropizados em relação à mata nativa.

2 – Os mais expressivos ganhos de nutrientes no solo em relação à área de mata foram observados nos sistemas roça de toco, seguido da pastagem e, por último, o sistema agroflorestal.

3 – Os atributos menos sensíveis ao manejo do solo foram: matéria orgânica do solo no período chuvoso, teores de cálcio, magnésio, potássio e capacidade de troca de cátions no período seco.

4 – No período chuvoso os atributos químicos do solo são mais sensíveis ao manejo do solo.

## 4.5 REFERÊNCIAS

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em floresta ombrófila mista montana-Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e brachiaria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 306 p.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. A. F.; SILVA, M. S. R.; VITAL, A. R. T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 59-68, 2006.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B. Atributos químicos e estoque de carbono e nitrogênio em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 51-60, 2011.

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: Respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 57, n. 3, p. 31-36, 2007.

LUIZÃO, F. J.; TAPIA-CORAL, S.; GALLARDO-ORDINOLA, J.; SILVA, G. C.; LUIZÃO, R. C. C.; TRUFILLO-CABRERA, L.; WANDELLI, E.; FERNANDES, E. C. M. Ciclos biogeoquímicos em Agrofloresta na Amazônia. In: GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; FREITAS, M. S. M. (Org.). **Sistemas agroflorestais: bases para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. p. 87-100.

MAIA, S. M.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.

MATOS, F. O.; CASTRO, R. M. S.; RUIVO, M. L. P.; MOURA, Q. L. Teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no estado do Pará. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 257-266, 2012.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L.; MARTINS, A. G.; SILVA, A. P. Effect of pH on the development of acidic sites in clayey and Sandy loam Oxisol from the Cerrado Region, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 132, n. 1-2, p. 131-142, 2006.

MENEZES, J. M. T.; LEEUWEN, J. V.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P.; LEANDRO, R. C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 893-898, 2008.

SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERINO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 667-674, 2010.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 183-189, 2009.

SILVA, D. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F. S.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e florestas nativa. **Revista de Estudos Ambientais (online)**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

# **5 ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO PELA AGRICULTURA FAMILIAR**

## **RESUMO**

A agricultura familiar da pré-amazônia caracteriza-se pelo cultivo à custa das reservas mineralógicas do solo e por meio do corte da vegetação natural associada ao fogo para fertilizar o solo. Objetivou-se com este estudo avaliar as alterações nos atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso do solo pela agricultura familiar na região pré-amazônica no Brasil. Os sistemas avaliados foram: sistema agroflorestal (SAF), pastagem cultivada (PA), roça de toco (RT) e mata preservada (MA). Anéis volumétricos e monólitos de solo foram coletados nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm em dois anos agrícolas consecutivos (2010/2011 e 2011/2012) nos meses de julho e janeiro, coletando-se sete repetições por sistema. Os atributos avaliados foram: matéria orgânica do solo (MOS), resistência do solo à penetração (RP), índice de estabilidade de agregados (IEA), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e volume total de poros (VTP). A adoção do SAF resultou em redução da Ds e RP e aumento do VTP e Ma, sendo o inverso observado na PA.

*Palavras-chave:* impacto ambiental, sistemas agroflorestais, agricultura itinerante.

## **ABSTRACT**

### **PHYSICAL ATTRIBUTES OF AN ENTISOL QUARTZIPSAMMENT UNDER DIFFERENT SYSTEMS FOR USE BY FAMILY FARM**

The pre-Amazon familiar agriculture is characterized by the growing to the detriment of soil's mineralogical reserves and by cutting the natural vegetation associated with fire to fertilize the soil. The objective of this study was to evaluate the changes of some physical attributes of an Entisol Quartzipsamment under different land use by family agriculture in the pre-Amazon region in Brazil. The systems were evaluated: agroforestry system (SAF), pasture (PA), stump fields (RT) and preserved forest (MA). Samples of soils were collected at 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm in two consecutive agriculture years

(2010/2011 and 2011/2012) on July and January, seven samples collecting were collected per system. The attributes evaluated were: soil organic matter (MOS), resistance to penetration (RP), soil index stability aggregate (IEA), pondered mean diameter (DMP), geometric mean diameter (DMG), soil bulk density (Ds), macroporosity (Ma), microporosity (Mi) and total porosity (VTP). The adoption of SAF resulted in reduction of Ds and RP and increased VTP and Ma, while the opposite is observed in PA.

*Key words:* environment impact, agroforestry systems, shifting agriculture.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a busca por sistemas de produção mais adaptados e menos dependentes de recursos externos tem aumentado, devido à preocupação de se produzir e conservar os recursos naturais (Salmi et al., 2009). Diversos trabalhos documentados na literatura sustentam a teoria de que a substituição de florestas nativas por ecossistemas agrícolas altera a qualidade do solo (Araújo et al., 2007; Carneiro et al., 2009; Cunha et al., 2012). A magnitude dessas mudanças irá depender da interação entre os fatores climáticos, tipo de solo, cultura explorada, práticas culturais adotadas entre outros, que estabelecerão nova condição de equilíbrio do sistema solo no tempo e espaço.

Tais mudanças podem ser monitoradas por indicadores de qualidade física, química e biológica do solo (Cunha et al., 2012). Araújo et al. (2007) enfatizam que a qualidade física do solo merece destaque especial, pois afeta bastante a qualidade química e biológica, já que uma depende da outra. Os autores argumentam que ao melhorar a qualidade física de um determinado solo se está contribuindo, indiretamente, para a melhoria das suas condições biológicas e químicas.

Dentre os indicadores físicos do solo, a estrutura é o componente passível de mudanças com o manejo em médio prazo (Doran & Parkin, 1994). Ela pode ser monitorada pela estabilidade de agregados (Luca et al., 2008; Junqueira et al., 2010), pela macro e microporosidade, densidade do solo e resistência do solo à penetração de raízes (Souza et al., 2005).

Depois de determinados, a interpretação desses indicadores é feita usando-se dados coletados em áreas de referência preservadas, o que é importante para a agricultura familiar, em especial as da região pré-amazônica, pelo rigor climático e baixa fertilidade natural do solo nessa região. A maioria quase absoluta desse segmento de produtores rurais, por falta de recursos financeiros ou alternativas tecnológicas disponíveis (Bezerra, 2011), pratica agricultura primitiva, ou seja, à custa das reservas mineralógicas do solo.

A agricultura predominante por essa classe de produtores agrícolas é a itinerante, fundamentada no corte da vegetação natural e queima da biomassa para fertilizar o solo pela ação das cinzas, o que está em desacordo com os princípios da sustentabilidade (Bezerra, 2011). Para agravar ainda mais a situação, um contingente significativo de assentamentos rurais tem sido constituído sobre solos de baixa fertilidade natural, tais como os Neossolos Quartzarênicos. Esses solos caracterizam-se pelo baixo teor de argila, predominância da fração areia em sua constituição mineral e, conseqüentemente, alta susceptibilidade ao manejo intensivo (Junqueira et al., 2010), o que imprime a necessidade de uso sustentável associado a práticas de manejo que conservem ou melhorem suas condições físicas (Zuo et al., 2008; Carneiro et al., 2009).

Nesse contexto, esse trabalho testou a hipótese de que os sistemas de uso e manejo do solo afetam, de forma diferenciada, os atributos físicos do solo, os quais podem ser utilizados como indicadores de sua qualidade física. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações físicas de um Neossolo Quartzarênico em função do seu uso e manejo, com vistas à definição de sistemas de manejo sustentáveis.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada está localizada na região pré-amazônica, especificamente no lote 52 do assentamento Tobasa em Esperantina, TO, às coordenadas 5° 22' 02'' S, 48° 35' 57'' W, altitude local de 90 m. A precipitação média local é de 1.500 mm ano<sup>-1</sup> e a temperatura média de 28,5°C. O clima, classificado como Aw (Köppen), apresenta seis meses de período chuvoso (dezembro a maio) e seis meses de período seco (junho a novembro). O solo dessa área foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico (Embrapa, 2006), conforme resultados das análises granulométricas (Tabela 5.1) e descrição no apêndice A.

Os sistemas de manejo e uso do solo avaliados foram:

1 - SAF: sistema agroflorestal de três hectares implantado em 1989 em volta da sede, onde convivem, livremente, 65 galinhas do tipo caipira. Evoluiu de um quintal agroflorestal para uma agrofloresta, com mais de sessenta espécies cultivadas em consórcio, sendo o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) a principal cultura econômica do sistema, com produção anual de polpa de 1.500 Kg, seguida pela do bacuri (*Platonia insignis*), com produção anual de polpa de 750 Kg. Nesta área são adicionados, anualmente, resíduos

oriundos da atividade doméstica como: cascas e sementes de frutas, cascas de mandioca e feijão, palhas e sabugos de milho, entre outras, estimando-se em uma adubação orgânica média anual de 1,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Encontra-se em estágio de sucessão ecológica de capoeira grossa, com biomassa aérea de aproximadamente 70% da observada visualmente na mata.

**Tabela 5.1.** Granulometria da terra fina seca ao ar e fracionamento da fração areia nas camadas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar

Camada (cm)	USO <sup>1</sup>	ARG <sup>2</sup>							
		------(g kg <sup>-1</sup> )-----							
		ARG <sup>2</sup>	SIL	AT	MG	G	M	F	MF
0 - 5	MA	113	44	843	3	117	480	360	40
	SAF	111	46	843	2	54	480	408	56
	PA	117	43	840	2	49	449	414	86
	RT	123	60	817	2	50	552	371	25
05 - 10	MA	133	42	825	2	101	483	369	45
	SAF	110	37	853	2	37	505	397	59
	PA	113	47	840	2	55	439	421	83
	RT	126	54	820	3	46	549	376	26
10 - 20	MA	133	43	824	6	115	470	366	43
	SAF	111	42	847	2	36	478	421	63
	PA	120	39	841	2	48	439	427	84
	RT	127	53	820	3	43	572	357	25
20 - 40	MA	137	44	819	8	110	483	357	42
	SAF	116	48	836	2	37	472	422	67
	PA	123	34	843	1	56	426	434	83
	RT	141	42	817	2	32	559	379	28

<sup>1</sup>MA = Mata, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pasto e RT = Roça de toco. <sup>2</sup>ARG = Argila, SIL = Silte, AT = Areia total, MG = Areia muito grossa, G = Areia grossa, M = Areia média, F = Areia fina e MF = Areia muito fina

2 - PA: pastagem cultivada implantada em 1989 com capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*), localizada ao lado do sistema agroflorestal. Ocupa uma área de 16 hectares usada no pastejo de bovinos, equinos e ovinos, mantendo uma pressão de pastejo constante de 0,8 unidades animal (UA) por hectare (1UA = 450 Kg de peso vivo). São comercializados, anualmente, cinco bezerros de oito meses de idade, descartando-se duas matrizes para o abate (150 Kg de carcaça) com ordenha de quinze litros de leite diariamente.

3 - RT: roça de toco, caracterizada pela retirada da floresta nativa, que teve sua fitomassa seca queimada em 2009, sendo utilizada para cultivo com arroz (*Oryza sativa*), milho (*Zea mays*), feijão trepa-pau (*Vigna unguiculata*) e mandioca (*Manihot esculenta*) até maio de 2010. Ocupava uma área de 2,5 hectares, na qual são colhidos 1.200 Kg de arroz, 900 Kg de milho, 120 Kg de feijão e a mandioca (bianual), encontra-se em fase de crescimento. Todas as espécies são cultivadas na forma de consórcio.

4 - MA: mata nativa do tipo floresta aberta, com expressivo estoque de biomassa aérea, usada como testemunha. Localiza-se ao lado da roça de toco, sendo usada como reserva e eventualmente são colhidas lenha, madeira para o fabrico de casas para moradia e frutas nativas da região.

Os sistemas de uso roça de toco, pastagem plantada e sistema agroflorestal, avaliados neste estudo, foram iniciados com corte e queima da vegetação natural. Não há registro do uso de mecanização nem de adubos solúveis para nenhum dos sistemas estudados.

Em cada sistema de uso do solo, foi delimitada uma transeção na qual foram coletadas amostras de solo em sete pontos distantes entre si de 10 m. A amostragem foi feita por dois anos e em duas épocas: período seco (julho/2010 e 2011) e período chuvoso (janeiro/2011 e 2012). No entorno de cada ponto de amostragem foram realizadas três determinações de resistência do solo à penetração utilizando-se um penetrômetro de impacto modelo IAA-Planalsucar-Stolf, da superfície do solo até a profundidade de 40 cm, totalizando 21 repetições por sistema de uso do solo. Os dados obtidos no campo, em impactos por decímetro, foram transformados em MPa utilizando-se a equação descrita por Stolf (1991), sendo a unidade multiplicada por 0,098 para correção conforme sistema internacional de unidades.

Em cada ponto de amostragem foi aberta uma mini-trincheira para coleta de amostras para determinação da umidade gravimétrica do solo pelo método da (Embrapa, 1997) nas camadas 00-20 e 20-40 cm, totalizando 56 amostras (4 sistemas de uso x 7 pontos amostrados x 2 camadas). Nas paredes das mini-trincheiras, foram coletados, e acondicionados em filme plástico, monólitos e anéis volumétricos com dimensões de 5 x 5 cm nas camadas de 00-05, 05-10, 10-20 e 20-40 cm, totalizando 112 amostras por época de amostragem (4 sistemas de uso x 7 pontos amostrados x 4 camadas). No laboratório, os monólitos foram secos ao ar até atingirem peso constante. Após a toaleta, os anéis foram submetidos à saturação com água até 2/3 de sua altura. Depois de secos, os monólitos foram destorroados e passados em uma sequência de peneiras com abertura de 8 e 4 mm.

Os agregados retidos na peneira de 4 mm foram selecionados para análise de estabilidade via úmida. Com base nos resultados do tamisamento úmido, utilizando-se o Yoder, foram calculados o índice de estabilidade de agregados (%IEA), o diâmetro médio geométrico (DMG) e o ponderado (DMP), conforme equações descritas em Kemper & Rosenau (1986) e Castro Filho et al. (1998).

A TFSA retida na peneira sem abertura foi para determinação da matéria

orgânica do solo pelo método da oxidação via úmida com solução de dicromato de potássio em meio ácido, utilizando como fonte externa de calor o ácido sulfúrico e extraído com sal de Mohr (Embrapa, 1997).

A densidade do solo foi determinada pela relação de massa/volume. A porosidade total, pela relação entre densidade do solo e densidade de partícula determinada pelo método do balão volumétrico. A microporosidade, considerada igual à quantidade de água retida pelo solo na tensão de 6 KPa; e macroporosidade, pela diferença entre porosidade total e microporosidade. Todas as análises físicas foram realizadas seguindo as metodologias descritas pela Embrapa (1997).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de médias, utilizando o teste de Scott Knott ( $p < 0,05$ ) com o auxílio do aplicativo computacional Assistat 6.2 beta (Silva & Azevedo, 2002). A comparação entre sistemas de uso, frente ao conjunto de atributos envolvidos, foi feita usando a técnica de análise multivariada pelo método de agrupamento de distância mínima (método de Ward). A medida de similaridade utilizada foi a distância euclidiana, a qual tem sido usada em estudos que tem por objetivo a comparação de sistemas de uso e manejo da terra (Mendes et al., 2006; Cunha et al., 2012; Gomes et al., 2012; Matoso et al., 2012). As análises multivariadas foram feitas com o auxílio do aplicativo computacional PAST versão 2.08 b (Hammer et al., 2001).

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de matéria orgânica do solo (MOS) decrescem com a profundidade, independente da época de amostragem (Tabela 5.2). Estes resultados eram esperados para esse tipo de análise, pois os resíduos orgânicos, provenientes da parte aérea, depositam-se na superfície do solo. Bicalho (2011) ao estudar as alterações do carbono em diferentes formas de manejo conservacionistas e Chioderoli et al. (2012) na integração lavoura-pecuária, também, encontraram resultados semelhantes ao deste trabalho. Esses resultados são encontrados normalmente em sistemas que não revolvem o solo, inclusive o plantio direto, sobre o qual há muitos trabalhos (Ferreira et al., 2007; Nunes et al., 2011).

Com o desflorestamento e uso do fogo, relativamente recente, na RT (entre seis e trinta meses das amostragens), era esperada uma redução significativa da MOS em superfície, pelo uso do fogo, e um incremento em profundidade pela morte e decomposição das raízes. Porém, esse comportamento não foi observado, possivelmente pelo estágio de sucessão ecológica em que se encontrava o sistema por ocasião do segundo ano de

amostragem (estágio de capoeira fina).

**Tabela 5.2.** Qualidade estrutural de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar

ATB <sup>1</sup>	Z <sup>2</sup> (cm)	-----Período seco-----				-----Período chuvoso-----			
		MA	SAF	PA	RT	MA	SAF	PA	RT
MOS (%)	00 a 05	3,32 Ba	4,44 Aa	2,03 Ca	1,70 Ca	2,09 Aa	2,86 Aa	2,00 Aa	2,23 Aa
	05 a 10	2,26 Bb	2,81 Ab	1,76 Ca	1,43 Ca	1,49 Ab	1,56 Ab	1,81 Aa	1,49 Ab
	10 a 20	1,89 Ab	1,57 Ac	1,34 Bb	1,14 Bb	1,15 Ac	1,00 Ac	1,26 Ab	1,11 Ab
	20 a 40	1,11 Ac	1,21 Ac	0,77 Bc	0,76 Bb	0,68 Ad	0,78 Ac	0,77 Ac	0,71 Ac
IEA (%)	00 a 05	88,56 Ba	90,44 Aa	87,47 Ba	86,68 Ba	88,33 Aa	89,21 Aa	86,04 Ba	78,87 Cb
	05 a 10	88,52 Aa	88,17 Aa	86,49 Ba	87,62 Aa	87,00 Aa	86,11 Ab	86,22 Aa	82,41 Ba
	10 a 20	89,04 Aa	83,70 Ab	85,39 Aa	86,62 Aa	86,82 Aa	83,65 Bb	85,78 Aa	82,74 Ba
	20 a 40	86,53 Ab	83,89 Bb	86,52 Aa	85,56 Aa	84,91 Ab	84,01 Ab	82,55 Ab	84,44 Aa
DMP (mm)	00 a 05	2,57 Aa	2,73 Aa	2,36 Ba	2,33 Ba	2,39 Ba	2,58 Aa	2,06 Ca	1,69 Db
	05 a 10	2,46 Aa	2,44 Ab	2,26 Ba	2,46 Aa	2,26 Aa	2,24 Ab	2,13 Aa	1,78 Bb
	10 a 20	2,54 Aa	2,33 Bb	2,30 Ba	2,25 Bb	2,16 Ab	2,05 Ab	2,08 Aa	1,83 Ab
	20 a 40	2,18 Bb	2,11 Bc	2,47 Aa	2,12 Bb	2,00 Ab	1,86 Ab	1,87 Ab	1,99 Aa
DMG (mm)	00 a 05	2,24 Aa	2,49 Aa	1,89 Ba	1,84 Ba	1,96 Ba	2,23 Aa	1,50 Ca	1,08 Db
	05 a 10	2,02 Aa	1,97 Ab	1,74 Aa	2,02 Aa	1,75 Aa	1,71 Ab	1,61 Aa	1,19 Bb
	10 a 20	2,19 Aa	1,82 Bb	1,83 Ba	1,76 Bb	1,62 Ab	1,56 Ab	1,53 Aa	1,25 Ab
	20 a 40	1,66 Bb	1,55 Bc	2,04 Aa	1,56 Bb	1,45 Ab	1,23 Ab	1,32 Aa	1,45 Aa

<sup>1</sup>ATB = atributos avaliados, <sup>2</sup>Z = camadas, MOS = matéria orgânica do solo, IEA = índice de estabilidade de agregados, DMP = diâmetro médio ponderado e DMG = diâmetro médio geométrico. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas não diferem entre sistema de uso para o mesmo período de amostragem e médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre camadas para o mesmo atributo, de acordo com os resultados do teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). MA = Mata, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pasto e RT = Roça de toco.

Ao analisar a qualidade de agregação do solo, índice de estabilidade de agregados (IEA), diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), percebeu-se que os resultados não seguem um padrão definido, no entanto, a mata (MA) e o sistema agroflorestal (SAF), independente do período de amostragem, apresentam IEA superior a RT e a pastagem (PA), sobretudo nas camadas 00-05 e 05-10 cm, o que não se observa de 10-20 e 20-40 cm (Tabela 5.2).

A diferenciação dos índices de agregação em favor da MA e SAF em relação a PA e RT em superfície deve estar associada a MOS, enquanto os resultados em profundidade, camadas 10-20 e 20-40 cm, sugerem que a agregação do solo, além da MOS, é dependente, também, de outros fatores como a compactação do solo (Bicalho, 2011) e tipo de cátion que satura a superfície coloidal (Luca et al., 2008). Seja qual for a razão, neste trabalho, os solos mais afetados foram os usados de forma mais intensa (PA e RT).

A presença de camada superficial compactada na PA, decorrente do pisoteio animal, e na RT, decorrente do uso do fogo, inverteram o padrão de densidade do solo (Ds)

em relação a MA no período chuvoso (Tabela 5.3). Essa mudança tem influência direta no espaço poroso do solo e na resistência do solo à penetração (RP). Incrementos na Ds em camadas superficiais decorrentes do pisoteio animal e consequente redução do volume total de poros (VTP), macroporosidade (Ma) e aumento na RP são relatados por Carneiro et al. (2009) e Flores et al. (2007). Os referidos autores argumentam que a influência do pisoteio não ultrapassa os primeiros 10 cm da superfície do solo e são compensados pela decomposição das raízes, que formam bioporos.

**Tabela 5.3.** Atributos físicos nas camadas e períodos de amostragem de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos da agricultura familiar

ATB <sup>1</sup>	Z <sup>2</sup> (cm)	-----Período seco-----				-----Período chuvoso-----			
		MA	SAF	PA	RT	MA	SAF	PA	RT
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	00 a 05	1,39 Bb	1,22 Cb	1,53 Aa	1,49 Aa	1,29 Bb	1,19 Cb	1,45 Aa	1,44 Ab
	05 a 10	1,47 Aa	1,36 Ba	1,51 Aa	1,48 Aa	1,45 Bb	1,39 Bb	1,51 Aa	1,53 Aa
	10 a 20	1,49 Aa	1,35 Ca	1,49 Ab	1,43 Bb	1,49 Aa	1,45 Ba	1,52 Ab	1,51 Aa
	20 a 40	1,45 Aa	1,38 Ba	1,47 Ab	1,42 Bb	1,49 Aa	1,42 Ba	1,51 Ab	1,48 Ab
RP (MPa)	00 a 05	1,27 Bb	0,60 Cb	1,69 Ab	1,32 Bb	0,71 Bc	0,56 Cb	1,30 Ab	0,73 Ba
	05 a 10	2,00 Ba	0,71 Ca	2,48 Aa	1,94 Ba	0,99 Bb	0,61 Cb	1,71 Aa	0,94 Ba
	10 a 20	2,22 Aa	0,76 Ca	2,56 Aa	1,71 Ba	1,18 Ba	0,68 Ca	1,69 Aa	0,98 Ba
	20 a 40	1,71 Aa	0,82 Ca	1,90 Ab	1,46 Bb	0,94 Bb	0,72 Ca	1,21 Ab	0,89 Ba
Ma (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	00 a 05	0,28 Ba	0,33 Aa	0,16 Cc	0,20 Ca	0,32 Aa	0,34 Aa	0,21 Ba	0,25 Ca
	05 a 10	0,23 Bb	0,27 Ab	0,16 Cc	0,19 Ca	0,26 Ab	0,25 Aa	0,18 Bb	0,23 Ab
	10 a 20	0,23 Bb	0,28 Ab	0,20 Bb	0,22 Ba	0,24 Ab	0,26 Aa	0,18 Bb	0,24 Ab
	20 a 40	0,26 Aa	0,28 Ab	0,23 Ba	0,22 Ba	0,25 Ba	0,29 Aa	0,22 Cb	0,26 Bb
Mi (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	00 a 05	0,19 Ba	0,19 Ba	0,24 Aa	0,22 Aa	0,18 Ba	0,19 Ba	0,24 Aa	0,20 Ba
	05 a 10	0,19 Ba	0,20 Ba	0,24 Aa	0,23 Aa	0,19 Ba	0,20 Ba	0,23 Aa	0,18 Bb
	10 a 20	0,20 Aa	0,20 Aa	0,22 Aa	0,22 Aa	0,19 Ba	0,18 Bb	0,23 Aa	0,18 Bb
	20 a 40	0,18 Ba	0,19 Ba	0,20 Bb	0,22 Aa	0,18 Ba	0,17 Bb	0,20 Ab	0,17 Bb
VTP (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	00 a 05	0,47 Ba	0,52 Aa	0,40 Cb	0,42 Ca	0,50 Aa	0,53 Aa	0,44 Ba	0,45 Ba
	05 a 10	0,43 Bb	0,47 Ab	0,40 Cb	0,42 Ba	0,45 Ab	0,45 Ab	0,42 Bb	0,41 Bb
	10 a 20	0,43 Bb	0,47 Ab	0,42 Ca	0,44 Ba	0,43 Ab	0,44 Ab	0,41 Ab	0,41 Ab
	20 a 40	0,44 Bb	0,47 Ab	0,43 Ba	0,44 Ba	0,42 Bb	0,46 Ab	0,43 Bb	0,43 Bb

<sup>1</sup>ATB = atributos avaliados, <sup>2</sup>Z = camadas, Ds = densidade de solo, RP = resistência do solo à penetração, Ma = macroporosidade, Mi = microporosidade, VTP = volume total de poros e Dp = densidade de partículas. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas não diferem entre sistema de uso para o mesmo período de amostragem e médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre camadas para o mesmo atributo, de acordo com os resultados do teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). MA = Mata, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pasto e RT = Roça de toco

No que se refere às diferenças entre sistemas de uso do solo, pode-se observar que a Ds, RP, e Ma foram os indicadores mais sensíveis ao manejo. Este fato é representado pelas diferenças significativas entre os usos em todas as camadas e períodos de amostragem para estes atributos. No outro extremo, encontra-se a MOS no período chuvoso como a que menos foi influenciada pelo manejo, o que é atribuído ao não revolvimento do solo nos sistemas de uso avaliado.

O maior número de atributos com diferenças significativas entre os sistemas de

uso ocorre no período seco (Tabelas 5.2 e 5.3). Esses resultados podem ser decorrentes da maior variação no teor de MOS nesse período, evidenciando relação de dependência dessa variável com os outros indicadores de qualidade do solo. O maior teor de MOS e consequente expressão de diferenças significativas no período seco pode ser atribuída à umidade do solo. No período seco, ocorre maior aporte ao solo de resíduos orgânicos provenientes da parte aérea das plantas e menor taxa de decomposição, limitada pela baixa umidade do solo (Sanches et al., 2009). No período chuvoso, as plantas vegetam e reduzem o processo de queda de folhas e galhos, enquanto a MOS é mais rapidamente degradada pela população de decompositores aumentada pela condição de umidade favorável. Os sistemas mais sensíveis a este processo são os que apresentam maior densidade de espécies arbóreas, pela maior produção e diversidade da MOS, conforme constatado por Cunha et al. (2012).

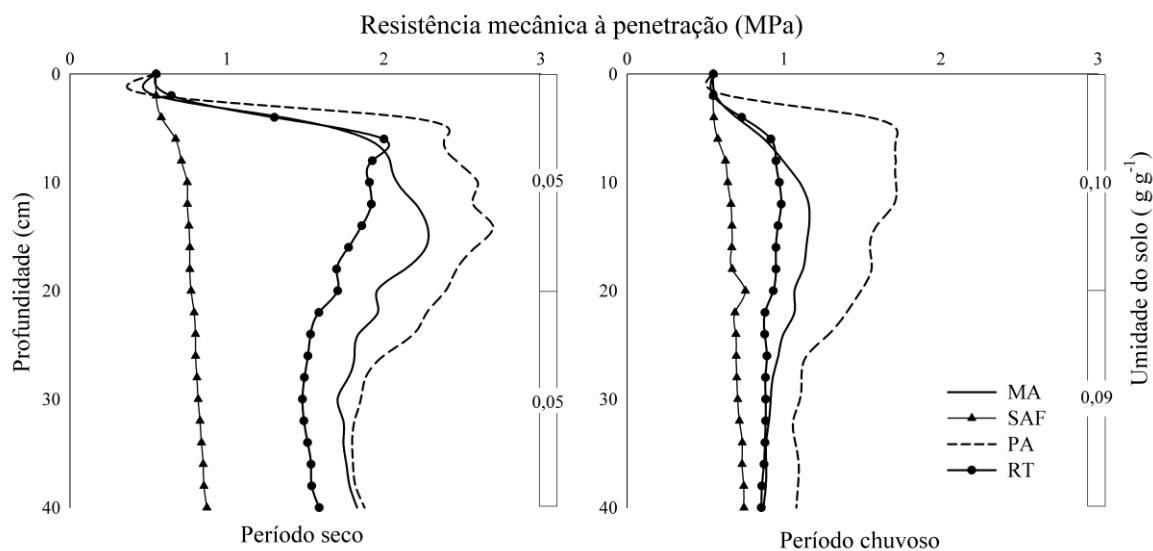
Em geral, o pisoteio animal na PA e o uso do fogo na RT favoreceram a compactação do solo em relação a MA, sobretudo nas duas primeiras camadas avaliadas no período chuvoso. No entanto, o maior valor de  $D_s$  observado neste trabalho foi de  $1,53 \text{ g cm}^{-3}$  no sistema PA no período seco na camada de 00-05 cm, e na RT no período chuvoso na camada de 05-10 cm. Este valor está abaixo de  $1,75 \text{ g cm}^{-3}$  considerado crítico para o desenvolvimento radicular em solos arenosos (Carneiro et al., 2009).

Os incrementos observados na compactação do solo, decorrentes do manejo adotado, resultaram em redução no volume total de poros (VTP) e macroporosidade (Ma) dos sistemas PA e RT em relação ao SAF e a MA, bem como aumento na microporosidade (Mi) da PA em relação às demais formas de uso (Tabela 5.3). Esses resultados eram esperados, pela relação de dependência entre estes atributos. No entanto, os valores de Ma ficaram acima dos 10% considerados como limite mínimo para o bom desenvolvimento radicular, o que é característico dos Neossolos Quartzarênicos, tal como constatado por Carneiro et al. (2009).

O solo sob SAF apresentou indicadores de qualidade superiores ou iguais a MA, exceto para os índices de agregação nas camadas de 10-20 e 20-40 cm (Tabelas 5.2 e 5.3). Tais resultados podem ser atribuídos à baixa intensidade de uso e à adubação orgânica recebida anualmente. Assim, os dados deste estudo reforçam a teoria de alta sustentabilidade dessa forma de uso do solo, sobretudo nas condições de solos com estrutura frágil como os Neossolos Quartzarênicos. Nesses solos, a exploração sustentável é dependente da manutenção e, ou, melhoria das qualidades físicas, químicas e biológicas

(Zuo et al., 2008; Carneiro et al., 2009; Sales et al., 2010).

Neste trabalho percebeu-se que a maior RP ocorreu no período seco na profundidade de 14 cm, no sistema PA, com valor de 2,70 MPa (Figura 5.1). Na literatura não há um consenso quanto ao limite de restrição da RP para o crescimento das raízes (Souza et al., 2005). No entanto, Souza & Alves (2003) sugerem valores entre 3 e 5 MPa para sistemas de produção conservacionistas, dependendo do tipo de solo, manejo, cultura explorada, umidade do solo, entre outros fatores, conforme citado por Carneiro et al. (2009). No caso deste estudo, possivelmente, os valores não representaram impedimentos ao crescimento das raízes.



**Figura 5.1.** Resistência do solo à penetração em incrementos de 2 cm e umidade gravimétrica do solo no perfil de um Neossolo Quartzarênico sob uso da agricultura familiar. MA = Mata; SAF = Sistema agroflorestal; PA = Pasto e RT = Roça de toco

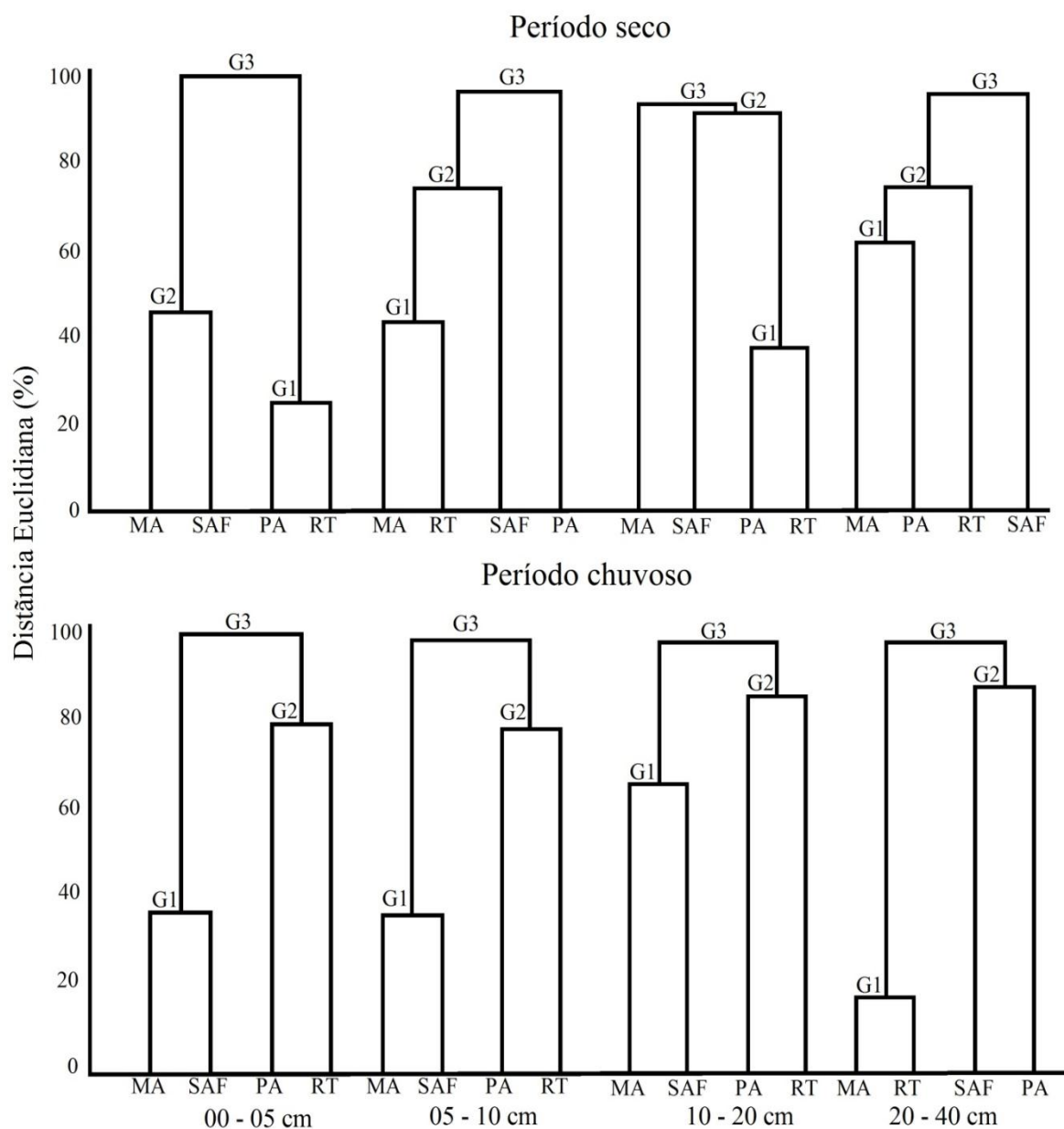
É importante observar que a umidade média por ocasião das amostragens, em relação à capacidade de campo (convertendo de peso para volume), era de aproximadamente 26% no período seco e 76% no período chuvoso. Considerando que a determinação da RP deve ser tomada com umidade do solo em 2/3 da capacidade de campo (Embrapa, 2007) pela sua relação de dependência, pode-se inferir que os valores mais relevantes para o crescimento radicular foram os observados no período chuvoso. Nesse período de amostragem, o maior valor de RP verificado foi de 1,71 MPa na PA na camada 05-10 cm (Figura 5.1), o que reduz significativamente a possibilidade da RP observada neste estudo ser restritiva ao crescimento radicular.

Independente do período amostrado, o SAF apresentou perfil de resistência à penetração inferior as demais formas de uso avaliadas, enquanto na MA e RT os valores foram similares e inferiores aos encontrados na PA (Figura 5.1). Esses resultados são decorrentes da compactação do solo na PA, resultante do pastejo do gado, conforme relatado por Carneiro et al. (2009) em estudo semelhante. No SAF, a adubação orgânica favorece a estrutura do solo (Carvalho et al., 2004). O curto período de manejo em RT (apenas um ano), não favoreceu variação significativa da RP em relação a MA, pois é um indicador que exige manejo do solo por alguns anos para promover alterações significativas (Doran & Parkin, 1994).

A análise de agrupamento, aplicada aos atributos avaliados, confirma a separação entre as formas de uso do solo. Conforme essa análise, a forma de uso que mais se assemelhou com a MA (menos impactada) foi RT no período chuvoso na camada de 20-40 cm, agrupando-se a MA com distância euclidiana aproximada de 18%, o que é atribuído ao curto período de uso do solo (Figura 5.2). Na camada 00-05 cm no período seco, PA e RT formam grupo com distância euclidiana em torno de 25%, no entanto, são muito distintos da área da MA. Isso ocorre porque o dendrograma agrupa por similaridade e não por qualidade dos indicadores que, no caso, são semelhantes com qualidade dos indicadores muito inferior a área da MA. Com o aumento da profundidade, observa-se maior dissimilaridade do SAF e maior similaridade de RT e PA com a área da MA, no entanto, esse comportamento é resultado da melhoria dos atributos no sistema SAF em relação a MA (impactos positivos).

Em geral, os sistemas mais impactados pelo manejo foram o PA, seguido pela RT e, por último o SAF, representado pela distância euclidiana necessária para formar grupo com a MA. Ainda é possível inferir que as mudanças são mais significativas nas três primeiras camadas (até 20 cm) e estão associadas, principalmente, aos incrementos na Ds e suas consequências na RP, VTP e Ma, conforme se evidenciam nas Tabelas 5.2 e 5.3.

É importante destacar neste trabalho que as mudanças constatadas no sistema SAF em relação a MA resultaram em melhoria dos indicadores de qualidade do solo, o que credencia esta forma de uso do solo como uma alternativa sustentável, sobretudo para agricultura familiar instalada sobre solos de estrutura frágil como os Neossolos Quartzarênicos da região estudada.



**Figura 5.2.** Dendrograma de similaridade entre as formas de uso do solo nas camadas e períodos de amostragem de um Neossolo Quartzarênico sob uso da agricultura familiar. MA = Mata, SAF = Sistema agroflorestal, PA = Pasto e RT = Roça de toco

## 5.4 CONCLUSÕES

- 1 – Os sistemas de uso analisados neste trabalho alteraram a qualidade física do Neossolo Quartzarênico.
- 2 – No sistema agroflorestal não foram constatadas degradação dos atributos físicos em relação à área de mata após 21 anos da conversão da floresta em agroecossistema.

3 – Os atributos físicos mais sensíveis ao manejo foram a densidade do solo, macroporosidade e resistência do solo à penetração, até a profundidade de 20 cm, sendo, o solo sob pastagem o mais impactado negativamente em relação à mata nativa.

## 5.5 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

BEZERRA, N. R. C. Amazônia e os novos paradigmas de desenvolvimento rural: uma breve reflexão teórica. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 6, n. 2, p. 40-54, 2011.

BICALHO, I. M. Alterações na agregação e carbono orgânico total em solo cultivado com café sob diferentes sistemas de manejo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-14, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 1153-1155, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distroférico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo de amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e brachiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; DIDONET, A.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solos sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; CELEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. **Qualidade física do solo**: Indicadores quantitativos. ed.: Embrapa Clima Temperado, 2007. 27 p. (Documentos 196).

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, H. L. C. Dinâmica do carbono na biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1625-1635, 2007.

FLORES, J. P. C.; ANCHINOLI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 771-780, 2007.

GOMES, S. D. S.; SANTOS, L. C.; SOUZA, R. D. L.; BATISTOTE, M.; MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F. Atividade microbiana em solo manejado com diferentes espécies de adubos verdes. **Cadernos de agroecologia**, Cruz Alta, v. 7, n. 2, p. 1-5, 2012.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

JUNQUEIRA, K. R.; CORRECHEL, V.; CUSTÓDIO FILHO, R. O.; SANTOS, F. C. V.; JUNQUEIRA, M. F. R. Estabilidade de agregados de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem e mata em Baliza-GO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 10, p. 1-7, 2010.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. **Methods of Soil Analysis**: Part I. Physical and Mineralogical Methods, Agronomy Monograph nº 9. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 425-442.

LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C. C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoque de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canaviais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 789-800, 2008.

MATOSO, S. C. C.; SILVA, A. N.; FIORELLI-PEREIRA, E. C.; COLLETA, Q. P.; MAIA, E. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas em Itajubá-MG. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

NUNES, R. S.; LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; MENDES, I. C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de Cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1407-1419, 2011.

SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERINO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 667-674, 2010.

SALMI, A. P.; SOUZA, A. C.; GUERRA, J. G. M.; RISSO, I. A. M. Teores de nutrientes na biomassa aérea da leguminosa *Flemingia macropylla*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 4, n. 2, p. 873-876, 2009.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 183-189, 2009.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 229-235, 1991.

ZUO, X.; H., Z.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; GUO, Y.; WANG, S.; DRAKE, S. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, n. 2, p. 202-212, 2008.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, a conversão da floresta em agroecossistemas de produção familiar promove alterações nos estoques de serrapilheira e nos atributos químicos e físicos do solo. Os estoques de serrapilheira sobre o solo, acidez do solo, bases trocáveis, saturação por bases, densidade do solo, resistência à penetração, macroporosidade e volume total de poros demonstraram ser sensíveis na detecção de mudanças no uso e manejo dos solos do bioma Amazônia. As mudanças nos indicadores de qualidade do solo são mais evidentes quanto maior for a intensidade de uso do solo. Entre as formas de uso estudadas, o sistema agroflorestal apresenta indicadores de sua qualidade mais próximos da área de mata nativa, configurando-se numa boa opção de produção de alimentos aliada a preservação dos recursos naturais.

O estoque de serrapilheira sobre o solo nos sistemas antropizados é o indicador que mais sofre mudanças com a forma de preparo do solo para o plantio adotado pela agricultura familiar dessa região, decorrente do uso do fogo nesse preparo. Por outro lado, os estoques de carbono no solo pouco são alterados, o que aponta no sentido de que as consequências do uso do fogo não se propagam significativamente no perfil do solo.

Em relação aos atributos químicos do solo, a conversão das florestas em agroecossistemas resulta em melhorias dos indicadores em relação à área de mata nativa, sobretudo na acidez do solo, disponibilidade de bases trocáveis e saturação por bases. Entretanto, tais melhorias ocorrem, principalmente, nos primeiros 20 cm de profundidade do solo, decorrentes da mineralização dos nutrientes contidos na biomassa das espécies florestais suprimidas. Se por um lado esse estudo mostrou eficiência para detectar melhorias nos indicadores químicos com a conversão da floresta em agroecossistemas, por outro, aponta para a necessidade de estudos que incluam os nutrientes contidos na biomassa dos sistemas. Assim, ao avaliar os nutrientes no solo, na serrapilheira e na biomassa vegetal dos diferentes sistemas de uso da agricultura familiar seria possível entender, com mais precisão, a extensão dos danos causados pelo uso do solo no que se refere à ciclagem de nutrientes nesses sistemas.

Com relação aos atributos físicos do solo, o uso de adubação orgânica pode

melhorar suas qualidades nos agroecossistemas, conforme foi observado no sistema agroflorestal em relação à área de referência. Por outro lado, o uso mais intenso do solo resulta em aumentos na densidade do solo, com consequências nos demais atributos físicos a ela relacionados, como aumento na resistência do solo à penetração, redução no volume de macroporos e no volume total de poros, conforme constatado na pastagem.

Clara distinção entre as formas de uso e manejo do solo é verificada por meio do estoque de serrapilheira sobre a superfície do solo nos sistemas de uso e pela resistência do solo à penetração. Por meio desses indicadores é possível verificar que a implantação de sistema agroflorestal, nas condições estudadas nesse trabalho, não resulta em impactos negativos em relação às áreas de florestas de mesma classe de solo. No entanto, o uso do solo com pastagem por longos anos, aumenta significativamente a resistência do solo à penetração, enquanto na roça de toco, a serrapilheira é, praticamente, inexistente sobre o solo.

Portanto, considerando que o sistema agroflorestal é a opção de uso que mais preserva as características originais do solo, novos estudos deverão ser canalizados para avaliação de sua viabilidade econômica e social, para assim, fechar o tripé da sustentabilidade (ambiental, econômica e social). Ainda, pode-se indicar a necessidade de futuros trabalhos que tenham por objetivos avaliar a sazonalidade dos atributos físicos e químicos do solo nesses sistemas, por meio de experimentos de longa duração.

## APÊNDICES

<b>Apêndice A.</b>	Descrição do perfil do solo estudado .....	81
<b>Apêndice B.</b>	Análises Físicas e Químicas, Solo: NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico .....	83

## Apêndice A. Descrição do perfil do solo estudado

### Dados gerais do perfil do solo

**Perfil:** único.

**Data:** 22/07/2010.

**Classificação:** NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico.

**Localização, município, estado, coordenadas e altitude:** lote N° 52 do assentamento Tobasa. Esperantina. Tocantins. 5° 21' 38,1'' S e 48° 35' 50,3'' W. 97 m.

**Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:** descrito e coletado em trincheira aberta em área com aproximadamente 1% de declive, sob pastagem degradada de capim quicuío (*Pennisetum clandestinum*).

**Litologia, cronologia e formação geológica:** sedimentos paleozóicos de arenitos finos. Cretáceo superior. Itapecurú.

**Material de origem:** proveniente da alteração do material supracitado.

**Pedregosidade:** não pedregoso.

**Rochosidade:** não rochoso.

**Relevo local:** plano.

**Relevo regional:** plano a suavemente ondulado.

**Erosão:** não aparente

**Drenagem:** acentuadamente drenado.

**Vegetação primária:** floresta ombrófila aberta.

**Uso atual:** pastagem de capim quicuío.

**Clima:** Aw, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por:** Idelfonso Colares de Freitas e Felipe Corrêa Veloso dos Santos.

### Descrição morfológica

**Ap0-20 cm:** bruno acinzentado escuro (10YR 4/2, seco), bruno escuro (10YR 3/3, úmido) e bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido amassado); ausente; areia franca sem cascalho; fraca, pequena e grãos simples; ausente; solta, não plástica e não pegajosa; plana e gradual.

**AC20-45 cm:** bruno (10YR5/3, seco), bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno escuro (10YR 3/3, úmido amassado); ausente; areia franca sem cascalho; fraca, muito pequena e grãos simples; ausente; solta, não plástica e não pegajosa; plana e gradual.

**CA45-90 cm:** bruno muito claro - acinzentado (10YR 7/3, seco), bruno (10 YR5/3, úmido) e

bruno escuro (10YR 5/3, úmido amassado); ausente; areia franca sem cascalho; fraca, muito pequena e grãos simples; ausente; solta, não plástica e não pegajosa; plana e gradual.

**C90+** cm: bruno muito claro - acinzentado (10YR 7/3, seco, úmido e úmido amassado); pouco, pequeno e difuso; areia franca, sem cascalho; fraca, muito pequena e grãos simples; ausente; solta, não plástica e não pegajosa; plana e gradual.

**Raízes:** muito finas, fasciculadas e poucas médias no horizonte Ap; comuns finas e raras médias no AC e CA; comuns finas no C.

### **Mineralogia da TFSA**

**Composição do horizonte Ap:** principal – quartzo; subordinado – motmorilonita-saponita (não expansiva); traço – caulinita, gibbsita, diásporo, biotita, gipsita e rutilo.

**Composição do horizonte AC:** principal – quartzo; subordinado – motmorilonita-saponita (não expansiva); traço – caulinita, diásporo e rutilo.

**Composição do horizonte CA:** principal – quartzo; subordinado – motmorilonita-saponita (não expansiva) e caulinita; traço – gibbsita, diásporo e anatásio.

**Composição do horizonte C:** principal – quartzo; subordinado – motmorilonita-saponita (não expansiva); traço – caulinita, gibbsita, diásporo e gipsita.

**Apêndice B. Análises Físicas e Químicas, Solo: NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico**

Horizonte	Profundidade (cm)	Frações da amostra total (g kg <sup>-1</sup> )			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)				Argila dispersa em água (g kg <sup>-1</sup> )	Grau de flocculação (%)	% silte/ % argila	Macroporos (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
		Calhaus (>20 mm)	Cascalho (20-2 mm)	Terra fina (<2 mm)	Areia grossa (2-0,20 mm)	Areia fina (0,2-0,05 mm)	Silte (0,05-0,002 mm)	Argila (<0,002 mm)				
Ap	00-20	0	0	100	312	548	50	90	40	56	0,55	0,17
AC	20-45	0	0	100	335	544	30	91	40	56	0,33	0,27
CA	45-90	0	0	100	347	544	40	69	40	43	0,57	0,27
C	90+	0	0	100	356	524	30	90	70	22	0,33	0,28
Horizonte	Microporos (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Porosidade total (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		pH (1:2,5)		Complexo sortivo (Cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )					
			Solo	Partículas	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>
Ap	0,23	0,40	1,52	2,52	5,0	4,2	0,3	0,1	0,07	0,47	0,7	8,3
AC	0,15	0,42	1,50	2,58	5,0	4,4	0,3	0,1	0,07	0,47	0,6	6,0
CA	0,15	0,42	1,53	2,61	4,9	4,4	0,3	0,1	0,07	0,47	0,5	3,4
C	0,11	0,39	1,62	2,65	4,3	4,3	0,3	0,1	0,07	0,47	0,3	2,2
Horizonte	Valor T (Cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sat. Por bases (V%)	Sat. Por Al <sup>3+</sup> (m%)	P-assimilável (mg dm <sup>-3</sup> )	C-orgânico (g dm <sup>-3</sup> )	Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1:1) (%)				Relações moleculares		
						SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ki)	SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Kr)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ap	9,47	4,96	59,7	0,8	3,28	3,6	6,0	0,60	0,14	1,02	0,96	15,69
AC	7,07	6,65	56,0	0,6	1,55	4,0	7,1	0,64	0,20	0,96	0,91	17,04
CA	4,37	10,75	51,3	0,3	0,34	4,2	7,2	0,75	0,24	0,99	0,93	15,06
C	2,97	15,82	38,8	1,7	0,17	4,8	8,0	0,70	0,21	1,02	0,97	17,93