



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**  
**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA**

**ELESSANDRA LAURA NOGUEIRA LOPES**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DO USO DA  
TERRA DO NORDESTE PARAENSE**

**Belém  
2009**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**  
**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA**

**ELESSANDRA LAURA NOGUEIRA LOPES**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DO USO DA  
TERRA DO NORDESTE PARAENSE**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agroecossistemas Sustentáveis da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

Orientador:

**Prof. Dr. Antonio Rodrigues Fernandes**

**Belém**  
**2009**

---

Lopes, Elessandra Laura Nogueira

Atributos químicos e biológicos do solo em função do uso da terra do nordeste paraense. / Elessandra Laura Nogueira Lopes. - Belém, 2009.

118 f.:il.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas Sustentáveis da Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

1. Matéria orgânica. 2. Trituração. 3. Derruba e queima. 4. Terra – uso. 5. Solo – carbono. I. Título.

---

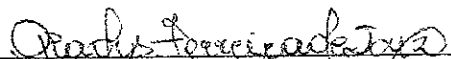
CDD – 631.417

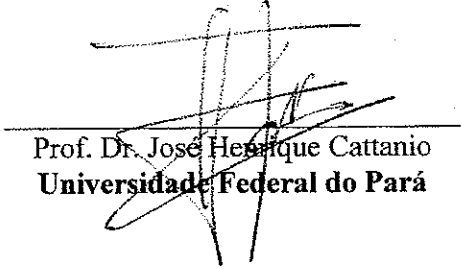
**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DO USO DA  
TERRA DO NORDESTE PARAENSE**

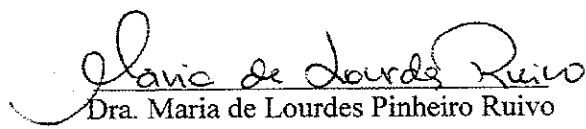
**ELESSANDRA LAURA NOGUEIRA LOPES**

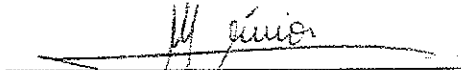
Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agroecossistemas Sustentáveis da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

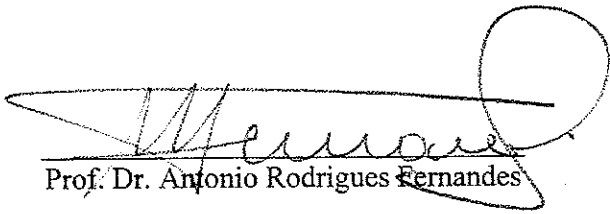
Aprovada em 18 de dezembro de 2009

  
Dra. Gladys Ferreira de Sousa  
Embrapa Amazônia Oriental

  
Prof. Dr. José Henrique Cattanio  
Universidade Federal do Pará

  
Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo  
Museu Paraense Emílio Goeldi

  
Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior  
Universidade Federal Rural da Amazônia

  
Prof. Dr. Antonio Rodrigues Fernandes

(Orientador)

**OFEREÇO**

**A DEUS, por tudo.**

Aos meus pais, Francisco e Benedita Nogueira, pois sem eles este trabalho não existiria. Ao meu esposo, Edson, e aos meus filhos, Isabella e Edson Filho, pelo amor que me reservam.

**DEDICO**

"Falta de tempo é desculpa daqueles que  
perdem tempo por falta de métodos."

**Albert Einstein**

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me conceder a vida e possibilitar minha chegada até aqui.

À Universidade Federal Rural da Amazônia e a seu corpo docente, pelos ensinamentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de doutorado.

Ao meu orientador, Prof. Antonio Rodrigues Fernandes, pela orientação, pelo incentivo na reta final deste trabalho e pela confiança depositada em mim.

À Dra. Maria de Lourdes Ruivo, pela coorientação, ensinamentos, experiência transmitida, incentivo, amizade e confiança, que muito contribuíram para o meu crescimento profissional e amadurecimento pessoal.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi, seu corpo técnico da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia (CCTE/MPEG), pelo apoio irrestrito.

À Márcia Sousa, secretária do CCTE/MPEG, pela força e apoio sempre.

À minha família, em especial aos meus pais, Francisco e Benedita Nogueira, e a meu irmão, Fábio Nogueira, que, com todo esforço, me permitiram chegar até aqui, pelo amor e incentivo constantes.

Ao meu esposo, Edson, pelo incentivo incondicional durante esta caminhada.

Aos meus filhotes, Isabella e Edson Filho, que representam tudo o que de melhor tenho em minha vida e foram as melhores fontes de inspiração e motivação.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) – Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental (CPATU), e aos membros do Projeto Tipitamba, pelo apoio técnico, logístico e financeiro para o desenvolvimento deste estudo.

Ao Engenheiro Sanitarista e bolsista do MPEG Carlos Alberto da Silva Júnior e ao Engenheiro Agrônomo Bruno Brabo, pela amizade e grande ajuda nas coletas de solos e laboratório, pois sem eles seria difícil a realização deste estudo.

Aos funcionários e técnicos do laboratório de solos da Embrapa Amazônia Oriental, que sempre se dispuseram a ajudar nas análises.

À Dra. Gladys Ferreira, pelo apoio técnico, logístico e financeiro para o desenvolvimento deste estudo.

Ao Dr. Henrique Cattanio, pelo apoio inicial ao projeto e dados concedidos.

À coordenação e aos funcionários do curso de doutorado em Ciências Agrárias, que são essenciais para o andamento de nossa vida acadêmica.

À equipe do Projeto Tipitamba, pela infraestrutura concedida e pelo apoio na coleta dos dados em Igarapé-Açu.

À Elaine Maria Guedes, pela coleta de solo em Paragominas e pela ajuda na descrição das áreas.

A todos os meus colegas de curso, pelos momentos de descontração e compartilhamento das alegrias na jornada de uma pós-graduação.

A todos que, de alguma forma, participaram e ajudaram na realização e conclusão deste trabalho.

**Muito obrigada!**

## SUMÁRIO

Página

### CAPÍTULO 1

#### ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DO USO DA TERRA DO NORDESTE PARAENSE 18

RESUMO GERAL..... 18

ABSTRACT..... 19

1.1 INTRODUÇÃO GERAL..... 20

1.2 REVISÃO DE LITERATURA..... 23

1.2.1 Aspectos históricos da agricultura de derruba e queima..... 23

1.2.2 O uso do fogo e suas consequências..... 24

1.2.3 Plantio direto e as propriedades do solo..... 25

1.2.4 Matéria orgânica e biomassa microbiana do solo..... 27

1.2.5 Índices microbianos..... 29

REFERÊNCIAS ..... 31

### CAPÍTULO 2

#### BIOMASSA MICROBIANA E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO 37

RESUMO..... 37

ABSTRACT..... 38

2.1 INTRODUÇÃO..... 39

2.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 41

2.2.1 Descrição da área..... 41

2.2.2 Histórico da área e delineamento experimental..... 42

2.2.3 Caracterização das áreas..... 43

2.2.4 Procedimentos analíticos..... 46

2.2.4.1 Análises químicas do solo..... 46

2.2.4.2 Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo..... 47

2.2.5 Análise estatística..... 48

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 48

2.3.1 Atributos biológicos do solo..... 48

2.3.2 Atributos químicos do solo..... 57

2.3.2.1 Carbono orgânico, nitrogênio total e relação Corg/Ntotal..... 57

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3.2.2 Acidez e disponibilidade de macronutrientes.....                  | 61  |
| 2.3.3 Estoque de carbono.....                                             | 72  |
| 2.3.4 Relações entre qualidade de solo e o ciclo das culturas.....        | 75  |
| 2.4 CONCLUSÕES.....                                                       | 78  |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                                  | 79  |
| <b>CAPÍTULO 3</b>                                                         |     |
| <b>BIOMASSA MICROBIANA EM FUNÇÃO DE SISTEMAS DE MANEJO DE</b>             | 87  |
| <b>UM LATOSSOLO DA AMAZÔNIA PARAENSE</b>                                  |     |
| <b>RESUMO</b> .....                                                       | 87  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                                     | 88  |
| 3.1 INTRODUÇÃO.....                                                       | 89  |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....                                               | 90  |
| 3.2.1 Localização geográfica e aspectos ambientais da área de estudo..... | 90  |
| 3.2.2 Tratamentos e amostragem do solo.....                               | 92  |
| 3.2.3 Procedimentos analíticos.....                                       | 93  |
| 3.2.3.1 Caracterização química do solo.....                               | 93  |
| 3.2.3.2 Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo.....          | 94  |
| 3.2.4 Análise estatística.....                                            | 95  |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                          | 95  |
| 3.3.1 Atributos biológicos e químicos do solo.....                        | 95  |
| 3.4 CONCLUSÕES.....                                                       | 109 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                                  | 110 |
| <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....                                         | 117 |

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

|                                                                                                                                                                                                                              | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1 – Localização da área experimental na região do Nordeste paraense.....                                                                                                                                              | 41     |
| Figura 2 – Precipitação pluviométrica mensal (mm) no ano de 2006, em Igarapé-Açu, PA.....                                                                                                                                    | 42     |
| Figura 3 – Médias mensais de temperatura máxima (Tx) e mínima (Tn) do ar em Igarapé-Açu, PA, em 2006.....                                                                                                                    | 42     |
| Figura 4 – Croqui do experimento para os sistemas de manejo.....                                                                                                                                                             | 44     |
| Figura 5 – Distribuição no tempo das culturas e pousios, nos sistemas de uso da terra, mais intensivo (SM I) e menos intensivo (SM II), no período de 1995 a 2006 .....                                                      | 45     |
| Figura 6 – Aspecto geral das áreas: sistema de manejo mais intensivo em fase de pousio (SM I) e sistema de manejo menos intensivo cultivado com arroz (SM II), em 2006, em Igarapé-Açu, PA.....                              | 46     |
| Figura 7 – Carbono da biomassa microbiana do solo em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....                    | 50     |
| Figura 8 – Nitrogênio da biomassa microbiana em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....                         | 52     |
| Figura 9 – Relação carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (Cmic/Nmic) em seis tratamentos e em duas épocas de amostragem, Igarapé-Açu, PA.....                                                                          | 54     |
| Figura 10 - Relação Cmic/Corg em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....                                        | 55     |
| Figura 11 – Relação N da biomassa microbiana e N total do solo (Nmic/Ntotal) em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso e seco, em Igarapé-Açu, PA..... | 57     |
| Figura 12 – Carbono orgânico do solo em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e                                                                   |        |

|             |                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|             | seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....                                                                                                                                                         | 59 |
| Figura 13 – | Nitrogênio total do solo (Ntotal) em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA..... | 59 |
| Figura 14 – | Relação C/N do solo em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....               | 60 |
| Figura 15 – | pH em água de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....                     | 63 |
| Figura 16 – | Fósforo disponível de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....             | 64 |
| Figura 17 – | Potássio disponível de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....            | 65 |
| Figura 18 – | Teores de sódio de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....                | 66 |
| Figura 19 – | Teores de cálcio de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....               | 67 |
| Figura 20 – | Teores de magnésio de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, nos períodos chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA .....                | 67 |
| Figura 21 – | Alumínio trocável de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, nos períodos chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....                  | 68 |
| Figura 22 – | Acidez potencial de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....               | 69 |
| Figura 23 – | Soma de bases de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco                                               |    |

|             |                                                                                                                                                                                                                        |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|             | (b), em Igarapé-Açu, PA.....                                                                                                                                                                                           | 70 |
| Figura 24 – | Capacidade de troca de cátions total (CTC) de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....                  | 70 |
| Figura 25 – | Capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....               | 71 |
| Figura 26 – | Saturação por bases (V%) e Saturação por alumínio (m%) de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a diferentes tratamentos em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....        | 72 |
| Figura 27 – | Estoque de Carbono em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, nos períodos chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.....                                                 | 73 |
| Figura 28 – | Variação do estoque de carbono nos sistemas em relação ao controle em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, nos períodos chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA..... | 74 |
| Figura 29 – | Projeção dos Sistemas de manejo do solo e variáveis do solo nos planos fatoriais 1 e 2.....                                                                                                                            | 77 |

### CAPÍTULO 3

|            |                                                                                                                                                                                |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – | Localização geográfica do município de Paragominas, no estado do Pará.....                                                                                                     | 91 |
| Figura 2 – | Precipitação pluviométrica mensal (mm) no município de Tomé-Açu, PA, 2006.....                                                                                                 | 92 |
| Figura 3 – | Médias mensais de temperaturas máxima (Tx) e mínima (Tn) do ar, no município de Tomé-Açu, PA, 2006.....                                                                        | 92 |
| Figura 4 – | Carbono da biomassa microbiana do solo em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, no Nordeste paraense, Amazônia Oriental..... | 97 |
| Figura 5 – | Nitrogênio da biomassa microbiana em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.....          | 98 |
| Figura 6 – | Carbono orgânico do solo em um Latossolo Amarelo em diferentes                                                                                                                 |    |

|             |                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|             | profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, no Nordeste paraense, Amazônia Oriental.....                                                                                   | 100 |
| Figura 7 –  | Nitrogênio total em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.....                                | 101 |
| Figura 8 –  | Relação $C_{mic}/C_{org}$ em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.....                       | 102 |
| Figura 9 –  | Relação nitrogênio microbiano/ nitrogênio total em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA..... | 102 |
| Figura 10 – | Relação C/N do solo em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.....                             | 103 |
| Figura 11 – | Relação $C_{mic}/N_{mic}$ em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, em função de diferentes usos, na microrregião de Paragominas - PA.....                               | 104 |
| Figura 12 – | pH em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.....                                              | 105 |
| Figura 13 – | Estoque de Carbono em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.....                              | 106 |
| Figura 14 – | Estoque de Carbono em um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.....                               | 108 |
| Figura 15 – | Variação do estoque de carbono nos sistemas em relação à vegetação secundária em um Latossolo Amarelo argiloso na microrregião de Paragominas - PA.....                             | 109 |

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – | Valores médios de pH, teores de N (total e mineralizado), P, K, Ca, Al, Corg, relação C/N e granulometria do solo, no início do experimento em 1994.....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 43 |
| Tabela 2 – | Resumo da análise de variância dos dados de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (Cmic e Nmic), relações Cmic/Nmic, Cmic/Corg e Nmic/Ntotal, de um Latossolo Amarelo, na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, em Igarapé-Açu, PA.....                                                                                                                                                                               | 48 |
| Tabela 3 – | Resumo da análise de variância dos dados de carbono orgânico (Corg), nitrogênio total do solo (Ntotal) e relação Corg/Ntotal, de um Latossolo Amarelo, na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, em Igarapé-Açu, PA.....                                                                                                                                                                                                     | 58 |
| Tabela 4 – | Resumo da análise de variância das variáveis do solo: pH, fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V) e saturação por alumínio (m) de um Latossolo Amarelo, na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, em Igarapé-Açu, PA..... | 62 |
| Tabela 5 – | Representação da matriz de dados decomposta em 4 eixos entre características físicas, químicas e biológicas, sob dois sistemas de manejo da terra.....                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 76 |

### CAPÍTULO 3

|            |                                                                                                                                                                                                                          |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – | Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e características granulométricas de um Latossolo Amarelo, em diferentes sistemas de uso e profundidades, na microrregião de Paragominas - PA..... | 94 |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2 – | Resumo da análise de variância dos dados de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (Cmic e Nmic), carbono orgânico (Corg), nitrogênio total (Ntotal); relações, Cmic/Corg, Nmic/Ntotal, Corg/Ntotal, Cmic/Nmic e pH em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA..... | 96 |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## CAPÍTULO 1

### ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DO USO DA TERRA DO NORDESTE PARAENSE

**RESUMO:** A produção agrícola e a qualidade ambiental nas regiões tropicais brasileiras dependem diretamente da manutenção e melhoramento dos atributos do solo, em que a construção e a preservação da matéria orgânica se destacam como elementos-chave. A dinâmica da matéria orgânica nos solos, por sua vez, é afetada por fatores ambientais e fatores bióticos. Na mesorregião Bragantina, encontra-se uma das fronteiras agrícolas mais antigas da Amazônia. Após mais de um século de exploração, as matas virgens dessa região foram totalmente convertidas, grande parte em pastagens. A exploração contínua dos recursos naturais tem levado à diminuição da produtividade agrícola, comprometendo a sustentabilidade econômica, social e ambiental. Assim, foi desenvolvida uma pesquisa em dois municípios do Nordeste paraense considerando-se as seguintes hipóteses: a adição de material orgânico ao solo, favorecido pela permanência dos resíduos vegetais no solo, leva à criação de um ambiente favorável ao melhor desenvolvimento vegetal e, com isto, melhora as condições edáficas; o uso da terra com um e dois ciclos de cultivo consecutivos podem influenciar o conteúdo de carbono orgânico do solo após o pousio; e o sistema plantio direto acarreta aumento nos compartimentos de C, N e P orgânico do solo. Para tanto, o trabalho de pesquisa foi conduzido em áreas experimentais, sob Latossolo Amarelo, que se localizam nos municípios de Igarapé-Açu e Paragominas, no Nordeste paraense. O primeiro foi realizado em experimento de longa duração (11 anos), em área do Projeto Tipitamba (Embrapa-Cpatu), e o segundo, na fazenda Juparanã Mirim, localizada nos arredores da cidade de Paragominas - PA. Em Igarapé-Açu foram analisados os seguintes atributos: granulometria, químicos (C, P, N, pH, Ca, Mg, K, Na) e biológicos (C e N da biomassa microbiana e suas relações com o carbono do solo). Em Paragominas foram analisados: alguns atributos químicos (pH, C e N) e biológicos (C e N da biomassa microbiana e suas relações com o carbono do solo). Para a área de Igarapé-Açu os sistemas de uso do solo influenciaram diferentemente os atributos químicos e biológicos, sendo que o incremento dos teores de nutrientes foi mais acentuado no sistema de uso menos intensivo; O sistema de manejo menos intensivo do solo apresentou os melhores resultados para fertilidade do solo, ao mesmo tempo com o método de preparo do solo com corte e trituração da vegetação secundária. Já em Paragominas, o sistema convencional apresentou maior quantidade de carbono imobilizado na biomassa microbiana, carbono orgânico e estoques de carbono no solo, em função do curto período de uso e incorporação de restos da vegetação; O aumento da decomposição da MO elevou a relação  $C_{mic}/C_{org}$  nas áreas com plantio direto; O tempo de adoção do sistema plantio direto ainda não foi suficiente para aumentar o conteúdo de matéria orgânica do solo.

**TERMOS PARA INDEXAÇÃO:** Matéria Orgânica, Trituração, Derruba e Queima, Uso da Terra, Carbono no Solo.

## CHAPTER 1

### CHEMICAL AND BIOLOGICAL SOIL ATTRIBUTES RELATED TO LAND USE IN THE NORTHEAST OF PARÁ

**ABSTRACT:** Agricultural production and environmental quality in Brazilian tropical regions depend directly on maintenance and improvement of soil attributes, where organic matter building and preservation are key elements. Organic matter dynamics in soils is affected by environmental and biotic factors. In the Bragantina mesoregion, one of the most ancient agricultural frontiers is found in the Amazon. After over one century of exploitation, virgin forests were totally converted, mostly in pastures. Continuous exploitation of natural resources has led to agricultural productivity decrease, jeopardizing economic, social and environmental sustainability. A research project was developed in two municipal districts from northeastern Pará, considering the following hypothesis: the addition of organic matter to the soil, favoured by vegetal residue permanence in the soil, leads to creation of a favourable environment to improved vegetal development and, therefore, improvement of edaphic conditions; land use with one or two consecutive cultivation cycles may influence organic carbon content of the soil after pousio; and the direct plantation system causes an increase in C, N and organic P compartments in the soil. The project was conducted in experimental areas, under yellow Latosol, in the municipal districts of Igarapé-Açu and Paragominas, in northeastern Pará. The first one was conducted in a long duration experiment (11 years), at the Tipitamba Project area (Embrapa-Cpatu), and the second one at the Juparanã Mirim farm, located near Paragominas - PA. In Igarapé-Açu, the following attributes were analyzed: granulometry, chemical (C, P, N, pH, Ca, Mg, K, Na) and biological (C e N from microbial biomass and its relationship to soil carbon). In Paragominas some chemical (pH, C e N) and biological (C e N from microbial biomass and its relationship to soil carbon) attributes were analyzed. To the Igarapé-Açu area, the soil use systems influenced differently the chemical and biological attributes, where the less intensive management system showed fertility increment, at the same time with the soil preparation method with secondary vegetation trituration and cut. In Paragominas, the conventional system showed greater quantity of carbon immobilized in the microbial biomass, organic carbon and carbon storage in the soil. The increase of OM decomposition elevated the  $C_{mic}/C_{org}$  ratio in the areas under direct plantation. The time of adoption of the direct plantation was still not enough to increase the content of the soil's organic matter.

**INDEX TERMS:** Organic matter, Trituration, Slash and burn, Land use, Carbon in the Soil.

## 1.1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção agrícola e a qualidade do solo nas regiões tropicais brasileiras dependem da manutenção e melhoramento dos atributos do solo, em que a adição e a preservação da matéria orgânica se destacam como elementos-chave. Nas regiões tropicais, os solos com elevado grau de intemperismo, como é o caso dos Latossolos brasileiros, de modo geral, apresentam elevada acidez e baixa fertilidade natural, tendo como principais elementos limitantes à produção agrícola o nitrogênio (N) e o fósforo (P) (SANCHEZ; LOGAN, 1992; KER, 1995; MYROLD, 2005). Estes fatos fazem destes solos grandes sumidouros de “inputs” externos de fertilizantes inorgânicos para manterem níveis satisfatórios de produtividade das culturas exploradas.

A decomposição da matéria orgânica (MO) do solo é um processo dinâmico, em que ocorrem, simultaneamente, a fragmentação física das suas estruturas, a transformação química e a síntese de novos compostos com tendência de transporte destes para os horizontes mais profundos da manta orgânica e/ou do solo (MONTEIRO; GAMA-RODRIGUES, 2004). Segundo Monteiro e Gama-Rodrigues (2004), a decomposição da MO é regulada pela composição da comunidade decompositora (macro e microrganismos), qualidade do material orgânico e condições físico-químicas do ambiente, que, por sua vez, são reguladas pelo clima e características edáficas do local.

Produtores com maior disponibilidade de capital financeiro podem superar a barreira da baixa produtividade das culturas, aumentando a adição de fertilizantes inorgânicos ao solo ou expandindo a fronteira agrícola com a exploração de novas áreas, o que torna a sustentabilidade agrícola e ambiental altamente questionável. Na vertente contrária, a agricultura familiar não possui, ou possui de forma limitada, acesso aos fertilizantes químicos, principalmente devido aos elevados custos destes insumos. Dentro deste aspecto, torna-se necessário a busca por técnicas de manejo que diminuam a dependência por insumos externos e favoreçam o manejo da matéria orgânica por meio do cultivo de espécies vegetais. O desafio está em identificar as combinações corretas de espécies que estabeleçam relações sinérgicas ideais, de maneira que garantam os serviços ecológicos-chave, como a ciclagem de nutrientes, o controle biológico de pragas e doenças e a conservação do solo e da água (CARDOSO; NONATO; MENDONÇA, 2005).

Na região amazônica, o sistema de corte e queima, que caracteriza a agricultura migratória e tradicional, oferece uma base para a agricultura de subsistência, a manutenção dos valores culturais e a estabilidade social das pessoas que vivem nas florestas úmidas. Por

sua grande importância socioeconômica, o uso da agricultura de corte e queima continua sendo a prática de uso da terra ainda adotada em grande escala, proporcionando o sustento de aproximadamente 300-500 milhões de pessoas, o que representa cerca de 30% dos solos aráveis do planeta, ou 40% da área agrícola dos trópicos (BANDY; GARRITY; SANCHEZ, 1994; TRINDADE, 2007).

Sabe-se da importância do uso do fogo na vida do produtor, sendo considerado uma das mais antigas tecnologias incorporadas aos sistemas de produção, trazendo benefícios imediatos. Por outro lado, é tido como um dos maiores problemas do mundo, afetando negativamente a biodiversidade e a dinâmica dos ecossistemas, aumentando o processo de erosão do solo, além de causar interferência negativa na qualidade do ar (EMBRAPA, 2001).

No Nordeste paraense, caracterizado por ser uma das fronteiras de colonização agrícola mais antiga nos trópicos, o padrão de uso da terra, predominante nas pequenas propriedades, baseia-se no processo sucessivo de derruba e queima da floresta secundária (capoeira) para culturas anuais, culturas perenes e/ou implantação de pastagens. Essa exploração contínua dos recursos naturais tem levado à diminuição da produtividade agrícola, comprometendo a sustentabilidade econômica, social e ambiental. Geralmente de baixa fertilidade natural, os ecossistemas de floresta primária e secundária retêm a maior parte dos nutrientes na sua biomassa. Com o corte e queima da capoeira, que geralmente antecede os cultivos de lavoura e a pastagem, grande parte dos nutrientes é prontamente liberada sobre o solo na forma de cinzas. Uma parte dos elementos não voláteis é mantida no solo, podendo ser absorvida pelas plantas, e outra é arrastada pelas chuvas ou é lixiviada (DIAS-FILHO, 2003; SARMENTO, 2007). Além disso, os solos cultivados da Amazônia apresentam como principais limitações de fertilidade a acidez elevada, a baixa capacidade de troca de cátions, a baixa disponibilidade de N, P, K, S, Ca, Mg, B, Cu, Zn e também a alta capacidade desses solos para fixar o P aplicado como fertilizante (SANCHEZ; COCHRANE, 1980; SANCHEZ; LOGAN, 1992).

A acelerada degradação do solo em decorrência de uma exploração agrícola intensiva visando à máxima produtividade das culturas exploradas, sem priorizar aspectos de conservação, promoveu, nos últimos anos, o interesse e a necessidade da sociedade pelo desenvolvimento de agroecossistemas mais sustentáveis. O quadro atual, em que se busca uma agricultura sustentável, foi devido à pressão da sociedade nacional e internacional que clama por técnicas que protejam os sistemas agrícolas, uma vez que o modelo de agricultura tradicional exercida na Amazônia já se tornou insustentável. Cientes da necessidade de reverter este quadro e buscar formas de garantir um manejo sustentável em diversas fases dos

subsistemas que compõem a realidade da agricultura familiar, diversas iniciativas de produtores e de grupos de pesquisa vêm se voltando à busca de alternativas ao modelo atual através de tecnologias que abordem a eliminação do uso do fogo no preparo de área e na melhoria da capoeira, com o plantio de árvores de rápido crescimento, para aumentar a oferta de nutrientes em menor tempo (KATO et al., 1999; BRIENZA JUNIOR et al., 2008).

O processo de substituição de áreas de floresta secundária ou capoeiras e pastagens degradadas, no Nordeste paraense, por sistemas de produção de grãos em grande escala vem crescendo a cada ano. O uso contínuo e intensivo desses solos por culturas anuais, notadamente a soja, que é uma cultura exigente, pode resultar em rápida degradação do solo, comprometendo sua qualidade. É sabido que o tempo de cultivo, o uso intensivo e o manejo inadequado podem acarretar uma diminuição no conteúdo de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes, influenciando diretamente no rendimento das culturas (GUEDES, 2009).

A adição de material orgânico ao solo, em razão da permanência dos resíduos vegetais, leva à criação de um ambiente favorável ao melhor desenvolvimento vegetal e melhora as condições edáficas. A partir dessa premissa, esta pesquisa foi desenvolvida em dois municípios do Nordeste paraense considerando-se as seguintes hipóteses: a) o preparo do solo com uso da queima e da trituração da vegetação, com ou sem adubação química, influencia de forma diferente seus atributos químicos e biológicos; b) o uso da terra com um e dois ciclos de cultivo consecutivos, com ou sem adubação química, influenciam os atributos químicos e biológicos do solo; c) sistemas de cultivo, com e sem preparo, influenciam de forma diferente os atributos biológicos do solo.

Este trabalho teve como objetivos: avaliar o efeito do preparo do solo com queima e com trituração da vegetação, com ou sem adubação química, nos atributos químicos e biológicos do solo; avaliar a influência de ciclos de cultivos sobre os atributos químicos e biológicos do solo e avaliar o impacto de sistemas de cultivo, com e sem preparo do solo, sobre os atributos biológicos do solo.

subsistemas que compõem a realidade da agricultura familiar, diversas iniciativas de produtores e de grupos de pesquisa vêm se voltando à busca de alternativas ao modelo atual através de tecnologias que abordem a eliminação do uso do fogo no preparo de área e na melhoria da capoeira, com o plantio de árvores de rápido crescimento, para aumentar a oferta de nutrientes em menor tempo (KATO et al., 1999; BRIENZA JUNIOR et al., 2008).

O processo de substituição de áreas de floresta secundária ou capoeiras e pastagens degradadas, no Nordeste paraense, por sistemas de produção de grãos em grande escala vem crescendo a cada ano. O uso contínuo e intensivo desses solos por culturas anuais, notadamente a soja, que é uma cultura exigente, pode resultar em rápida degradação do solo, comprometendo sua qualidade. É sabido que o tempo de cultivo, o uso intensivo e o manejo inadequado podem acarretar uma diminuição no conteúdo de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes, influenciando diretamente no rendimento das culturas (GUEDES, 2009).

A adição de material orgânico ao solo, em razão da permanência dos resíduos vegetais, leva à criação de um ambiente favorável ao melhor desenvolvimento vegetal e melhora as condições edáficas. A partir dessa premissa, esta pesquisa foi desenvolvida em dois municípios do Nordeste paraense considerando-se as seguintes hipóteses: a) o preparo do solo com uso da queima e da trituração da vegetação, com ou sem adubação química, influencia de forma diferente seus atributos químicos e biológicos; b) o uso da terra com um e dois ciclos de cultivo consecutivos, com ou sem adubação química, influenciam os atributos químicos e biológicos do solo; c) sistemas de cultivo, com e sem preparo, influenciam de forma diferente os atributos biológicos do solo.

Este trabalho teve como objetivos: avaliar o efeito do preparo do solo com queima e com trituração da vegetação, com ou sem adubação química, nos atributos químicos e biológicos do solo; avaliar a influência de ciclos de cultivos sobre os atributos químicos e biológicos do solo e avaliar o impacto de sistemas de cultivo, com e sem preparo do solo, sobre os atributos biológicos do solo.

## 1.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 1.2.1 Aspectos históricos da agricultura de derruba e queima

A agricultura de derruba e queima é uma prática muito antiga e continua sendo utilizada nas regiões tropicais do mundo até os dias de hoje. Neste sistema de exploração, as áreas de baixa fertilidade natural são cultivadas pelos agricultores durante curtos períodos e deixadas em pousio para recuperar a fertilidade. A prática do pousio pode ser considerada sustentável se forem adotados períodos adequados (até mais de 20 anos) seguidos de curtos períodos de cultivo (KLEINMAN; PIMENTEL; BRYANT, 1995). O crescente aumento da população mundial e mudanças nas condições socioeconômicas não permitem que esta técnica seja sustentável na atualidade, devido à redução das áreas disponíveis, levando a curtos períodos de pousio. Além disso, repetidas queimadas representam uma contínua perda de nutrientes minerais e uma maior exposição do solo, juntamente com a retirada dos resíduos da serrapilheira e aumento da mineralização da matéria orgânica (MO) (METZGER et al., 2000; FEARNSIDE; GRAÇA; RODRIGUES, 2001; FEARNSIDE, 2006).

A queima contínua ainda é a forma mais importante da agricultura de subsistência em muitas partes do mundo. O fogo é a ferramenta mais acessível e barata para eliminar a vegetação existente sobre a superfície do solo, antes do preparo do terreno para o plantio, facilitando também o controle de pragas e doenças, com menor quantidade de mão de obra (GLIESSMAN, 2001). As consequências para o agroecossistema são também nefastas; além de destruir a microbiota, as queimadas diminuem a umidade e a porosidade dos solos, aumentando a compactação e, conseqüentemente, a lixiviação e a erosão. As temperaturas altas do solo que ocorrem durante a queima, também, aceleram a decomposição da MO nas camadas superiores do solo. Como consequência das alterações negativas nos atributos físicos, químicos e biológicos, a fertilidade do solo diminui, culminando no surgimento de ervas daninhas, que vão dificultar o cultivo nestas áreas (TRINDADE, 2007).

Assim sendo, as áreas são abandonadas e o agricultor procura novas áreas para derrubar e queimar, aumentando os desmatamentos e, conseqüentemente, a pressão sobre os recursos florestais. O grande paradoxo deste sistema é que, não obstante os impactos ecológicos negativos, o pequeno agricultor não tem se capitalizado, ficando cada vez mais pobre e, muitas vezes, não garantindo sua subsistência e de sua família e a sustentabilidade do sistema.

A manutenção de níveis adequados de MO em solos tropicais poderá ser um novo passo para práticas de manejo sustentáveis das terras agrícolas nos trópicos, consequentemente reduzindo a pressão em áreas sem intervenção antrópica. Entretanto, há necessidade de novos sistemas de manejo do solo que permitam cultivar mais intensivamente a terra, mantendo ao mesmo tempo sua fertilidade.

### 1.2.2 O uso do fogo e suas consequências

O “aquecimento da terra”, produto do uso intensivo que se faz dos combustíveis fósseis, constitui-se numa preocupação quando se analisa a íntima ligação existente com as crescentes quantidades de gases, como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) na atmosfera. Cálculos recentes mostram que cerca de 25% do total do efeito do aquecimento terrestre é atribuído a corte das florestas úmidas tropicais (SILVA, 2008). Estas florestas estão sendo cortadas a uma taxa de 17 milhões de hectares por ano (SZPILMAN, 1998).

As florestas são o maior depósito de diversidade animal e vegetal, e sua destruição significa uma perda considerável para toda a vida animal e vegetal do planeta. A maior parte do desflorestamento tem lugar na América, África Tropical e Ásia, correspondendo a 40, 23 e 37%, respectivamente, das emissões médias estimadas de  $\text{CO}_2$  pelo desflorestamento.

Na Amazônia brasileira, o fogo queima uma área equivalente a mais de duas vezes o tamanho da Costa Rica. Os fazendeiros e agricultores, ao utilizarem o fogo em suas propriedades para converterem “florestas em roças e pastagens e/ou para recuperar pastagens invadidas por ervas daninhas, inadvertidamente queimam florestas, pastagens e plantações”. A inflamabilidade das paisagens amazônicas é aumentada pelo fogo, dando início a “um ciclo vicioso, no qual as florestas são substituídas por uma vegetação inflamável que perpetua a presença de incêndios na região” (NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999; MAIA, 2009).

O fogo, associado ao desmatamento, tem causado os maiores impactos ecológicos, pois leva a uma rápida substituição da vegetação florestal por ecossistemas antropogênicos. De acordo com Nepstad, Moreira e Alencar (1999), na Amazônia brasileira é desmatada e queimada, anualmente, uma média de dezenove mil quilômetros quadrados de floresta, “contribuindo com aproximadamente 4 a 5% do fluxo global anual de carbono para a atmosfera resultante da atividade humana”.

A introdução de pastagens e lavouras plantadas em substituição à floresta forma um agroecossistema que libera menos água para a atmosfera, absorve menos energia solar do que a vegetação original e pode contribuir para uma redução de chuvas e um aumento na

temperatura na região amazônica. O fogo, na área já desmatada, libera uma quantidade excessiva de fumaça e partículas para a atmosfera, além de exportar nutrientes dos ecossistemas agrícolas. Apesar de sua importância na vida do agricultor, é considerada uma das mais antigas tecnologias incorporadas aos sistemas de produção; além de rápido, barato e eficaz, é tido, nesse cenário, como um dos maiores problemas no mundo, devido aos efeitos negativos no meio ambiente (SAMPAIO; KATO; NASCIMENTO E SILVA, 2008).

O uso do fogo na agricultura está estritamente relacionado ao preparo da área para plantio agrícola e à implantação e limpeza de pastagens. Entretanto, muitas vezes a queimada foge ao controle (fogo acidental) e invade espaços onde não era desejada, causando enormes prejuízos econômicos e ambientais. O fogo na Amazônia tem natureza crônica, estando “arraigado na lógica cultural e econômica dos agricultores e fazendeiros”. Constituindo-se na principal ferramenta de manejo, não existem incentivos para prevenir e/ou controlar incêndios.

A rápida conversão da floresta Amazônica para sistemas agrícolas causa impactos no balanço global do carbono e no total das emissões líquidas de gases de efeito estufa. Mudanças nos sistemas de uso da terra, particularmente o desmatamento, podem reduzir os estoques de carbono orgânico (Corg) na ordem de 20% a 50% nas camadas superficiais do solo (SOMBROEK et al., 2003; MAIA, 2009). Em solos com baixa capacidade de retenção de nutrientes, as chuvas tropicais de alta intensidade podem facilmente lixiviar os nutrientes no solo, como o nitrogênio (N) fornecido através de fertilizantes nitrogenados que rapidamente atingem o subsolo, onde ele se torna indisponível para a maioria dos cultivos (MAIA, 2003). Assim, a agricultura de corte e queima não é sustentável sem fertilizantes após alguns anos de cultivo.

### **1.2.3 Plantio direto e as propriedades do solo**

Atualmente, pesquisas em todos os países do mundo estão dirigidas no sentido de intensificar, pelos meios tecnológicos mais avançados, os métodos de produção agrícola, a fim de aumentar os índices de produtividade e minimizar os custos de produção. A produtividade e a conservação dos solos tropicais estão sendo comprometidas pelo excesso ou pela inadequação de práticas de manejo a que vêm sendo submetidos há várias décadas (RAMIREZ-BARCO; CHAVES; DIAS, 1995).

O solo, apesar de ser um recurso biótico renovável, tem seu potencial agrícola limitado por vários fatores, entre os quais se destaca a erosão, que arrasta gradativamente os horizontes

do solo desde a superfície, diminuindo a sua profundidade efetiva, fertilidade natural e conteúdo de MO (OLIVEIRA JÚNIOR; LOPES; MELO, 1989).

Os Latossolos (classe de solo de maior ocorrência na Amazônia) são caracterizados por apresentar solos profundos (com solum maior que 150 cm), bastante envelhecidos, que variam de ácidos a fortemente ácidos e de boa drenagem, apesar de, por vezes, apresentarem-se bastante argilosos, além de apresentarem baixa capacidade de troca de cátions (CTC), argilas de baixa atividade (1:1) e altamente dependente da MO (VIEIRA et al., 2000).

De acordo com Fernandes e Pinto Leite (2004), a acidez no solo promove o aparecimento de elementos tóxicos para as plantas (Al, Mn e Fe), além de causar a diminuição de nutrientes disponíveis para estas. As consequências são os prejuízos causados pelo baixo rendimento produtivo das culturas e abandono das áreas. Outro problema de caráter edafoclimático é a elevada precipitação pluviométrica nas regiões tropicais, ocasionando perdas consideráveis de nutrientes por lixiviação, além de ser um importante fator de influência na erosão dos solos. Segundo Ramirez Barco, Chaves e Dias (1995), a erosão superficial e a lixiviação têm sido os maiores entraves de uma agricultura racional amazônica. Os métodos de manejo tradicionais do solo têm proporcionado mudanças negativas nas propriedades físicas, químicas e biológicas com considerável rapidez.

A erosão dos solos decorre fundamentalmente da passagem abrupta de áreas de florestas e pastagens naturais para sistemas agrícolas de monoculturas contínuas, associadas a uma mecanização intensiva e desordenada. É agravada de forma intensa pela ausência de cobertura do solo no período e pela falta de práticas de conservação. A ocorrência mais comum é a da erosão laminar que, ao contrário da erosão em sulcos ou das voçorocas, é pouco perceptível aos olhos dos agricultores, mas traz efeitos altamente destrutivos aos rendimentos das lavouras (SORRENSON; MONTOYA, 1989).

Entre os cultivos conservacionistas, destaca-se o sistema plantio direto (SPD), pois, além de proporcionar manutenção e até aumento da MO pelo aporte contínuo de resíduos na superfície, reduz drasticamente a perda por erosão (BOLONHEZI et al., 2004). Segundo Vieira et al. (2000), definem como plantio direto o plantio que é feito sem qualquer preparo do solo, ou apenas com preparo suficiente para permitir a colocação e a cobertura da semente. As ervas daninhas são controladas com herbicidas e os corretivos e fertilizantes são aplicados em superfície (DE MARIA; DUARTE; CECCON, 2004).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), o SPD apresenta as seguintes vantagens: reduz o tempo de estabelecimento de culturas; proporciona economia de custos das operações e menores gastos com mão de obra; possibilita excelente controle à erosão, pela cobertura dos

resíduos vegetais; reduz a perda de água por evaporação etc. Entre as desvantagens, destacam-se: a exigência de semeadeiras especiais, emprego de herbicidas específicos e de bom conhecimento dos mesmos e controle integrado de plantas daninhas etc.

Um dos papéis importantes da cobertura vegetal é o de reduzir o impacto direto das gotas de chuvas sobre o solo e propiciar o acúmulo de MO à superfície, sendo esta de fundamental importância para manter a produtividade das terras, através da preservação da fertilidade do solo em equilíbrio com as características físicas desejáveis para as culturas (RESENDE, 1985; GAMA, 2004; BOLONHEZI et al., 2004).

O SPD é uma realidade no país, sendo um tipo de tecnologia que alia sustentabilidade econômica ao respeito ao meio ambiente, tendo surgido da demanda explícita e clara de produtores, e do esforço conjunto de cientistas e das indústrias de insumos e equipamentos, com vistas a oferecer respostas rápidas e precisas ao desafio que lhes foi apresentado.

Entretanto, a região amazônica, mais especificamente o Estado do Pará, ainda carece de muitas respostas da pesquisa, principalmente quanto à definição da rotação de culturas capazes de formar palhada no solo. Deste modo, constitui-se um grande desafio para a pesquisa a introdução e adaptação do SPD visando à produção de grãos de forma sustentável, neste frágil ecossistema.

#### **1.2.4 Matéria orgânica e biomassa microbiana do solo**

Matéria orgânica do solo (MO) é toda substância viva ou morta que contém compostos de carbono. Fungos, minhocas, raízes, resíduos vegetais e animais, proteínas, ácidos, substâncias; enfim, uma infinidade de matérias vivas ou mortas que contribuem para enriquecer o solo, armazenar água, ar e nutrientes para sustentar as raízes das plantas. Para a terra ter vida é fundamental que ela seja bem suprida com MO, a qual promove condições adequadas para o desenvolvimento de microrganismos e melhora as condições físicas do solo. A MO é de fundamental importância para manter a produtividade das terras, através da preservação da fertilidade do solo em equilíbrio com as características físicas desejáveis para as culturas, como: infiltração, porosidade, densidade, capacidade de armazenamento de água, entre outras, além de ajudar, sobremaneira, a evitar a desagregação e o deslocamento das partículas, evitando assim uma erosão pronunciada e diminuindo muito a possibilidade de rearranjo de partículas, principalmente silte e areia fina, nas microdepressões (RESENDE, 1985; MAIA, 2003; VILLATORO, 2004).

O processo de degradação em ambientes tropicais está intimamente relacionado à dinâmica da MO. Com a conversão da vegetação natural em área de produção agrícola, reduzem-se drasticamente os teores de MO devido ao menor suprimento de resíduos e ao aumento na taxa de decomposição, assim como a elevação nas perdas das camadas superficiais do solo por erosão (ROSCOE; BODDEY; SALTON, 2006). Um dos principais desafios da agricultura tropical é a associação de uma produção sustentável aliada ao retorno econômico e à preservação das potencialidades naturais, como a preservação das espécies arbóreas e arbustivas nativas, a manutenção de bacias hidrográficas e a preservação da fauna silvestre (SOUZA et al., 2009). Práticas de manejo mais intensivas, como o cultivo convencional, priorizam o revolvimento do solo e, conseqüentemente, a exposição da MO incrementando as perdas de C e N para a atmosfera (VILLATORO, 2004). Em regiões de clima tropical este quadro é agravado principalmente pelas condições de elevadas temperaturas e precipitação.

Os organismos do solo interagem intensamente com as partículas do solo e são responsáveis por inúmeros processos biológicos e bioquímicos essenciais para garantir a sustentação do ecossistema onde eles vivem. A biomassa microbiana do solo (BMS), a respiração e a atividade enzimática, geral ou específica do solo, podem ser usadas como indicadores da qualidade deste (CAMPBELL et al., 1991; DORAN; PARKIN, 1994; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000; GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

A BMS representa um importante indicador ecológico, uma vez que, além de ser responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e animais no solo e ser armazenadora de nutrientes, é capaz de indicar sensivelmente alterações no sistema. É definida como a parte viva da MO, excluindo raízes de plantas e restos de animais maiores que  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ , em média, 2 a 5% do C total e 1 a 6% do N total do solo, fortemente influenciada pelas práticas de manejo e pelo ambiente, tendo papel fundamental dentro do ciclo biogeoquímico, tanto para a produtividade agrícola como para a manutenção dos sistemas (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 1997; GIJSMAN, 1996; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000; TURNER; BRISTOW; HAYGARTH, 2001; WANG et al., 2003).

Os valores de C da BMS ( $C_{mic}$ ) indicam o potencial de reserva de carbono orgânico ( $C_{org}$ ) que participa no processo de humificação, enquanto o N da BMS ( $N_{mic}$ ) estima a reserva de N orgânico que poderá ser reabsorvido pelas plantas através da ciclagem de nutrientes (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 1997; GAMA-RODRIGUES et al., 2008). A BMS pode ser avaliada por métodos diretos e indiretos. O

método indireto denominado fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987; FRIGHETTO, 2000) envolve a eliminação dos microrganismos pelo clorofórmio. O C liberado pela morte dos microrganismos é determinado por extração química ou digestão.

O uso do solo para fins agrícolas e implantação de pastagens provoca uma diminuição do estoque total de Corg e da atividade microbiana do solo. A quantidade de Corg estocado depende da qualidade e quantidade dos resíduos, do grau de degradação e da própria capacidade do solo de acumular C (SÁ et al., 2001; FREITAS et al., 2000). Ela está em íntima associação com os órgãos subterrâneos dos vegetais superiores e interage com os constituintes orgânicos e minerais do solo, podendo ser usada como indicativo da qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000; GAMA-RODRIGUES; BARROS; GAMA-RODRIGUES, 2005; GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

Diversos autores estudam alternativas para minimizar danos ambientais decorrentes de aumento na emissão de gases de efeito estufa, perdas de solo, água e nutrientes, além da biodiversidade, aliadas à baixa tecnologia empregada no manejo da terra e ao uso inadequado do fogo (RUIVO et al., 2007). A utilização de coberturas orgânicas verdes ou mortas (mulch), em solos do Nordeste paraense (KATO, 1998a,b; PARRY, 2002; GAMA, 2002; MONTEIRO et al., 2006; BRIENZA JÚNIOR et al., 2008), está sendo evidenciada com o intuito de caracterizar a pesquisa, oferecendo opções de sistemas agrícolas e florestais passíveis de utilização.

### 1.2.5 Índices microbianos

São considerados índices microbianos do solo as relações: carbono da biomassa microbiana (Cmic) e carbono orgânico (Corg); nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic) e nitrogênio total do solo (Ntotal); e Cmic/Nmic. A relação Cmic/Nmic indica o potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana, em que valores acima de 10 indicariam predomínio de fungos, e, abaixo deste valor, predomínio de bactérias (CAMPBELL et al., 1991; LI; ALLEN; WOLLUM, 2004).

As relações Cmic/Corg e Nmic/Ntotal são estimativas indiretas da qualidade da MO. Quanto menor o valor destas relações, menor deve ser a qualidade da MO, e, conseqüentemente, menos eficiente será a BM na imobilização de C (WARDLE, 1992; WARDLE; HUNGRIA, 1994). A relação Cmic/Corg reflete a contribuição potencial da BM para o Corg do solo, além de indicar a disponibilidade de substrato para a microflora edáfica (MOSCATELLI et al., 2005).

As relações  $C_{mic}/N_{mic}$ ,  $C_{mic}/C_{org}$  e  $N_{mic}/N_{total}$  expressam a eficiência da BM em imobilizar C e N em função da qualidade nutricional da MO (JOERGENSEN; BROOKES, 1990; SPARLING, 1992).

Segundo Wardle (1992), a BM, quando se encontra sob condições de estresse, em função da baixa qualidade do material orgânico, torna-se incapaz de utilizar totalmente o Corg, promovendo a diminuição da relação  $C_{mic}/C_{org}$ . Ao contrário, com a adição de MO de boa qualidade nutricional, a BM pode aumentar rapidamente, mesmo se os níveis de Corg do solo permanecerem inalterados (ZIMMERMANN; FREY, 2002).

A relação  $C_{mic}/C_{org}$  é um parâmetro que indica a proporção de Corg que se encontra sob a forma de BMS. Fornecendo um índice da qualidade nutricional da MO, a BM pode aumentar rapidamente, mesmo se os níveis de Corg do solo permanecerem inalterados (WARDLE; HUNGRIA, 1994). Segundo Anderson e Domsch (1989), a relação  $C_{mic}/C_{org}$ , também denominada “quociente microbiano”, possui uma ampla variação, de 0,27 a 7,0%, devido às diferenças de manejo do solo, de épocas de amostragem e de métodos analíticos utilizados. As mudanças na relação  $C_{mic}/C_{org}$  refletem o padrão de entrada de MO nos solos, a eficiência da conversão do  $C_{mic}$ , as perdas e a estabilização do Corg pela fração mineral do solo (SPARLING, 1992). O nível da relação  $C_{mic}/C_{org}$  pode indicar se o C está em equilíbrio, se está acumulando ou diminuindo (ANDERSON; DOMSCH, 1989; INSAM, 1990). O C do solo é composto da parte lábil e da parte resistente ou recalcitrante ao ataque de microrganismos (ALVAREZ et al., 1995). O  $C_{mic}$ , sendo parte do C orgânico lábil, atua diretamente no ciclo do C, podendo responder mais rapidamente a mudanças nos padrões de entrada ou níveis de decomposição da MO como um todo (POWLSON; BROOKS; CHRISTENSEN, 1987). No entanto, a atividade microbiana controla os processos de mineralização-imobilização dos nutrientes na MO, assim o  $C_{mic}$  possui uma ciclagem mais rápida e é considerado fração ativa do C no solo (MELE; CARTER, 1993; ZIMMERMANN; FREY, 2002).

A relação  $C_{mic}/C_{org}$  tem sido considerada como boa indicadora das alterações dos processos no solo (ANDERSON; DOMSCH, 1989). Balota et al. (1998) citam que maiores ou menores valores do quociente microbiano indicam tendência de acúmulo ou perda de C do solo e, sendo assim, mudanças em seus valores refletem o padrão de entrada de MO, a eficiência da conversão do  $C_{mic}$ , as perdas do C do solo e a estabilização do Corg pela fração mineral do solo. Jenkinson e Ladd (1981), por sua vez, citam 2,2% como sendo o nível no qual estaria ocorrendo equilíbrio em parcelas cultivadas.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R.; DÍAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTA NATOGLIA, O.; BLOTA, L. Soil Organic carbon, microbial biomass and C-CO<sub>2</sub> production from there tillage systems, **Soil y Tillage Research**, v.33, p.17-28, 1995.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biol. Biochem.**, v.21, p.471-479, 1989.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa Microbiana e sua Atividade em Solo sob Diferentes Sistemas de Preparo e Sucessão de Culturas, **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa (MG), v.22 n.4 p.563-786, 1998.
- BANDY, D.; GARRITY, D.P.; SANCHEZ, P.A. El problema mundial da agricultura de tala e queima. **Agroforestería em las Américas**, v.1, n.3, p.14-20, jul/sept.,1994.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392p.
- BOLONHEZI, D.; SILVA, E.A.; BRUNINI, O.; MUTTON, M.A.; SCALA JR, N.L.; MARTINS, A.L.M.; JUSTO, C.L. Potencial de seqüestro de carbono do sistema de plantio direto na renovação de cana crua e pastagem. **O agrônomo**, Campinas, v.56, n.2, 2004.
- BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, J. F.; YARED, J. A. G.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GONÇALVES, D. de A.; GALEÃO, R. R. Recuperação de áreas degradadas com base em sistema de produção florestal energético-madeireiro: indicadores de custos, produtividade e renda. Amazônia: **Ci. & Desenv., Banco da Amazônia**, Belém, v. 4, n. 7, p.197-209. 2008.
- CAMPBELL, C.A.; BIEDERBECK, V.O.; ZENTNER, R.P.; LAFOND, G.P. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin black Chernozem. **Can. J. Soil Sci.**, v.71, p.363-376, 1991.
- CARDOSO, I. M.; NONATO, H. S.; MENDONÇA, E. S. Biodiversidade, recurso genético e cuidados fitossanitários. **R. Ação Ambiental**, v.31, p.18-20, 2005.
- DE MARIA, I.C.; DUARTE, A.P.; CECCON, G. **Plantio direto no médio Paranapanema**. O Agrônomo, Campinas, v.56, n.2, 2004.
- DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2003.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 3-21, 1994. (Special Publication, 35).
- EMBRAPA. **Alternativas para a prática das queimadas na agricultura: Recomendações técnicas**. Brasília, DF: Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento. 2001. 69p.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**. v.36, n.3, p.395-400, 2006.

\_\_\_\_\_; GRAÇA, P. M. L. A.; RODRIGUES, F. J. A. Burning of Amazonian rainforest: Burning efficiency and charcoal formation in forests cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. **For. Ecol. Manag.**, v.146, p.115-128, 2001.

FERNANDES, A. R.; PINTO LEITE, A. R. Manejo do solo e Uso de fertilizantes visando a produção de Silagem de sorgo. In: WORKSHOP SOBRE A PRODUÇÃO DE SILAGEM NA AMAZÔNIA. A silagem de sorgo, 1. Belém, 2004. **Anais...** Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia, 2004. p. 53-65.

FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRELARROUY, M.C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.157-170, 2000.

FRIGHETTO, R.T.S. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação extração. In: FRIGHETTO, R.T.S., VALARINI, P.J. (Coord.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariúna : Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.157-166. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

GAMA, M. A. P. **Dinâmica do fósforo em solo submetido a sistemas de preparo alternativos ao de corte e queima no nordeste paraense**. 2002. 96f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz" Universidade de São Paulo, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da.; BARROS, N. F. de.; GAMA-RODRIGUES, A. C. da. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.29, n.6, p.893-901, 2005.

\_\_\_\_\_; GAMA-RODRIGUES, A. C. da ; BARROS, N. F.; PAULINO; G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.1521-1530, 2008.

\_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. Biomassa microbiana de carbono e nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, p.361-365, 1997.

GIJSMAN, A. J. Soil aggregate stability and soil organic matter fractions under agropastoral systems established in native savanna. Aust. **J. Soil Res.**, v.34, p.891-907, 1996.

GLIESSMAN, S. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 653p.

GUEDES, E. M. S. **Atributos químicos e físicos de um Latossolo Amarelo argiloso e produção de soja em sistemas de manejo, na região de Paragominas/Pa**. 2009. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-Pará, 2009.

INSAM, H. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime. **Soil Biology and Biochemistry**. v.22, p.525-532, 1990.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N., (Ed). **Soil Biochemistry**, v. 5, p. 415-471, 1981.

JOERGENSEN, R.G.; BROOKES, P.C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0,5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> soil extracts. **Soil Biol. Biochem.**, v.22, p.1023-1027, 1990.

KATO, M. S. A.; KATO, O. R.; DENICH, M. e VLEK, P. L. G. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: the role of fertilizers. **Field Crops Research**, v.62, p.225-237. 1999.

\_\_\_\_\_. **Fire-free land preparation as an alternative to slash-and-burn agriculture in the Bragantina region, Eastern Amazon: Crop performance and phosphorus dynamics**. 1998, 132f. Tese (Doutorado) - Universidade de Göttingen, Göttingen, Alemanha, 1998a.

KATO, O. R. **Fire-free land preparation as an alternative to slash-and-burn agriculture in the Bragantina region, Eastern Amazon: Crop performance and nitrogen dynamics**. 1998, 132f. Tese (Doutorado) - Universidade de Göttingen, Göttingen, Alemanha, 1998b.

KER, J. C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. 1995. 181f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

KLEINMAN, P. J.; PIMENTEL, D.; BRYANT, R. B. The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.52, n.2-3, p.235-249, 1995.

LI, Q.; ALLEN, H.L.; WOLLUM II, A.G. Microbial biomass and bacterial functional diversity in forest soils: Effects of organic matter removal, compaction, and vegetation control. **Soil Biol. Biochem.**, v.36, p.571-579, 2004.

MAIA, S. M. F. **Estimativas das emissões de Carbono do solo devido as mudanças no uso da terra em Rondônia e Mato Grosso**. 2009. 161f. Tese (Doutorado) - Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz / USP, 2009.

\_\_\_\_\_. **Compartimentos da matéria orgânica e perdas de solo e água em sistemas agroflorestais e convencional no trópico semi-árido cearense**. 2003. 99f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.35, p.1177-1182, 2000.

MELE, P.M.; CARTER, M.R. Effect of climatic factors on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Chichester : Jonh Wiley, 1993. 392p.

METZGER, J.P.M. Dinâmica e equilíbrio da paisagem em áreas de agricultura de corte e queima em pousio curto e longo na região bragantina. In: SEMINÁRIO SOBRE MANEJO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA A SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA FAMILIAR DA AMAZÔNIA ORIENTAL, Belém, Pará, Brasil, 1998. **Anais...** Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 47-50. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos 69).

MONTEIRO, K. F. G.; KERN, D. C.; RODRIGUES, T. E.; RUIVO, M. L.P.; FARIAS, P.R.S. Caracterização dos Argissolos Amarelos com adição de resíduos de madeira: uma alternativa de uso como cobertura em solos da Amazônia paraense. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências naturais**, Belém, v.1, n.1, p.139-149. 2006.

MONTEIRO, M. T.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono e nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serrapilheira de uma floresta natural. **R. Bras. Ciênc. Solo**, v.28, n.5, 2004.

MOSCATELLI, M.C.; LAGOMARSINO, A.; MARINARI, S.; DEANGELIS, P.; GREGO, S. Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation. **Ecological Indicators**, v.5, p.171-179, 2005.

MYROLD, D.D. Transformations of nitrogen. In: SYLVIA, D.M.; HARTEL, P.G.; FUHRMANN, J.J.; ZUBERER, D.A., (Ed). **Principles and applications of soil microbiology**. 2.nd.ed. New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2005. p. 333-372.

NEPSTAD, D.C.; MOREIRA, A.G.; ALENCAR, A. **A floresta em chamas**: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil. Brasília, 1999, 172 p.

OLIVEIRA JUNIOR, R.C.; LOPES, O. M. N.; MELO, A.S. Erosividade das chuvas de Cametá, Tucuruí e Paragominas, no Estado do Pará. **Boletim da FCAP**. n.18, 1989.

PARRY, M. M. **Cobertura morta como manejo do solo para culturas de subsistência em diferentes épocas de cultivo**. 2002. 77f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2002.

POWLSON, D.S.; BROOKS, P.C. CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation, **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, n.2, p. 159-164, 1987.

RAMÍREZ BARCO, J.M.; CHAVES, R.S.; DIAS, A.C.C.P. Efeito do Manejo do solo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo, do Estado do Pará. **Boletim da FCAP**. n.23.1995.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação dos solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.128, p.3-18, 1985.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In. ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M; SALTON, J. C. (Ed). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados : Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 17-42.

RUIVO, M. L. P.; MONTEIRO, K. F. G.; SILVA, R M; SILVEIRA, I M; QUARESMA, H. D. A. B.; SA, L. D. A.; PROST, M T C. Gestão Florestal e Implicações Sócio-Ambientais na Amazônia Oriental (Estado do Pará). **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, p. 481-492, 2007.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamic and carbon sequestration rates for a tillage chronosequences in a Brazilian Oxisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.65, p.1486-1499, 2001.

SAMPAIO, C. A.; KATO, O. R.; NASCIMENTO-e- SILVA, D. Sistema de corte e trituração da capoeira sem queima como alternativa de uso da terra, rumo a sustentabilidade florestal no Nordeste paraense. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.2, n.1, p.41-53, 2008.

SANCHEZ, P. A.; COCHRANE, T. T. **Soils constraints in relation to major farming systems of tropical America**. Los Banos, Phillipines : International Rice Research Institute, 1980. p.106-139.

\_\_\_\_\_; LOGAN, T.J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in tropics. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A., (Ed). Myths and science about soil in tropics. **Proceedings SSSA**, Madson, USA, v.29, p. 35-46, 1992.

SARMENTO, C.M.B. **Modelos agrossilvipastoris para pequenas propriedades agrícolas do nordeste paraense**. 2007. 90f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. 2007.

SILVA, R. L. da. **Dinâmica da Matéria Orgânica e Relações com Propriedades Químicas em um Latossolo Sob Diferentes Usos da Terra na Amazônia Oriental**. 2008. 75f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2008.

SOMBROEK, W.; RUIVO, M.de L.P.; FEARNside, P.M.; GLASER, B.; LEHMANN, J.; Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. In: Lehmann J., Kern, D.; Glaser B. Woods W. (Ed) **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**. Kluwer.Academlands, 2003. p.125-139.

SORRENSON, W.J.; MONTOYA, L.J. Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná. **Boletim técnico IAPAR**, n.21, ago. 1989.

SOUZA, C. H. E. de; LOURENÇÃO, W.; FAGAN, E. B.; SAFATLE, T. de C.; SOARES, I. A. P. Alterações dos teores de MOS e propriedades Químicas de solo sob sistemas de manejo no Cerrado na região do alto Paranaíba – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza-Ceará, 2009. **Anais ... Fortaleza-Ceará**, 2009.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of change in soil organic matter. **Austr. J. Soil Res.**, v.30, p.195-207, 1992.

SZPILMAN, M. **Desmatamento - A situação atual do planeta**. Informativo, 21 – set./out. 1998. Disponível em: <[http://www.institutoaqualung.com.br/info\\_desmatamento26.html](http://www.institutoaqualung.com.br/info_desmatamento26.html)>. Acesso em: 20 nov. 2009.

TRINDADE, E. F. da S. **Atributos físico-hídricos e matéria orgânica do solo em função de sistemas de uso e manejo da vegetação secundária**. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

TURNER, B.L.; BRISTOW, A.W.; HAYGARTH, P.M. Rapid estimation of microbial biomass in grassland soils by ultra-violet absorbance. **Soil Biology & Biochemistry**, v.33, n.7-8, p.913-919, 2001.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 703-707, 1987.

VIEIRA, M. N. F.; VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C.; CHAVES, R.S. **Levantamento e Conservação do Solo**. 2.ed. Belém: FCAP. 2000. 200p.

VILLATORO, M.A.A. **Matéria orgânica e indicadores biológicos da qualidade do solo na cultura do café sob manejo agroflorestal e orgânico**. 2004. 166f. Tese (Doutorado) -: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2004.

WANG, W.J.; DALAL, R.C.; MOODY, P.W.; SMITH, C.J. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. **Soil Biology & Biochemistry**, v.35, n.2, p.273-284, 2003.

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors with influence of microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Review**, v.67, p.321-358, 1992.

WARDLE, D.A.; HUNGRIA, M.A. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M., (Ed). **Microorganismo de importância agrícola**. Brasília : EMBRAPA-SPI, 1994, p. 193-216.

ZIMMERMANN, S.; FREY, B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. **Soil Biology Biochemistry**, v.34, n.11, p.1727- 1737, 2002.

## CAPÍTULO 2

### BIOMASSA MICROBIANA E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO

**RESUMO:** O aumento da produção agrícola na Amazônia brasileira tem ocorrido devido, em grande parte, à expansão da fronteira agrícola, utilizando áreas já antropizadas ou avançando sobre a vegetação primária. Ao mesmo tempo, os sistemas agrícolas, na pequena produção, continuam utilizando o fogo no preparo da área, levando à perda da capacidade produtiva dos solos em curto espaço de tempo forçando a abertura de novas áreas. Este trabalho avalia o efeito de métodos de preparo do solo e tempo de pousio que envolvem queima e trituração da vegetação, com permanência na superfície ou incorporados ao solo, com e sem adubação química, em duas épocas do ano sobre os atributos químicos e biológicos do solo. O experimento foi instalado em 1995, em um Latossolo Amarelo do campo experimental da Embrapa Amazônia Oriental, no Nordeste do Estado do Pará. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, arranjos em esquema fatorial 2x6x2, sendo dois sistemas de manejo, seis tratamentos e duas épocas de coletas. Os sistemas de manejo envolveram as culturas de arroz (*Oriza sativa*), seguido do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) e mandioca (*Manihot esculenta*), sendo que um sistema constou de dois ciclos de cultivo seguidos, deixando em pousio por três anos; e o outro, de um ciclo de cultivo, deixando em pousio por três anos. Os tratamentos foram: T1 = corte e queima da vegetação, com adubação NPK (Q+NPK); T2 = corte e queima da vegetação, sem adubação NPK (Q-NPK); T3 = corte e trituração da vegetação, deixando-a na superfície do solo, com adubação NPK (C+NPK); T4 = corte e trituração da vegetação, deixando-a na superfície do solo, sem adubação NPK (C-NPK); T5 = corte e trituração da vegetação, com incorporação e com adubação NPK (I+NPK); T6 = corte e trituração da vegetação, com incorporação e sem adubação NPK (I-NPK). As coletas de solo foram realizadas na estação mais chuvosa (abril de 2006) e na estação menos chuvosa (setembro de 2006), na profundidade de 0-0,1 m. Em cada parcela foram coletadas cinco amostras simples para compor uma amostra composta. Os sistemas de uso do solo influenciaram diferentemente os atributos químicos e biológicos, sendo que o incremento dos teores de nutrientes foi mais acentuado no sistema de uso menos intensivo; o sistema de manejo menos intensivo do solo apresentou os melhores resultados para fertilidade do solo, ao mesmo tempo com o método de preparo do solo com corte e trituração da vegetação secundária.

**TERMOS PARA INDEXAÇÃO:** Vegetação Secundária, Queima, Trituração, Preparo do Solo, Ciclo de Cultivos.

## CHAPTER 2

### MICROBIAL BIOMASS AND SOIL CHEMICAL CHARACTERISTICS UNDER DIFFERENT LAND USE SYSTEMS

**ABSTRACT:** Agricultural production increase in the Brazilian Amazon has occurred mostly due to the agricultural frontier expansion, utilizing areas already impacted by humans or advancing over primary vegetation. At the same time, agricultural systems, in small scale production, still utilize fire to prepare areas, leading to soil productive capacity loss in short time, inducing the opening of new areas. This study had the objective of evaluating the effect of soil preparation methods that involve vegetal residues trituration, with permanence on the surface or incorporated to the soil, with and without chemical fertilizing, on its chemical and biological attributes. The experiment was developed in 1995, in a Yellow latosol at the Embrapa Eastern Amazon experimental field, northeastern Pará. The experimental drawing was done in random blocks, arranged in a 2x6x2 factorial design, with two management systems, six treatments and two collection periods. The management systems involved rice culture (*Oriza sativa*), followed by the caupi bean (*Vigna unguiculata*) and manioc (*Manihot esculenta*). One system had two consecutive cultivation cycles in pousio for three years; the other one, of one cultivation cycle, was left in pousio for three years. The treatments were: vegetation slash and burn, with NPK (Q+NPK) fertilizer; T2 = vegetation slash and burn, without fertilizer NPK (Q-NPK); T3 = vegetation slash and trituration, leaving it on the soil surface, with NPK (C+NPK) fertilizer; T4 = vegetation slash and trituration, leaving it on the soil surface, without fertilizer (C-NPK); T5 = vegetation slash and trituration, with incorporation and NPK fertilizer (I+NPK); T6= vegetation slash and trituration, with incorporation and without NPK fertilizer (I-NPK). Soil collection was performed in the most rainy season (April 2006) and in the less rainy season (September 2006), at the 0-0,1m depth. In each parcel, five simple samples were collected in order to generate a composite sample. The soil use systems influenced differently the biological and chemical properties, where increments were greater in the less intensive use system. The less intensive soil management system presented the best results in soil fertility, at the same time as the soil preparation with secondary vegetation cut and trituration.

**INDEX TERMS:** Secondary vegetation, Burn, Trituration, Soil preparation, Cultivation cycles.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A necessidade de aumentar a produção agrícola brasileira para atender à demanda crescente de alimentos, inevitavelmente, tem resultado na expansão da fronteira agrícola, utilizando áreas antropizadas ou mata nativa. O uso de práticas de cultivo inadequadas, como o uso do fogo e a não utilização de técnicas conservacionistas, tem causado a degradação acelerada dos solos da Amazônia. Em solos da Amazônia Oriental, Denich et al. (2004) verificaram um balanço negativo dos nutrientes no solo quando comparam o sistema de corte e queima com o sistema de corte e trituração.

Na Amazônia, a agricultura familiar tem importância significativa nas lavouras anuais e permanentes. Contudo, um dos principais entraves existentes nesse segmento é o uso de baixa tecnologia de produção, devido, principalmente, à falta de assistência técnica e à pouca disponibilidade de capital, impelindo a este o uso de práticas como o corte e queima para preparo de área, que tem predominado em nossa região. A queima tem sido utilizada como forma de baratear a limpeza da área, além de disponibilizar nutrientes retidos na biomassa, reduzir acidez do solo, estimular a atividade microbiana e reduzir a invasão de ervas daninhas (SANCHEZ; SALINAS, 1982; SAMPAIO; KATO; NASCIMENTO E SILVA, 2008). Por outro lado, a queima da vegetação como forma de preparo da área para plantio tem sido condenada pelas perdas de nutrientes, degradação ambiental, perda gradativa de biodiversidade, emissões de gases para a atmosfera, aumento da erosão do solo, modificações no ciclo hidrológico e biogeoquímico e riscos de incêndios acidentais (URQUIAGA et al., 1998; GLIESSMAN, 2001; RUIVO et al., 2007; MAIA, 2009).

No sistema de corte e queima, o rendimento das lavouras é satisfatório nas áreas de vegetação recém-queimadas da Amazônia durante dois ou três anos, quando, ao final destes, as áreas são deixadas em pousio até a recuperação da fertilidade, caracterizando o sistema de agricultura itinerante ou migratória. No entanto, devido ao crescimento populacional e à eminente crise de alimentos no mundo, o manejo intensivo do solo, a monocultura e o uso de pesticidas e fertilizantes tornaram-se práticas comuns para o aumento da produção agrícola; todavia, ocasionam perda de MO, erosão e contaminação das águas subterrâneas, além de prejuízos à microbiota e seus processos biogeoquímicos. Estes processos e práticas associadas ao uso do fogo têm acelerado o ritmo do uso da terra e reduzido o período de pousio para menos de 10 anos (METZGER, 2000).

A redução do intervalo de produção implica no crescimento apenas de vegetação arbustiva incapaz de recompor a fertilidade do solo a níveis adequados. Em função disto, tecnologias que visem à maior eficiência na ciclagem de nutrientes podem ser importantes para aumentar a produtividade dos sistemas sem fogo e contribuir de forma significativa para a sustentabilidade da produção agrícola nos trópicos, pelo melhor aproveitamento dos nutrientes da vegetação remanescente.

O sistema de corte e trituração mecânica da vegetação em pousio, deixando seus resíduos na superfície do solo, tem sido uma prática utilizada como uma alternativa tecnológica para substituir o uso fogo e mitigar outros impactos deletérios das práticas agrícolas (KATO et al., 1999; PARRY, 2002; GAMA, 2002; KATO et al., 2006). Entretanto, a sustentabilidade de agrossistemas depende fundamentalmente da qualidade do material orgânico a decompor, o qual se constitui em parte significativa e potencialmente mineralizável de nutrientes prontamente disponíveis para as plantas. Os ecossistemas amazônicos apresentam uma rápida ciclagem de nutrientes, os quais respondem intensamente a flutuações sazonais de umidade e temperatura, como também ao tipo de cultivo e manejo de seus resíduos (GAMA-RODRIGUES; BARROS; GAMA-RODRIGUES, 2005).

A microbiota do solo é fração da MO que representa importante parâmetro ecológico, sendo considerada como reservatório de nutrientes e energia e, conseqüentemente, potencial fornecedora de nutrientes para as plantas (GAMA-RODRIGUES et al., 1994). Segundo Kiehl (1985), os microrganismos absorvem C e N em uma proporção de trinta partes de C para cada parte de N. Com isso, o desenvolvimento dos microrganismos depende da disponibilidade de MO, aeração, umidade, temperatura, estrutura, nutrientes, pH e microrganismos parasitas e antagonistas (GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

O estudo da BMS e sua atividade têm implicações importantes na agricultura, pois quanto maior a BMS, maior será a imobilização temporária de C, N e outros nutrientes e, conseqüentemente, menor perda de nutrientes no sistema solo/planta (ALVAREZ et al., 1995; WANG et al., 2003; MOREIRA; MALAVOLTA, 2004). Considerando-se que a maior intensidade da atividade biológica ocorre na camada superficial do solo, se esta for removida devido ao uso e/ou manejo inadequado, é provável que ocorra interferência negativa na ação dos microrganismos, para que haja disponibilidade de nutrientes. O teor de carbono e biomassa microbiana é influenciado pelo tipo de uso da terra, sendo importante indicador da alteração imposta pelo cultivo do solo (DE-POLLI; GUERRA, 1996; GAMA-RODRIGUES; BARROS; GAMA-RODRIGUES, 2005).

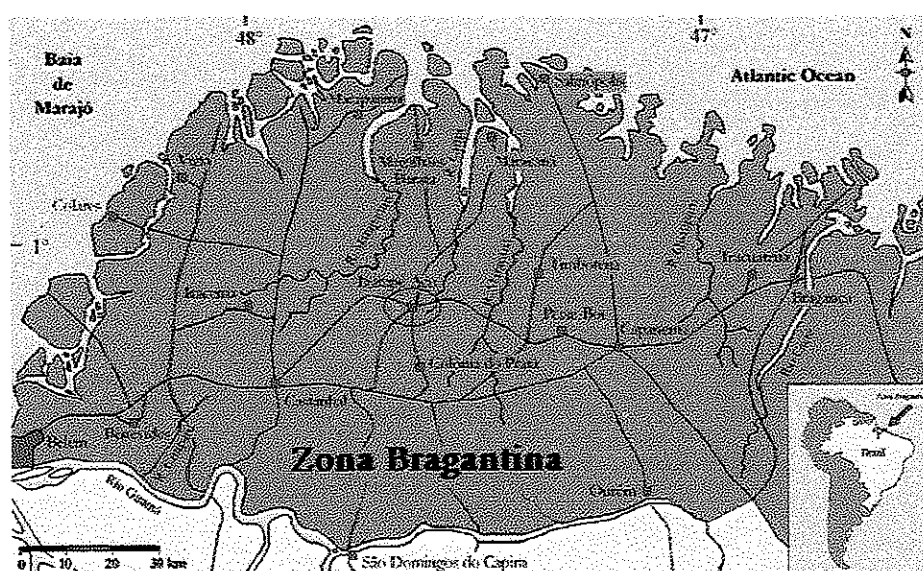
Desta forma, a BMS surge como um parâmetro ecológico de avaliação de técnicas de uso do solo, permitindo obter informações mais rápidas sobre mudanças nas suas propriedades orgânicas, causadas por cultivos ou por devastação de florestas, e avaliar a regeneração dos solos após a remoção da sua camada superficial (FRIGUETTO; SCHNEIDER, 2000; ZIMMERMANN; FREY, 2002; GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

Este trabalho apresenta a avaliação do efeito de métodos de preparo do solo e tempo de pousio que envolvem queima e trituração da vegetação, com permanência na superfície ou incorporados ao solo, com e sem adubação química, em duas épocas do ano sobre os atributos químicos e biológicos do solo.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

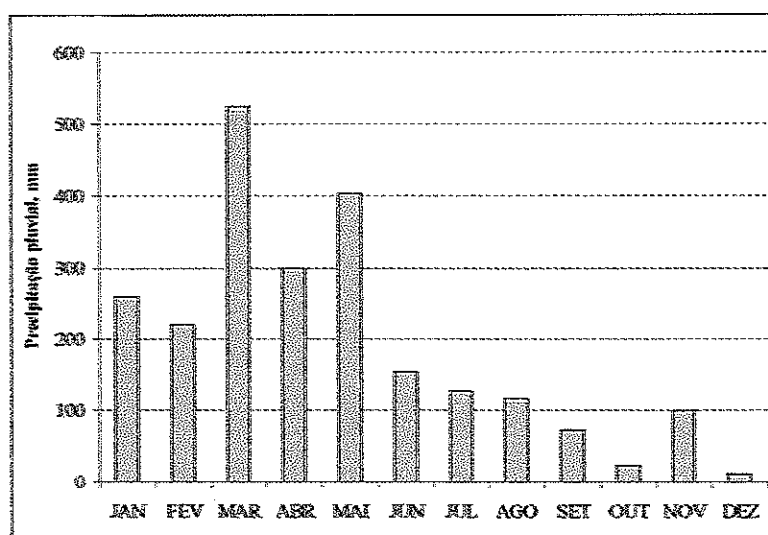
### 2.2.1 Descrição da área

O trabalho foi realizado no campo experimental da Embrapa Amazônia Oriental, sob as coordenadas geográficas  $0^{\circ} 58'$  e  $01^{\circ} 38'$  S, e  $47^{\circ} 26'$  e  $48^{\circ} 42'$  W, no município de Igarapé-Açu, Nordeste do estado do Pará (Figura 1). O solo foi caracterizado como Latossolo Amarelo coeso típico (LAX), A moderado de textura média, originário de formação Barreiras (PARRY, 2002).

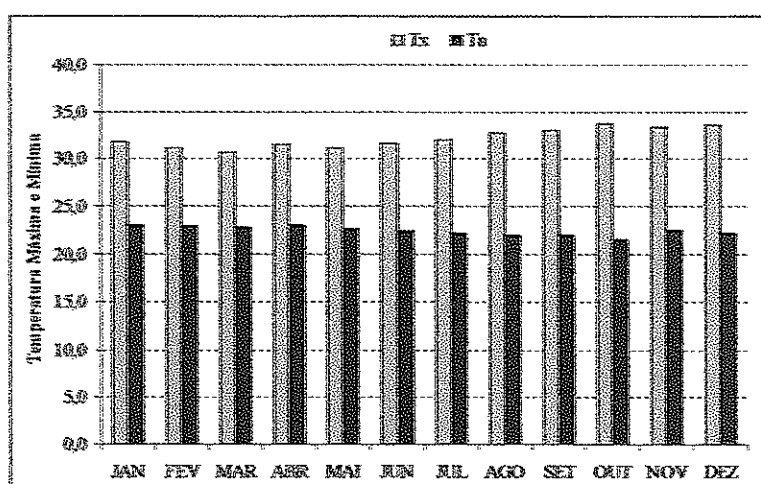


**Figura 1** - Localização da área experimental na região do Nordeste paraense.

O clima é quente e úmido, do tipo  $Am_2$ , conforme a classificação de Köppen. A precipitação anual é de aproximadamente 2.500 mm e umidade relativa de 80 a 90%, podendo ocorrer algumas variações sazonais. Apresenta estações seca e chuvosa bem definidas (Figura 2), com temperatura média máxima e média mínima mensal variando de 33,7 e 21,5, respectivamente (Figura 3) (PACHECO; BASTOS, 2007).



**Figura 2** - Precipitação pluviométrica mensal (mm) no ano de 2006, em Igarapé-Açu, PA (PACHECO; BASTOS, 2007).



**Figura 3** - Médias mensais de temperatura máxima (Tx) e mínima (Tn) do ar em Igarapé-Açu, PA, em 2006 (PACHECO; BASTOS, 2007).

### 2.2.2 Histórico da área e delineamento experimental

O experimento foi realizado no projeto Tipitamba, anteriormente denominado de SHIFT (Studies of Human Impacto on Forests and Floodplains in the Tropics), que teve início

em 1995, utilizando áreas de pequenos agricultores que fazem uso da prática da queima como forma de preparo do solo para plantio. A área apresentava uma vegetação de quatro anos de idade, com uma biomassa aérea seca estimada em  $24 \text{ t ha}^{-1}$  (KATO, 1998b). Foram realizadas análises químicas e granulométricas, antes da instalação do experimento, conforme Embrapa (1997) (Tabela 1).

**Tabela 1** - Valores médios de pH, teores de N (total e mineralizado), P, K, Ca, Al, Corg, relação C/N e granulometria do solo, no início do experimento em 1994.

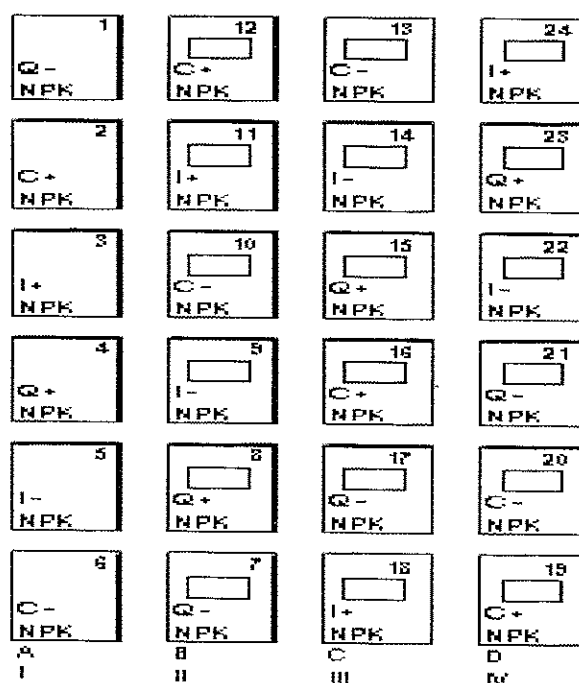
| Prof.<br>(m) | pH<br>(água) | $N_{\text{total}}$<br>$\text{g kg}^{-1}$ | $N_{\text{min}}$<br>..... $\text{mg kg}^{-1}$ ..... | P<br>(disp.)<br>$\text{mg kg}^{-1}$ ..... | $K^{+}$<br>$\text{mg kg}^{-1}$ ..... | $Ca^{+2}$<br>$\text{mmol kg}^{-1}$ | $Al^{+3}$<br>$\text{mg kg}^{-1}$ ..... | Corg<br>$\text{g kg}^{-1}$ | C/N  | Areia |        | Silte | Argila |
|--------------|--------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|------|-------|--------|-------|--------|
|              |              |                                          |                                                     |                                           |                                      |                                    |                                        |                            |      | Fina  | Grossa |       |        |
| 0-0,1        | 5,2          | 0,7                                      | 53                                                  | 3,0                                       | 15                                   | 80                                 | 20                                     | 10,7                       | 15,3 | 361   | 466    | 120   | 53     |

Fonte: KATO, O. (1998).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, arranjos em esquema fatorial  $2 \times 6 \times 2$ , com três repetições, sendo dois sistemas de manejo, seis tratamentos e duas épocas de coletas.

### 2.2.3 Caracterização das áreas

As duas áreas estudadas são adjacentes e possui 1 ha cada, divididas em parcelas de  $10 \times 12 \times 2 \text{ m}$  (Figura 4). Foram tomadas três amostras compostas a partir de 10 subamostras simples, coletadas em transectos em cada uma das parcelas, na profundidade de 0-0,1 m. Em todas as parcelas, procedia-se à remoção da serrapilheira presente na superfície do solo. As coletas de solo foram realizadas na estação chuvosa (abril de 2006) e na estação seca (setembro de 2006) após 11 anos de cultivo, na profundidade de 0-0,1 m.



**Figura 4** - Croqui do experimento para os sistemas de manejo.

Os tratamentos foram: T1 = corte e queima da vegetação, com adubação NPK (Q+NPK); T2 = corte e queima da vegetação, sem adubação NPK (Q-NPK); T3 = corte e trituração da vegetação, deixando-a na superfície do solo, com adubação NPK (C+NPK); T4 = corte e trituração da vegetação, deixando-a na superfície do solo, sem adubação NPK (C-NPK); T5 = corte e trituração da vegetação, com incorporação e com adubação NPK (I+NPK); T6 = corte e trituração da vegetação, com incorporação e sem adubação NPK (I-NPK) (Figura 4).

### Área I – SM I

Constituída de um sistema de uso mais intensivo do solo, a primeira área de coleta constou de dois ciclos de cultivo seguidos, em que a área foi deixada em pousio por três anos (Figura 5).

### Área II – SM II

A segunda área de coleta, com exploração menos intensiva do solo, consistiu de um ciclo de cultivo, em que a área foi deixada em pousio por três anos (Figura 5).





**Figura 6** - Aspecto geral das áreas: sistema de manejo mais intensivo em fase de pousio (SM I) e sistema de manejo menos intensivo cultivado com arroz (SM II), em 2006, em Igarapé-Açu, PA.

## 2.2.4 Procedimentos analíticos

### 2.2.4.1 Análises químicas do solo

As determinações químicas do solo foram realizadas de acordo com as metodologias compiladas da Embrapa (1997), sendo realizadas as seguintes quantificações: N-total, por destilação em semimicro Kjeldahl (BREMNER; MULVANEY, 1982); pH, em potenciômetro na relação solo: água de 1:2,5; C orgânico, pelo método volumétrico de oxidação com  $K_2Cr_2O_7$  e titulação com sulfato ferroso amoniacal; Ca, Mg e Al trocáveis em extrator de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; K e Na trocáveis em solução extratora Mehlich -1 e determinação por fotometria de chama; P disponível em solução extratora Mehlich -1 e determinação por colorimetria, H+Al foram extraídos com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0 e determinado volumetricamente com solução de NaOH.

A partir dos valores de acidez potencial (H+Al), bases trocáveis e alumínio trocável, calcularam-se a capacidade de troca de cátions total (CTC) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe). Foram calculados também as relações C/N do solo e o estoque de carbono orgânico (EstC), utilizando-se a fórmula  $EstC = C_{org} \times D_s \times e/10$ , de acordo com Freixo et al. (2002).

Em que:

EstC = estoque de carbono orgânico na camada estudada ( $\text{t ha}^{-1}$ );

Corg = carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ );

Ds = densidade do solo da camada estudada ( $\text{g cm}^{-3}$ );

e = espessura da camada estudada (cm).

Para verificar a tendência em acumular ou perder carbono orgânico em relação ao sistema de referência, foi calculada a variação do estoque de carbono em relação à vegetação secundária ( $\Delta \text{EstC}$ ,  $\text{t ha}^{-1}$ ), pela diferença entre os valores médios do estoque de carbono nesse sistema e em cada um dos demais, na profundidade estudada (0-0,1 m).

#### 2.2.4.2 Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo

Utilizou-se o método da fumigação-extração para estimar o carbono da biomassa microbiana ( $\text{Cmic}$ ) (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987; TATE et al., 1988) e o nitrogênio da biomassa microbiana ( $\text{Nmic}$ ) (BROOKES et al., 1985). Amostras de aproximadamente 25 g (peso fresco) foram acondicionadas em dessecador e submetidas à fumigação com clorofórmio livre de álcool por 24 horas. Logo após a fumigação, as amostras foram agitadas por 30 minutos em extratos de  $\text{K}_2\text{SO}_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e posteriormente filtradas. As amostras não-fumigadas foram pesadas ao mesmo tempo que as amostras fumigadas e posteriormente conservadas em geladeira até a retirada das amostras fumigadas do dessecador, para a extração no mesmo momento, conforme citado anteriormente.

A determinação do  $\text{Cmic}$ , nos extratos fumigado e não-fumigado, foi feita por dicromatometria (DE-POLLI; GUERRA, 1999). Para o cálculo, os teores de C das amostras fumigadas foram subtraídos dos valores das amostras não-fumigadas, sendo a diferença dividida pelo fator de correção ( $\text{Kc}$ ) de 0,26 (FEIGL et al., 1995).

A estimativa de  $\text{Nmic}$  foi feita a partir da digestão de Kjeldahl. O fator de correção ( $\text{Kn}$ ) utilizado para o cálculo foi de 0,54 (BROOKES et al., 1985; JOERGENSEN; MUELLER, 1996). A partir dos valores originais foram calculadas as relações entre  $\text{Cmic}$  e Corg do solo ( $\text{Cmic/Corg}$ ), e  $\text{Nmic}$  e Ntotal do solo ( $\text{Nmic/Ntotal}$ ), através das seguintes equações:  $(\text{Cmic/Corg}) \times 100$  e  $(\text{Nmic/Ntotal}) \times 100$ , respectivamente. Estes índices indicam as frações de Corg e Ntotal que estão incorporadas na BM, expressando a qualidade da MO (GAMA-RODRIGUES, 1999). Relações entre qualidade de solo e o ciclo das culturas foram realizadas através da análise multivariada de componentes principais que serviu para agrupar características semelhantes e estudar suas correlações (KOVACH, 1995).

### 2.2.5 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan aos níveis de 5 e 1% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SANEST (ZONTA; MACHADO, 1991). Os resultados, também, foram submetidos à análise dos componentes principais, utilizando Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Atributos biológicos do solo

O carbono microbiano (Cmic), nitrogênio microbiano (Nmic) e a relação Cmic/Corg foram influenciados pelo sistema de manejo, tratamentos, período de coleta e pela interação entre estes fatores, exceto o Nmic pela interação sistema de manejo e período (Tabela 2). A relação Cmic/Nmic só foi influenciado pelos tratamentos e pela interação sistema de manejo e período, enquanto que a relação Nmic/Ntotal foi influenciada pelos tratamentos, períodos e interação sistema de manejo e tratamentos.

**Tabela 2** - Resumo da análise de variância dos dados de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (Cmic e Nmic), relações Cmic/Nmic, Cmic/Corg e Nmic/Ntotal, de um Latossolo Amarelo, na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, em Igarapé-Açu, PA.

| CV                                       | Atributos químicos e biológicos |                      |                      |           |                      |
|------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|-----------|----------------------|
|                                          | Cmic                            | Nmic                 | Cmic/Nmic            | Cmic/Corg | Nmic/Ntotal          |
| <b>A (Sistema de Manejo)<sup>1</sup></b> | 16,9125**                       | 15,9402**            | 0,7266 <sup>ns</sup> | 22,5075** | 0,1801 <sup>ns</sup> |
| <b>B (TRAT)<sup>2</sup></b>              | 5,2243**                        | 25,1151**            | 9,2066**             | 9,4986**  | 12,0191**            |
| <b>C (PERÍODO)<sup>3</sup></b>           | 20,7890**                       | 21,1156**            | 0,1590 <sup>ns</sup> | 42,3906** | 45,5749**            |
| <b>A X B<sup>4</sup></b>                 | 11,8065**                       | 9,8010**             | 2,1231 <sup>ns</sup> | 16,0843** | 5,6819**             |
| <b>A X C<sup>5</sup></b>                 | 78,9705**                       | 4,1369 <sup>ns</sup> | 15,3957**            | 22,1440** | 0,0051 <sup>ns</sup> |
| <b>A X B X C<sup>6</sup></b>             | 3,4605*                         | 3,0367*              | 1,3705 <sup>ns</sup> | 3,0502*   | 2,6221 <sup>ns</sup> |

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Sistemas de manejo I e II.

<sup>2</sup> Tratamentos.

<sup>3</sup> Período chuvoso e seco.

<sup>4</sup> Interação entre sistema de manejo e tratamentos.

<sup>5</sup> Interação entre sistema de manejo e estação.

<sup>6</sup> Interação entre sistema de manejo, tratamentos e estação.

Na amostragem de abril/2006, período de maior precipitação na área de estudo, o Cmic foi significativamente maior em todos os tratamentos quando comparados ao período seco (Figura 7a). Os maiores valores de Cmic encontrados neste período, independentemente do sistema de uso, podem estar relacionados ao teor de umidade do solo, que se mantém favorável a uma maior atividade da microbiota do solo sobre a decomposição da matéria orgânica. A elevação da umidade do solo aumenta a eficiência da atividade microbiana deste, quando comparado a solos com baixa umidade (LI et al., 2005). Comportamento semelhante foi observado por Silva, Sena e Silva Júnior (2007), em que os valores de Cmic foram superiores no período chuvoso. Luizão, Costa e Luizão (1999) encontraram correlação positiva entre Cmic e o aumento da disponibilidade de água, acreditando que a maior umidade favoreceu o aumento da atividade dos microrganismos no solo. Duarte (2003) e Bittencourt (2003), estudando solos do Pará, sob diferentes sistemas de manejo, também encontraram valores maiores para Cmic, na estação chuvosa, em relação à estação seca.

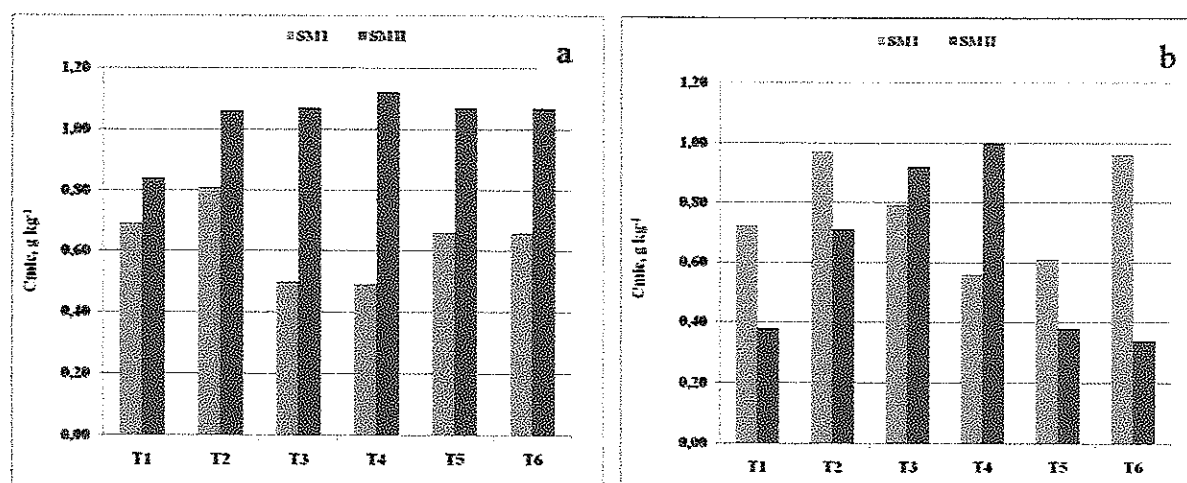
O sistema de manejo menos intensivo (SM II) foi mais eficiente na manutenção do Cmic em todos os tratamentos, com destaque para o tratamento com trituração e sem adubação NPK (T4). Nas coletas realizadas em setembro/2006, período seco, o maior valor também foi obtido no T4 do SM II; por outro lado, os tratamentos com corte e queima da vegetação, sem adubação NPK (T2) e corte e trituração da vegetação, com incorporação e sem adubação NPK (T6), do sistema de manejo mais intensivo (SM I), tiveram comportamento semelhante. Já no SM II, no período chuvoso, não foram observadas diferenças entre os resultados nos tratamentos, mas houve variação com relação aos sistemas de manejo, para o mesmo período. No período seco, os tratamentos T2 e T6 do SM I apresentaram valores semelhantes aos dos tratamentos T3 e T4 no SM II.

Em todos os tratamentos no período de maior precipitação pluviométrica, observam-se que os valores de Cmic não foram influenciados significativamente pela adubação química com NPK, possivelmente devido ao aumento da atividade microbiana, que acelerou o processo de decomposição da MO nesta época. Com isto consumiu rapidamente todo o fertilizante adicionado, imobilizando menores quantidades de Cmic, o que não corrobora a afirmativa de Sneh Goyal, Hooda e Sing (1992) de que os fertilizantes minerais provocam alterações na BMS, em geral, com o aumento desta.

Os conteúdos de Cmic encontrados no presente trabalho estão de acordo com outros resultados para solos amazônicos (PFENNING; EDUARDO; CERRI, 1992; FEIGL et al., 1995; DAVIDSON et al., 2004; VASCONCELOS et al., 2005).

No período de menor precipitação, observa-se que ocorreu maior Cmic no SM I nos tratamentos T2 e T6 (Figura 7b). Para o primeiro a maior umidade fornecida pelo período de pousio, no momento das coletas, e o crescimento da vegetação explica o melhor desempenho deste tratamento, o que está de acordo com Araújo (2003), Gama-Rodrigues, Barros e Gama-Rodrigues (2005). Li et al. (2005) observaram que a elevação da umidade do solo aumenta a eficiência da sua atividade microbiana. Em T6, além desses fatores, ainda a incorporação do material vegetal, dos cultivos anteriores, o que está de acordo com De Polli e Guerra (1999), que indicam que sistemas onde ocorre incorporação de material vegetal ocasionam condições que potencializam a atividade microbiana e, consequentemente, a produção de Cmic.

O tratamento T4 do SM II apresentou o maior valor de Cmic. A manutenção das altas taxas de Cmic se deveu à elevada quantidade de resíduos triturados e deixados sobre o solo e que não foram decompostos durante o período chuvoso, e que foram acrescidos dos restos culturais do arroz e feijão. Este resultado confirma as observações de Monteiro e Gama-Rodrigues (2004) de que as maiores quantidades de Cmic são decorrentes da maior taxa de microrganismos decompondo resto de material vegetal resultantes do preparo de área recente e que, quanto maior quantidade e qualidade de resíduos, maior será a eficiência no aumento de Cmic.



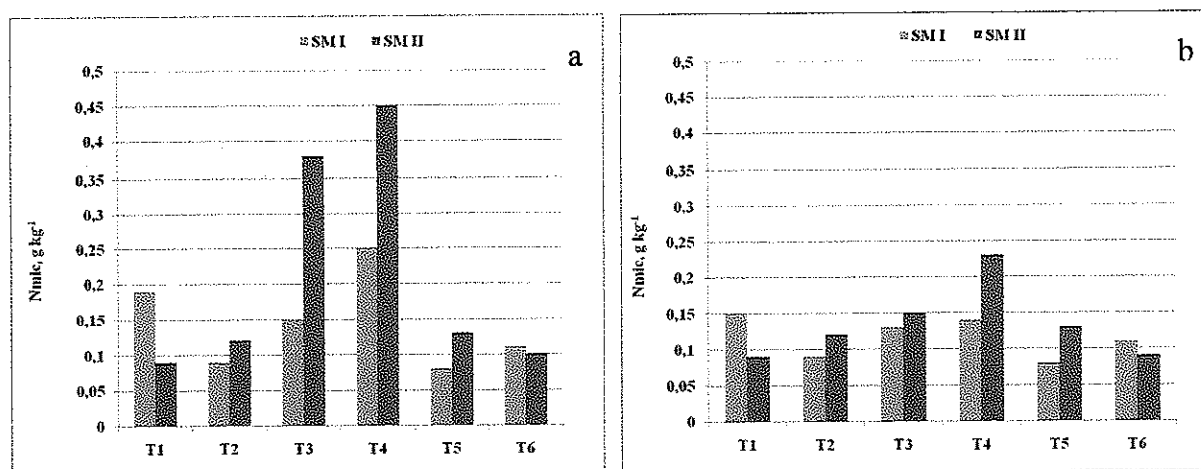
**Figura 7** - Carbono da biomassa microbiana do solo em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

O N da biomassa microbiana (Nmic) apresentou diferenças significativas entre os sistemas de manejo do solo, épocas e tratamentos estudados (Tabela 2). Foram verificados maiores valores no SM II (0,38 e 0,45 g kg<sup>-1</sup>) na estação chuvosa, nos tratamentos T3 e T4, respectivamente (Figura 8). O elevado valor de Nmic no SM II pode ser atribuído ao efeito

acumulativo dos vários anos de deposição de resíduos orgânicos sobre a superfície do solo, com seu uso menos intensivo e, conseqüentemente, com menor exportação de nutrientes pelas culturas.

O processo de trituração da vegetação sem incorporação conferiu à MO maior tempo sobre o solo uma vez que elevou substancialmente o total de resíduos e, desta forma, a relação C/N do material a ser decomposto, forçando os microrganismos a imobilizarem, inicialmente, o máximo de N disponível para a realização da mineralização. No entanto, nos dois períodos estudados, observou-se que os tratamentos com NPK apresentaram menores valores de  $N_{mic}$  onde os valores deveriam ser maiores, devido à adição de N. Entretanto, acreditamos que, com a adição do NPK, a relação C/N do material foi reduzida e o processo de mineralização acelerado, liberando rapidamente nutrientes para o solo que foram posteriormente lixiviados e/ou aproveitados pelas culturas antes do momento da coleta, dado o elevado índice de precipitação neste período (Figura 8a).

Brady (1989) explica que, quando uma grande quantidade de resíduos orgânicos com elevada proporção C/N é incorporada ao solo, ocorre uma modificação rápida da flora heterotrófica, que se multiplica rapidamente e consome praticamente todo N do solo sob a forma de nitrato. Contudo, à medida que se processa a decomposição, diminui a proporção da matéria remanescente, pois o C está se perdendo e o N está sendo conservado na forma de  $N_{mic}$ . Posteriormente, a atividade microbiana reduz-se gradualmente devido à falta de C, e o N bem como o húmus deixam de ser escassos no solo. Iniciando-se a nitrificação, os nitratos então voltam a aparecer em quantidades superiores às iniciais; contudo, por um breve período de tempo, pois são rapidamente lixiviados ou absorvidos pela planta (JANSSEN, 1996; CERETTA et al., 2002; VARGAS; SELBACH; SÁ, 2004).



**Figura 8** - Nitrogênio da biomassa microbiana em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

Os resultados obtidos para  $N_{mic}$ , no período seco, obedeceram à mesma tendência do período chuvoso; contudo, em quantidades menores (Figura 8). Isto se deve, provavelmente, a fatores ambientais e/ou à liberação do nitrogênio imobilizado, no processo conhecido como remineralização, resultante do esgotamento de fontes de carbono e da morte de parte dos microrganismos (ROSA et al., 2005).

Os conteúdos de  $N_{mic}$  obtidos no presente trabalho foram superiores aos encontrados por diversos autores (DUARTE, 2003; VASCONCELOS et al., 2005; BITTENCOURT et al., 2006) em estudos realizados nas mesmas condições, em solos da Amazônia paraense. Isto indica uma maior imobilização do  $N_{total}$  pela biomassa microbiana (BM), o que se deve, provavelmente, a uma maior manutenção de resíduos vegetais na superfície, aumentando, dessa forma, a disponibilidade de substratos nos primeiros centímetros do solo e possibilitando maior concentração de nutrientes na BM. Resultados semelhantes foram constatados por Salinas-Garcia, Hons e Matocha, (1997), em estudos realizados em longo prazo com plantio direto, e por Rosa et al. (2009), em estudo realizado em Goiás com plantio de arroz em terras altas em sistema convencional e plantio direto.

Ao comparar os sistemas de manejo de solo entre os períodos chuvoso e seco (Figura 8), observou-se que o SM II apresentou um conteúdo de  $N_{mic}$  significativamente maior que o SM I, nos tratamentos trituração com e sem NPK. Estes resultados indicam que práticas de manejo do solo que permitem a manutenção da cobertura vegetal em sua superfície induzem ao aumento do teor de MO morta e viva, sendo esta última composta principalmente por microrganismos que fazem parte da fração ativa da MO. Estes microrganismos são responsáveis pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e animais, além de

serem a principal fonte de enzimas do solo, o que está de acordo com Rosa et al. (2009), que ao compararem sistemas de manejo de solo com e sem manutenção da vegetação em superfície, observaram que no sistema com cobertura apresentou um conteúdo de Nmic significativamente maior, que no sistema sem cobertura vegetal.

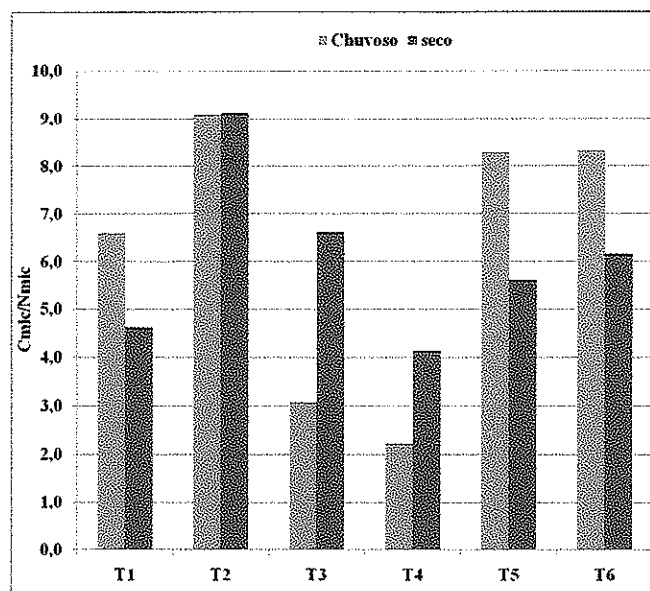
Os valores observados para a relação Cmic/Nmic (Figura 9), não diferiram estatisticamente entre os sistemas de manejo avaliados, houve apenas diferenças entre os tratamentos (Tabela 2). Os maiores valores desta relação foi observado no tratamento T2, que coincidiu com os menores valores de pH (Figura 15) em ambas as épocas avaliadas. Segundo Brandão<sup>1</sup> (1992), citado por Kummer et al.(2008), em função do pH ácido, uma composição populacional microbiana deve possuir maior densidade de fungos, geralmente contribuindo com a maior parcela da BMS, corroborando a afirmativa de Vasconcelos et al.(2005) de que o Nordeste paraense apresenta a maior densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares.

Os menores valores da relação Cmic/Nmic foram observados nos tratamentos T3 e T4 (Figura 9), podendo estar relacionados a mudanças na comunidade microbiana do solo, ou seja, maior concentração de bactérias decompondo material. Em trabalho desenvolvido por Vargas, Selbach e Sá (2004), avaliando alterações microbianas em solo cultivado com milho, afirmaram que a maior concentração de fungos favorece uma maior relação Cmic/Nmic, o que resultaria em um menor potencial de imobilização de N, enquanto a maior concentração de bactérias resulta em menor relação Cmic/Nmic e maior imobilização de N.

A relação Cmic/Nmic pode ser usada para expressar a eficiência da BM em imobilizar C e N, refletindo a qualidade nutricional da MO. Além disso, as relações Cmic/Corg e Nmic/Ntotal são estimativas indiretas da qualidade da MO. Portanto, quanto menor o valor destas relações, menor é a qualidade do material decomponível (GAMA-RODRIGUES, 1999; MONTEIRO; GAMA-RODRIGUES, 2004).

---

<sup>1</sup> BRANDÃO, E. M. Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, p. 1-16.



**Figura 9** - Relação carbono e nitrogênio da biomassa microbiana ( $C_{mic}/N_{mic}$ ) em seis tratamentos e em duas épocas de amostragem, Igarapé-Açu, PA.

A relação  $C_{mic}/N_{mic}$  variou de 2,22 a 9,12 entre os períodos seco e chuvoso (Figura 9). Altas relações  $C_{mic}/N_{mic}$  semelhantes às obtidas neste trabalho foram observadas por Fernandes, Fernandes e Crispim (2007) em Espodossolo ferrocárbico hidromórfico, na região central do Pantanal, variando de 9 a 11, comparando área queimada e não queimada. Eles encontraram maior relação  $C_{mic}/N_{mic}=11$  em área queimada indicando que o fogo pode ter provocado uma mudança qualitativa na BMS.

Nos tratamentos T1 e T2 foram observadas as maiores relações  $C_{mic}/N_{mic}$ . Este resultado pode estar relacionado à liberação de nutrientes ao solo por meio da incorporação das cinzas, bem como pela quebra de dormência de esporos. Sussman e Halvorson<sup>2</sup> (1966, apud Pomianoski, 2005) sugerem que a liberação de nutrientes no solo por meio da incorporação das cinzas causa, aparentemente, elevação da quantidade e da diversidade dos microrganismos terrestres, justificada pelo desenvolvimento de esporos dormentes, reativados pelo choque térmico causado pelo fogo.

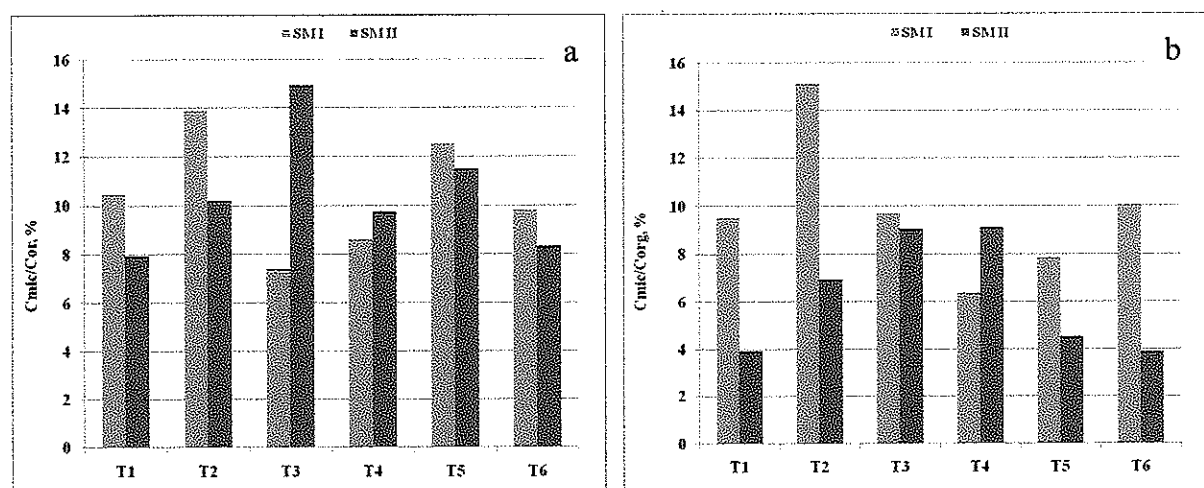
A relação  $C_{mic}/C_{org}$  apresentou maior valor no SM I, exceto para os tratamentos T3 e T4, na época chuvosa, indicando maior imobilização de Corg na BMS. Provavelmente isto ocorreu devido ao aumento da atividade microbiana, causado por melhores condições de aeração e alternância mais frequentes de umedecimento e secagem do solo (STEVENSON, 1982). Já para os tratamentos T3 e T4, seria devido ao aumento da quantidade de resíduos adicionados no solo, tanto da parte aérea como do sistema radicular, aumentando a dinâmica

<sup>2</sup> SUSSMAN, A. S.; HALVORSON, H. O. Spores. **Their Dormancy and Germination**. Harper and Row. New York, 1966.

da MO, conforme afirmativa de Marchiori Júnior e Melo (1999). Segundo Stevenson (1982), a redução do aporte de C no solo não se deve unicamente à redução da quantidade de resíduos adicionados, mas, também, ao aumento da atividade microbiana, causado por melhores condições de aeração, temperaturas mais elevadas e alternância mais frequente de umedecimento e secagem do solo, pelo uso contínuo de implementos, pela sucessão contínua, pelas queimadas e pelas perdas causadas pela própria erosão.

A contribuição do Cmic para o Corg variou de 7,41 a 14,92%, no período chuvoso (Figura 10a), e de 3,86 a 15,10, no período seco (Figura 10b). A relação Cmic/Corg do solo, encontrada no presente trabalho, em ambas as épocas, foi superior às encontradas em vários estudos (CERRI; VOLKOFF; EDUARDO, 1985; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 1999; SOUZA et al., 2006; FONSECA et al., 2007; SILVA; SENA; SILVA JÚNIOR, 2007; MELO, 2007). No entanto, Vasconcelos et al. (2005) encontraram valores variando de 2,2 a 18%, em diferentes idades de vegetação secundária da Amazônia Oriental, e Lopes et al. (2005) encontraram variação de 8 a 20%, em sistema agroflorestral, na mesma área do presente estudo. Por outro lado, Basante et al. (2001) encontraram valores que variaram de 3 a 11% em floresta nativa e 3,2 a 10 em solos sob plantio de eucalipto na Amazônia.

Os resultados apresentados no presente estudo, provavelmente, reflitam processos importantes relacionados às adições e transformações da MO e, também, à eficiência de conversão do Corg em Cmic, já que este teor indica que há uma maior eficiência nessa conversão, revelando maior condição de equilíbrio no sistema (SPARLING, 1992; XAVIER; MAIA; OLIVEIRA, 2006; FONSECA et al., 2007).



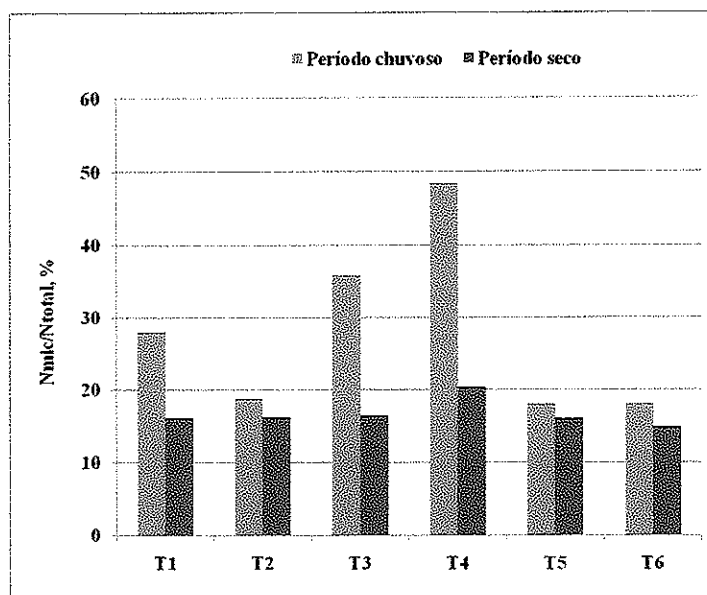
**Figura 10** - Relação Cmic/Corg em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

Nota-se a mesma tendência de valores elevados para a relação  $C_{mic}/C_{org}$  na época seca (Figura 10b), sendo que o SM I continuou com os maiores valores. Portanto, para este sistema de manejo, nas duas épocas avaliadas, a dinâmica da MO é mais intensa quando comparada com o SM II, estabelecendo maior diversidade de microrganismos decompositores com maior eficiência na utilização do substrato, resultando, assim, numa maior relação  $C_{mic}/C_{org}$ , como sugerido por Insam (1990).

Balota et al. (1998) citam que maiores ou menores valores da relação  $C_{mic}/C_{org}$  indicam tendência de acúmulo ou perda de C do solo, respectivamente. Sendo assim, mudanças nos valores refletem o padrão de entrada ou saída de MO, a eficiência da conversão do C microbiano, as perdas do C do solo e a estabilização do C orgânico pela fração mineral do solo.

Os maiores valores da relação  $N_{mic}/N_{total}$  do solo foram observados para os tratamentos T3 e T4 no período chuvoso (Figura 11), valores que contrastam com a literatura por serem elevados, e que devem ser atribuídos aos altos valores encontrados de  $N_{mic}$  neste trabalho (Figura 8). Bittencourt et al. (2006), avaliando o  $N_{mic}$  em Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes sistemas de uso: mata de cerrado, área de cultivo de grãos e pastagem natural de Redenção - Pará, encontraram valores de 17,8% para a relação  $N_{mic}/N_{total}$ , na estação chuvosa, em pastagem natural. Já Fernandes, Fernandes, Crispim (2007) encontraram valores que variaram de 4 a 15% da relação  $N_{mic}/N_{total}$  na região central do Pantanal. Desse modo, a BMS passa a ser um reservatório de N do solo. É importante destacar a maior eficiência na imobilização do N no tratamento triturado (T3 e T4) com e sem uso de fertilizante (Figura 11).

Aos altos valores desta relação se atribui provavelmente, a não compatibilidade da metodologia aplicada, para este estudo, e por este motivo, não consideramos como um bom indicador de qualidade do solo.



**Figura 11** - Relação N da biomassa microbiana e N total do solo ( $N_{mic}/N_{total}$ ) em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso e seco, em Igarapé-Açu, PA.

Na época seca, os valores da relação  $N_{mic}/N_{total}$ , foram menores que na época chuvosa (Figura 11). Segundo De Polli e Guerra (1999), essa relação aumenta em solos com MO de melhor qualidade nutricional, tornando a BMS capaz de utilizar grande parte do  $N_{total}$ .

### 2.3.1 Atributos químicos do solo

#### 2.3.2.1 Carbono orgânico, Nitrogênio Total e Relação Corg/ $N_{total}$

O carbono orgânico (Corg), nitrogênio total ( $N_{total}$ ) e a relação Corg/ $N_{total}$  foram influenciados pelo sistema de manejo, tratamentos, período de coleta e pela interação entre estes fatores (Tabela 3).

Os teores de Corg observados variaram de 5,35 a 12,98 g Corg  $kg^{-1}$  (Figura 12). Segundo Tomé Junior (1997), estes valores são considerados baixos, em função, provavelmente, da maior taxa de decomposição da MO.

Nos dois sistemas de manejo e nas épocas de coleta, observa-se uma grande variação no período chuvoso entre os tratamentos do SM I, comparando com seus respectivos pares do SM II (Figura 12a). No período chuvoso, inicialmente houve uma elevação do Corg, enquanto que no período seco (Figura 12b) houve uma tendência de redução entre os mesmos tratamentos nos dois sistemas, justificando o que foi postulado por Brady (1989), o qual

afirma que, tão logo cesse o processo de decomposição, os teores de Corg, N e C tendem a voltar aos parâmetros iniciais.

**Tabela 3** - Resumo da análise de variância dos dados de carbono orgânico (Corg), nitrogênio total do solo (Ntotal) e relação Corg/Ntotal, de um Latossolo Amarelo, na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, em Igarapé-Açu, PA.

| CV                                 | Atributos químicos          |                      |                      |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
|                                    | F calculado / significância |                      |                      |
|                                    | Corg                        | Ntotal               | Corg/Ntotal          |
| A (Sistema de Manejo) <sup>1</sup> | 119,2859**                  | 26,9526**            | 0,6266 <sup>ns</sup> |
| B (TRAT) <sup>2</sup>              | 4,7096**                    | 4,7472**             | 9,2066**             |
| C (PERÍODO) <sup>3</sup>           | 5,1352*                     | 19,2064**            | 0,6790 <sup>ns</sup> |
| A X B <sup>4</sup>                 | 3,1867*                     | 2,4252 <sup>ns</sup> | 2,1231 <sup>ns</sup> |
| A X C <sup>5</sup>                 | 22,7497**                   | 0,6822 <sup>ns</sup> | 9,9057*              |
| A X B X C <sup>6</sup>             | 5,2725**                    | 0,1892 <sup>ns</sup> | 1,3705 <sup>ns</sup> |

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Sistemas de manejo I e II.

<sup>2</sup> Tratamentos.

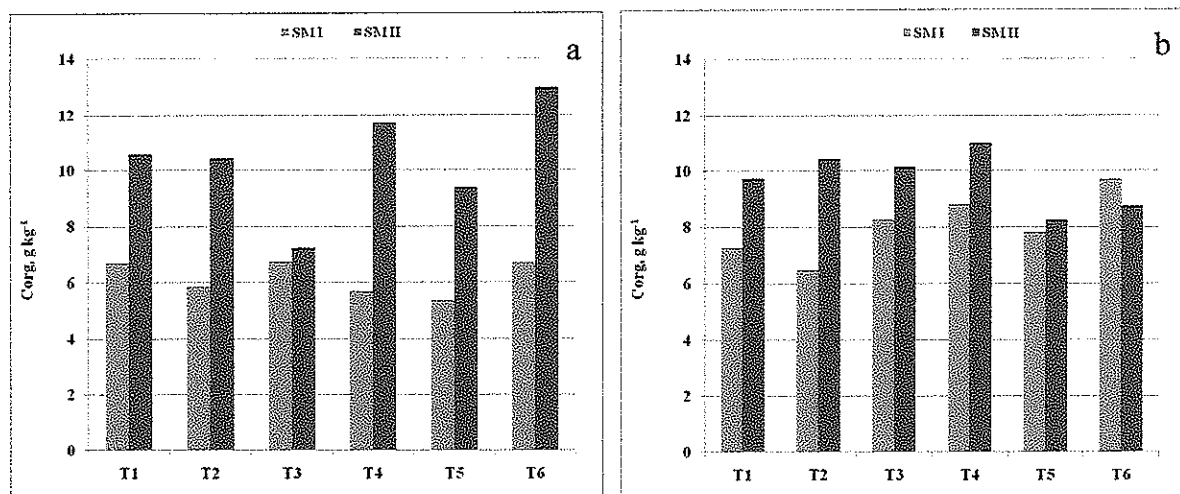
<sup>3</sup> Período chuvoso e seco.

<sup>4</sup> Interação entre sistema de manejo e tratamentos.

<sup>5</sup> Interação entre sistema de manejo e épocas.

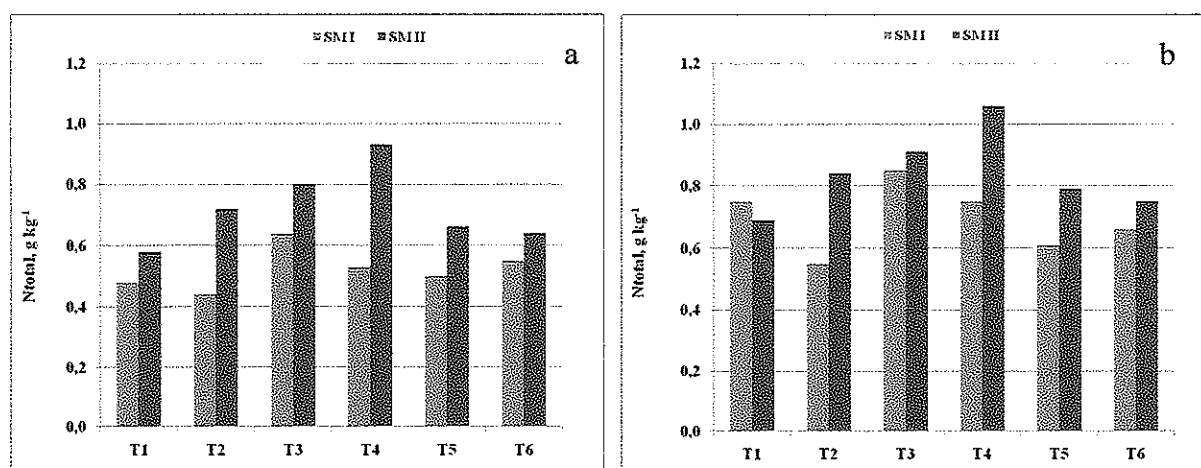
<sup>6</sup> Interação entre sistema de manejo, tratamentos e épocas.

Os tratamentos que apresentaram os maiores valores de Corg foram T4 e T6, e os menores valores ocorreram nos tratamentos T3 e T5 (Figura 12). Os menores valores nos tratamentos T3 e T5 podem ter sido devido à adição de N através da adubação, que acelera o processo de decomposição da MO, bem como a sua perda, seja por infiltração e/ou diluição no perfil, seja por lixiviação. Nos tratamentos T4 e T6, pela escassez de N no solo, ocorreu uma menor decomposição da MO, quando comparados aos tratamentos que receberam N, justificando a maior presença de Corg nestes tratamentos. A superioridade do T6 em relação ao T4 se deve ao fato de o material vegetal triturado ter sido incorporado à fração do solo analisada, proporcionando condições favoráveis para sua decomposição, fato que não ocorreu no tratamento T4, cujo material triturado ficou depositado sobre a superfície do solo.



**Figura 12** - Carbono orgânico do solo em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

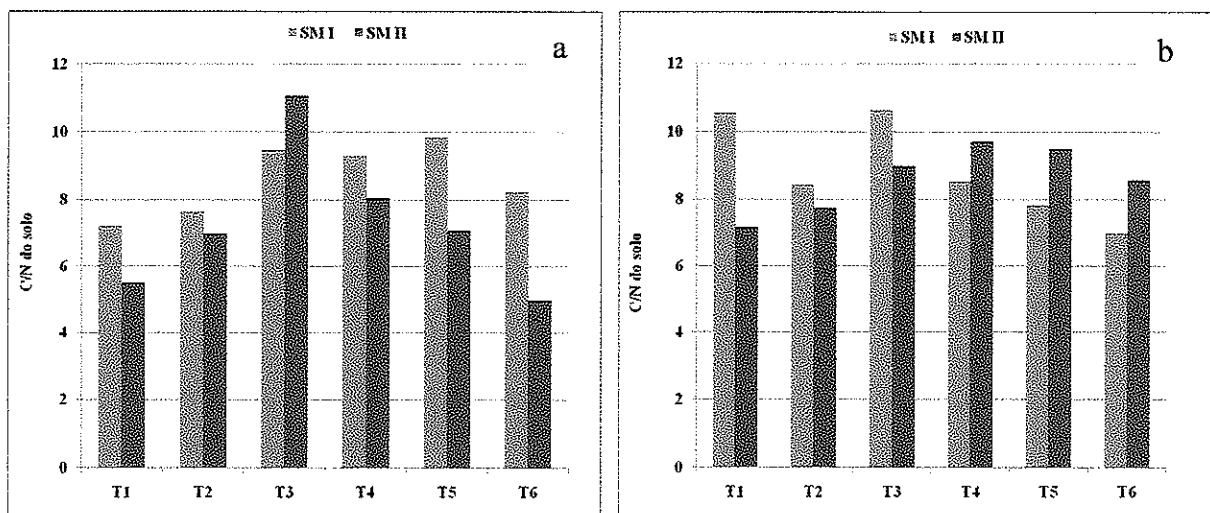
Os teores de Ntotal diferiram entre si nos sistemas de manejo avaliados, tratamentos e épocas (Tabela 3). Os valores de Ntotal foram maiores no SM II, nas duas épocas de coletas (Figura 13). Nos tratamentos T3 e T4 ocorreram maiores valores, o que pode ser devido à deposição do material vegetal triturado sobre a superfície do solo. Na coleta efetuada na estação chuvosa (abril), foram observados menores valores de Ntotal, que variaram de 0,44 a 0,93 g kg<sup>-1</sup> (Figura 13). Este resultado é corroborado por Bittencourt et al. (2006), que, trabalhando com diferentes ecossistemas em Redenção - PA, observaram menor quantidade de N mineral na estação chuvosa, o que foi atribuído à lixiviação a que este nutriente é submetido e/ou a uma maior mineralização com o aumento da umidade.



**Figura 13** - Nitrogênio total do solo (Ntotal) em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

Os maiores teores de Ntotal encontrados, na época seca, neste trabalho, deve-se, provavelmente, à menor imobilização de N por parte dos microrganismos, coincidindo com menores teores de Nmic. O maior valor de Ntotal ( $1,06 \text{ g kg}^{-1}$ ) foi encontrado no tratamento T4, no SM II, na época seca (Figura 13b). Valor mais alto e muito próximo ao obtido neste estudo ( $1,04 \text{ g kg}^{-1}$ ) foi encontrado por Bittencourt et al. (2006), em um Argissolo sob diferentes ecossistemas em Redenção - PA, na estação seca.

Quanto mais elevado o teor de N do solo, mais estreita é a relação C/N e maior será a disponibilidade dos compostos nitrogenados para a flora microbiana; logo, maior será a sua multiplicação e a sua atividade (TIBAU, 1978). A relação C/N total do solo não diferiu entre os sistemas de manejo e apresentou valores abaixo de 12 (Figura 14), indicando que predomina o processo de mineralização, que favorece as altas taxas de decomposição e disponibilidade de nutrientes para o solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). A relação C/N permite avaliar o grau de atividade de organismos no solo, admitindo-se que, para os valores entre 17 ou menos, há mineralização, e para valores superiores a 33 há imobilização do N inorgânico no solo e, portanto, baixa atividade de organismos.



**Figura 14** - Relação C/N do solo em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

Para o sistema de manejo menos intensivo (SM II), no período com maior precipitação, foi observada a maior relação C/N (11,06) no tratamento T3, em que o material vegetal foi triturado e deixado na superfície do solo e recebeu adubação NPK (Figura 14a). O aporte de carbono orgânico proveniente da vegetação triturada com cobertura morta permite

maior adição de substâncias orgânicas, aumentando rapidamente a atividade microbiana, o que promove a mineralização da MO.

#### 2.3.2.2 Acidez e disponibilidade de macronutrientes

O pH, fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V) e saturação por alumínio (m) do solo foram influenciados pelo sistema de manejo, tratamentos, período de coleta e pela interação entre estes fatores (Tabela 4).

**Tabela 4** - Resumo da análise de variância das variáveis do solo: pH, fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V) e saturação por alumínio (m) de um Latossolo Amarelo, na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, em Igarapé-Açu, PA.

| Atributos químicos          |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| F calculado / significância |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
| CV                          | pH                  | P                   | K                   | Na                  | Ca                  | Mg                  | Al                  | H + Al              | SB                  | CTCe                | CTC                 | V                   | m                   |
| A (SM) <sup>1</sup>         | 6,300*              | 9,474*              | 12,401**            | 0,155 <sup>ns</sup> | 5,889*              | 12,512**            | 0,221 <sup>ns</sup> | 16,578**            | 7,944*              | 11,919**            | 9,897*              | 0,287 <sup>ns</sup> | 0,501 <sup>ns</sup> |
| B (TRAT) <sup>2</sup>       | 10,659**            | 7,437**             | 1,014*              | 1,270 <sup>ns</sup> | 4,056*              | 2,445*              | 11,533**            | 1,342 <sup>ns</sup> | 3,704*              | 2,685 <sup>ns</sup> | 0,556 <sup>ns</sup> | 3,696*              | 4,484*              |
| C (PERÍO) <sup>3</sup>      | 100,814**           | 2,542 <sup>ns</sup> | 24,576**            | 17,156**            | 1,351 <sup>ns</sup> | 0,500 <sup>ns</sup> | 10,833*             | 48,485**            | 0,310 <sup>ns</sup> | 0,002 <sup>ns</sup> | 10,374*             | 20,918**            | 1,693 <sup>ns</sup> |
| A X B <sup>4</sup>          | 0,912 <sup>ns</sup> | 4,249*              | 0,466 <sup>ns</sup> | 0,987 <sup>ns</sup> | 2,196 <sup>ns</sup> | 2,608 <sup>ns</sup> | 5,506**             | 1,086 <sup>ns</sup> | 2,356 <sup>ns</sup> | 2,189 <sup>ns</sup> | 1,028 <sup>ns</sup> | 1,295 <sup>ns</sup> | 2,342 <sup>ns</sup> |
| A X C <sup>5</sup>          | 6,837*              | 1,002 <sup>ns</sup> | 7,669*              | 0,294 <sup>ns</sup> | 2,595 <sup>ns</sup> | 0,255 <sup>ns</sup> | 3,900 <sup>ns</sup> | 0,526 <sup>ns</sup> | 1,838 <sup>ns</sup> | 1,397 <sup>ns</sup> | 4,218 <sup>ns</sup> | 0,022 <sup>ns</sup> | 1,167 <sup>ns</sup> |
| A X B X C <sup>6</sup>      | 1,015 <sup>ns</sup> | 0,827 <sup>ns</sup> | 0,313 <sup>ns</sup> | 0,982 <sup>ns</sup> | 0,745 <sup>ns</sup> | 0,941 <sup>ns</sup> | 0,907 <sup>ns</sup> | 2,481*              | 0,791 <sup>ns</sup> | 1,061 <sup>ns</sup> | 1,287 <sup>ns</sup> | 1,166 <sup>ns</sup> | 0,100 <sup>ns</sup> |

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Sistemas de manejo I e II.

<sup>2</sup> Tratamentos.

<sup>3</sup> Período chuvoso e seco.

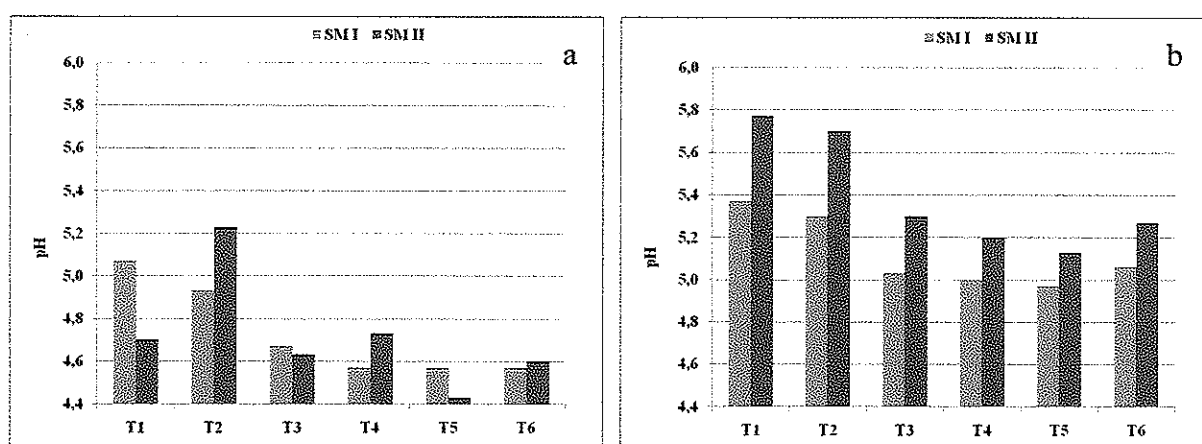
<sup>4</sup> Interação entre sistema de manejo e tratamentos.

<sup>5</sup> Interação entre sistema de manejo e épocas.

<sup>6</sup> Interação entre sistema de manejo, tratamentos e épocas.

Os valores médios de pH em água variaram entre os sistemas de manejo, os tratamentos e as épocas do ano, cujos valores ficaram na faixa de 4,43 a 5,77 (Figura 15). Segundo Tomé Jr. (1997), a acidez do solo encontrada é classificada como moderada. Com uma média de 5,0 neste trabalho, estes valores foram similares aos observados por Kato (1998) em estudo realizado nas mesmas áreas (Tabela 1). O baixo pH observado no T5 na época chuvosa deve-se, principalmente, à alta concentração de alumínio trocável (Figura 21), que causa elevada saturação por alumínio (m) (Figura 27) (TOMÉ JUNIOR, 1997). Condições de acidez similares às encontradas no presente trabalho também foram observadas por Silva, Sena e Silva Junior (2007) em Marituba – Pará, em sistemas agroflorestais e floresta secundária.

Verificou-se que todos os tratamentos nos dois sistemas de manejo apresentaram gradiente crescente de pH no período seco. As elevações de pH, no período seco, nos tratamentos T1 e T2, resultam de menor concentração de Al trocável, bem como de maior saturação por bases, como consequência da incorporação de cinzas através da queima da vegetação da capoeira. Resultados semelhantes foram constatados por Ribeiro (2006) no Nordeste paraense em sistemas agroflorestais, com queima e sem queima, pH=5,52 e pH=4,88, respectivamente, afirmando que o efeito do preparo do solo com queima foi mais eficiente no aumento do pH.



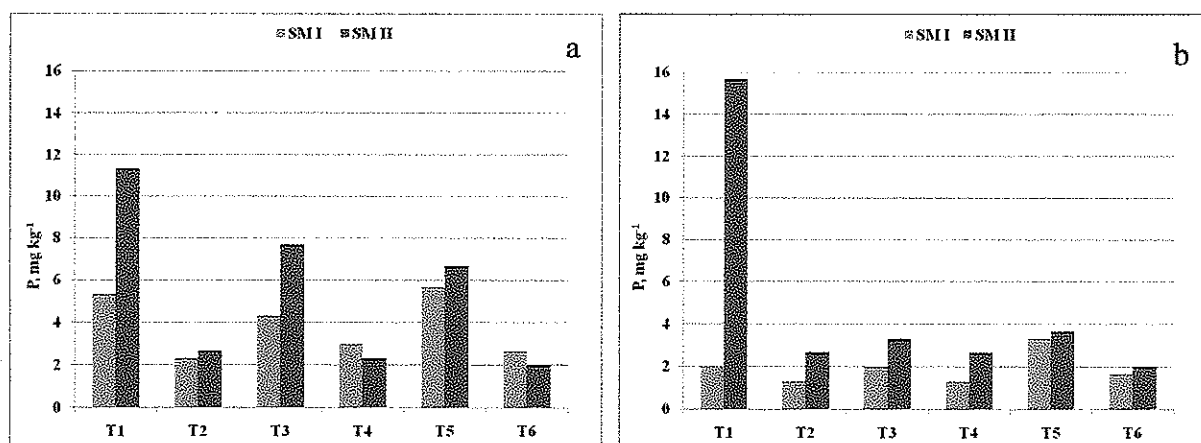
**Figura 15** - pH em água de um Latossolo Amarelo, na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

Os teores de fósforo foram influenciados pelos sistemas de manejo do solo e tratamentos, não havendo diferenças significativas quanto às épocas estudadas (Tabela 4 e

Figura 16). De modo geral, observa-se que elevados valores de P foram obtidos no SM II. Em relação aos tratamentos, o T1 apresentou superioridade deste elemento, em função provavelmente do afeito residual das cinzas, juntamente com a adubação de implantação, o que contribuiu para o aumento da sua disponibilidade, em ambas as épocas estudadas. Também observam-se nos tratamentos T3 e T5 (que receberam NPK) maiores valores de P em relação aos demais. De acordo com Coutinho (1982), o fogo acelera a mineralização da MO, provocando perda de energia, carbono, nitrogênio e enxofre para a atmosfera, e promove o acúmulo de P, K, Ca e Mg na camada superficial do solo.

Sneh Goyal, Hooda e Singh (1992) justificam que os fertilizantes minerais provocam alterações na BMS, em geral, com o aumento desta, o que promove maior atividade microbiana sobre a MO acumulada na superfície do solo, favorecendo a mineralização de seus constituintes e determinando maior disponibilidade de P (DUDA, 2000).

Os teores mais elevados de P ( $15,67 \text{ mg dm}^{-3}$ ) observados neste trabalho foram maiores que os apresentados por Silva, Silva Júnior e Melo (2006), em estudo realizado em Latossolo Amarelo, textura média, no Estado do Pará, com queima ( $9,3 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Entretanto, estes autores não fizeram uso de adubação mineral, como ocorreu no presente trabalho. Comportamento semelhante ao do presente estudo foi observado por Ribeiro (2006), que evidenciou incrementos de P em sistemas submetidos à queima.



**Figura 16** - Fósforo disponível de um Latossolo Amarelo, na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

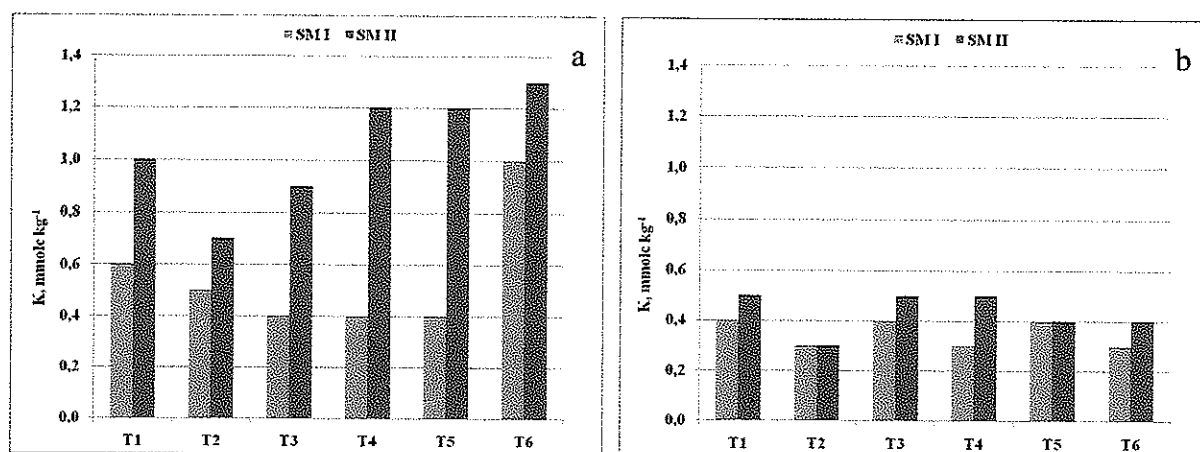
Gama (2002) observou teores de P menores do que os obtidos neste estudo, cujos valores foram de  $5,3$  e  $4,8 \text{ mg dm}^{-3}$ , nos tratamentos com queima da vegetação, com e sem NPK, respectivamente, na mesma área do presente estudo. Isto demonstra que, com os anos

de cultivo, está havendo um acúmulo de P no solo, provavelmente devido ao efeito residual da adubação.

Em geral, os maiores valores de P ocorreram no período chuvoso. Resultados corroborados por Rodrigues (2006), em estudo realizado em sistemas agroflorestais, capoeira e pastagem em Aurora do Pará. Já Sena (2006), em estudo realizado em Marituba – PA, em diferentes sistemas de manejo, encontrou valores superiores aos do presente estudo. Os níveis de P encontrados são classificados como baixos, de acordo com Raji et al. (1996), Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) e Cravo, Viégas e Brasil (2007).

Os teores de K no solo foram influenciados pelos sistemas de manejo do solo, pelos tratamentos e pelas épocas de coleta (Tabela 4, Figura 17). Os resultados para todos os tratamentos variaram entre 0,30 a 1,30 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, valores considerados baixos (RAJI et al., 1996). As maiores concentrações de K foram observadas no SM II, na época chuvosa, provavelmente devido ao efeito da adubação que ocorreu neste período. Resultados semelhantes foram observados por Silva, Sena e Silva Júnior (2007), em estudo com diferentes sistemas de uso do solo em Marituba - Pará, em que as maiores concentrações de K foram obtidas na época chuvosa.

Os resultados para o K indicam as maiores médias nos tratamentos T4, T5 e T6 no SM II (Figura 17a). Segundo Ribeiro (2006), maiores valores de K devem se confrontar com as menores concentrações de Ca e Mg, por haver concorrência com o primeiro nos sítios de troca de cátions, o que está de acordo com os resultados encontrados neste trabalho.

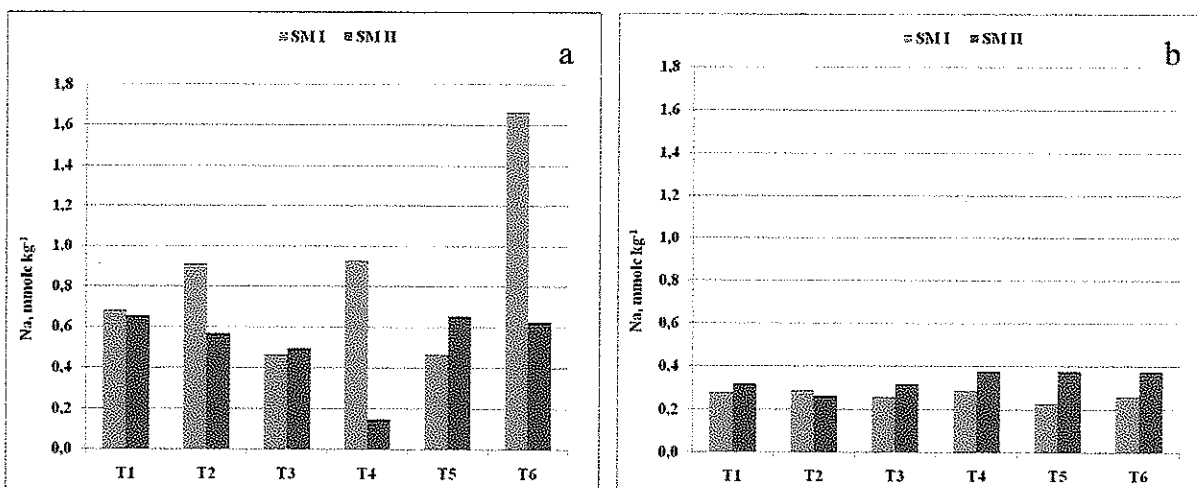


**Figura 17** - Potássio disponível de um Latossolo Amarelo, na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

Os teores de Na não foram influenciados pelos sistemas de manejo do solo e tratamentos, havendo diferenças significativas somente quanto às épocas (Tabela 4). Os teores

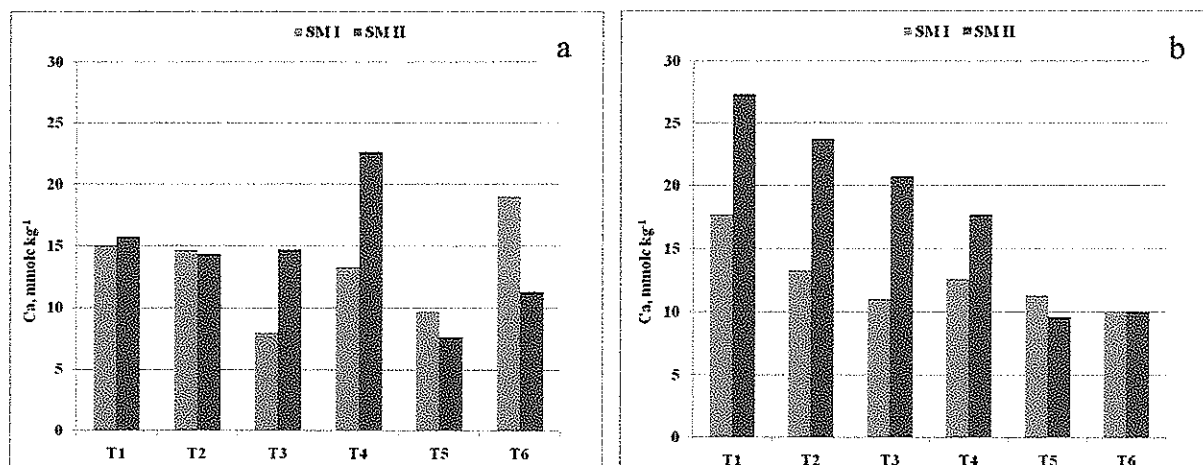
de Na no solo variaram de 0,15 a 1,67 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, sendo os maiores valores observados no SM I, na época chuvosa, nos tratamentos T2, T4 e T6 (Figura 18).

Considerando a presença do Na<sup>+</sup> no solo, este apresenta comportamento similar ao do potássio, ou seja, ocorre como cátion trocável (Na<sup>+</sup>). Esse íon é facilmente removido do solo por lixiviação e, em geral, há menos sódio total que potássio em solo de climas úmidos (RAIJ, 1991).

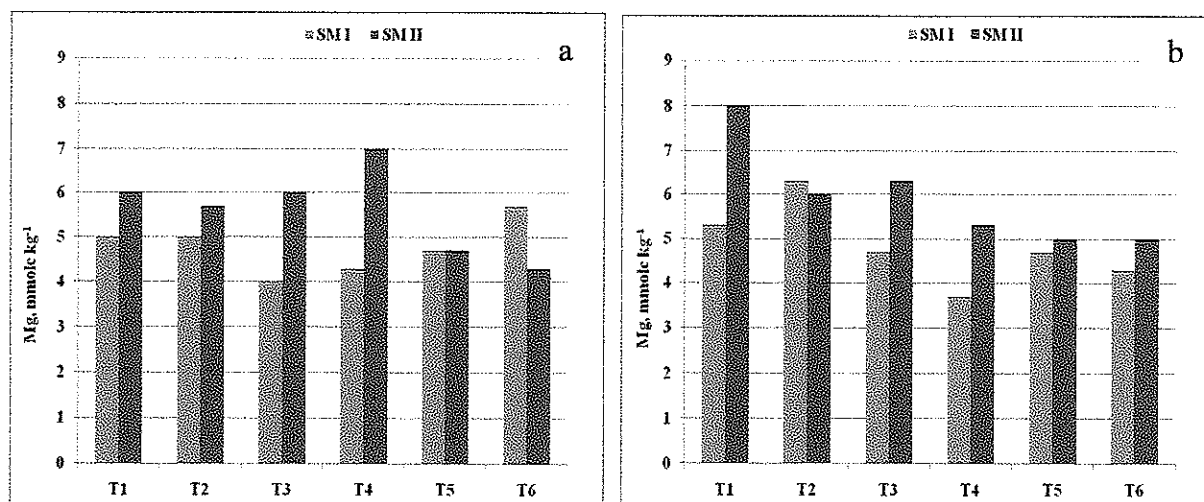


**Figura 18** - Teores de sódio de um Latossolo Amarelo, na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

Houve efeito significativo entre os sistemas de manejo e tratamentos para os teores de Ca e Mg (Tabela 4, Figuras 19 e 20). Os teores foram maiores no SM II, no tratamento T1, no período seco. Este resultado pode estar relacionado à liberação desses nutrientes no solo por meio da incorporação das cinzas, ricas em Ca e Mg, após o preparo de área com queima, aumentando o acúmulo destes nutrientes. De acordo com Ribeiro et al. (1999), os teores Ca e Mg no solo, encontrados neste trabalho, são classificados de níveis baixo a médio.

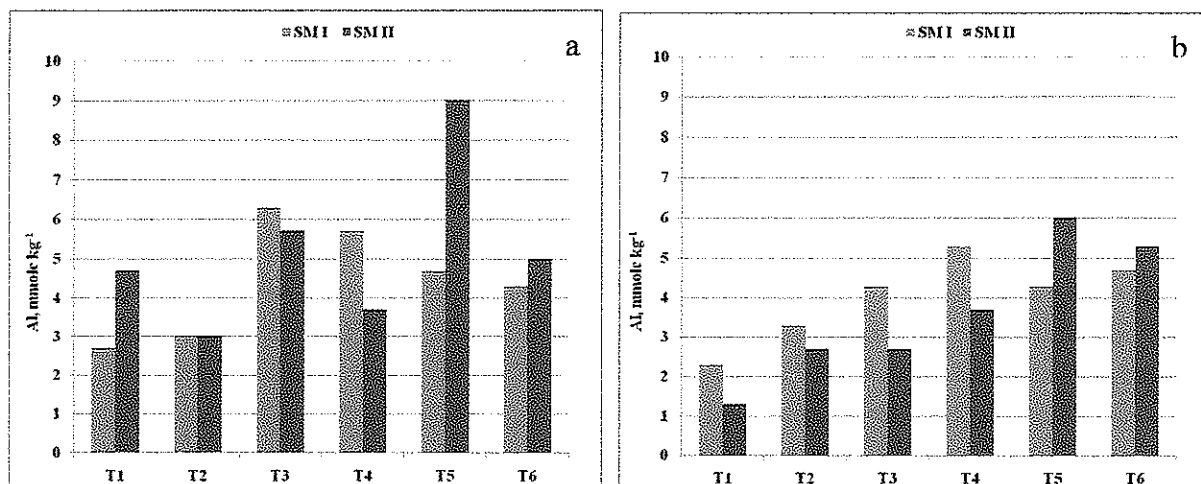


**Figura 19** - Teores de cálcio de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.



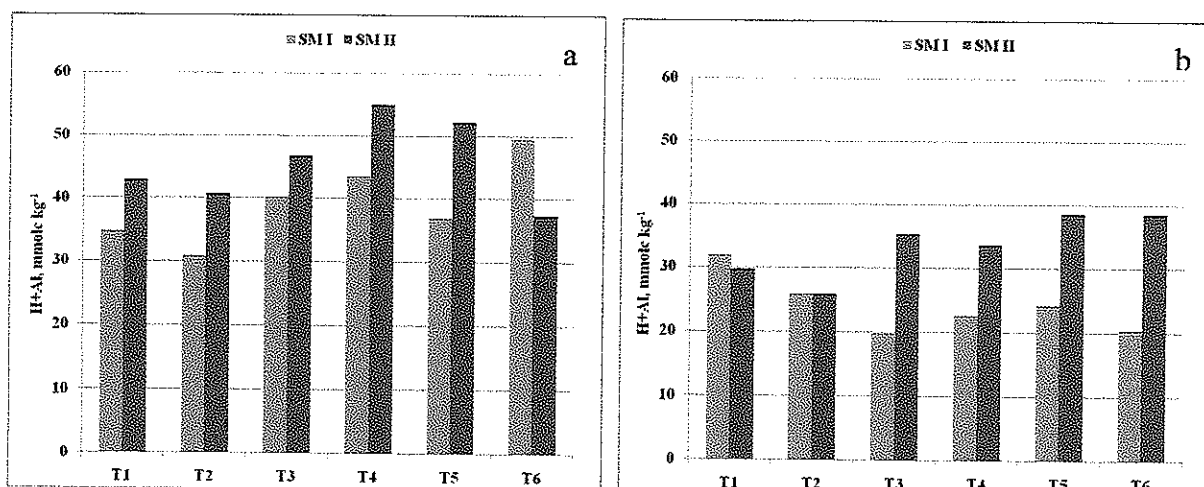
**Figura 20** - Teores de magnésio de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, nos períodos chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

O Al variou em função dos tratamentos, das épocas e da interação entre sistemas de manejo e tratamentos (Tabela 4). Os maiores teores de Al foram observados no SM II na época chuvosa, no tratamento T5 (Figura 21a). Este resultado pode está relacionado ao uso da adubação nitrogenada, que, em sua reação no solo, tende a aumentar a acidez, devido à liberação de íons H que permanecem adsorvidos nos coloides do solo, no processo de nitrificação (BRADY, 1989), e ao revolvimento do solo para incorporação dos resíduos vegetais, que provocam perda de bases, levando ao aumento do Al.



**Figura 21** - Alumínio trocável de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, nos períodos chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

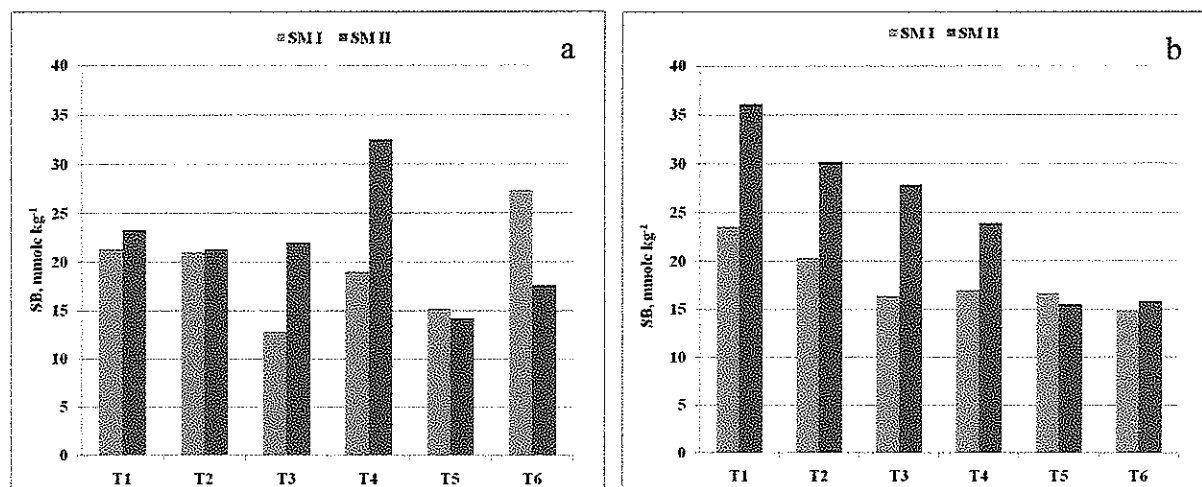
Nas amostras coletadas no mês de abril/2006, foram encontrados os maiores valores de acidez potencial, com médias variando de 30,8 a 55,0 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, no SM II (Figura 15). Os maiores valores (55,0 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e 52,3 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) foram obtidos nos tratamentos T4 e T5, respectivamente, coincidindo com os maiores valores observados para o pH (Figura 15). Diversos fatores podem estar influenciando no comportamento da acidez potencial do solo, entre os quais: teor de MO, concentração de outros íons e a umidade do solo. Este último parece ser o mais preponderante na influência dos resultados. Provavelmente, o maior teor de umidade existente no solo coletado em abril/2006, em decorrência da maior intensidade de chuvas, pode ter favorecido a ação dos microrganismos que atuam na decomposição da MO, aumentando a velocidade do processo de liberação (mineralização) dos seus constituintes, inclusive do hidrogênio ligado por covalência a radicais orgânicos, com o consequente aumento da acidez potencial do solo, segundo afirmam Malavolta (1976) e Mello et al. (1985).



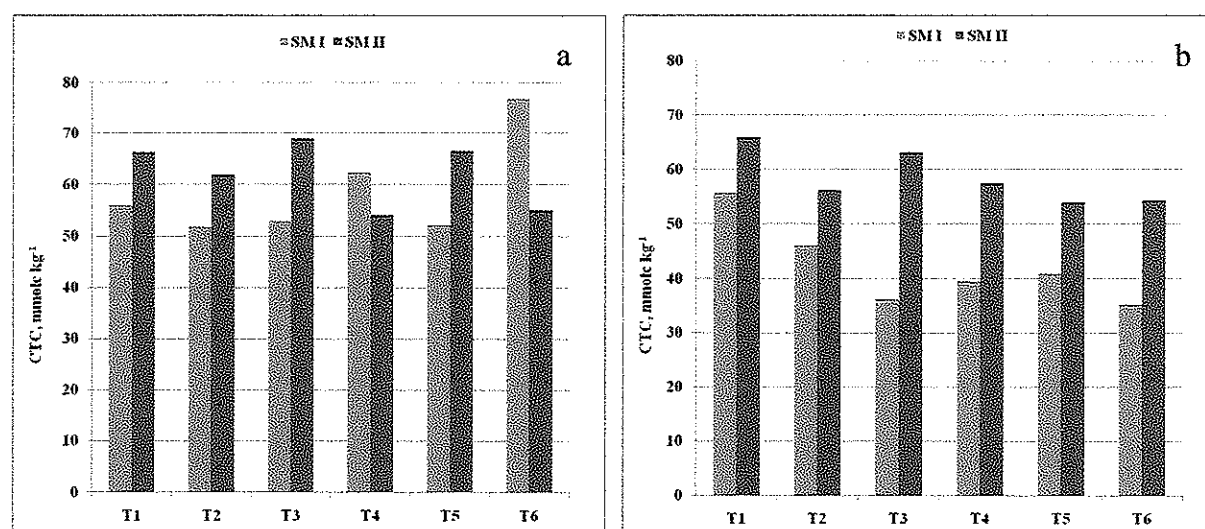
**Figura 22** - Acidez potencial de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

A acidez potencial foi menor no SM I, no período seco, para os tratamentos T3, T4, T5 e T6, e os valores obtidos variaram de 19,8 a 38,5 mmolc kg<sup>-1</sup> (Figura 22). A menor acidez potencial entre os sistemas de manejo na época seca se deve, possivelmente, à menor reserva de H<sup>+</sup> (resultado de menor lixiviação e menor extração de cátions básicos), à menor decomposição da MO e à menor atividade heterotrófica de raízes e microrganismos, o que ampliariam as condições desfavoráveis aos microrganismos (SIQUEIRA et al., 1994).

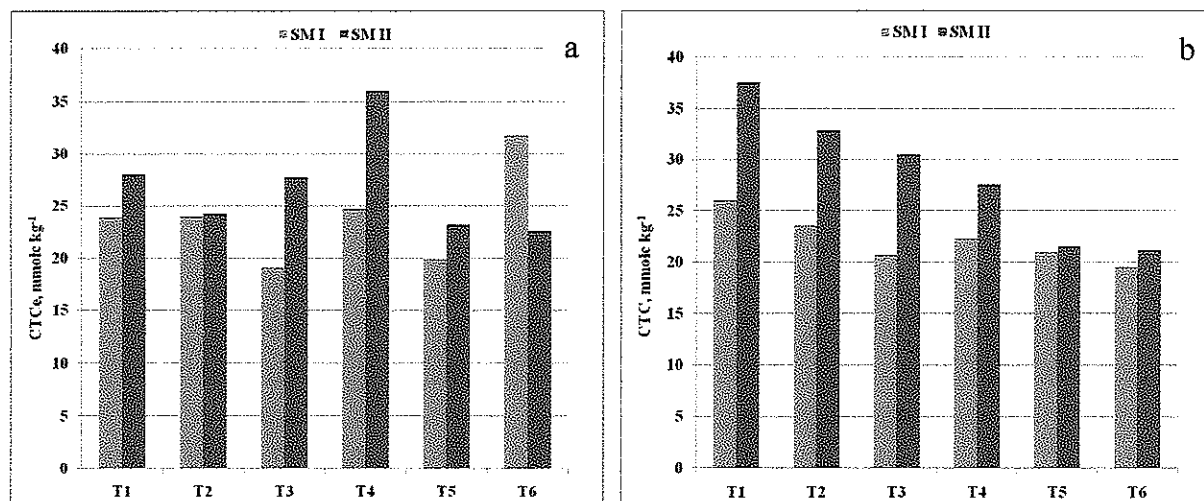
A quantidade de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC) e a capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) (Figuras 23, 24 e 25) apresentaram valores que variaram de baixos a muito baixos, segundo Ribeiro et al. (1999), que refletem a alta acidez juntamente com a baixa fertilidade natural. Para SB e CTC foram observados maiores valores no SM II, na época seca, para os tratamentos T1, T2, T3 e T4 e na época chuvosa no T4.



**Figura 23** - Soma de bases (SB) de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.



**Figura 24** - Capacidade de troca de cátions total (CTC) de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

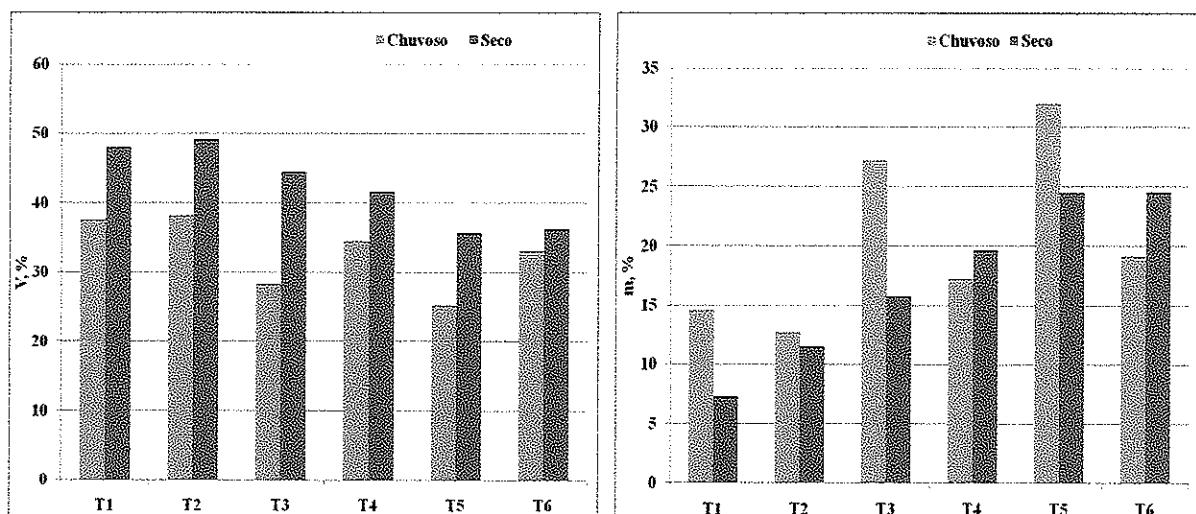


**Figura 25** - Capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

Os valores de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) foram influenciados somente para tratamentos e épocas (Tabela 4). As oscilações dos valores de saturação por bases nos tratamentos T1 e T2, entre maiores, na época seca, e menores, na chuvosa (Figura 26), refletem a ação de cátions básicos oriundos das cinzas da vegetação queimada, que, pelo fornecimento de Ca e Mg, elevação do pH do solo (Figura 15) e insolubilização de Al na forma de hidróxidos (BRADY, 1989), aumenta a saturação por bases e diminui a saturação por alumínio.

Para a saturação por alumínio (m) o maior valor (32%) foi observado no tratamento T5, o qual é considerado alto (32-50), sendo prejudicial à maioria das culturas (TOMÉ JÚNIOR, 1997).

Os resultados da avaliação da saturação por bases e alumínio tenderam a manter e/ou aumentar os níveis de fertilidade em relação ao início do experimento, não sendo expressivo o uso de fertilizantes. Os resultados deste trabalho foram semelhantes aos obtidos por Gama (2002), em estudo feito nas mesmas áreas, exceto para o Al trocável, para o qual, neste estudo, foram observados maiores valores, provavelmente devido ao tempo de uso do solo.



**Figura 26** - Saturação por bases (V%) e Saturação por alumínio (m%) de um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a diferentes tratamentos em dois períodos, chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

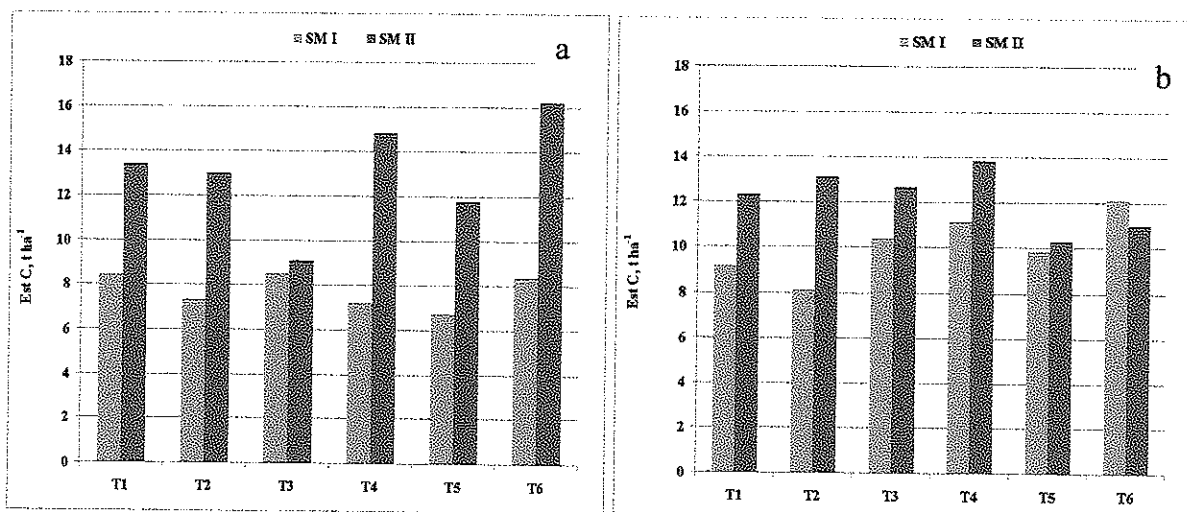
A partir dos percentuais de saturação por base e alumínio, são definidos os caracteres eutrófico, distrófico e alumínico do solo, o que proporciona excelente indicativo das suas condições gerais de fertilidade (EMBRAPA, 1999). Em geral, os resultados observados para os solos da área de estudo mostraram valores de saturação por base menores que 50%, caracterizando-os como solos distróficos, que são solos de menor fertilidade, não apresentando caráter alumínico, que são solos que apresentam saturação por alumínio  $\geq 50\%$  e alumínio extraível  $\geq 4,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  (EMBRAPA, 1999).

Vários estudos (KATO et al., 1999; METZGER, 2000; DENICH et al., 2004; RIBEIRO, 2006; SAMPAIO; KATO; NASCIMENTO-e- SILVA, 2008) têm demonstrado que a utilização do sistema de corte e queima da vegetação proporciona melhorias no nível de fertilidade do solo, principalmente devido aos aumentos de pH, de saturação por bases e de P disponível e a reduções de Al trocável. No entanto, também tem sido demonstrado que essa melhoria da fertilidade do solo é de duração relativamente curta, o que leva à necessidade da utilização de pousios e/ou fertilizantes.

### 2.3.3 Estoque de carbono

O estoque de C orgânico (EstC) foi maior no SM II, notadamente nos tratamentos T4 e T6 sem uso de fertilizante, mostrando valores de  $14,87 \text{ t ha}^{-1}$  e  $16,23 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente (Figura 27). O EstC foi alterado significativamente pelos sistemas de manejo. O EstC

acumulado na camada de 0-0,1 m foi menor do que os apresentados por Corazza et al. (1999) para os sistemas de cerrado nativo na profundidade de 0-0,2m.



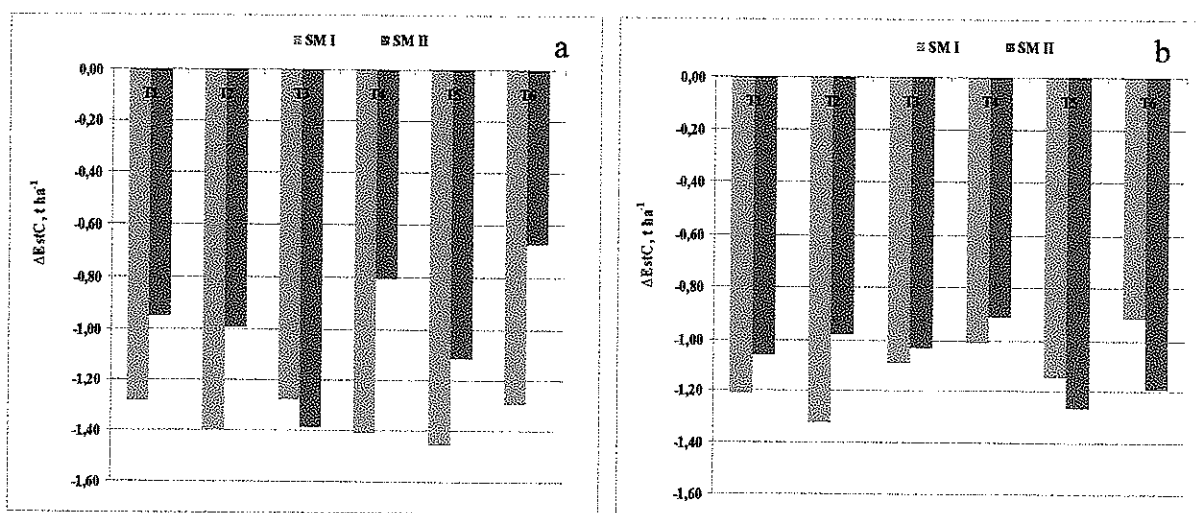
**Figura 27** - Estoque de carbono em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, nos períodos chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

Vários fatores, tais como clima, solo e condições socioeconômicas, interferem nos processos de troca de C (ALBRECHT; KANDJI, 2003). As mudanças do Corg, em solos agrícolas de diversas regiões brasileiras, demonstraram que as suas perdas médias sob sistemas intensivos e não intensivos são pequenas em comparação com resultados obtidos em ecossistemas temperados. Isso pode ser em razão dos baixos estoques de Corg na superfície, quando comparados com os solos de regiões temperadas, e da forte interação dos óxidos de Fe e Al da fração argila com a MO (ZINN; LAL; RESCK, 2005). Isto pode ser verdadeiro também na zona bragantina, local submetido à exploração agrícola há várias décadas.

Melo (1991), estudando o EstC em solos do Acre, sob pastagem, encontrou mudança no uso da terra que alterou, de maneira distinta, em até um metro de profundidade, os estoques de carbono e a dinâmica da MO em Argissolos (bem drenados) e Luvisolos (mal drenados). As pastagens sobre Luvisolos apresentaram maior EstC (média de 8,4 kg m<sup>-2</sup> até 1 m de profundidade). O inverso ocorreu com pastagens sobre Argissolos, que apresentaram menor estoque (média de 6,4 kg m<sup>-2</sup> até 1 m de profundidade) e grande proporção de C da pastagem (> 70 % na camada 0-5 cm da pastagem de 20 anos). A principal razão para este resultado, segundo o autor, é a maior taxa de decomposição da MO nestes solos, devido aos constantes ciclos de seca e umedecimento. Estes ciclos estão associados à interação entre o regime pluviométrico e as características físicas (principalmente estrutura) incipientes destes

solos, que fazem com que ocorra um lençol freático suspenso, o qual oscila no perfil do solo, podendo chegar até a superfície deste. No caso de Igarapé-Açu, este comportamento pode ser explicado de modo semelhante, porém maiores estudos são necessários.

A variação do estoque de carbono ( $\Delta \text{EstC}$ ) em relação à vegetação secundária (VS) permitiu avaliar que os sistemas SMI e SMII estão desempenhando papel de emissores de C, quando comparado com a VS, apresentando-se com valores negativos (Figura 28) (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000).



**Figura 28** - Variação do estoque de carbono nos sistemas em relação ao controle em um Latossolo Amarelo na profundidade 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, nos períodos chuvoso (a) e seco (b), em Igarapé-Açu, PA.

Silva Júnior (2007) observa, em estudo na área de Itupiranga – Pará, que as maiores mudanças no conteúdo de C ocorrem na camada superior do solo, havendo tendência de aumento no conteúdo de C, com o aumento da idade das pastagens. Nas camadas subsuperficiais, o conteúdo de C mostra-se estável entre os tipos de cobertura vegetal avaliados. A entrada de C é maior na fração mais grossa do que nas mais finas. Apesar de os maiores conteúdos de C terem ocorrido na fração argila, as maiores concentrações de C são verificadas na fração silte, independentemente do tipo de cobertura vegetal. Esses resultados sugerem que uma grande quantidade de MO encontra-se protegida em microagregados bastante estáveis, evidenciando a forte correlação existente entre a argila, a agregação e a MO. A textura média do solo em Igarapé-Açu, principalmente no sistema de trituração sem incorporação, pode estar protegendo melhor as partículas do solo e contribuindo para o acúmulo de C no sistema.

Moreira e Costa (2004), estudando o reflorestamento de clareiras com diferentes idades na Amazônia, verificaram que o reflorestamento das áreas de clareira aumenta significativamente o teor de MO e o conteúdo da BMS, a partir do quarto ano de idade, e que o método de reflorestamento utilizado necessita de um aporte inicial do conteúdo de C, que pode ser suprido com a utilização de gramíneas ou leguminosas forrageiras antes do plantio definitivo das espécies nativas. No caso do presente estudo, após o pousio de três anos, houve um acúmulo de material vegetal; após este período, foi realizado o preparo de área onde o material triturado foi deixado sob a superfície, ocasionando ambiente favorável à atividade dos microrganismos e do estoque de C. No tratamento com trituração da vegetação o solo estava mais úmido e tinha mais atividade de pedofauna, como as minhocas, do que nos demais tratamentos.

#### **2.3.4 Relações entre qualidade de solo e o ciclo das culturas**

A análise de componentes principais (ACP) serviu para agrupar indivíduos com características semelhantes e estudar suas correlações (Tabela 5). Os gráficos de ordenação possibilitaram visualizações frequentes de padrões, representando uma proporção significativa da variabilidade dentro dos dados (KOVACH, 1995).

A ACP deu origem a 4 eixos, em que a importância recai sobre o eixo 1, que explica 29,74% da informação de partida; o eixo 2 (23,54%), o eixo 3 (13,24%) e o eixo 4 (8,22%). Devido à baixa variância, os fatores três e quatro não serão discutidos. A ACP permite sequenciá-los no que diz respeito às duas vertentes mais correlacionáveis entre si. Também, como referido antes, as coordenadas das variáveis num eixo são os coeficientes de correlação das variáveis com o eixo. As coordenadas das variáveis nos quatro eixos encontram-se na Tabela 5, sob as características físicas, químicas e biológicas em dois sistemas de manejo da terra.

**Tabela 5** - Representação da matriz de dados decomposta em 4 eixos, entre características físicas, químicas e biológicas, sob dois sistemas de manejo da terra.

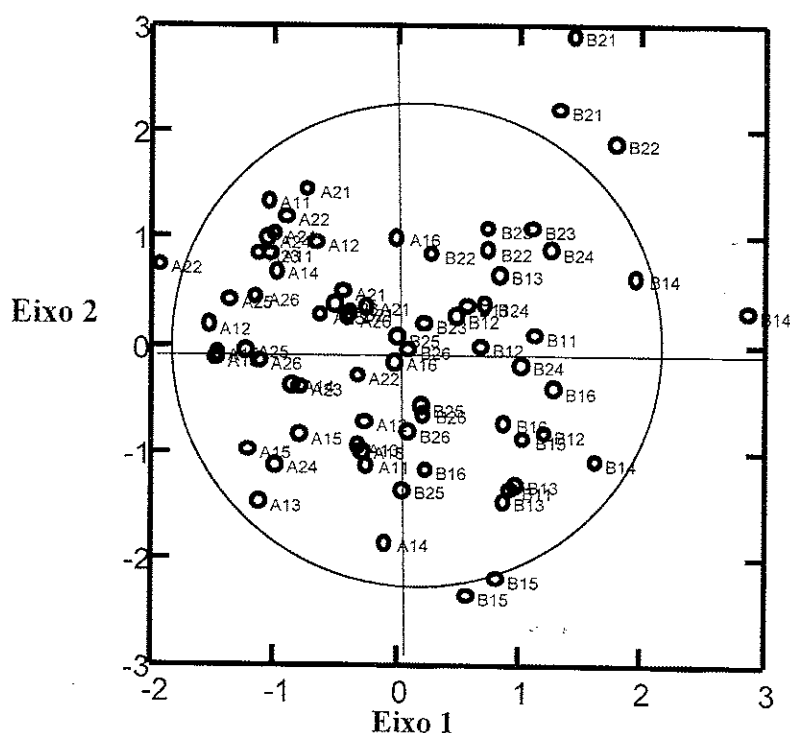
| Variável           | Componentes Principais |        |        |        |
|--------------------|------------------------|--------|--------|--------|
|                    | 1                      | 2      | 3      | 4      |
| Corg               | 0,667                  | 0,128  | 0,560  | -0,022 |
| Cmic               | 0,321                  | -0,230 | 0,226  | 0,314  |
| Ntotal             | 0,507                  | 0,195  | 0,385  | 0,429  |
| Nmic               | 0,442                  | -0,092 | -0,261 | 0,708  |
| MO                 | 0,667                  | 0,128  | 0,560  | -0,022 |
| pH                 | 0,062                  | 0,767  | 0,245  | -0,199 |
| P                  | 0,263                  | 0,168  | -0,353 | -0,602 |
| H+AL               | 0,505                  | -0,581 | -0,555 | 0,038  |
| SB                 | 0,523                  | 0,755  | -0,362 | 0,017  |
| CTCe               | 0,629                  | 0,600  | -0,403 | 0,005  |
| T                  | 0,702                  | -0,066 | -0,656 | 0,041  |
| V                  | 0,002                  | 0,946  | 0,135  | 0,041  |
| M                  | -0,159                 | -0,845 | 0,180  | -0,081 |
| AG                 | -0,839                 | 0,313  | -0,180 | 0,247  |
| AF                 | 0,679                  | -0,278 | 0,215  | -0,361 |
| SILTE              | 0,794                  | -0,176 | 0,097  | -0,002 |
| ARGILA             | 0,548                  | -0,408 | 0,031  | -0,090 |
| Variância (%)      | 29,741                 | 23,537 | 13,236 | 8,219  |
| Variância relativa | 5,056                  | 4,001  | 2,250  | 1,397  |

Cruzando o eixo 1 e o eixo 2, obtém-se a Figura 30, cuja interpretação é imediata: o eixo 1 é um eixo de escala que, explicado pelas 24 variáveis do solo, ordena os dois sistemas de manejo da terra em relação aos tratamentos e à sua sazonalidade. Essa figura está representada com aproximadamente 30% de variação entre os fatores 1 e 2. Observa-se que o sistema de manejo menos intensivo (B) é o que mais se afasta da vertente, apresentando melhores resultados para o fósforo, soma de bases, saturação de bases, e, também, menores valores de saturação por alumínio, em comparação às demais variáveis. Para o preparo de área com queima do material vegetal na época mais chuvosa (B21, B22), foram observados os maiores valores.

Onde se vê A11, denomina-se de SM I, época chuvosa e T1; A21, SM I, época seca e T1; A12, SM I, época chuvosa, T2; e assim sucessivamente. Para o SM II chamou-se de B, para B11, SM II, época chuvosa, T1; B12, SM II, época chuvosa, T2 SM II, época chuvosa, T1; B21, SM II, época seca e T1; e assim por diante.

As variáveis B21, B22, B14 e B15 estão bem representadas neste plano, pois se encontram próximas da circunferência unitária. Assim, B21 e B22 estão fortemente

correlacionadas entre si, sendo independentes da variável B15, pois apresentam uma correlação negativa forte.



**Figura 29** - Projeção dos Sistemas de manejo do solo e variáveis do solo nos planos fatoriais 1 e 2.

A dinâmica dos elementos analisados de acordo com o sistema de uso do solo pode ser observada devido às amostras de cada área de estudo que distribuíram-se distintamente e homogeneamente. Observa-se, também, a distância gráfica considerável entre os sistemas estudados, o que é coerente diante das particularidades de cada gradiente, demonstrando que a análise dos componentes principais foi útil no agrupamento das áreas. Este resultado está de acordo com Valadares et al. (2008), que, em estudo com diferentes solos do Brasil, concluíram que a ACP foi fundamental no agrupamento dos perfis de solos.

De maneira geral, a sequência dos ciclos de culturas nas duas áreas não teve efeito significativo sobre a quantidade de BMS, avaliada por meio do conteúdo de C microbiano, provavelmente, pelo fato de as áreas terem sido cultivadas há mais de 11 anos com as culturas de arroz, feijão-caupi e mandioca; com isso, a comunidade microbiana do solo adaptou-se à influência dessas culturas. Assim, as mudanças na quantidade, que possam ter ocorrido, não foram detectadas pelos métodos quantitativos de massa empregados para determinar a BMS, segundo Venzke Filho et al. (2008), que citam outros autores que também não encontraram

diferença significativa de C microbiano (CATTELAN et al., 1997; BALOTA et al., 1998) e N microbiano (SOUZA; MELO, 2000) em solo sob rotação de culturas no sistema plantio direto. Souza e Melo (2000) constataram maior efeito da rotação de culturas no N potencialmente mineralizável do que na quantidade de N microbiano na cultura posterior. Obviamente não se pode explicar a riqueza do C dos solos estudados apenas com a concentração total do C. Um estudo mais detalhado sobre a composição da MO deve ser realizado para explicar melhor o seu funcionamento.

## 2.4 CONCLUSÕES

- Os sistemas de uso do solo influenciaram diferentemente os atributos químicos e biológicos, sendo que o incremento dos teores de nutrientes foi mais acentuado no sistema de uso menos intensivo.
- O sistema de manejo menos intensivo do solo apresentou os melhores resultados para fertilidade do solo, ao mesmo tempo com o método de preparo do solo com corte e trituração da vegetação secundária.

## REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agric, Ecosyst. Environ.**, v.99, p.15-27, 2003.
- ALVAREZ, R.; DÍAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTA NATOGLIA, O.; BLOTA, L. Soil Organic carbon, microbial biomass and C-CO<sub>2</sub> production from there tillage systems, **Soil y Tillage Research**, v.33, p.17-28, 1995.
- ARAÚJO, S.P. **Atributos biológicos do solo sob diferentes coberturas vegetais amostrados em duas estações do ano numa topossequência no Noroeste Fluminense – RJ.** 2003. 51f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo dos Goytacazes, 2003.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa Microbiana e sua Atividade em Solo sob Diferentes Sistemas de Preparo e Sucessão de Culturas, **R. Bras. Ci. Solo.** Viçosa (MG), v.22, n.4, p.563-786, 1998.
- BASANTE, F. T.; SILVA JÚNIOR, M. L. da; MELO, V. S.; COSTA, L. G. da S.; McNABB, K, L, Atividade, carbono da biomassa microbiana de latossolo amarelo com diferentes texturas sob floresta nativa e floresta plantada com eucalipto, In: SEMINÁRIO DE INICIACAO CIENTÍFICA DA FACULDADE DE CIENCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ, 3, 2001, Belém, **Resumos...** Belém: FCAP, 2001, p. 52-54.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 599-607, 2000.
- BITTENCOURT, K.S.Q.Q. **Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em um argissolo vermelho amarelo sob vegetação de cerrado e cultivo de grãos em Redenção Pará.** 2003, 119f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2003.
- \_\_\_\_\_; SANTOS, M. M. de L. S.; MORAIS, F. I. de O.; SILVA JÚNIOR, M. L. da; MELO, V. S. de; SOARES, N. T. Nitrogênio da biomassa microbiana em Argissolo vermelho amarelo sob mata de cerrado, área de cultivo de grãos e pastagem natural de Redenção-Pará. **Rev. Ciênc. Agrár.**, Belém, n. 45, p.187-203. 2006.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos.** 7.ed. Rio de Janeiro : F. Bastos, 1989.
- BRANDÃO, E. M. Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.). **Microbiologia do solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, p. 1-16.
- BREMNER, J. M., MULVANEY, C. S. Nitrogen total, In: PAGE, A. L. (Ed.) **Methods of soil analysis**, Madison: Soil Science Society of America. 1982, p. 595-624.
- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v.17, p.837-842, 1985.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; FLECHA, A.M.T.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B.; MAI, M.E.M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.163-171, 2002.

CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 9, p. 1-4, 1985.

CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.425-432, 1999.

COUTINHO, L. M. Ecological effects of fire em Brazilian Cerrado. In: HUNTLEY, B. J.; WALKER, B.H. (Ed.) **Ecology of tropical savannas**. New York: Springer-Verlag, 1982, p. 273-291, (Ecological Studies, 42).

CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 262 p.

DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R.; VIEIRA, I. C. G.; FIGUEIREDO, R. de O.; MOUTINHO, P.; ISHIDA, F. Y.; SANTOS, M. T. dos S.; GUERRERO, J. B.; SABÁ, R. T. Nutrient limitation of biomass growth in a tropical secondary Forest: Early results of a nitrogen and phosphorus amendment experiment, **Ecological Society of America**, v.14, n.4, 2004, p. S150-S163 2004.

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M. do S.A.; BLOCK, A.; KATO, O.R.; SÁ, T.D.de A.; LUCKE, W.; VLEK, P.L.G. Mecanized land preparation in Forest-based fallow systems: the experience of Eastern Amazônia. **Agroforestry Systems**, v.61, p.91-1006, 2004.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Biomassa microbiana: perspectivas para o uso e manejo do solo. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F., FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**, Viçosa: SBCS/UFV/DPS, 1996, p.551-564.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. N e P na biomassa microbiana do solo, In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, Porto Alegre: Gênese, 1999, p.389-412.

DUARTE, A. N. **Avaliação da biomassa microbiana de um Argissolo sob diferentes sistemas Agroflorestais instalados no município de Igarapé-Açu, Pará**. 2003, 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2003.

DUDA, G. P. **Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solo**. 2000. 150f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**, Rio de Janeiro, 1997. 212p.

\_\_\_\_\_. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.

- FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes, **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 1467-1472, 1995.
- FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M.; CRISPIM, S. M. A. **Biomassa microbiana e conteúdos de carbono e nitrogênio do solo em áreas de pastagem nativa sujeita a queimada, Pantanal Mato-Grossense** [recurso eletrônico] Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007.
- FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **R. Bras. de Ci. Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 425-434, 2002.
- FRIGHETTO, R. T. S.; SCHNEIDER, R. P. Problemas encontrados na avaliação de microorganismos do solo, In: FRIGHETTO, R.T. S., VALARINI, P. J. (Coords), **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**, Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2000, p. 41-44. (Embrapa Meio Ambiente, Documentos, 21).
- GAMA, M. A. P. **Dinâmica do fósforo em solo submetido a sistemas de preparo alternativos ao de corte e queima no nordeste paraense**. 2002, 96f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2002.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes, In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre, 1999. p, 227-243.
- \_\_\_\_\_; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; DE-POLLI, H. Biomassa Microbiana de Carbono de Solo de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas (SP). v.18 n.3 p. 339-558, 1994.
- \_\_\_\_\_; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto, **R. Bras. Ciênc. Solo**. v.29, n.6, p. 893-901, 2005.
- \_\_\_\_\_; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N. F. PAULINO; G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.1521-1530, 2008.
- GLIESSMAN, S. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora Universidade/ UFRGS, 2001. 653 p.
- INSAM, H. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime. **Soil Biology and Biochemistry**. v.22, p.525-532, 1990.
- JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. **Plant and Soil**, v.181, p.39- 45, 1996.
- JENKINSON, D. S.; BROOKES, P. C.; POWLSON, D.S. Measuring soil microbial biomass, **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p.5-7, 2004.

JOERGENSEN, R. G.; MUELLER, T. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the  $k_{EN}$  value, **Soil Biol. Biochem.** v. 28, p. 33-37, 1996.

KATO, M. S. A.; KATO, O. R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G, Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: The role of fertilizers, **Field Crops Research**, v.2-3, n.62, p. 225-237, 1999.

\_\_\_\_\_. **Fire-free land preparation as an alternative to slash-and-burn agriculture in the Bragantina region, Eastern Amazon: Crop performance and phosphorus dynamics.** 1998, 132f. Tese (Doutorado) - Universidade de Göttingen, Göttingen, Alemanha, 1998a.

KATO, O. R. **Fire-free land preparation as an alternative to slash-and-burn agriculture in the Bragantina region, Eastern Amazon: Crop performance and nitrogen dynamics.** 1998, 132f. Tese (Doutorado) - Universidade de Göttingen, Göttingen, Alemanha, 1998b.

\_\_\_\_\_; KATO, M.S.A.; SÁ, T.D. de A.; FIGUEIREDO, R. Plantio direto na capoeira. Ciência e ambiente. In: **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável.** Campos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Plantio direto na capoeira. Ciência e ambiente, 29:99-111, 200. In: **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável.** Campos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006, 365p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos.** Piracicaba, 1985.

KOVACH, W.L. Multivariate data analysis, In: Maddy, D. Brew, J.S. (Ed.), **Statistical Modelling of Quaternary Science Data**, Technical Guide 5, Cambridge : Quaternary Research Association, 1995. p.1-38.

KUMMER, L.; BARROS, Y. J.; SCHÄFER, R. F.; FERREIRA, A. T. dos S.; FREITAS, M. P.; PAULA, R. A. de; DIONÍSIO, J. A. Respiração e biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de uso, **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.4, p.559-563, 2008.

LI, Y. C.; ALVA, A. K; CALVERT, D. V.; ZHANG, M. A rapid nondestructiv technique to predict leaf nitrogen status of grapefruit tree with various nitrogen fertilization practices. **Hort technology**, v.8, n.81, 2005.

LOPES, E.L.N.; RUIVO, M.L.P.; LOPES, E.C.S.; FERNANDES, A.R.; ABREU, E.M.A.; Carbono Orgânico, Carbono da Biomassa Microbiana e Relação Cmic/Corg de um Sistema Agroflorestal Sucessional, Igarapé- Açú- PA. **VI Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais**, Campos de Goytacazes, 2006.

LUIZÃO, R. C.C.; COSTA, E. S.; LUIZÃO, F. J. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio do solo em uma sequência de idades de pastagem após derrubada e queima da pastagem na Amazônia central. **Acta Amazônica**, v. 29, n.1, p.43-56, 1999.

MAIA, S. M. F. **Estimativas das emissões de Carbono do solo devido as mudanças no uso da terra em Rondônia e Mato Grosso**, 2009.161f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz / USP, Piracicaba, 2009.

- MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola: Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo**. 3. ed. São Paulo, Ceres, 1976. 528 p.
- MARCHIORI JÚNIOR M.; MELO W. J. Carbono, Carbono da Biomassa Microbiana e Atividade Enzimática em um Solo sob Mata Natural, Pastagem e Cultura do Algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa (MG), v.23, n.2 p.189-483, 1999.
- MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, M. O. C. do B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; NETTO, A.C.; KIEHL, J. de C. **Fertilidade do Solo**. Piracicaba. 3. ed. 1985. 400p.
- MELO, A. W. F. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**, 1991. Tese (Doutorado) - USP, - 1991. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-29072004-160525/>>. Acesso em 23 nov.2009.
- MELO, V. S. **Avaliação da Qualidade dos Solos em Sistemas de floresta primária-capoeira-pastagem na Amazônia Oriental por meio de indicadores de sustentabilidade microbiológicos e bioquímicos do solo**. Belém, 2007, 120f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa – Amazônia Oriental. 2007.
- METZGER, J.P.M. Dinâmica e equilíbrio da paisagem em áreas de agricultura de corte e queima em pousio curto e longo na região bragantina. In: SEMINÁRIO SOBRE MANEJO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA A SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA FAMILIAR DA AMAZÔNIA ORIENTAL, Belém, Pará, 1998. **Anais...** Belém : Embrapa Amazônia Oriental, 2000.p. 47-50. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos 69).
- MONTEIRO, M. T.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono e nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serrapilheira de uma floresta natural. **R. Bras. Ciênc. Solo**, v.28, n.5, 2004.
- MOREIRA, A.; COSTA, D. G. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.39, n.10, 2004.
- \_\_\_\_\_; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1103-1110, 2004.
- MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626p.
- PACHÊCO, N. Â.; BASTOS, T. X. **Boletim agrometeorológico 2006 – Igarapé-Açu**, On-line. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 32p. (Documentos 296). <http://www.cpatu.embrapa.br>.
- PARRY, M. M. **Cobertura morta como manejo do solo para culturas de subsistência em diferentes épocas de cultivo**. 2002. 77f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2002.
- PFENNING, L.; EDUARDO, B.P.; CERRI, C.C. Os métodos de Fumigação-Incubação e Fumigação-Extração na Estimativa da Biomassa Microbiana de Solos da Amazônia. **R. Bras. Ci. Solo**. Campinas (SP), v.16, n.1 p.31-37, 1992.

POMIANOSKI, D. J. W.; DEDECEK, R. A.; VILCAHUAMAN, L. J. M. Efeito do Fogo nas Características Químicas e Biológicas do Solo no Sistema Agroflorestal da Bracatinga. **Bol. Pesq. FL**, Colombo, n. 52, p. 93-118 jan./jun. 2005.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991, p.343.

\_\_\_\_\_; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas : Instituto Agrônômico - Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5., Aproximação**, Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

RIBEIRO, M. S. **Manejo de sistemas agroflorestais com Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) walp.) em área de vegetação secundária, em Bragança-Pará**. 2006. 92f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa - Amazônia Oriental. Belém, 2006.

RODRIGUES, R. C. **Biomassa microbiana e acúmulo de liteira em sistemas agroflorestais composto por meliáceas, utilizadas como indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2006. 105f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias), Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa - Amazônia Oriental. Belém, 2006.

ROSA, J. R.; LANNA, A. C.; FERRAZ, D. M. M.; GODOY, S. G. de; RABELO, V. C.; MOURÃO, V. C.; PALMA, F. R.; GUARDIOLA, M. F.; RAMOS, M. L. G.; HEINEMANN, A. B.; MOREIRA, J. A. A.; DIDONET, A. D. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo sob cultivo orgânico de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8., 2005, Goiânia. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. v. 2. p. 1030-1033. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 182).

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; GODOY, S. G. de; RAMOS, M. L. G.; MOREIRA, J. A. A.; DIDONET, A. D. **Nitrogênio da Biomassa Microbiana e Nitrogênio Total no Solo sob Cultivo Orgânico de Arroz de Terras Altas (*Oriza Sativa* L.)** Disponível em: <<http://www.pronaf.gov.br/dater/arquivos/2014419889.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2009.

RUIVO, M. L. P.; MONTEIRO, K. F. G.; SILVA, R M; SILVEIRA, I M; QUARESMA, H. D. A. B.; SA, L. D. A.; PROST, M T C. Gestão Florestal e Implicações Sócio-Ambientais na Amazônia Oriental (Estado do Pará). **Ecologia Brasiliensis**, v. 11, p. 481-492, 2007.

SALINAS-GARCIA, J.R.; HONS, F.M.; MATOCHA, J.E. Longterm effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.152-159, 1997.

SAMPAIO, C. A.; KATO, O. R.; NASCIMENTO-e- SILVA, D. Sistema de corte e trituração da capoeira sem queima como alternativa de uso da terra, rumo a sustentabilidade florestal no Nordeste paraense. **Revista de gestão social e ambiental**, 2008, v.2, n.1, p.41-53.

SANCHEZ, P.A., SALINAS, J.G. Low-input technology for managing Oxisols and Udisols in tropical America. **Adv. Agron.**, v.34, p.279-406, 1982.

SAS INSTITUTE. **SAS: user's guide: version 8.**, Cary: SAS Institute, 1999.

SENA, W. de L. **Avaliação dos atributos químicos e carbono microbiano de um Latossolo Amarelo sob sistemas agroflorestais em comparação com a floresta secundária, Marituba-Pará.** 2006, 103f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa – Amazônia Oriental, 2006.

SILVA, G. R. da; SENA, W. de L.; SILVA JÚNIOR, M. L. da. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana como indicadores ambientais de um Latossolo amarelo sob diferentes sistemas de manejo, Marituba-Pará. **Rev. Ciên. Agrár.** Belém, n.48, p. 71-84, 2007.

\_\_\_\_\_; SILVA JR, M. L. da; MELO, V. S. de. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um latossolo amarelo do Estado do Pará. **Acta Amazônica**, v.36, n.2, 2006.

SILVA JUNIOR, M. L. da. **Dinâmica do carbono e do fósforo em um Latossolo Amarelo, textura argilosa, apos conversão da floresta em capoeira e pastagens, na Amazônia Oriental.** 2007. 214 f.Tese (Doutorado em Ciências Agrárias)-Universidade Federal Rural da Amazônia,Belém, 2007.

SIQUEIRA, J.O; MOREIRA, F.M.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos do solo:** perspectiva ambiental. Brasília: EMBRAPA, 1994, 142p. (EMBRAPA, Documentô, 45).

SNEH GOYAL, M. M.M.; HOODA, I. S.; SINGH, R. Organic matter-microbial biomass relationships in field experiments under tropical conditions: Effects of inorganic fertilization and organic amendments. **Soil Biol. Biochem.**, v.24, p.1081-1084, 1992.

SOUZA, L. M. de; CASTILHOS, D. D.; MORSELLI, T. B. G. A.; CASTILHOS, R. M. V. Influência da aplicação de diferentes vermicompostos na biomassa microbiana do solo após cultivo de alface. **R. Bras. Agrociência.** Pelotas, v. 12, n. 4, p. 429-434, 2006.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Aust. J. Soil Res.**, v.30, p.195-207, 1992.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry, genesis, composition, reaction.** New York: J. Wiley, 1982. 443p.

TATE, K.R; ROSS, D.; RAMSAY, A.J.; FELTHAM, C.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biol. Biochem.** v.20, p.329-335. 1988.

TIBAU, A. O. **Matéria orgânica e fertilidade do solo.** São Paulo: Nobel, 1978. 172p.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo.** Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

URQUIAGA, S. et al. **Queima da cana.** Rio de Janeiro: EMBRAPA Agrobiologia, 1998.

VALLADARES, G.S.; GOMES, E. G.; MELLO, J.C.C.B.S. de; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. dos A.; EBELING, A.G.; BENITES, V. de M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.285-296, 2008.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S, An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.** v.19, p.703-707, 1987.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. de. Alterações microbianas no solo durante o ciclo do milho nos sistemas plantio direto e convencional. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.8, p.749-755, 2004.

VASCONCELOS, L.G.T.R.; ZARIN, D.J.; CARVALHO, C.J.R. DE; SANTOS, M.M. DE L.; VASCONCELOS, S.S.; OLIVEIRA, F, DE A. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária de diferentes idades na Amazônia Oriental, **Rev. Ciên. Agrár.**, Belém, n, 44, p, 49-63, jul./dez, 2005.

VENZKE FILHO, S. de P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M. de C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C.C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi- PR. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.599-610, 2008.

WANG, W.J.; DALAL, R.C.; MOODY, P.W.; SMITH, C.J. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. **Soil Biology & Biochemistry**, v.35, n.2, p.273-284, 2003.

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors with influence of microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Review**, v.67, p.321-358, 1992.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.de. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícola orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.30, n.2, p. 247-258, 2006.

ZIMMERMANN, S.; FREY, B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. **Soil Biology Biochemistry**, v.34, n.11, p.1727- 1737, 2002.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil Till. Res.** v.84, p.28-40, 2005.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. **Sistema para Análise Estatística para Microcomputadores** - SANEST. Pelotas: UFPel, 1991. 109p.

### CAPÍTULO 3

#### BIOMASSA MICROBIANA EM FUNÇÃO DE SISTEMAS DE MANEJO DE UM LATOSSOLO DA AMAZÔNIA PARAENSE

**RESUMO:** Os sistemas de cultivo que envolvem preparo ou não do solo alteram as características físicas, químicas e biológicas em graus variáveis. Os atributos biológicos apresentam um alto potencial de uso na avaliação da qualidade do solo, entre os quais a matéria orgânica e a biomassa microbiana, por proporcionarem respostas mais rápidas a mudanças no ambiente. A finalidade deste estudo foi investigar o efeito de diferentes formas de uso de um Latossolo Amarelo na região do Nordeste paraense, na Amazônia Oriental, sobre a biomassa microbiana e o carbono orgânico. Os tratamentos consistiram de: vegetação secundária com cerca de 20 anos; pastagem reformada; plantio direto de 4 e 8 anos de implantação, cultivados sempre em sistema de sucessão milho/soja; plantio convencional de 2 anos, cultivado em sucessão arroz/soja. Nos sistemas com lavoura, anualmente é realizada uma adubação com  $350 \text{ kg ha}^{-1}$  de NPK com a formulação de 02-28-20. As avaliações foram feitas em duas profundidades do solo (0-0,05 e 0,05-0,1 m). Foram determinados pH em água, carbono e nitrogênio do solo e biomassa microbiana, e calculados o estoque de carbono e as relações  $C_{mic}/C_{org}$  e  $N_{mic}/N_{total}$ . Maior quantidade de carbono imobilizado na biomassa microbiana, carbono orgânico e estoques de carbono no solo, ocorreu na área com plantio convencional, em função do curto período de uso e incorporação de restos da vegetação; O aumento da decomposição da MO elevou a relação  $C_{mic}/C_{org}$  nas áreas com plantio direto; O tempo de adoção do sistema plantio direto ainda não foi suficiente para aumentar o conteúdo de matéria orgânica do solo.

**TERMOS PARA INDEXAÇÃO:** Plantio Direto, Plantio Convencional, Matéria Orgânica, Nordeste Paraense.

## CHAPTER 3

### MICROBIAL BIOMASS RELATED TO LATOSOIL MANAGEMENT SYSTEMS IN THE STATE OF PARÁ, AMAZON

**ABSTRACT:** Cultivation systems that involve preparation or no preparation of the soil change physical, chemical and biological characteristics in variable levels. Biological attributes present high utilization potential when evaluating quality of soil, where microbial biomass and organic matter produce faster answers to environmental changes. The objective of this study was to investigate the effect of different utilization forms of a Yellow latosol in the Northeastern Pará, Eastern Amazon, on microbial biomass and organic carbon. Treatments were: 20 years old secondary vegetation; reformed pasture; direct plantation of 4 and 8 years development, cultivated always in corn/soy succession system; 2 years conventional plantation, cultivated in rice/soy succession. In the agriculture system, a fertilization with 350 kg ha<sup>-1</sup> of NPK is done, with 02-28-20 formulation. Evaluations were done at two soil depths (0-0,05 and 0,05-0,1 m). pH in water, carbon and nitrogen in the soil and microbial biomass were determined, and carbon storage and Cmic/Corg e Nmic/Ntotal relationship were calculated. The elevated carbon quantity immobilized in the microbial biomass, organic carbon and carbon storage in the soil, in the area with conventional plantation, are related to the short period of use and incorporation of vegetation rests. The increase in OM decomposition elevated the Cmic/Corg ratio in the areas under direct plantation. The time of adoption of the direct plantation system was still not enough to increase the soil's organic matter content.

**INDEX TERMS:** Direct plantation, Conventional plantation, Organic matter, Northeastern Pará.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica, apesar de exuberante, está estabelecida, em grande parte, em solos pobres em nutrientes minerais, o que torna sua manutenção dependente dos ciclos biogeoquímicos dos escassos nutrientes (POGGIANI; SCHUMACHER, 2004). Com a remoção da floresta, esse ciclo é quebrado, alterando a qualidade e a quantidade de matéria orgânica do solo (MALAVOLTA, 1987), havendo diminuição da atividade da biomassa microbiana, principal responsável pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, e que exerce influência na liberação e na imobilização de nutrientes (JENKINSON; LADD, 1981). Os efeitos dessa perturbação nas propriedades do solo interferem na capacidade de regenerar a floresta ou mesmo na introdução de outras plantas (NASCIMENTO; HOMMA, 1984).

Na Amazônia paraense, predominam os Latossolos e os Argissolos, que são solos altamente intemperizados, com boas características físicas, mas com fortes limitações quanto à fertilidade (VIEIRA et al.; 2000; RODRIGUES et al., 2003). Nestes solos, quando a floresta é retirada para usos na agricultura ou pecuária, seguidos de manejo inadequado, têm ocorrido degradações física, química e biológica, que já atingem aproximadamente 700 mil hectares (PARÁ, 2009).

A utilização do solo pelos métodos convencionais tem diminuído significativamente nos últimos anos, dando lugar ao sistema plantio direto, visando diminuir o impacto do uso das máquinas agrícolas (tratores, arados etc). O cultivo intensivo do solo e o seu preparo em condições inadequadas alteram suas características físicas, químicas e biológicas em graus variáveis. No Estado do Pará, a agricultura de grãos se expande, juntamente com o preparo mecanizado de área, muitas vezes realizado de forma indiscriminada. A utilização do arado de disco no preparo do solo promove o revolvimento da camada superficial até 30 cm de profundidade, promovendo modificações nos teores da matéria orgânica, na capacidade de troca de cátions e no pH, desagregando o solo e expondo-o à ação dos agentes erosivos. A grade aradora revolve intensamente o solo até 0,15 m de profundidade; com isso, fraciona e incorpora os resíduos vegetais, acelerando a sua decomposição (SILVA, 2008).

O sistema de semeadura direta na palha tornou-se importante instrumento para minimizar a mobilização do solo, consequentemente possibilitar a manutenção e recuperação da capacidade produtiva ou qualidade dos solos manejados convencionalmente e de áreas degradadas. Na safra de 2005/2006, 25,5 milhões de hectares foram cultivados sob este

sistema (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 2007). Da mesma forma, tem crescido o interesse em avaliar a qualidade de solos tropicais submetidos a diferentes sistemas de cultivo, visando determinar o uso mais sustentável do solo (D'ANDRÉA et al., 2002; GOEDERT; SCHERMACK; FREITAS, 2002; MENDES et al., 2003; DUFRANC et al., 2004; COSTA; GOEDERT; SOUSA, 2006).

Os atributos indicadores de qualidade do solo são definidos como propriedades mensuráveis que influenciam a sua capacidade na produção das culturas ou no desempenho de funções ambientais (D'ANDRÉA, 2001). Práticas inadequadas de uso do solo provocam alterações em seus atributos originais, os quais passam por mudanças que indicam a sensibilidade do solo aos impactos das técnicas de manejo.

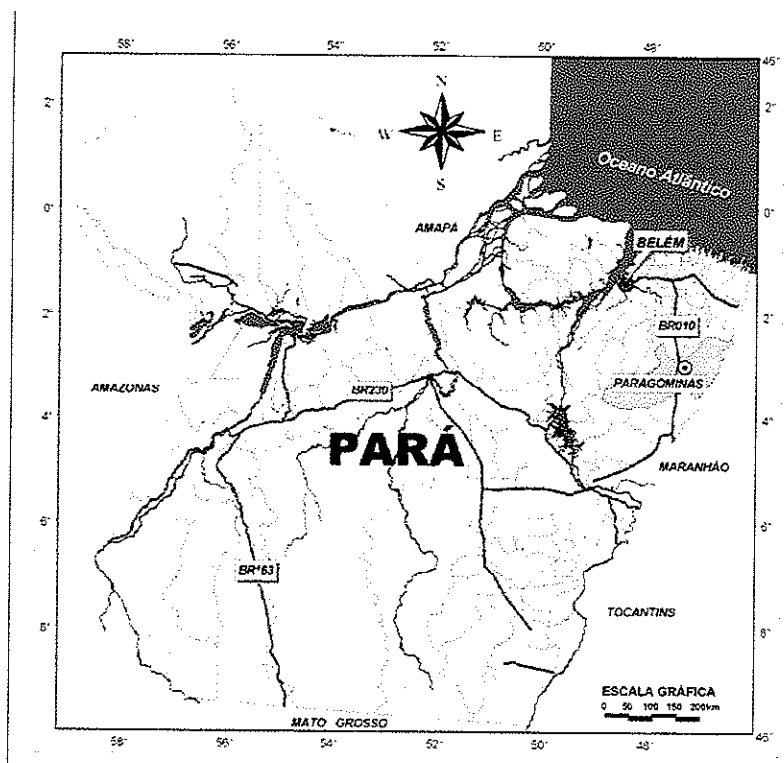
Os atributos biológicos apresentam um alto potencial de uso na avaliação da qualidade do solo por proporcionarem respostas mais rápidas a mudanças no ambiente. A comunidade microbiana dos solos é acentuadamente influenciada pelo ambiente, podendo as populações ou os seus processos ser inibidos por diversos fatores estressantes (DOMSCH; JAGNOW; ANDERSON, 1983). A biomassa microbiana do solo é definida como componente microbiano vivo do solo, composto por bactérias, fungos, microfauna e algas, sendo a principal responsável pela decomposição de resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes, pelo fluxo de energia e pela produtividade das plantas e dos ecossistemas (JENKINSON; LADD, 1981; SPARLING, 1992). A avaliação da biomassa microbiana é útil para prover informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo, e, portanto, a medição deste compartimento e sua atividade são relevantes para a conservação dos solos (POWLSON; BROOKS; CHRISTENSEN, 1987; DE-POLLI; GUERRA, 1999).

Este trabalho apresenta a avaliação do efeito de diferentes formas de uso de um Latossolo Amarelo argiloso sobre atributos biológicos, sob plantio convencional de 2 anos, plantio direto com 4 e 8 anos, área de pastagem cultivada e área com vegetação secundária no município de Paragominas, Nordeste paraense.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

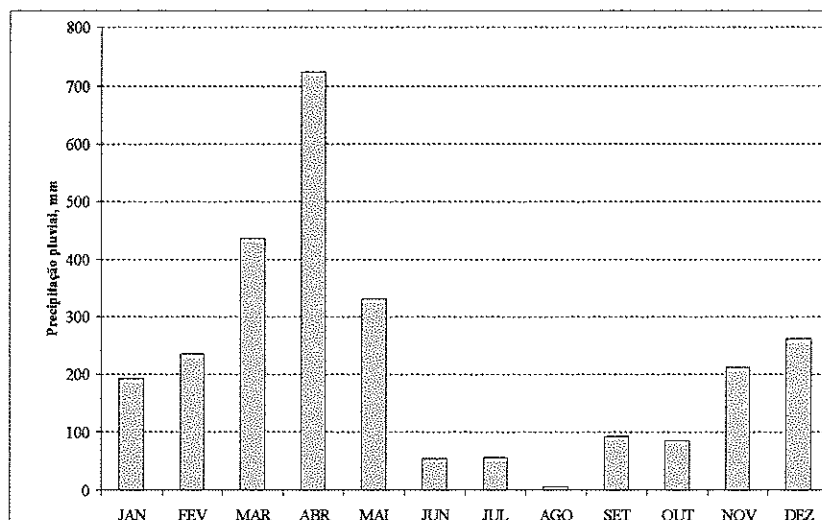
### 3.2.1 Localização geográfica e aspectos ambientais da área de estudo

As áreas estudadas estão sobre um Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 1999), sob as coordenadas 02° 57' 24" S e 47° 31' 36" W, no município de Paragominas, Nordeste do Estado do Pará (Figura 1).

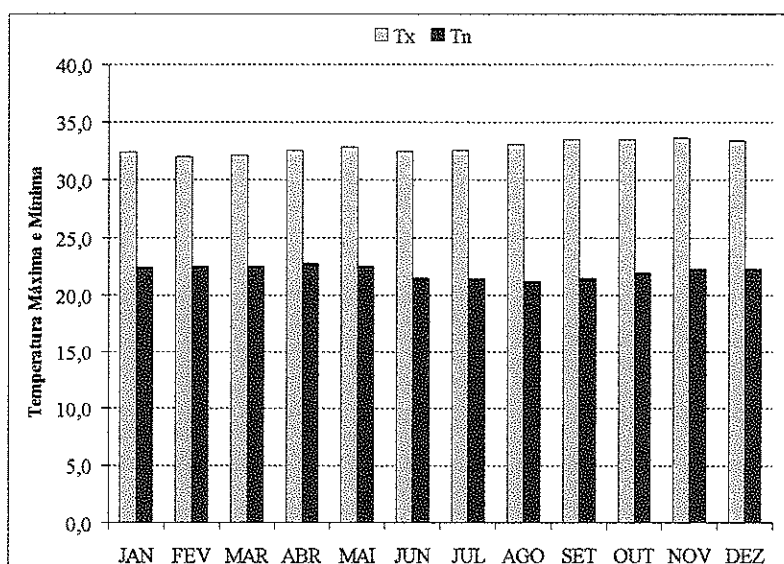


**Figura 1** - Localização geográfica do município de Paragominas, no Estado do Pará.

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, com precipitação pluviométrica anual de 1.800 mm e com temperatura média anual de 26,5 °C. Apresenta um período chuvoso de dezembro a maio, com excedente hídrico de 282 mm e uma estação menos chuvosa de junho a novembro, na qual ocorre um déficit hídrico de 512 mm. A precipitação pluviométrica média mensal (Figura 2) e as temperaturas médias mensais (mínimas e máximas) para o ano de 2006 (Figura 3) foram obtidas na Estação Meteorológica de Tomé-Açu, município vizinho a Paragominas, Nordeste paraense do Estado do Pará. O relevo predominante na região varia de plano a suave ondulado, com altitude média de 200 m e predomínio de vegetação secundária (capoeira), resultante da ação antrópica (RODRIGUES et al., 2003).



**Figura 2** - Precipitação pluviométrica mensal (mm) no município de Tomé-Açu, PA, 2006.



**Figura 3** - Médias mensais de temperaturas máxima (Tx) e mínima (Tn) do ar, no município de Tomé-Açu, PA, 2006.

### 3.2.2 Tratamentos e amostragem do solo

Os tratamentos avaliados foram: vegetação secundária (VS) com cerca de 20 anos, que corresponde à área de referência do estudo; pastagem reformada (Pastagem) no ano de 2005, com uma roçagem e aplicação de  $1,0 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico sem incorporação; plantio direto de 4 e 8 anos (PD4 e PD8, respectivamente), cultivado em sistema de sucessão milho/soja. Em 2004 foi realizada uma escarificação, a 25 cm de profundidade, na área de plantio direto com 8 anos; e plantio convencional de 2 anos (PC2), cultivado em sucessão arroz/soja, preparado com gradagem anual a 20 cm de profundidade. Antes, todas as áreas

cultivadas apresentavam uma vegetação do tipo capoeira, com aproximadamente 20 anos. As áreas cultivadas com grãos receberam  $2,0 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico antes do plantio de 2005, o qual foi incorporado ao sistema convencional e aplicado à cobertura no plantio direto. Anualmente é realizada uma adubação com  $350 \text{ kg ha}^{-1}$  de NPK, na formulação de 02-28-20.

Em cada sistema de uso da terra, foi delimitada uma área de  $50 \times 100 \text{ m}$  ( $0,5 \text{ ha}$ ), onde foram realizadas as coletas das amostras de solo, nas seguintes profundidades:  $0\text{-}0,05 \text{ m}$  e  $0,05\text{-}0,1 \text{ m}$ . As coletas do solo ocorreram pouco antes da colheita da soja, em março de 2007. Nas áreas com plantio de soja, as amostras foram coletadas na entrelinha e constaram de cinco amostras simples, que foram homogeneizadas para formar uma amostra composta, com sete repetições, com pontos equidistantes, seguindo um transecto na área. Na área de pastagem e na área de vegetação secundária, a amostragem foi feita seguindo um transecto, à semelhança das áreas cultivadas com lavoura, com pontos equidistantes.

Atributos físicos das áreas de coletas (densidade do solo, macro e microporosidade nas profundidades  $0\text{-}0,05 \text{ m}$  e  $0,05\text{-}0,1 \text{ m}$  e granulometria na profundidade de  $0\text{-}0,2 \text{ m}$ ) encontram-se na Tabela 1.

### 3.2.3 Procedimentos analíticos

#### 3.2.3.1 Caracterização química do solo

As determinações químicas do solo foram realizadas de acordo com as metodologias compiladas da EMBRAPA (1997), sendo realizadas as seguintes quantificações: N-total, por destilação em semimicro Kjeldahl (BREMNER; MULVANEY, 1982); pH, em potenciômetro na relação solo: água de  $1\text{:}2,5$ ; e carbono orgânico, pelo método volumétrico de oxidação com  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  e titulação com sulfato ferroso amoniacal. Foram calculados, também, as relações C/N do solo e o estoque de carbono orgânico (EstC) utilizando-se a fórmula  $\text{EstC} = \text{Corg} \times \text{Ds} \times e/10$ , de acordo com Freixo et al. (2002).

Em que:

EstC = estoque de carbono orgânico na camada estudada ( $\text{t ha}^{-1}$ );

Corg = carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ );

Ds = densidade do solo da camada estudada ( $\text{g cm}^{-3}$ );

e = espessura da camada estudada (cm).

**Tabela 1** - Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e características granulométricas de um Latossolo Amarelo, em diferentes sistemas de uso e profundidades, na microrregião de Paragominas - PA.

|                  | PC2                                                   | PD8   | PD4   | Pastagem | Vegetação secundária | CV (%) |
|------------------|-------------------------------------------------------|-------|-------|----------|----------------------|--------|
| <b>Prof. (m)</b> | <b>Ds, Mg m<sup>-3</sup></b>                          |       |       |          |                      |        |
| <b>0-0,05</b>    | 1,19                                                  | 1,20  | 1,17  | 1,48     | 1,06                 | 7,88   |
| <b>0,05-0,1</b>  | 1,22                                                  | 1,21  | 1,20  | 1,45     | 1,14                 | 6,49   |
|                  | <b>Macroporosidade, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup></b>  |       |       |          |                      |        |
| <b>0-0,05</b>    | 0,052                                                 | 0,070 | 0,075 | 0,054    | 0,142                | 26,85  |
| <b>0,05-0,1</b>  | 0,052                                                 | 0,054 | 0,071 | 0,080    | 0,160                | 38,36  |
|                  | <b>Microporosidade, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup></b>  |       |       |          |                      |        |
| <b>0-0,05</b>    | 0,434                                                 | 0,420 | 0,430 | 0,445    | 0,364                | 25,36  |
| <b>0,05-0,1</b>  | 0,457                                                 | 0,452 | 0,430 | 0,426    | 0,390                | 21,60  |
|                  | <b>Porosidade Total, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup></b> |       |       |          |                      |        |
| <b>0-0,05</b>    | 0,486                                                 | 0,490 | 0,490 | 0,499    | 0,506                | 5,87   |
| <b>0,05-0,1</b>  | 0,509                                                 | 0,506 | 0,501 | 0,506    | 0,550                | 8,29   |
|                  | <b>Argila, g kg<sup>-1</sup></b>                      |       |       |          |                      |        |
| <b>0-0,2</b>     | 872                                                   | 873   | 879   | 506      | 904                  | -      |
|                  | <b>Areia, g kg<sup>-1</sup></b>                       |       |       |          |                      |        |
| <b>0-0,2</b>     | 103                                                   | 51    | 50    | 444      | 40                   | -      |
|                  | <b>Silte, g kg<sup>-1</sup></b>                       |       |       |          |                      |        |
| <b>0-0,2</b>     | 25                                                    | 76    | 71    | 50       | 56                   | -      |

Fonte: GUEDES (2009).

Para verificar a tendência em acumular ou perder carbono orgânico em relação ao sistema de referência, foi calculada a variação do estoque de carbono em relação à vegetação secundária ( $\Delta \text{EstC}$ , t ha<sup>-1</sup>), pela diferença entre os valores médios do estoque de carbono nesse sistema e em cada um dos demais, nas profundidades estudadas. Esse parâmetro permite avaliar se o solo está armazenando ou emitindo C-CO<sub>2</sub> para a atmosfera (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000).

### 3.2.3.2 Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo

Utilizou-se o método da fumigação-extração para estimar o carbono da biomassa microbiana (C<sub>mic</sub>) (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987; TATE et al., 1988) e o nitrogênio da biomassa microbiana (N<sub>mic</sub>) (BROOKES et al., 1985). Amostras de aproximadamente 25 g (peso fresco) foram acondicionadas em dessecador e submetidas à fumigação com clorofórmio livre de álcool por 24 horas, agitadas por 30 minutos em extratos de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5M e, posteriormente, filtradas. As amostras não-fumigadas foram pesadas ao mesmo tempo das amostras fumigadas e, posteriormente, conservadas em geladeira até a retirada das amostras fumigadas do dessecador, para a extração no mesmo momento,

conforme citado anteriormente. Em seguida, os extratos foram armazenados em frascos plásticos sob congelamento até o início das análises químicas.

A determinação do  $C_{mic}$ , nos extratos fumigado e não-fumigado, foi feita por dicromatometria (DE-POLLI; GUERRA, 1999). Para o cálculo, os teores de C das amostras fumigadas foram subtraídas dos valores das amostras não-fumigadas, sendo a diferença dividida pelo fator de correção ( $K_c$ ) de 0,26 (FEIGL et al., 1995).

A estimativa de nitrogênio da biomassa microbiana foi feita a partir da digestão de Kjeldahl. O fator de correção ( $K_n$ ) utilizado para o cálculo do  $N_{mic}$  foi de 0,54 (BROOKES et al., 1985; JOERGENSEN; MUELLER, 1996). A partir dos valores originais, foram calculadas as relações entre  $C_{mic}$  e  $C_{org}$  do solo ( $C_{mic}/C_{org}$ ) e entre  $N_{mic}$  e N total no solo ( $N_{mic}/N_{total}$ ), que expressam índices da qualidade da MO (GAMA-RODRIGUES, 1999).

### 3.2.4 Análise estatística

Foi utilizado um esquema fatorial  $5 \times 2$ , com sete repetições. Os fatores foram cinco sistemas de uso da terra e duas profundidades. As variáveis foram submetidas à análise de variância e teste de Duncan a 5% de probabilidade, com auxílio do Sanest (ZONTA; MACHADO, 1991).

## 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 2.3.1 Atributos biológicos e químicos do solo

O carbono da biomassa microbiana ( $C_{mic}$ ), nitrogênio total ( $N_{total}$ ) e relação  $C_{mic}/N_{mic}$  foram influenciados pelos sistemas de manejo do solo, enquanto que o nitrogênio da biomassa microbiana ( $N_{mic}$ ), carbono orgânico ( $C_{org}$ ), relações  $C_{mic}/C_{org}$ ,  $N_{mic}/N_{total}$  e  $C_{org}/N_{total}$  e pH foram influenciados pela interação entre sistemas de manejo do solo e profundidade do solo (Tabela 2).

**Tabela 2** – Resumo da análise de variância dos dados de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (Cmic e Nmic), carbono orgânico (Corg), nitrogênio total (Ntotal), relações, Cmic/Corg, Nmic/Ntotal, Corg/Ntotal, Cmic/Nmic e pH em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.

| Atributos químicos<br>e biológicos | Fonte de Variação                  |                               |                      |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
|                                    | A (Sistema de Manejo) <sup>1</sup> | B (Profundidade) <sup>2</sup> | A X B <sup>3</sup>   |
| Cmic                               | 4,2502*                            | 3,3051 <sup>ns</sup>          | 1,1161 <sup>ns</sup> |
| Nmic                               | 7,7068**                           | 0,2166 <sup>ns</sup>          | 3,5111*              |
| Corg                               | 23,5403**                          | 34,6203**                     | 6,2093**             |
| Ntotal                             | 6,6464**                           | 18,3530**                     | 0,9606 <sup>ns</sup> |
| Cmic/Corg                          | 8,2657**                           | 12,1544*                      | 3,3192*              |
| Nmic/Ntotal                        | 37,9432**                          | 0,3332 <sup>ns</sup>          | 10,9696**            |
| Corg/Ntotal                        | 23,3226**                          | 23,7413**                     | 4,1412*              |
| Cmic/Nmic                          | 2,2517 <sup>ns</sup>               | 4,9723 <sup>ns</sup>          | 3,2719*              |
| pH                                 | 15,0154**                          | 4,5944 <sup>ns</sup>          | 4,3895*              |

\*: significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\*: significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns: não significativo.

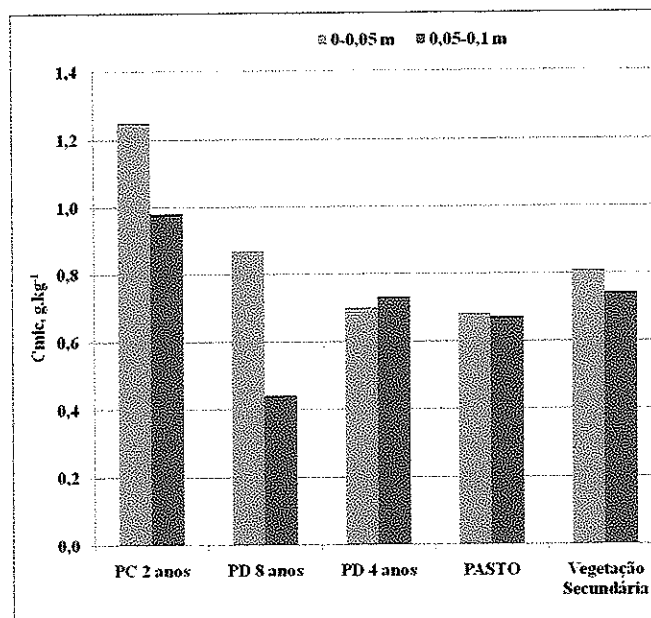
<sup>1</sup> sistema de manejo

<sup>2</sup> profundidade

<sup>3</sup> interação entre sistema de manejo e profundidade

O plantio convencional (PC2), seguido do plantio direto com oito anos (PD8), apresentou maiores teores de Cmic, quando comparado à vegetação secundária (VS), na camada de 0-0,05 m (Figura 4). Isso pode ser decorrente do curto período de conversão da área de VS em área de cultivo, o que mantém elevado o teor de Corg e o de Cmic. Cerri, Volkoff e Eduardo (1985) e Geraldles, Cerri e Feigl (1995), estudando ambientes florestais e pastagens, verificaram que a derrubada da mata tropical, seguida de queima da vegetação, provoca uma queda inicial com posterior elevação do nível de BMS, determinando, ainda, uma nova distribuição ao longo do perfil. Além disso, a liberação de nutrientes no solo, por meio da incorporação das cinzas, causa elevação da quantidade e da diversidade dos microrganismos terrestres, justificada pelo desenvolvimento de esporos dormentes, reativados pelo choque térmico causado pelo fogo (SUSSMAN; HALVORSON, 1966),

citado por POMIANOSKI (2005).



**Figura 4** - Carbono da biomassa microbiana do solo em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, no Nordeste paraense, Amazônia Oriental.

A queima pode causar inibição da biomassa microbiana; porém, pode haver uma adaptação da microbiota e novos produtos podem ser gerados pelas plantas, principalmente pelas raízes, favorecendo a biomassa (BARETTA et al., 2005). Para os valores do PC2 pode ser atribuída a presença de uma menor qualidade nutricional do material decíduo, pois é a área que possui o menor índice da relação  $C_{mic}/C_{org}$  na camada de 0-0,05 m (Figura 6). Segundo Wardle (1992), a relação  $C_{mic}/C_{org}$  expressa a qualidade nutricional da MO e, quanto maior esse índice, melhor sua qualidade.

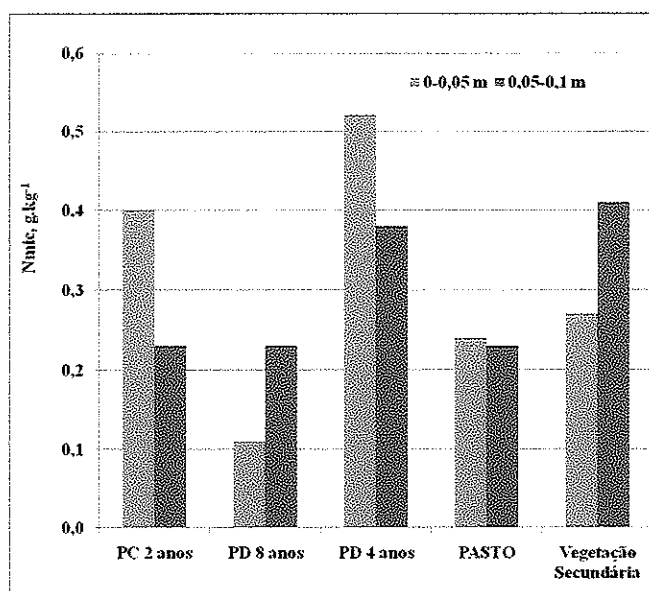
Em contraposição aos resultados do presente trabalho, Baretta et al. (2005), estudando os atributos biológicos em área de monocultivo de *Pinus* e queima tradicional de campo nativo em Lages (SC), encontraram maiores teores de  $C_{org}$  e  $C_{mic}$  na mata nativa, com  $80 \text{ g kg}^{-1}$  de  $C_{org}$  e  $1,6 \text{ g kg}^{-1}$  de  $C_{mic}$  no solo.

Os resultados obtidos neste trabalho são coerentes aos reportados por Groffman et al. (2001), em que os solos de sítios intactos não apresentam maiores níveis de biomassa microbiana em comparação aos solos de sítios perturbados ou convertidos em pastagem e/ou sistemas agrícolas. Isto é devido, provavelmente, à população microbiana encontrada nos lugares intactos já estar estabelecida e sua atividade e quantidade de biomassa microbiana serem menor ou igual as que existem nos lugares perturbados. Em áreas intactas existe um

maior crescimento tanto de biomassa microbiana como de vegetação jovem, assim como uma maior velocidade de degradação da MO.

Em relação ao tempo de implantação dos tratamentos amostrados neste trabalho, provavelmente não foi suficiente para detectar diferenças no  $C_{mic}$ , geradas pelos manejos adotados nos diferentes sistemas de produção. Staley <sup>3</sup> et al. (1988, apud THEODORO et al., 2003) relacionaram o tempo de implantação do sistema de plantio direto com as mudanças nas propriedades químicas e biológicas do solo, e verificaram que, somente após sete anos de manejo, foram detectadas diferenças marcantes.

O nitrogênio imobilizado na BM ( $N_{mic}$ ) apresenta uma forte tendência de entrar em equilíbrio no sistema plantio direto em comparação à área de referência (vegetação secundária); numericamente o conteúdo de  $N_{mic}$  aumenta em profundidade nos sistemas PD8 e VS (Figura 5).



**Figura 5** - Nitrogênio da biomassa microbiana em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.

No PC2 foram encontrados os maiores teores de Corg (48 g C kg<sup>-1</sup>) que não diferiu da VS (42 g C kg<sup>-1</sup>) no solo, na camada 0-0,05 m, respectivamente (Figura 6 e Tabela 2).

Na VS é comum o acúmulo de Corg na camada superficial devido ao equilíbrio que existe entre a deposição de materiais orgânicos da vegetação e o efeito da atividade microbiana na decomposição. Já na área de PC2, provavelmente, os valores elevados de Corg

<sup>3</sup> STALEY, T. E.; et al. Soil microbial biomass and organic component alterations in a no-tillage chronosequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.52, p.988-1005, 1988.

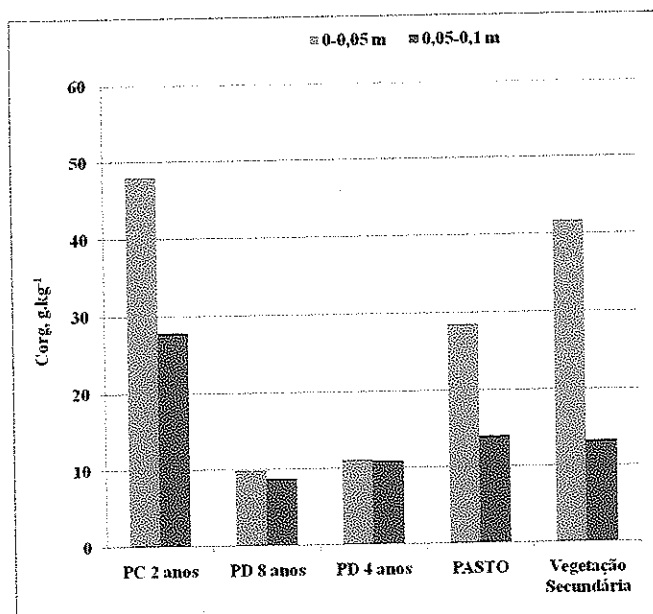
devem-se ao fato de ter sido cultivado por apenas 2 anos e ainda conter restos de vegetação que foram incorporados durante o preparo de área. Outro aspecto que chama atenção é que mesmo o SPD, em que se esperava que a deposição dos resíduos vegetais na superfície do solo fosse suficiente para manter ou aumentar o teor de MO, não consegue elevar o nível a valores que, pelo menos, se aproximem das condições iniciais deste solo. No entanto, reduções no conteúdo de C orgânico de um Neossolo sob plantio direto e convencional no cerrado também foram observadas por Frazão et al. (2008).

As condições climáticas de elevada umidade e temperatura na região de Paragominas favorecem a decomposição da MO, o que tem se constituído no maior entrave ao acúmulo de MO no plantio direto. Além disso, os primeiros cinco anos do sistema plantio direto (fase inicial) os solos apresentam baixo conteúdo orgânico e baixo acúmulo de palhada, enquanto no período entre cinco e dez anos (fase de transição), é que se inicia o acúmulo de palhada na superfície e Corg (SÁ et al., 2004; VENZKE FILHO et al., 2008). Como as áreas cultivadas nesse sistema se encontram com tempo de uso no limite entre a fase inicial e a transição, considerando ainda que as condições climáticas locais diminuem a persistência da palhada, pode-se esperar um baixo conteúdo de MO facilmente decomponível (LUIZÃO; CAMPISTA, COSTA, 1991; GUEDES, 2009).

Segundo Silva (2003), os valores encontrados para C no PC2, pastagem e VS na camada de 0-0,05 m são considerados de nível alto, enquanto que para PD8 e PD4 os valores são de nível médio, para as duas profundidades estudadas.

Para a área com pastagem observou-se uma tendência de aumento significativo do teor de Corg em relação à vegetação secundária. Esse resultado está de acordo com Bernoux et al. (1999), em estudo feito em cronossequência de floresta tropical-pastagem em Paragominas, onde confirmaram que a implantação de pastagem conduz, ao longo do tempo, a um aumento no conteúdo de C no solo, e que, em pastagem com 10 anos, praticamente iguala-se ao da vegetação natural.

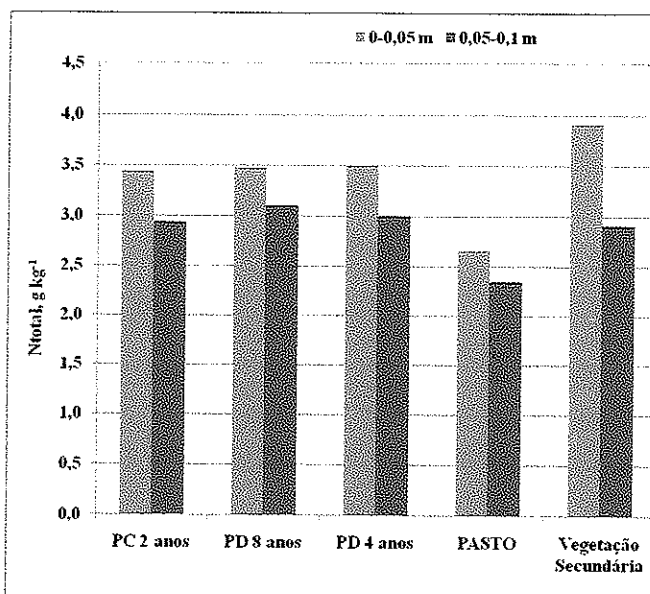
Mudanças nos sistemas de manejo podem afetar os teores de Corg no solo devido à alteração do aporte de resíduos vegetais e à modificação da taxa de decomposição da MO (LEITE et al., 2003). Entretanto, pastagens manejadas de maneira correta contribuem para manutenção e acúmulo de Corg no solo (DÁ SILVA, 2004).



**Figura 6** - Carbono orgânico do solo em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, no Nordeste paraense, Amazônia Oriental.

Os teores de  $N_{total}$ , nos sistemas de manejo avaliados, não diferiram significativamente entre si (Figura 7). Os aportes das culturas e a fertilização, realizada no ano agrícola, promoveram alterações positivas no teor de  $N_{total}$ , o qual foi similar ao da vegetação secundária.

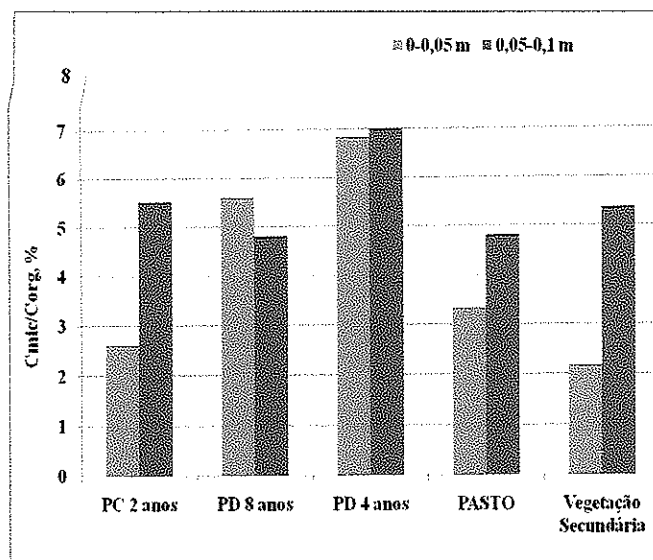
Para o conteúdo de nitrogênio da biomassa microbiana ( $N_{mic}$ ) o sistema de manejo PD4 foi significativamente maior que os demais sistemas (Figura 5), indicando que práticas de manejo do solo que permitem a manutenção da cobertura vegetal em sua superfície induzem ao aumento do teor de matéria orgânica morta e viva. Esta última é composta principalmente por microrganismos que fazem parte da fração ativa da MO e que são responsáveis pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e animais, além de ser a principal fonte de enzimas do solo (ROSA et al., 2009).



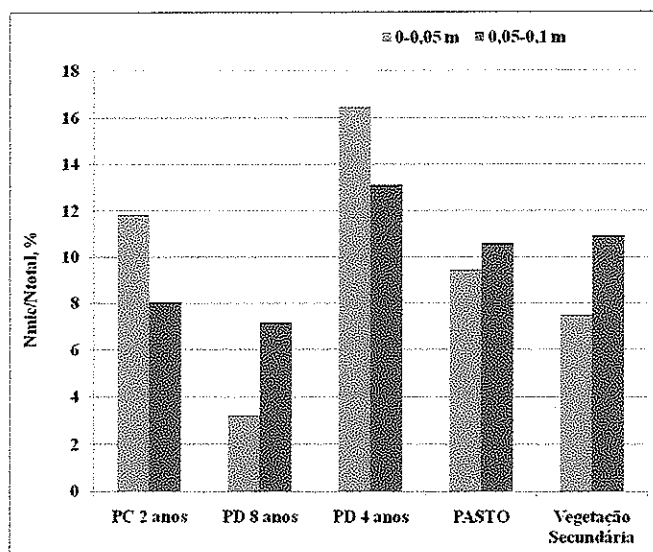
**Figura 7** - Nitrogênio total em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.

Na Figura 8, encontram-se os valores para a razão  $C_{mic}/C_{org}$  existentes no solo, sob diferentes sistemas de manejo, em duas profundidades. Para estes resultados observa-se uma superioridade significativa dos tratamentos de plantio direto, indicando uma maior imobilização de C pela BMS, devido ao percentual elevado de Corg imobilizado na BMS. Provavelmente a maior retenção de umidade, ocasionada pelos restos de culturas, e a alocação de fontes de C prontamente disponíveis, provenientes dos exsudados das plantas, proporcionaram condições favoráveis ao desenvolvimento dos microrganismos, acelerando os processos de humificação da MO (LUIZÃO; CAMPISTA; COSTA, 1991; BALOTA et al., 1998; DILLY, 2001).

A relação do C microbiano com o C orgânico total ( $C_{mic}/C_{org}$ ) variou de 2,18 a 6,99% (Figura 8), enquanto a relação do N da biomassa microbiana para o N total do solo ( $N_{mic}/N_{total}$ ) variou de 3,2 a 16,4%. Resultados inferiores da relação  $C_{mic}/C_{org}$  foram observados por Baretta et al. (2005), em área de campo nativo e *Pinus*, na região do Planalto Sul Catarinense, variando de 1,3 a 2,2%. Souza (2005), em áreas reflorestadas comparadas ao campo e à mata nativa no planalto dos campos gerais, encontrou resultados que variaram de 0,8 a 2% ( $C_{mic}/C_{org}$ ) e 0,74 a 2,29 % ( $N_{mic}/N_{total}$ ). Valores também inferiores foram encontrados por Souza et al. (2006), ao trabalharem com diversos tipos de vermicompostos; a relação  $C_{mic}/C_{org}$  variou de 1,2 a 2,8% e a relação  $N_{mic}/N_{total}$  de 7,0 a 11,7%. No entanto, maiores valores para a relação  $C_{mic}/C_{org}$ , foram encontrados por Vasconcelos et al. (2005), em capoeira de diferentes idades, variando de 2 a 18% e por Silva, Sena e Silva Júnior (2007), em sistemas florestais, variando de 1,8 a 7,6% no Estado do Pará.



**Figura 8** - Relação  $C_{mic}/C_{org}$  em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.



**Figura 9** - Relação nitrogênio microbiano/nitrogênio total em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.

Perez, Ramos e McManus (2004), em estudo realizado em diferentes sistemas de manejo no cerrado, encontraram valores elevados de relação  $C_{mic}/C_{org}$  (7,5%) para área com manejo de uma subsolagem e duas gradagens o que, segundo os autores, seria devido à homogeneização dos resíduos vegetais no perfil. Monteiro e Gama-Rodrigues (2004), trabalhando com serrapilheira, observaram que a eficiência da BM na utilização do C e N acumulados está diretamente relacionada com a MO.

Uma diferença marcante observada para a relação  $N_{mic}/N_{total}$  foi que o PD4, dentre os sistemas de manejo, apresentou valores superiores (Figura 9), corroborando estudos de

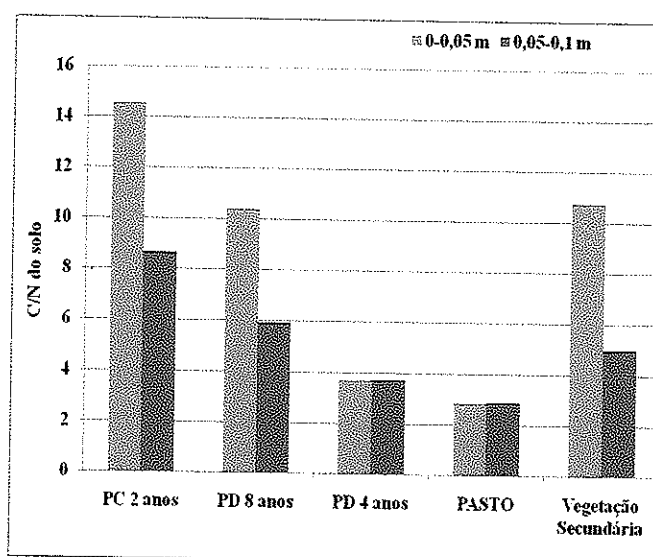
Gama-Rodrigues (1999), que afirma que sistemas com baixo nível de estresse utilizam o N e o C orgânico mais plenamente.

Para a relação C/N foi observado maior valor no sistema de manejo PC2, nas duas profundidades, mostrando que a diferenciação no manejo do solo altera significativamente o quociente (Figura 10) (MOREIRA; MALAVOLTA, 2004).

Os valores obtidos para a relação C/N do solo, nos sistemas de manejo, estão abaixo de 15, indicando que predomina o processo de mineralização, que favorece as altas taxas de decomposição e disponibilidade de nutrientes para o solo (COLOZZI-FILHO, 2001; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Os sistemas PD4 e pastagem apresentaram as menores relações C/N do solo, devido, provavelmente, ao menor aporte de MO ou à maior decomposição destes materiais pela microbiota e sua consequente morte.

Os maiores valores para a relação C/N do solo encontrados em PC2 (Figura 10) indicam menor acúmulo de BM nesta época, devido, provavelmente, ao baixo teor de umidade do solo, em virtude do aumento da temperatura, criando condições desfavoráveis ao desenvolvimento da população microbiana responsável, pela decomposição da MO, o que vai ao encontro das afirmativas de Balota et al. (1998).



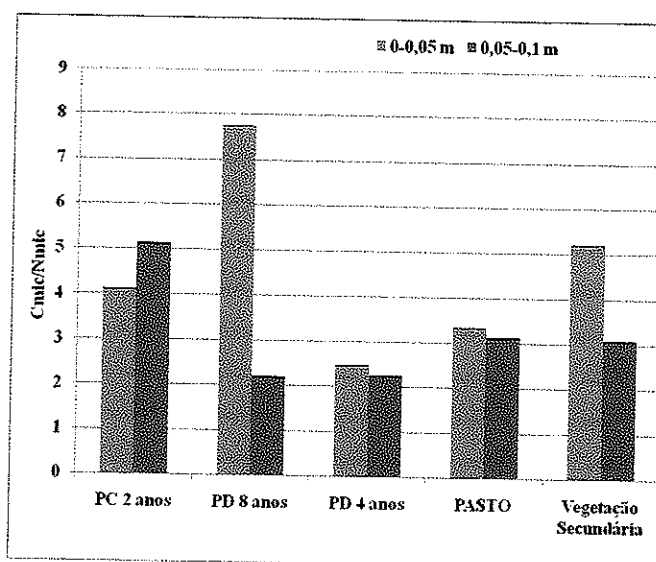
**Figura 10** - Relação C/N do solo em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.

A relação  $C_{mic}/N_{mic}$  pode ser usada para expressar a eficiência da BM em imobilizar C ou N, refletindo a qualidade nutricional da MO (GAMA-RODRIGUES, 1999). Observa-se que na área sob PD8 na profundidade de 0-0,05 m ocorreu maior relação  $C_{mic}/N_{mic}$ ,

sugerindo que a BM está menos instável neste sistema. As maiores taxas de decomposição nas áreas PD4 e pastagem foram, provavelmente, decorrentes da menor relação  $C_{mic}/N_{mic}$ . Quanto maior a relação  $C_{mic}/N_{mic}$ , menor seria a liberação de nutrientes, como N e P, por ação dos microrganismos decompositores (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BRITO, 2007).

Deve-se salientar que os valores de  $C_{mic}/N_{mic}$  variaram entre 2,21 a 7,77, sendo estes maiores que os valores encontrados por Souza et al. (2006), em estudo realizado em solos com diferentes vermicompostos como adubos, em que houve variação de 1,7 a 4,4.

Os resultados encontrados para  $C_{mic}/N_{mic}$  são devidos, provavelmente, à composição do material, aliados à intensa atividade microbiana na decomposição e na mineralização dos resíduos vegetais, e apresentam-se coerentes com o estado de decomposição da BM indicado pelos dados da relação  $C_{mic}/C_{org}$  encontrados neste trabalho (Figura 8).



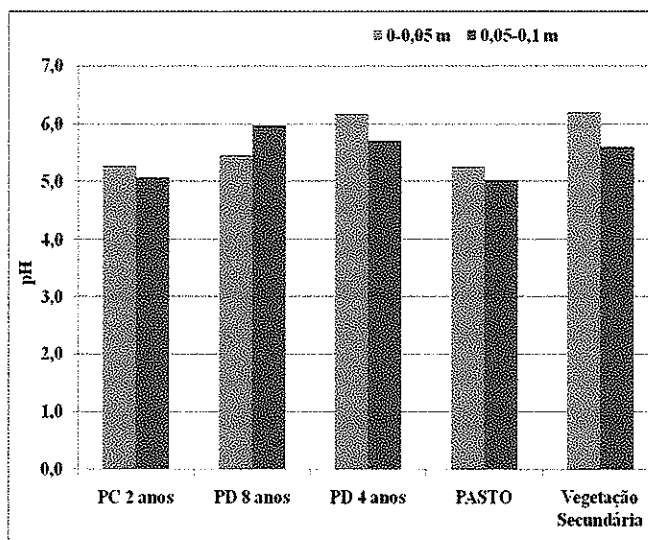
**Figura 11** - Relação  $C_{mic}/N_{mic}$  em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, em função de diferentes usos, na microrregião de Paragominas - PA.

O valor médio do pH foi maior nos sistemas de manejo PD4 e VS, e os menores valores verificados no PC2 e pastagem, que tiveram comportamento semelhante entre si, diminuindo em profundidade. Para estes sistemas nota-se um decréscimo de pH em profundidade, atribuído ao acúmulo de resíduos orgânicos na camada superficial do solo e ao efeito superficial da calagem, para as áreas com plantio direto e pasto; e à baixa mobilidade no perfil do solo. Estes resultados concordam com os obtidos por Frazão et al. (2008), em um Neossolo Quartzarênico, que atribuem a má distribuição vertical do calcário ao perfil do solo.

Na comparação dos sistemas de manejo entre o PC2 e pastagem, os menores valores de pH podem ser justificados pela maior exportação de bases pelas colheitas e pelo pastejo.

Verificou-se que somente o sistema de manejo PD8 apresentou gradiente crescente de pH em água, ao longo do perfil de solo (Figura 12), concordando com os resultados obtidos por Siqueira Neto (2006), que, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, no Cerrado de Rio Verde, GO, observou esse padrão nos sistemas plantio convencional e plantio direto. Pode-se, dessa forma, dizer que a distribuição vertical de calcário foi uniforme ao longo do perfil do solo, em função da escarificação realizada neste sistema, visto, também, que se trata de uma área com maior tempo de uso com plantio direto.

Os resultados de pH obtidos neste trabalho variaram entre 5,0 e 6,2 e são classificados por Osaki (1991) e Raij et al. (1996) como acidez alta a baixa, respectivamente.



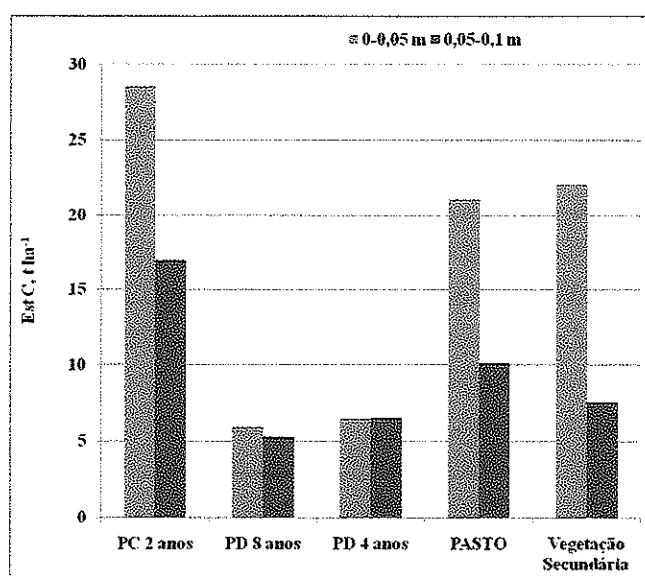
**Figura 12** - pH em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.

O EstC foi alterado significativamente pelos sistemas de manejo e teve comportamento semelhante ao da MO, diminuindo com a profundidade (Figura 13). Os maiores valores de EstC foram observados para os sistemas PC2 e pastagem, que foram semelhantes à VS, na camada superficial (0-0,05 m). O aumento do EstC, nos sistemas que receberam adubação química, provavelmente, também, pode estar associado ao maior aporte de resíduos vegetais retornado ao solo.

Analisando separadamente o EstC por profundidade (Figura 13), nota-se que existiram grandes diferenças entre os sistemas de manejo – refletindo perdas, marcadamente na camada de 0,05-0,1 m, com exceção nas áreas com plantio direto.

Em virtude de haver uma tendência de maiores valores de EstC presentes no PC2 nas duas profundidades, em relação aos demais sistemas (Figura 13), é que, neste tipo de manejo mais perturbado, está se perdendo mais C para a atmosfera, e espera-se que, com a adoção do plantio direto nos anos posteriores (PD8 e PD4), ocorra um maior incremento na recuperação dos teores originais de EstC (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000). Segundo Bayer et al. (2006), o plantio direto ou sistemas de cultivo com grande aporte de resíduos orgânicos de longa duração resulta num aumento dos estoques de carbono orgânico do solo.

A introdução recente de plantio direto, ou mesmo de pastagens ou cultivo convencional, pode não causar alterações significativas nos teores e estoques de C orgânico (D'ANDRÉA et al., 2004). Silva et al. (2004), comparando diferentes pastagens no Cerrado, observaram que só houve acúmulo de C nos sistemas com alta fertilização, não havendo acréscimo no perfil em pastagens tradicionalmente manejadas.



**Figura 13** - Estoque de Carbono em um Latossolo Amarelo em diferentes profundidades, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.

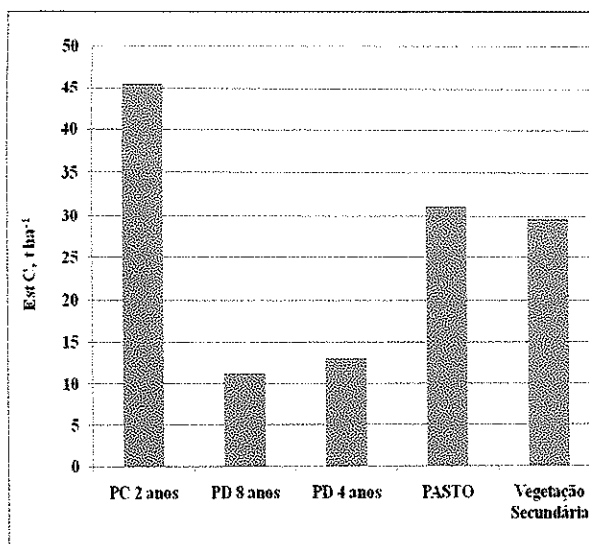
Os estoques de C (Figura 14) variaram da seguinte forma: plantio convencional com 2 anos (PC2) > pastagem > vegetação secundária (VS) > plantio direto com 4 anos (PD4) > plantio direto com 8 anos (PD8), na camada de 0-0,1 m.

Ao compararmos os resultados deste trabalho com os realizados por D'Andréa et al. (2004), quanto ao EstC, na camada de 0-0,1 m verificamos que este apresentou valores superiores para os sistemas de pastagem (31,24 t ha<sup>-1</sup> contra 23,27 t ha<sup>-1</sup>) e de plantio convencional (45,55 t ha<sup>-1</sup> contra 21,66 t ha<sup>-1</sup>) e inferior ao obtido em plantio direto (13,02 contra 24,71 t ha<sup>-1</sup>), sendo que apenas no plantio direto, os resultados 11,22 e 13,02 t ha<sup>-1</sup> para

PD8 e PD4 respectivamente, foram menores do que os reportados por Freitas et al. (2000) e D'Andréa et al. (2004), na camada de 0-0,1 m.

Sendo que, na área com Pasto e PC2, foram, em termos absolutos, mais distantes do que os obtidos na VS. Os sistemas de manejo mais perturbados apresentaram uma tendência em armazenar mais C orgânico no solo, discordando, em parte, da observação de D'Andréa et al. (2004) de que sistemas de manejo menos perturbados apresentaram uma tendência em armazenar mais C orgânico no solo que se aplica à pastagem e ao plantio direto.

A tendência de menores valores encontrados para o sistema com plantio direto, neste trabalho, pode ser decorrente do tempo de uso, uma vez que, segundo Venzke Filho, Feigl e Piccolo (2008), o tempo de uso do solo com PD é muito significativo, para expressar a quantidade de C armazenada ou perdida. Perdas ou aportes do EstC do solo são maiores no horizonte superficial, que abrangem o intervalo de 0 a 15 cm, portanto uma variação significativa não é de se esperar quando comparados os valores de teor de C nas camadas de solo amostradas para este trabalho.



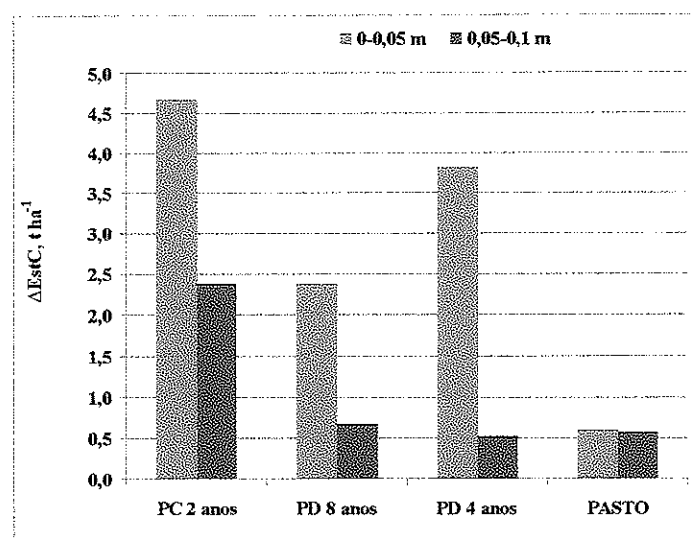
**Figura 14** - Estoque de Carbono em um Latossolo Amarelo na profundidade de 0-0,1 m, submetido a sistemas de uso e manejo, na microrregião de Paragominas - PA.

Analisando-se as variações do EstC ( $\Delta$ EstC) nos sistemas em relação à VS (Figura 15), observa-se que os sistemas apresentaram valores positivos, isto é, estes sistemas estão desempenhando, papel de armazenadores de C, quando comparados à VS. No plantio convencional com dois anos, os valores de  $\Delta$ EstC foram maiores em ambas as profundidades, devido, possivelmente, aos altos teores de Corg. Nos sistemas convencionais, existem condições que facilitam a decomposição da MO, em decorrência do revolvimento e do

aumento da aeração do solo (D'ANDRÉA et al., 2004), fato não manifestado neste trabalho devido ao pouco tempo de uso do solo.

Com a estimativa do incremento ou redução do EstC nas duas profundidades estudadas ( $\Delta\text{EstC}$ ), os valores para PD8 e PD4 são positivos, com tendência de diminuição de C em profundidade. A variação do estoque de carbono ( $\Delta\text{EstC}$ ) na área de pastagem foi menor em função dos demais sistemas avaliados, supondo que este sistema esta emitindo maior quantidade de C para atmosfera (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000) (Figura 15).

O sistema convencional (PC2) ainda recente (depois de derrubada a capoeira de 20 anos) mostrou-se mais propenso em armazenar C, seguido do PD4 e PD8. Ainda assim, mesmo nos sistemas convencionais, a textura argilosa do solo estudado pode dificultar perdas de C ou N orgânico, formação de complexos estáveis entre as substâncias húmicas e os constituintes inorgânicos do solo (OADES, 1984; STEVENSON, 1994; NOORDWIJK et al., 1997; D'ANDRÉA et al., 2004), nos quais estão incluídos os óxidos de Al, presentes muito mais expressivamente nos Latossolos do Planalto Central do Brasil (SILVA et al., 1996).



**Figura 15** - Variação do estoque de carbono nos sistemas em relação à vegetação secundária em um Latossolo Amarelo argiloso na microrregião de Paragominas - PA.

Levando-se em consideração o período de apenas 2 anos de implantação do sistema de cultivo convencional (PC2), que contribuiu para aumentar o EstC em relação à VS, acredita-se que esteja em função do fator tempo de uso, e não precisamente do sistema PC2 (FRAZÃO et al., 2008). O que pode possibilitar que o tempo de manejo poderá aumentar ou até mesmo diminuir este estoque. Com isso, torna-se necessário um cuidado no manejo dos sistemas, em

que os vários revolvimentos para o preparo do solo estão acelerando o processo de oxidação e perda de Corg, o que evidencia a importância da adequação dos sistemas de manejo na redução da emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (NEVES et al., 2004).

### 3.4 CONCLUSÕES

- Maior quantidade de carbono imobilizado na biomassa microbiana, carbono orgânico e estoques de carbono no solo, ocorreu na área com plantio convencional, em função do curto período de uso e incorporação de restos da vegetação.
- O aumento da decomposição da MO elevou a relação Cmic/Corg nas áreas com plantio direto.
- O tempo de adoção do sistema plantio direto ainda não foi suficiente para aumentar o conteúdo de matéria orgânica do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, A.; BROSSARD, M.; CHOTTE, J.-L.; FELLER, C. Les stocks organiques des principaux sols cultivés de la Martinique (Petites Antilles). **Cahier ORSTOM**. Paris, v.27, n.1, p.23-36, 1992. (Série Pédologie).
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils, **Soil Biol. Biochem.** v. 21, n.4, p.471- 479, 1989.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa Microbiana e sua Atividade em Solo sob Diferentes Sistemas de Preparo e Sucessão de Culturas, **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa (MG), v.22 n.4 p.563-786, 1998.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; FIGUEIREDO, S. R.; FILHO-KLAUBERG, O. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto Sul Catarinense. **R. Bras. Ci. Solo**, v.29, p.715-724, 2005.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, p.237-245, 2006.
- \_\_\_\_\_; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 599-607, 2000.
- BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. de A.; FERNANDES, S. A. P. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronosequência de floresta tropical – pastagem de Paragominas. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 56, n. 4 out./dez. 1999.
- BREMNER, J. M. Nitrogen total, In: SPARKS, D.L., (Ed). **Methods of soil analysis** Madison. America Society of Agronomy, 1996, p.1085-1121. (SSSA Book Series, 5).
- \_\_\_\_\_; MULVANEY, C. S. Nitrogen total, In: PAGE, A. L., (Ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed, Madison: Soil Science Society of America, 1982. Part 3, p. 595-624.
- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v.17, p.837-842, 1985.
- CERRI, C.C.; MARTIAL, B.; VOLKHOFF, B.; MORAES, J. L. Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia, In: Alvarez, V. H.; Fontes, M, P, F, (Ed). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**, Viçosa: SBCS; UFV; DPS, 1996.
- \_\_\_\_\_; VOLKHOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.9, n.1, p.1-4, 1985.

COLOZZI – FILHO, A.; ANDRADE, D. V.; BALOTA, E. L. Atividade microbiana em solos cultivados em sistemas de plantio direto. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte. v.22. n. 208. jan.fev.2001. p. 84-91

CORREA, J.C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.1, p.107-114, jan. 1995.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D.M.G. de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v.41, n.7, p.1185-1191, jul, 2006.

DA SILVA, S.C. Fundamentos para o manejo do pastejo de plantas forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*. In: PEREIRA, O.G.; OBEID, J.A., FOSSECA, D.M., NASCIMENTO JÚNIOR, D. (Eds). Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem. 2. 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV/DZO, 2004. p.347-386.

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

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na Região do Cerrado do Sul do Estado de Goiás, **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.26, p.913-923, 2002.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G, de A.; CAMARGO, F. A. de O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, Porto Alegre: Gênese, 1999, p.389-411.

DILLY, O. Metabolic and anabolic responses of arable and Forest soils to nutrient addition. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. v. 164, p.29-34, 2001.

DOMSCH, K.H.; JAGNOW, G.; ANDERSON, T.H. An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil microorganisms. **Residue Reviews**, Berlin, v. 86, p.65-105, 1983.

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.505-517, 2004.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FBPD. **Evolução do plantio direto no Brasil**, 2007. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html>>. Acesso em: 07 jul, 2009.

FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes, **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 1467-1472, 1995.

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

FREITAS, P. L. de; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M. C. FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesq. Agropec. bras.** Brasília, v.35, n.1, p.157-170, 2000.

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

GAMA-RODRIGUES, A. C. da; GAMA-RODRIGUES, E. F. BRITO, E. C. de. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste fluminense. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.31, p.1421-1428, 2007.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes, In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 227-243.

GERALDES, A.P.A; CERRI, C.C.; FEIGL, B. J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia, **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.19, p.55-60, 1995.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.223-227, 2002.

GOMIDES, J. do N.; SOUZA JÚNIOR, R. L. de; SILVA, P.C. BORGES, E. N. Efeito da adubação química em relação a orgânica no grau de dispersão de argilas e quantidade de Matéria Orgânica em Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza-CE, 2009. **Anais ...** Fortaleza-CE, 2009, CD-ROM.

GROFFMAN, M., MCDOWELL W., MYERS, J., MERRIAM; J. Soil microbial biomass and activity in tropical riparian forests. **Soil Biol & Biochem.**, v.33, p.1339-1348, 2001.

GUEDES, E. M. S. **Atributos químicos e físicos de um Latossolo Amarelo argiloso e produção de soja em sistemas de manejo, na região de Paragominas/Pa.** 2009. 75f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-Pará, 2009.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil measurement and turnover, In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Ed). **Soil Biochemistry**, New York: Dekker, v.5, 1981.

JOERGENSEN, R. G., MUELLER, T. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the  $k_{EN}$  value. **Soil Biol. Biochem.**, v. 28, p. 33-37, 1996.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L.A. Manejo do solo e o rendimento da soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Sci. Agr.**, Piracicaba, v.57, n.1, p.97-104, 2000.

LECKIE, S.E.; PRESCOTT, C.E.; GRAYSTON, S.J.; NEUFELD, J.D.; MOHN, W.M. Comparison of chloroform fumigation-extraction, phospholipid fatty acid, and DNA methods to determine microbial biomass in forest humus. **Soil Biology & Biochemistry**, v.36, p.529-532, 2004.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus Compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação Mineral e orgânica. **R. Bras. Ci. Solo**, v.27, p.821-832, 2003.

LUIZÃO, R. C.; CAMPISTA, D.; COSTA, E. S. Efeito da idade e do manejo das pastagens da Amazônia Central sobre a biomassa microbiana e suas atividades no solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 2., São Paulo, 1991. **Anais ...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991, p.49.

MALAVOLTA, E. Fertilidade dos solos da Amazônia, In: VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C, (Eds.) **Amazônia; seus solos e outros recursos naturais**, São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. p.374-416.

MELE, P.M.; CARTER, M.R., Effects of climatic factors on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. In: MULONGOY, K. ; MERCKX, R, (Ed), **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**, West Sussex : UK, 1993, 392p.

MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho- Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.27, p.435-443, 2003.

MONTEIRO, M. T.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono e nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serrapilheira de uma floresta natural. **R. Bras. Ciênc. Solo**, v.28, n.5, 2004.

MOREIRA, A.; COSTA, D.G. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.10, p.1013-1019, 2004.

\_\_\_\_\_.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v.39, n.11, p.1103-1110, 2004.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002; 625p.

MOSCATELLI, M.C.; LAGOMARSINO, A.; MARINARI, S.; DEANGELIS, P.; GREGO, S. Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation. **Ecological Indicators**, v.5, p.171-179, 2005.

NASCIMENTO, C.; HOMMA, A. **Amazônia: meio ambiente e tecnologia agrícola**. Belém: Embrapa/CPATU, 282 p.1984.

NEVES, C. M. N. das; SILVA, M. L. N., CURI, N.; MACEDO, R. L. G. TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo

convencional na Região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 28, n.5, p.1038-1046, 2004.

NOORDWIJK, M. van; CERRI, C.; WOOMER, P.L.; NUGROHO, K.; BERNOUX, M. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. **Geoderma**, v.79, p.187-225, 1997.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, v.76, p.319-337, 1984.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. Campinas : Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991, 503p.

PACHÊCO, N. A.; BASTOS, T. X. **Boletim agrometeorológico 2006 – Igarapé-Açu**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA, 2007. 32p. (Embrapa Amazônia Oriental Documentos, 296). <http://www.cpatu.embrapa.br>.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. **Boletim Agrometeorológico 2006: Tomé-Açu, PA**, Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008, 30p, (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 320), Disponível em: <[http://cpatu.embrapa.br/publicacoes\\_online](http://cpatu.embrapa.br/publicacoes_online)>. Acesso em: 10 de setembro de 2009.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente - SEMA. **Paragominas firma pacto pelo combate ao desmatamento**. SEMA/NOTÍCIAS. Disponível em: <[http://WWW.sectam.pa.gov.br/noticias\\_detalhês.php?idnoticia=79](http://WWW.sectam.pa.gov.br/noticias_detalhês.php?idnoticia=79)>. Acesso em: 28 jul.2009.

PEREZ, K. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.6, p.567-573, 2004.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Nutrient cycling in native forests. GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V, (Ed). **Forest nutrition and fertilization**, Piracicaba: IPEF, 2004. p.285-306.

POWLSON, D.S.; BROOKS, P.C. CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation, **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, n.2, p. 159-164, 1987.

RAIJ, B.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996, 285p, (Boletim Técnico, 100).

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. C.das; SILVA, J.M.L da; OLIVEIRA JUNIOR, R.C, de; GAMA, J.R.N,F; VALENTE,M, A, **Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará**, Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003, 51p.

\_\_\_\_\_; VALENTE, M. A.; GAMA, J.R.N.F.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C. de; SANTOS, P. L. dos; SILVA, J. L. da. **Zoneamento agroecológico do município de Paragominas, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002, 64p.

ROSA, J. R.; LANNA, A. C.; FERRAZ, D. M. M.; GODOY, S. G. de; RABELO, V. C.; MOURÃO, V. C.; PALMA, F. R.; GUARDIOLA, M. F.; RAMOS, M. L. G.; HEINEMANN, A. B.; MOREIRA, J. A. A.; DIDONET, A. D. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo sob cultivo orgânico de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO

NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8., 2005, Goiânia. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. v. 2. p. 1030-1033. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 182).

ROSA, J. R.; LANNA, A. C.; GODOY, S. G. de; RAMOS, M. L. G.; MOREIRA, J. A. A.; DIDONET, A. D. **Nitrogênio da Biomassa Microbiana e Nitrogênio Total no Solo sob Cultivo Orgânico de Arroz de Terras Altas (*Oriza Sativa* L.)** Disponível em: <<http://www.pronaf.gov.br/dater/arquivos/2014419889.pdf>>. Acesso em: 12 jul, 2009.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: EMBRAPA.. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo. RS). **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT / FUNDACEP-FECOTRIGO / Fundação ABC, 1993. p.37-60.

\_\_\_\_\_; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; BUCKNER, J.; FORNARI, A.; SÁ, M. F. M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; VENZKE FILHO, S. de P. O plantio direto como base de produção. **Revista Plantio Direto**. v.84, p.45-61, 2004.

SANTOS, H.P. dos; FANCELLI, A.L.; REIS, E.M.; LHAMBY, J.C.B. Efeito da rotação de culturas no rendimento de grãos e na severidade de doença do sistema radicular de trigo em sistema plantio direto. **Pesq. Agrop. Bras.** Brasília, v.30, n.7, p.923-929, 1995.

SILVA, G. L. da. **Qualidade física de um Luvisolo cultivado com sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense**. 2008. 70f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2008.

SILVA, G. R. da; SENA, W. de L.; SILVA JÚNIOR, M. L. da. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana como indicadores ambientais de um Latossolo amarelo sob diferentes sistemas de manejo, Marituba-Pará. **Rev. Ciên. Agrár.** Belém, n.48, p. 71-84, 2007.

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

SILVA, S. B. **Análise de solos**. Belém : Universidade Federal Rural da Amazônia, Serviço de Documentação e Informação, 2003.

SOUZA, C. H. E. de; LOURENÇÃO, W.; FAGAN, E. B.; SAFATLE, T. de C.; SOARES, I. A. P. Alterações dos teores de mos e propriedades Químicas de solo sob sistemas de manejo no Cerrado na região do alto Paranaíba – MG. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza-Ceará, 2009. **Anais ...** Fortaleza-Ceará, 2009.

SOUZA, L. M. de; CASTILHOS, D. D.; MORSELLI, T. B. G. A.; CASTILHOS, R. M. V. Influência da aplicação de diferentes vermicompostos na biomassa microbiana do solo após cultivo de alface. **R. Bras. Agrobiologia**, Pelotas, v. 12, n. 4, p. 429-434, 2006.

SPARLING, P. G. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 30, p. 95-207, 1992.

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

TATE, K.R.; FOSS, D.; RAMSAY, A.J.; FELTHAM, C.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biol. Biochem.** v.20, p.329-335, 1988.

THEODORO, V. C. de A.; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES, R. J.; MOURÃO-ÚNIOR, M. Carbono da biomassa microbiana e micorriza em solo sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros. **Acta Scientiarum: Agronomy**. Maringá, v.25, n.1, p.147-153, 2003.

VASCONCELOS, L.G.T.R.; ZARIN, D.J.; CARVALHO, C.J.R. DE; SANTOS, M.M. DE L.; VASCONCELOS, S.S.; OLIVEIRA, F. DE A. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária de diferentes idades na Amazônia Oriental, **Rev. Ciên. Agrár.**, Belém, n, 44, p, 49-63, jul./dez, 2005.

WENZKE FILHO, S. de P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. de C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi- PR. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.599-610, 2008.

VIEIRA, M. N. F.; VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C.; CHAVES, R.S. **Levantamento e Conservação do Solo**. 2.ed. Belém: FCAP. 2000. 200p.

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors with influence of microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Review**, v.67, p.321-358, 1992.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. **Sistema para Análise Estatística para Microcomputadores** - SANEST. Pelotas: UFPel, 1991. 109p.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na Amazônia, a exploração agrícola tem sido feita à custa do uso indiscriminado dos recursos naturais, trazendo consequências quase irreparáveis, com perdas para a biodiversidade local. A técnica de derruba e queima vem sendo questionada em razão das perdas de nutrientes, emissões de gases nocivos à atmosfera, além dos riscos de incêndio representados pela prática da queima. Estes aspectos e a predominância da adoção de pousio mais curto motivaram pesquisadores a buscar alternativas de uso da terra que minimizassem os danos ao ambiente, ao mesmo tempo em que procuraram adequar a tecnologia de manejo do solo, sem uso do fogo, aos sistemas de produção.

No presente trabalho, foram estudadas no Nordeste do Pará 2 áreas onde a adição de material orgânico ao solo, através de plantio direto (Paragominas) e corte e trituração, com e sem incorporação de resíduo orgânico no solo (Igarapé-Açu), com as seguintes hipóteses: a) a adição de material orgânico ao solo, favorecido pela permanência dos resíduos vegetais no solo, pode melhorar os atributos químicos e biológicos deste; b) o uso da terra com um e dois ciclos de cultivo consecutivos pode influenciar os atributos químicos e biológicos do solo; c) sistemas de cultivo influenciam de forma diferente os atributos biológicos do solo. Para tanto, foram estudados alguns atributos físicos (granulometria, densidade do solo, porosidade, macro e microporosidade), químicos (pH, cátions trocáveis, C, N e P) e da Biomassa Microbiana (carbono e nitrogênio), além do estoque de carbono no solo, até a profundidade de 0,1 m. De maneira geral, o estudo mostrou que o uso da terra de forma mais intensiva não teve mudança no nível de fertilidade do solo, enquanto o sistema de manejo menos intensivo apresentou incremento na sua fertilidade. A manutenção da fertilidade nestes solos se dá, provavelmente, pelo não revolvimento da camada superficial do solo onde os elementos se concentram, em decorrência das repetidas adubações.

Por outro lado, em geral os sistemas sob plantio direto também armazenaram C no solo, mesmo sendo inferior, em comparação ao sistema convencional. Assim, os sistemas de manejo sob plantio direto mostram-se como potencial fonte de sequestro de carbono. A elevada quantidade de carbono imobilizado na biomassa microbiana, na área com plantio convencional, está em função do curto período de uso da terra, sendo decorrente de uma menor qualidade do carbono orgânico, em função da diversificação de material orgânico.

Este estudo, ainda, mostra que o tipo de manejo não influenciou de forma negativa as características do solo e que a adição de material orgânico diversificado ao solo, com a permanência desses resíduos vegetais e sua decomposição lenta, levam à criação de um

edafoambiente favorável à manutenção da qualidade do solo, com o conjunto de atributos aqui estudados, principalmente aqueles relacionados à biomassa microbiana do solo. Contudo, a continuação desse tipo de trabalho, em longo prazo, torna-se necessária, com vistas a identificar diferenças nas características biológicas dos solos entre os diferentes sistemas de manejo, principalmente levando-se em conta a variação climática local.