

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

**ESTOQUES E FLUXOS DE CARBONO NAS FRAÇÕES
DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO NOS
AGROECOSSISTEMAS DE ROÇA DE DERRUBA-E-
QUEIMA E ROÇA MELHORADA (*SLASH-AND-
MULCH*)**

Rafaela Eloi de Almeida Alves

São Luís - MA

2009

Rafaela Eloi de Almeida Alves

**ESTOQUES E FLUXOS DE CARBONO NAS FRAÇÕES
DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO NOS
AGROECOSSISTEMAS DE ROÇA DE DERRUBA-E-
QUEIMA E ROÇA MELHORADA (*SLASH-AND-
MULCH*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Christoph Gehring

**São Luís - MA
2009**

Rafaela Eloi de Almeida Alves

Estoques e fluxos de Carbono nas frações da matéria orgânica do solo nos agroecossistemas de roça de derruba-e-queima e roça melhorada (slash-and-mulch)

Dissertação apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão.

Christoph Gehring – UEMA

(Orientador)

Altamiro Souza de Lima Ferraz Júnior - UEMA

Adenir Vieira Teodoro – UEMA

São Luís, 04 de março de 2009.

Alves, Rafaela Eloi de Almeida.

Estoques e fluxos de carbono nas frações da matéria orgânica do solo nos agroecossistemas de roça de derruba-e-queima e roça melhorada (slash-and-mulch). / Rafaela Eloi de Almeida Alves. – São Luís, 2009.

61f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2009.

Orientador: Prof. Dr. Christoph Gehring.

1. Matéria orgânica – Solo. 2. Estoque de carbono. 3. Derruba e queima.
I. Título.

CDU: 630*436-141.74

DEDICATÓRIA

Dedico a Deus, em primeiro lugar, por me dar paciência, força de espírito e inspiração para a conclusão de mais esta etapa acadêmica em minha vida;

Aos meus amados pais, que sempre me apoiaram e entenderam as minhas crises de humor, devido ao nervosismo no decorrer da minha pesquisa e;

Ao meu irmão, que mesmo longe sempre me apoiou e incentivou para que eu nunca desistisse dos meus objetivos

AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos do Rio de Janeiro, principalmente a Daniella e sua família, que tenho como minha, por me apoiarem e me receberem de portas abertas em sua casa;

Aos amigos da UFRRJ, da época da minha graduação, que sempre me apoiaram e acolheram;

Ao pesquisador Dr. Fabiano Balieiro, da Embrapa Solos, que me orientou para o desenvolvimento da metodologia do fracionamento físico de matéria orgânica do solo e me permitiu utilizar os equipamentos do laboratório;

Ao pesquisador Dr. José Carlos Polidoro, por ter me incentivado a entrar no mestrado e sempre me incentivar a continuar na pesquisa científica;

Ao pesquisador Dr. Robert Boddey, da Embrapa Agrobiologia, pelos esclarecimentos relacionados à instalação dos experimentos e coletas dos dados de campo;

Aos estagiários da Embrapa Solos que me ajudaram e me incentivaram a terminar minhas análises;

Ao Neto, Carmelita, Fátima, Renato, Dionízio, funcionários de serviços gerais do Mestrado em Agroecologia, da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, que me trataram com carinho e respeito;

Ao Josael e João, técnicos dos Laboratórios de Física e Química do Solo, respectivamente, da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA,

Ao Seu Zé, responsável por receber as amostras de solo para análise físico-química nos laboratórios do Departamento de Solo da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA;

Aos colegas e amigos de turma do Mestrado, que me ajudaram e me receberam com carinho e me ensinaram valiosas lições de vida e confiança para com os outros;

As minhas novas amigas e parceiras em trabalhos, Simone e Camila, que me ajudaram para o desenvolvimento da minha pesquisa, me apoiando nos momentos de dúvida e desespero;

A família da Dona Teresinha, agricultora rural, da Comunidade Mato Grosso na cidade de São Luís - Maranhão, que cedeu parte de suas áreas para o desenvolvimento da minha pesquisa;

Ao Seu Biné, Raimundo Marques, Chico, Chicá e Onofre, agricultores rurais do município de Zé Doca, Maranhão, por cederem áreas para o desenvolvimento da pesquisa;

A UEMA por ceder o laboratório de matéria orgânica do solo para desenvolver parte da pesquisa;

Ao professor Dr. Christoph Gehring, meu orientador, que aceitou minhas idéias, esclareceu minhas dúvidas, me ajudando na parte estatística e na confecção da minha dissertação;

Ao convênio entre o curso de Mestrado em Agroecologia da UEMA e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e a EMBRAPA Agrobiologia, o qual permitiu o término de parte das minhas análises em tempo hábil para a defesa da minha dissertação;

Ao CNPq por financiar o projeto 'Interação entre a palmeira babaçu (*Orbignya phalerata*) e cultivos anuais na agricultura itinerante do Maranhão – Compartilhamento do Nitrogênio e concorrência radicular integrados por marcação com ^{15}N ', CNPq Universal 02/2006, no qual a pesquisa foi desenvolvida;

A CAPES por conceder minha bolsa de apoio técnico e financiar minhas idas ao Rio de Janeiro para o desenvolvimento das metodologias abordadas na minha dissertação.

RESUMO

O manejo da matéria orgânica do solo pode ser considerado um dos elementos mais importantes para a sustentabilidade agrícola nos trópicos. No presente estudo foram avaliados os estoques e fluxos de carbono nas frações da matéria orgânica do solo em áreas de roça de derruba-e-queima, de capoeira e de roça melhorada (*slash-and-mulch*). A pesquisa foi desenvolvida em áreas de agricultores familiares localizadas no estado do Maranhão. Foram avaliadas: (i) a biomassa aérea da vegetação em cada área; (ii) as frações físicas da matéria orgânica do solo; e (iii) os resultados das análises físico-química dos solos amostrados. A quantidade de matéria orgânica total teve uma relação com a densidade do solo, demonstrando uma relação significativa com as frações argila e silte, coincidindo na maior quantidade dos teores de macronutrientes e pH nos primeiros 10 cm do solo. As frações leves da matéria orgânica do solo foram diretamente relacionadas ao teor de matéria orgânica total, as quais apresentaram uma taxa de mineralização contínua, como evidenciado depois de 1 ano de cultivo em roça de derruba-e-queima, se mostrando como um indicador físico sensível de mudança provocada pelo manejo do solo. Não houve um aumento significativo nos teores de matéria orgânica do solo na roça melhorada. Os resultados mostraram que ao longo do perfil de solo ocorre uma diminuição do estoque de carbono orgânico total, no entanto abaixo de 40 cm de profundidade até 100 cm observam-se valores expressivos (15,6 t.ha⁻¹ média dos 3 sistemas estudados), o que evidencia um efetivo estoque de carbono até 1 metro de profundidade.

Palavras-chaves: Matéria Orgânica do Solo, Estoque de Carbono, *slash-and-mulch*, Agricultura de Derruba-e-queima.

ABSTRACT

The management of soil organic matter can be considered more important elements to agriculture sustainable in the tropics. The aim of this study was to evaluate fluxes and stocks of carbon in the fractions of the soil organic matter in slash-and-burn, secondary forest and slash-and-mulch areas. The experiments were carried out in smallholder farms in the Maranhão State, Brazil. Were evaluated: (i) the vegetation biomass in each area, (ii) the physical fractions of the soil organic matter, and (iii) the results of soil physical and chemistry analyses. The soil density was affected by total organic matter, which demonstrates a relationship with silt and clay fractions, increasing the macronutrients and pH of the first 10 cm of soil surface. The light fractions of soil organic matter were positively related with total organic matter, where these fractions presented a high average mineralization, which was evidenced after one year to the slash-and-burn agriculture, demonstrate like a sensitive physical indicator for changes in the soil management. The opposite was expected, the slash-and-mulch area do not demonstrate significance in relation to increasing the organic matter (total and soil). The results demonstrated that the soil profile occur a decreasing in a total organic carbon stocks, besides until one meter depth observed an expression values ($15,6 \text{ t.ha}^{-1}$, 3 researched systems average), what can be evidenced an effective carbon sequestration until 1 meter of soil profile.

Key-words: Soil Organic Matter, Carbon Stocks, *slash-and-mulch*, slash-and-burn Agriculture.

LISTA DE ABREVIACOES

Ca - Cálcio
C – Carbono
CO – Carbono Orgânico
CO₂ – Gás Carbnico
Cr₂ – ons Dicromato
CTC – Capacidade de troca catiônica
Fe⁺² – ons de Ferro
FL – Fração Leve
FLL – Fração Leve Livre
FLI – Fração Leve Intra-agregado
FP – Fração Pesada
KCl – Cloreto de Potássio
MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
Mg - Magnésio
MOS – Matéria Orgânica do Solo
MO – Matéria Orgânica
M/V – Massa / Volume (g cm⁻³)
NaI – Iodeto de Sódio
P – Fósforo
RPM – Rotações Por Minuto
TFSA – Terra Fina Seca ao Ar
UR – Umidade Relativa

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Cronograma de atividades de campo nas áreas da Comunidade Mato Grosso / São Luís (SL) e Zé Doca (ZD), no Estado do Maranhão. 14
- Figura 2.** Frações Leves da MOS extraídas por meio do Fracionamento Físico Densimétrico seguindo a metodologia de Machado (2002). **A** - Fração Leve Livre; **B** - Fração Leve Intra-agregado..... 16
- Figura 3.** Etapas do Fracionamento Físico Granulométrico da MOS (Frações Pesadas). **A** – Separação da Fração Areia (**C**) por peneiramento; **B** – Sedimentação das Frações Silte (**D**) e Fração Argila (**E**). 17
- Figura 4.** Composição da biomassa aérea de áreas pesquisadas na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. **A** – vegetação de pousio (média de 5 capoeiras de diferentes idades: 24,8 t ha⁻¹) e **B** – final do ciclo de cultivo (média de 3 roças de derruba-e-queima: 5,5 t.ha⁻¹). Dados apresentados pelo Dr. Christoph Gelring no Relatório CT Universal 2006. 19
- Figura 5.** Relação entre a densidade e a profundidade do solo em roça de derruba-e-queima. $DS (g.cm^{-3}) = 1,27 + 0,265 * \log_{10}(\text{profundidade})$, $R = 0,81$, $p < 0,0001$ (**A**) e capoeira $DS (g.cm^{-3}) = 1,22 + 0,11 * \log_{10}(\text{profundidade})$, $R = 0,43$, $p = 0,02$ (**B**), localizadas na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. 20
- Figura 6.** Relação entre a densidade do solo e a matéria orgânica, na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. $Densidade = 1,42 - 0,004 * MOS$, $R^2 = 0,26$; $p < 0,05$ 23
- Figura 7.** Influência da MO na qualidade química do solo da Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. **A**- Cálcio (Ca), $\ln(Ca \text{ mg/kg}) = 1,15 + 1,45 * \ln(MO \text{ g/kg})$, $R^2 = 0,80$, $p < 0,0001$; **B**- Magnésio (Mg), $\ln(Mg \text{ mg/kg}) = 1,83 + 0,830 * \ln(MO \text{ g/kg})$, $R^2 = 0,59$, $p < 0,001$; **C**- Fósforo (P), $\ln(P \text{ mg/kg}) = 2,80 + 1,49 * \ln(MO \text{ g/kg})$, $R^2 = 0,53$, $p < 0,0001$; **C**-pH, $pH = 3,72 + 0,396 * \ln(MO \text{ g/kg})$, $R^2 = 0,35$, $p < 0,001$ 24
- Figura 8.** Comparação dos teores de MO entre uma roça de derruba-e-queima (R2) no primeiro ano de cultivo - 2008 (**A**) e uma capoeira (**B**), localizada na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA ao longo do perfil do solo. 25
- Figura 9.** Teores de matéria orgânica em uma roça de derruba-e-queima (R1 – segundo ano de cultivo), na Comunidade Mato Grosso, em São Luís / MA ao longo do perfil do solo. 25
- Figura 10.** Estoque de carbono ao longo do perfil do solo em áreas de roça de derruba-e-queima (**A** e **B**) e em capoeira (**C**). **A** – R2: 2º ano de cultivo (média de 3 perfis: 68,9 t.ha⁻¹), **B** – R1: 1º ano de cultivo (média de 3 perfis: 44,7 t.ha⁻¹) e **C** – (média de 3 perfis: 69,6 t.ha⁻¹). As médias das camadas 30-40, 50-60, 60-70, 80-90, foram feitas e somadas às camadas amostradas (demonstradas na figura). 26
- Figura 11.** Relação entre a MO e a fração argila (**A**) e a fração silte (**B**), na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. **A** – $\ln(MO \text{ g/kg}) = 2,25 + 0,119 * \% \text{ Fração argila}$, $R^2 = 0,16$; $p < 0,01$; **B** – $\ln(MO \text{ g/kg}) = 2,28 + 0,091 * \% \text{ Fração silte}$; $R^2 = 0,13$; $p < 0,01$ 27
- Figura 12.** Relação entre a porcentagem de FL e o teor da MO total (**A**) e % FLL e a % FLI (**B**), na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. **A** – $\ln(\% FL) = 3,58 + 0,90 * \ln(MO$

g/kg), $R^2 = 0,37$, $p < 0,001$; B - $\ln (\% \text{ FLI}) = 1,36 + 0,393 * \ln (\% \text{ FLL})$, $R^2 = 0,34$, $p < 0,001$.
.....29

Figura 13. Concentração das frações leves em diferentes fases de cultivo e da roça de derruba-e-queima em relação ao tempo de cultivo, na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. **A** – porcentagem de FLL e **B** – porcentagem de FLI.....30

Figura 14. Porcentagem da FL na roça de derruba-e-queima (**A**) e na capoeira (**B**) ao longo do perfil do solo, na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. Letras maiúsculas e minúsculas iguais indicam a não ocorrência de diferença significativa entre os tratamentos, letras maiúsculas comparam os usos da terra e letras minúsculas comparam a porcentagem de FL ao longo do perfil do solo.31

Figura 15. Acúmulo da biomassa aérea total no decorrer da sucessão secundária após agricultura de derruba-e-queima ('roça') ou pastagens ('pasto') em uma cronosequência de 10 capoeiras no Município de Zé Doca, na Pré-Amazônia Maranhense. Biomassa aérea total (t.ha^{-1}) = $13,9 + 2,98 * \text{idades (anos)}$, R^2 ajustado = 0,43, $p = 0,02$. Dados obtidos por comunicação pessoal Dr. Christoph Gehring e Dr. Carlos Freitas.32

Figura 16. Camada de cobertura morta um ano após a trituração e cultivo com milho e feijão caupi expressa em porcentagem de biomassa aérea total da capoeira triturada, em função dos tratamentos de adubação (T1: NPK + calagem, T2: calagem, T3: NPK). *Somente o Tratamento 3 foi avaliado na presente pesquisa (Comunicação pessoal Dr. Christoph Gehring e Dr. Carlos Freitas).....36

Figura 17. Porcentagem de FLI em relação ao uso da terra, nas áreas pesquisadas no Município de Zé Doca / MA.37

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Análise Química do Solo nas áreas de roça de derruba-e-queima no primeiro ano de cultivo (R1) e capoeira (C), localizadas na Comunidade Mato Grosso, em São Luís / MA. Amostras coletadas no ano de 2007.....21
- Tabela 2.** Análise Química do Solo nas áreas de roça de derruba-e-queima (R1 / R2) e na capoeira (C), localizadas na Comunidade Mato Grosso, em São Luís / MA. Amostras coletadas no ano de 2008. R1 – segundo ano de cultivo R2 – primeiro ano de cultivo,21
- Tabela 3.** Análise Física do Solo nas áreas de roça de derruba-e-queima (R1) e capoeira (C), localizadas na Comunidade Mato Grosso, em São Luís / MA. Amostras coletadas no ano de 2007, primeiro ano de cultivo.22
- Tabela 4** Análise Física do Solo nas áreas de roça de derruba-e-queima (R1 / R2) e na capoeira (C), localizadas na Comunidade Mato Grosso, em São Luís / MA. Amostras coletadas no ano de 2008. R2 – primeiro ano de cultivo, R1 – segundo ano de cultivo.22

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. | REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. | Características da Roça de Derruba-e-queima..... | 3 |
| 2.2. | Características de Roça Melhorada (<i>slash-and-mulch</i>)..... | 4 |
| 2.3. | Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo..... | 4 |
| 2.3.1. | Importância da Matéria Orgânica do Solo..... | 4 |
| 2.3.2. | Relevância das frações da MOS..... | 5 |
| 2.3.3. | Fracionamento físico da MOS..... | 5 |
| 2.3.4. | Acúmulo de Carbono na MOS..... | 6 |
| 2.4. | Seqüestro de Carbono em agroecossistemas..... | 6 |
| 2.5. | Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)..... | 7 |
| 3. | OBJETIVOS | 9 |
| 4. | MATERIAIS E MÉTODOS | 10 |
| 4.1. | Áreas Pesquisadas Localizadas na Comunidade de Mato Grosso, São Luís / MA.. | 10 |
| 4.2. | Áreas Pesquisadas Localizadas no Município de Zé Doca / MA..... | 10 |
| 4.2.1. | Áreas de roça de derruba-e-queima e Áreas de capoeira..... | 10 |
| 4.2.2. | Áreas de roça melhorada (<i>slash-and-mulch</i>)..... | 10 |
| 4.3. | Características do Clima e do Solo..... | 11 |
| 4.3.1. | Clima..... | 11 |
| 4.3.2. | Solo..... | 11 |
| 4.4. | Metodologias..... | 12 |
| 4.4.1. | Campo..... | 12 |
| 4.4.1.1. | Áreas localizadas na Comunidade Mato Grosso (São Luís) e nas áreas localizadas no Município de Zé Doca..... | 12 |
| 4.4.1.1.1. | Estimativa da biomassa aérea..... | 12 |
| 4.4.1.1.2. | Amostragem de solo..... | 12 |
| 4.4.2. | Laboratório..... | 14 |
| 4.4.2.1.1. | Densidade do solo..... | 14 |
| 4.4.2.2. | Fracionamento densimétrico..... | 15 |
| 4.4.2.2.1. | Fracionamento granulométrico..... | 16 |
| 4.4.2.2.2. | Análises Química e Física do Solo..... | 17 |
| 4.5. | Análises Estatísticas..... | 18 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 19 |
| 5.1. | Caracterização Geral das Áreas de Estudo..... | 19 |
| 5.1.1. | Áreas pesquisadas na comunidade Mato Grosso, São Luís..... | 19 |
| 5.1.1.1. | Biomassa aérea..... | 19 |
| 5.1.1.2. | Caracterização física e química dos solos..... | 19 |
| 5.1.1.3. | A MOS e a qualidade físico-química dos solos..... | 23 |
| 5.1.1.4. | Distribuição da MOS..... | 24 |

| | | |
|----------|---|----|
| 5.1.1.5. | Frações leves da MOS | 28 |
| 5.1.2. | Áreas pesquisadas em Zé Doca | 32 |
| 5.1.2.1. | Biomassa aérea | 32 |
| 5.1.2.2. | Caracterização física e química dos solos | 32 |
| 5.1.2.3. | Impacto do <i>slash-and-mulch</i> na dinâmica da MOS..... | 35 |
| 6. | CONCLUSÕES | 38 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 39 |
| 8. | ANEXO | 45 |

1. INTRODUÇÃO

Nos trópicos, a conversão de floresta em agricultura destrói milhões de hectares de floresta anualmente. Ademais, emissões de gases de efeito estufa são causadas por essas atividades, que também causam mudanças nas propriedades do solo como, por exemplo, o aumento temporário no pH e na capacidade de troca catiônica (CTC), e uma freqüente diminuição de matéria orgânica no solo (DESJARDINS et al., 1994; KOUTIKA et al., 1999; OELBERMANN et al., 2006). Entretanto, parte desses gases de efeito estufa podem retornar para o agroecossistema com a adoção de práticas de conservação do solo, como a trituração de capoeiras (*slash-and-mulch*) (DAVIDSON et al., 2008).

Em regiões tropicais, a regeneração da vegetação natural é uma prática tradicional para restaurar a fertilidade das áreas usadas na agricultura (SZOTT et al., 1999).

Na pré-Amazônia Maranhense (Ilha de São Luís) e nos trópicos em geral, observa-se que o manejo adotado para o cultivo agrícola é a prática tradicional de derruba e queima. Tal prática consiste no corte de uma capoeira (vegetação secundária) na época seca do ano e a sua queima antes do início do período chuvoso, com o objetivo de adicionar nutrientes ao solo e elevar o pH através das cinzas.

Matéria Orgânica do solo (MOS) é um termo simples para definir a mistura de carbono orgânico, substâncias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos e humina), diversas substâncias orgânicas e suas associações com os minerais do solo. Para sua formação nos ecossistemas terrestres é necessária a participação de microrganismos, que têm como função decompor resíduos orgânicos mortos como plantas, animais e microrganismos do solo (MACHADO, 2001A).

A MOS tem papel importante como fonte de energia e nutrientes para os organismos, para a capacidade de troca de cátions, no tamponamento do pH e como agente cimentante na agregação do solo, influenciando diretamente a retenção de água e na capacidade de aeração do solo (FELLER & BEARE, 1997; HASSINK et al., 1997).

A MOS é proveniente de resíduos vegetais e representa o principal reservatório de carbono (C) no ciclo global desse elemento (SALAMANCA et al., 2002). A MOS é indispensável para a manutenção da micro e mesofauna do solo, e a bioestrutura e toda a produtividade do solo se baseia na presença de MO em decomposição ou humificada. Sua importância é a de manter a estrutura do solo, em regiões tropicais e subtropicais, através de uma aplicação periódica de palha ao solo a fim de fornecer material vegetal decomponível e para a produção contínua de substâncias agregantes (PRIMAVESI et al., 1984).

Estudos têm demonstrado que determinados compartimentos (frações leves) da MOS são mais sensíveis às mudanças nos conteúdos de C no solo associadas ao manejo (ZOTARELLI et al., 2007; LIMA et al., 2008). O estudo desses compartimentos, bem como sua relação com o manejo, visa desenvolver estratégias para o uso sustentável dos solos, visando à redução do impacto das atividades agrícolas sobre o ambiente (PINHEIRO et al., 2004). Nesse contexto, a técnica do fracionamento físico no estudo da MOS tem se mostrado promissora, considerando que a mesma consegue obter frações que - embora com alta complexidade e heterogeneidade química - detêm uma boa homogeneidade funcional (i.e., mesmo grau de labilidade / estabilidade) (VON LÜTZOW et al., 2006; DIECKOW et al., 2009). Esta técnica descreve tais compartimentos como de grande importância na ciclagem e liberação de nutrientes para as plantas. Este tipo de fracionamento é considerado menos destrutivo e mais relacionado com a função e estrutura da MOS *in situ* (CHRISTENSEN, 2001; MACHADO, 2002; PINHEIRO, 2007).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Características da Roça de Derruba-e-queima

No trópico úmido, a vegetação secundária de pousio (capoeira que se restabelece após a área de roça de derruba-e-queima ser abandonada) tem o papel de restaurar a fertilidade do solo para um próximo ciclo de cultivo, sendo esta uma prática tradicional dos agricultores de regiões tropicais. Esse tempo de repouso para recuperação da biomassa vegetal tem se tornado cada vez mais curto devido à diminuição de terras agricultáveis.

Após uma queimada podem ocorrer efeitos negativos no solo, como a oxidação da matéria orgânica (camada superficial, até 2 cm de profundidade do solo), deterioração da estrutura e porosidade, e indiretamente alterar a diversidade da comunidade de microrganismos do solo (CERTINI, 2005).

A dinâmica da regeneração da capoeira como vegetação de pousio é essencial para a sustentabilidade do agroecossistema de derruba-e-queima, porque essa vegetação de pousio recupera o potencial produtivo, com o aporte de nutrientes para o solo por meio da biomassa aérea, perdido durante o preparo e cultivo da área (SZOTT et al., 1999). A velocidade da regeneração e o grau de aproximação às características da vegetação anterior são fatores importantes para a determinação dos tempos mínimos de pousio necessários para garantir a sustentabilidade do sistema (GEHRING et al., 2005).

A garantia de sustentabilidade de um agroecossistema, sem as práticas agrícolas convencionais (uso de adubos minerais), só é possível se o período de recuperação desse agroecossistema for mantido por um período de tempo suficiente para o mesmo recuperar sua produtividade (DENICH et al., 2004).

Com o uso do fogo ocorre um imediato decréscimo do nitrogênio (N) orgânico presente na biomassa aérea devido a sua volatilização (FISHER & BINKLEY, 2000). Já no fósforo (P), o efeito do aumento de temperatura pode se mostrar diferente. A combustão da vegetação e da liteira causam modificações no ciclo biogeoquímico deste elemento. Antes da queima o P que se apresenta na sua forma orgânica (não está disponível para absorção pelas plantas) após a queima ele é convertido para a forma inorgânica tornando-se disponível (CADE-MENUN et al., 2000).

2.2. Características de Roça Melhorada (*slash-and-mulch*)

A proposta da trituração de capoeiras para substituição do fogo no preparo do solo se justifica por uma série de supostas vantagens, podendo-se citar a criação de uma camada de cobertura morta (*mulch*), que reduz a incidência de espécies de ervas espontâneas agressivas (especialmente as gramíneas heliofíticas), criação de um microclima mais favorável para a fauna do solo e aumento da retenção e armazenamento de água no solo (DENICH et al., 2004, 2005).

No entanto, as vantagens mais importantes se baseiam diretamente ou indiretamente nas melhorias da dinâmica da matéria orgânica, e deste modo se relacionam com a sustentabilidade ecológica e agrônômica do agroecossistema. A roça melhorada consiste em triturar a biomassa aérea da vegetação de pousio (capoeira) para reduzir a perda de MO e nutrientes e formar uma camada de cobertura morta (DENICH et al., 2004).

A deposição periódica de liteira não somente ajuda na redução das perdas de nutrientes, mas também contribui para a conservação de quantidades consideráveis de matéria orgânica (SOMMER et al., 2004; GLAB & KULIG, 2008). Para um manejo sustentável do solo, a melhora nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo através da adição de MO talvez seja tão importante quanto à redução das perdas de nutrientes pela tecnologia de preparação através do uso do fogo (DENICH et al., 2005).

2.3. Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo

2.3.1. Importância da Matéria Orgânica do Solo

Solos ricos em matéria orgânica são solos vivos, ou seja, apresentam uma vasta diversidade de comunidades de microrganismos (minhocas, centopéias e outros). Estes microrganismos promovem importantes ‘serviços ecológicos’, como por exemplo, a reciclagem de carbono e resíduos vegetais (MARTIUS et al., 2001).

A MOS consiste de diferentes compartimentos que são estabilizados por meio de mecanismos específicos (VON LÜTZOW et al., 2007). Swift (2001) afirma que a MOS é o maior reservatório terrestre de C (excetuando-se as reservas fósseis) representando cerca de duas vezes mais a quantidade de C na biomassa vegetal e na atmosfera. O manejo adequado da MOS é essencial para a segurança alimentar, pois um solo bem estruturado permite a produção sustentável de alimentos (MACHADO, 2001). Para um manejo adequado da MOS,

principalmente em solos tropicais, deve-se considerar o clima, o solo, a vegetação e o histórico da área a ser trabalhada.

A dinâmica da MOS é complexa, e requer um entendimento das interações biológicas e químicas entre os componentes minerais e orgânicos constituintes do solo (SOLLINS et al., 2006). Já a fertilidade do solo está ligada a MOS devido à sua influência nas propriedades físicas do solo e no suprimento de nutrientes para as plantas (SHIBU et al., 2006).

2.3.2. Relevância das frações da MOS

A fração leve (FL) consiste em sua maioria de resíduos de plantas (folhas e raízes em diferentes graus de decomposição) com densidade maior que $1,6 - 2,0 \text{ g.cm}^{-3}$ e localizada livre e intra-agregada no solo (CHRISTENSEN, 1992; DEMOLINARI et al., 2008).

A FL corresponde à matéria orgânica não complexada e divide-se em fração leve livre (FLL) ou matéria orgânica particulada e fração leve intra-agregado (FLI) ou matéria orgânica oclusa. Essas frações são consideradas estoques transitórios de MOS, onde a taxa de transformação é muito rápida (EIZA et al., 2005; YAMASHITA et al., 2006), possuindo uma elevada relação C/N quando comparada com as frações pesadas, demonstrando a influência da liteira no estoque de MOS (FREIXO et al., 2000).

A fração pesada (FP) é aquela que se encontra protegida no solo, física ou quimicamente se mostrando mais estáveis, com *'turnover'* em escala de décadas a séculos (YAMASHITA et al., 2006), correspondendo a (i) MO associada às frações minerais do solo (areia, silte e argila) e (ii) às partículas quimicamente condensadas que se encontram em maior grau de decomposição (DEMOLINARI et al., 2008).

A dinâmica das frações da matéria orgânica está intimamente ligada com a textura do solo (FELLER & BEARE, 1997; YAMASHITA et al., 2006). Conforme Freixo et al. (2002A), solos mais arenosos apresentam grande proporção de MO associada à partícula areia ($> 53\mu\text{m}$). Essa MO é mais suscetível às mudanças no manejo do solo, pois essa fração areia é composta em sua grande parte por resíduos vegetais, os quais são mais facilmente mineralizados.

2.3.3. Fracionamento físico da MOS

O método do fracionamento físico da MOS se baseia na associação das partículas do solo com o material orgânico em diferentes estágios de decomposição, para explicar a dinâmica da mesma. Esse método envolve a desagregação do solo, que por sua vez é

importante tanto para o fracionamento granulométrico quanto para o densimétrico (VON LÜTZOW et al., 2007).

O fracionamento densimétrico é aplicado para isolar a MOS não associada firmemente aos minerais do solo (fração leve). O intuito do fracionamento por densimetria é determinar os reservatórios ativos e passivos da MOS.

O fracionamento granulométrico parte do princípio que a MOS está associada a partículas de solo de diferentes tamanhos (CHRISTENSEN, 1992). A MOS demonstra uma grande afinidade com as partículas argila e silte, pois essa apresenta maior área superficial e diversos sítios reativos, onde a MOS se liga à partícula por meio de ligações químicas fortes, o que resulta em maiores teores de MOS em solos argilosos em comparação com arenosos (FELLER & BEARE, 1997).

A partícula areia já demonstra caráter oposto, tendo pouca afinidade com a MOS, se mostrando um reservatório pouco estável para a proteção da mesma no solo. Já as partículas argila e silte se mostram mais estáveis, com maior proteção da matéria orgânica no solo (SPOSITO et al., 1999).

2.3.4. Acúmulo de Carbono na MOS

O manejo da MOS se apresenta como uma importante estratégia para atenuar a concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. O carbono pode se acumular nas frações lábeis (FL) ou estáveis (FP) da MOS, as quais diferem no tempo de retenção desse CO_2 atmosférico no solo (BAYER et al., 2004). Esse acúmulo de C nas frações (FL e FP) da MOS pode ser relacionado à proteção física, no interior dos agregados de solo, dificultando o acesso dos microrganismos (FELLER & BEARE, 1997). A MO protegida no interior dos agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a MO livre (BUYANOVSKY et al., 1994).

A redução do C no solo quando se trata de sistemas que sofreram a conversão de floresta nativa para sistemas agrícolas pode ser atribuído ao aumento da erosão, aos processos mais acelerados de mineralização da MO e às menores quantidades de aportes orgânicos (HOUGHTON et al., 1991; LEITE et al., 2003).

2.4. Seqüestro de Carbono em agroecossistemas

O seqüestro de carbono é um processo no qual o CO_2 é removido da atmosfera e estocado em reservatórios por diferentes períodos de tempo (JONES & DONNELLY, 2004).

O aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera vem crescendo desde a revolução industrial devido à constante queima de combustíveis fósseis (270 ± 30 Pg de carbono) e mudança no uso da terra (136 ± 55 Pg de carbono). Essas emissões por mudança de uso da terra incluem o desflorestamento, a queima da biomassa vegetal e a conversão de ecossistemas naturais para agroecossistemas agricultáveis, por isso é necessário identificar estratégias para a mitigação desse gás de efeito estufa na atmosfera (LAL, 2004).

Se um sistema agroflorestal for estabelecido imediatamente após a prática de agricultura de derruba-e-queima, 35% do estoque de carbono orgânico do solo (COS), original da floresta, podem ser recuperados (SÁNCHEZ, 2000).

Sistemas de plantio direto podem acumular C nas frações lábeis ou estáveis da MOS, porém a durabilidade da retenção do C atmosférico pode ser afetada (BAYER et al., 2004).

A MOS pode ser vista como uma fonte ou um dreno de CO₂ atmosférico dependendo do uso da terra, manejo do solo, e recursos de água e vegetação. A MOS é uma fonte de CO₂ atmosférico quando as práticas agrícolas conduzem para um balanço negativo de nutriente e uma alta degradação do solo (LAL, 2009).

2.5. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

O Brasil apresenta grande potencial para o sequestro de C devido à extensão territorial e aptidão agrícola e florestal. O Protocolo de Kyoto prevê recursos financeiros e transferência de tecnologia para países em desenvolvimento para cada tonelada de CO₂ não emitida ou retirada da atmosfera (MARTIN-NETO et al., 2005).

Conforme o Relatório de Desenvolvimento Humano (2007/2008), os países mais desenvolvidos têm uma responsabilidade histórica de assumir a liderança para equilibrar o orçamento de C. Tal relatório recomenda uma série de medidas para a obtenção deste equilíbrio como, por exemplo, o corte das emissões de CO₂ em 80 % até o ano de 2050; um investimento anual de US\$ 86 bilhões em esforços de adaptação para a proteção dos mais pobres; o apoio a produção de biocombustíveis, sem prejudicar os direitos dos pequenos agricultores ou populações indígenas; e o apoio aos esforços de diminuir o desmatamento de florestas em países como o Brasil (PNUD, 2009).

O Protocolo de Kyoto consiste na utilização de mecanismos de mercado para que países desenvolvidos possam atingir os objetivos de redução de gases de efeito estufa. Para o Brasil o interessante é o MDL, pois é o único mecanismo que permite a participação voluntária de países em desenvolvimento. O MDL permite a certificação de projetos de redução de emissões nos países em desenvolvimento e posterior venda das reduções

certificadas de emissão, para serem utilizadas pelos países desenvolvidos como modo suplementar para cumprirem suas metas (MCT, 2009).

Para um projeto resultar em reduções certificadas de emissões (RCE's), as atividades do projeto de MDL devem passar por sete etapas: elaboração do documento de concepção do projeto (DCP), usando metodologia de linha de base e plano de monitoramento aprovados; validação (verifica se o projeto está em conformidade com a regulamentação do Protocolo de Kyoto); aprovação pela Autoridade Nacional Designada (AND); submissão ao Conselho Executivo para registro; monitoramento; verificação / certificação; e emissão de unidades segundo o acordo do projeto (MCT, 2009).

A não inclusão do seqüestro de carbono pela matéria orgânica do solo como componente do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto se deve principalmente à falta de conhecimento e dificuldades de se chegar a estimativas confiáveis. No entanto, existe a expectativa de uma futura inclusão deste componente nas regras do MDL (POST & KWON, 2004) devido à importância fundamental da MOS nos estoques terrestres de carbono.

Conseqüentemente, qualquer esforço de melhorias na sustentabilidade da exploração da terra exige um manejo adequado e racional da MOS.

3. OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo caracterizar os estoques e fluxos de carbono nas frações (leves e pesadas) da matéria orgânica do solo (i) na fase de cultivo e na fase de pousio das áreas (capoeira), em agricultura de derruba-e-queima, localizadas na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA, comparando essas fases entre si (ii) e com o manejo melhorado do solo, roça melhorada (*slash-and-mulch*), localizado no Município de Zé Doca na pré-Amazônia Maranhense.

Com informações geradas em projetos como este se espera contribuir para a formação de uma linha base que permita a inclusão da MOS no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do protocolo de Kyoto.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Áreas Pesquisadas Localizadas na Comunidade de Mato Grosso, São Luís / MA

As áreas pesquisadas pertencem a uma família de pequenos agricultores e está localizada na Comunidade de Mato Grosso, São Luís, no Estado do Maranhão (latitude S 2°31' e longitude W 44°16').

O solo é predominantemente arenoso ao longo do perfil, demonstrando uma cor mais escura nos primeiros 20 cm de profundidade devido à maior presença de matéria orgânica.

A área de capoeira amostrada (3 anos de pousio) pertence à mesma família de pequenos agricultores proprietários da área de roça de derruba-e-queima pesquisada.

Os pontos coletados foram aleatórios na área.

4.2. Áreas Pesquisadas Localizadas no Município de Zé Doca / MA

4.2.1. Áreas de roça de derruba-e-queima e Áreas de capoeira

As áreas pesquisadas pertencem a famílias de pequenos agricultores e estão localizadas no Município de Zé Doca, no Estado do Maranhão (latitude S 3° 16' 30" e longitude W 45° 39' 30").

A metodologia de cultivo nas áreas de derruba-e-queima do município de Zé Doca foi a mesma adotada para as áreas de derruba-e-queima em São Luís.

As áreas de capoeira escolhidas para a pesquisa apresentam idades de pousio entre 2 a 15 anos. O solo apresenta maiores teores de argila, quando comparados aos de São Luís, porém a fração areia se mostra dominante ao longo do perfil.

4.2.2. Áreas de roça melhorada (*slash-and-mulch*)

Foram trituradas 5 capoeiras lenhosas em 3 comunidades do município. O experimento entra no 2º ano de cultura (milho seguido por feijão) e envolve 3 tratamentos de fertilidade (T1 – NPK + calagem, T2 – calagem e T3 - NPK).

Nessas áreas foram instalados cultivos de milho em plantio direto (na camada de cobertura morta, após a trituração da capoeira) e feijão caupi, o qual foi inoculado com bactérias fixadoras de nitrogênio (FBN).

A região pesquisada representa a Pré-Amazônia Maranhense onde a colonização agrícola é recente (10-20 anos).

Neste sistema a capoeira é derrubada e triturada com a utilização de um trator impulsionado por 50 kW (possui serras em sua estrutura), esta é triturada e depositada na superfície do solo da futura roça, formando uma camada de cobertura morta (*mulch*) que compreende restos de troncos, galhos e folhas, da vegetação.

Os objetivos desse sistema de manejo são a adição de MO ao solo para protegê-lo fisicamente (principalmente nos trópicos, onde a radiação solar e a intensidade das chuvas são elevadas) e a manutenção de ciclagem constante de nutrientes no sistema.

4.3. Características do Clima e do Solo

4.3.1. Clima

Conforme classificação de Köppen, o clima em São Luís é classificado como do tipo *Aw'*, tropical úmido e quente e caracterizado por dois períodos bem distintos entre si, a estação seca e estação chuvosa. As precipitações variam de 1700 a 2100 mm anuais, e apresentam-se irregularmente distribuídas ao longo do ano, com um período de excesso e outro de déficit hídrico. A umidade relativa do ar (UR) é de aproximadamente 80 %, apresentando menores valores no mês de dezembro (em torno de 73 %) e os maiores valores entre os meses de fevereiro a maio (em torno de 90 %). A temperatura média é de aproximadamente 26° C, com médias máximas variando de 28° C a 33° C e as mínimas de 20° C a 23° C.

O clima no Município de Zé Doca também é classificado como *Aw'*, tropical quente e úmido, com as mesmas características climáticas de São Luís (estação chuvosa e seca), apresentando temperatura média anual de 26° C e 27° C, uma umidade relativa do ar (UR) média anual entre 76 % e 79 %, com totais pluviométricos entre 1800 1900 mm anuais.

4.3.2. Solo

O solo das áreas pesquisadas na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA é classificado como um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, textura franco arenosa, floresta subperenifólia e subperenifólia dicótilo-palmácea, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1986).

No Município de Zé Doca / MA o solo é classificado como LATOSSOLO AMARELO, textura média, floresta subperenifólia tropical apresentando maiores teores de argila, comparado ao solo da Comunidade Mato Grosso, São Luís (EMBRAPA, 1986).

4.4. Metodologias

4.4.1. Campo

4.4.1.1. Áreas localizadas na Comunidade Mato Grosso (São Luís) e nas áreas localizadas no Município de Zé Doca

4.4.1.1.1. Estimativa da biomassa aérea

A biomassa aérea foi quantificada em três ocasiões no decorrer do ciclo agrícola, antes da derruba e queima das capoeiras, após 6 meses (cultivo do feijão e final do 1º ano agrícola), e finalmente após 18 meses (cultivo da mandioca, final do ciclo agrícola). A biomassa foi estimada por uma combinação de métodos alométricos (componentes lenhosos > 0,50 m de tamanho) a partir de equações alométricas (árvores e cipós) e métodos destrutivos que consistiu na pesagem dos demais componentes, tais como os cultivos, herbáceas, gramíneas e serrapilheira (NELSON et al., 1999; GEHRING et al., 2004) e o babaçu (palmeiras adultas e rebroto). A biomassa foi quantificada em um total de 5-6 quadrantes (3 x 3 m de tamanho) por área, georeferenciados e sistematicamente distribuídos dentro das áreas.

Os Anexos A, B e C demonstram a localização dos quadrantes por ocasião da 2ª estimativa de biomassa no final do 1º ano agrícola (cultivo do feijão), bem como a disposição desses quadrantes (3 x 3 m) nas áreas pesquisadas.

Os dados da biomassa aérea das áreas do Município de Zé Doca / MA foram gerados pelo projeto ‘Adaptação e validação participativa da tecnologia de corte e trituração da capoeira em substituição a derruba e queima no preparo de área para plantio’. MDA/Basa, Embrapa Macroprograma 4’, fazendo-se uso da mesma metodologia descrita para as áreas da Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA.

4.4.1.1.2. Amostragem de solo

Para a densidade do solo, foram retiradas amostras com o auxílio de um anel volumétrico de 93 cm³ ao longo do perfil do solo. A coleta de solo para a determinação da densidade foi feita nos intervalos 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-

90, 90-100 cm. A amostragem foi realizada nas áreas de roça de derruba-e-queima e na capoeira na Comunidade Mato Grosso, em São Luís / MA.

Após a queima da capoeira (novembro de 2006), iniciou-se em janeiro de 2007 o cultivo de feijão, milho, mandioca e maxixe, depois 6 meses do plantio dos cultivos, na primeira fase do ciclo de cultivo (colheita do feijão) realizou-se a primeira coleta de solo para a aplicação do método do fracionamento físico da MOS. Na segunda fase do ciclo de cultivo, durante a colheita da mandioca (18 meses após a implantação do cultivo), foi realizada a segunda coleta de solo para a determinação das frações físicas da MOS (pelo método do fracionamento físico).

Parte da amostragem de solo para a determinação da MOS foi realizada nos meses de julho e novembro de 2007 na área de roça de derruba-e-queima e na área de capoeira, nas profundidades de 0-10, 10-20 cm, e nova amostragem de solo foi realizada entre os meses de junho e agosto do ano de 2008 nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 40-50, 70-80, 90-100 cm, nas áreas.

Foram feitas três trincheiras de 100 cm de profundidade para a coleta de solo para a realização do método analítico de fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS) e para a determinação da densidade do solo.

Para as áreas localizadas no Município de Zé Doca / MA a densidade do solo foi determinada nos intervalos 0-10 e 10-20 cm. A amostragem foi realizada no mês de fevereiro de 2008 e o solo para a determinação da MOS foi coletado nessas mesmas profundidades.

Nas áreas pesquisadas onde foram instalados três tratamentos (em Zé Doca), foi realizada calagem e adubação com uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio (KCl). No tratamento 1 (T1) realizou-se a calagem e a adubação mineral, no tratamento 2 (T2) foi realizada somente a calagem e no tratamento 3 (T3) fez-se somente a adubação mineral. Neste estudo somente o tratamento o T3 foi avaliado.

As amostras de solo coletadas no campo para a análise do fracionamento físico da MOS foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório, onde foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas em malha de 2 mm, homogeneizadas, obtendo-se terra fina seca ao ar - TFSA.

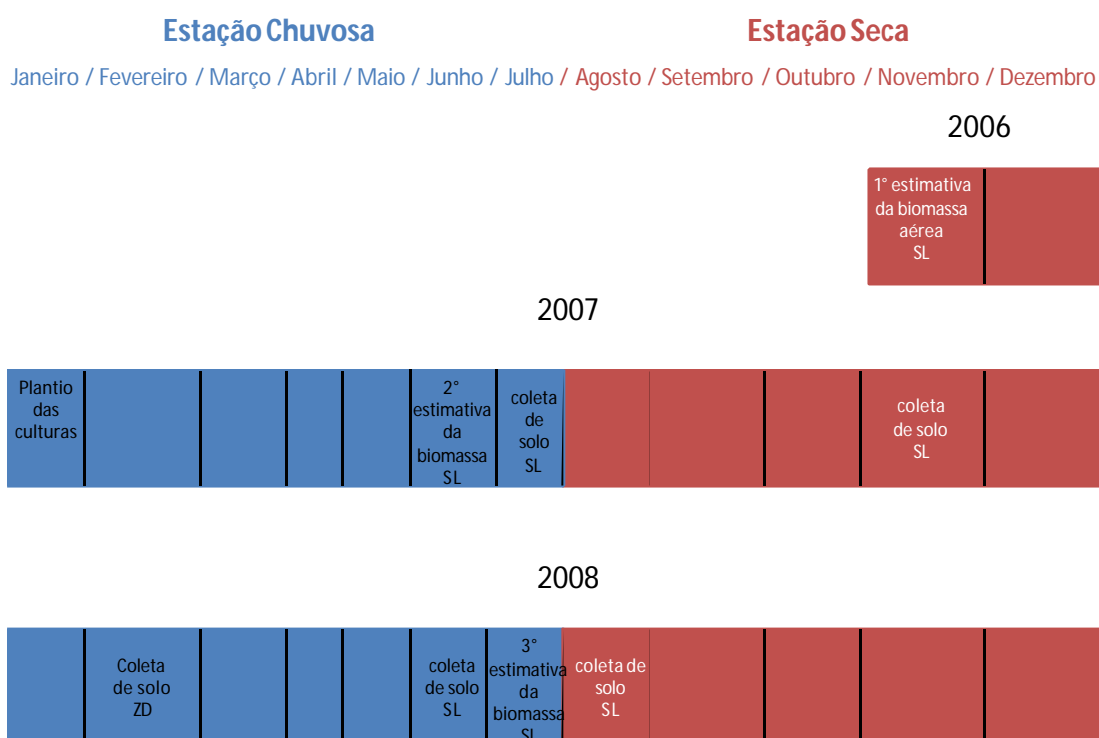


Figura 1. Cronograma de atividades de campo nas áreas da Comunidade Mato Grosso / São Luís (SL) e Zé Doca (ZD), no Estado do Maranhão.

4.4.2. Laboratório

4.4.2.1.1. Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada conforme metodologia da EMBRAPA (1997), onde as amostras indeformadas em anéis volumétricos (volume de 93 cm^3) coletadas foram acondicionadas em cadinhos de metal, previamente pesados e levadas à estufa com temperatura de 105° C durante o período de 48 horas.

Após a secagem das amostras foi realizada a sua pesagem para o cálculo da densidade (M/V), onde a massa do solo seco foi dividida pelo volume do anel volumétrico (93 cm^3).

A mesma metodologia foi utilizada para as áreas da Comunidade Mato Grosso e Zé Doca.

4.4.2.2. Fracionamento densimétrico

O fracionamento físico (densimétrico e granulométrico) para a obtenção das frações leves e pesadas da matéria orgânica do solo foi realizado seguindo metodologia de Machado (2002).

O procedimento analítico foi realizado em duplicata para cada amostra de solo, das áreas de roça de derruba-e-queima e capoeira, com três repetições de laboratório para as amostras de roça melhorada (*slash-and-mulch*). Em frasco de centrífuga de 50 mL foram pesados 5g de TFSA e adicionados 35 mL da solução de Iodeto de Sódio (NaI), com densidade de $1,8 \text{ g.cm}^{-3}$ ($\pm 0,1 \text{ g.cm}^{-3}$). Os frascos foram agitados manualmente por aproximadamente 20 segundos, para a dispersão dos agregados mais instáveis, permitindo a flotação da Fração Leve Livre (FLL) na solução de NaI. Os frascos foram submetidos à centrifugação a 18.000 RPM, na temperatura de 22°C por 15 minutos. Após a centrifugação, o sobrenadante (FLL), presente na solução de NaI, foi aspirado e filtrado por um sistema de bomba à vácuo (Sistema Asséptico Sterifil, 47mm GF / A Millipore), com filtro de fibra de vidro de 47mm e $2\mu\text{m}$ de poro de retenção. A FLL retida no filtro foi cuidadosamente lavada com água destilada, visando remover o excesso de NaI. Após esse procedimento as frações foram levadas à estufa de circulação forçada de ar para secagem de aproximadamente 60°C onde foram deixadas por 24 horas.

Para a determinação da Fração Leve Intra-agregado (FLI), o procedimento de filtragem e centrifugação foi o mesmo descrito acima com a diferença de que antes da centrifugação a amostra passou por ultra-som por 3 minutos a um nível de energia de 400 J.mL^{-1} em banho de gelo para evitar a elevação brusca de temperatura, para que os agregados mais estáveis se rompam e liberem a FLI, que se encontrava protegida.

Para a determinação do carbono orgânico, os filtros foram pesados antes do processo de filtragem, depois de terem sido secos em estufa por 24 horas, e pesados novamente com a fração (após secos em estufa por 24 horas). Para as análises de C juntaram-se as repetições de laboratório. A quantidade de FL é determinada pela diferença entre o peso do filtro antes e depois do processo de filtragem.

A solução de NaI utilizada na extração das frações leves foi recuperada para outras extrações, após a remoção do C solúvel e o ajuste da densidade da solução. Para a remoção do C solúvel 25 g de carvão ativado foram adicionados à solução residual de NaI (volume de 1 litro) e após agitação por 30 minutos essa solução foi filtrada. O ajuste da densidade foi feito adicionando-se NaI à solução.

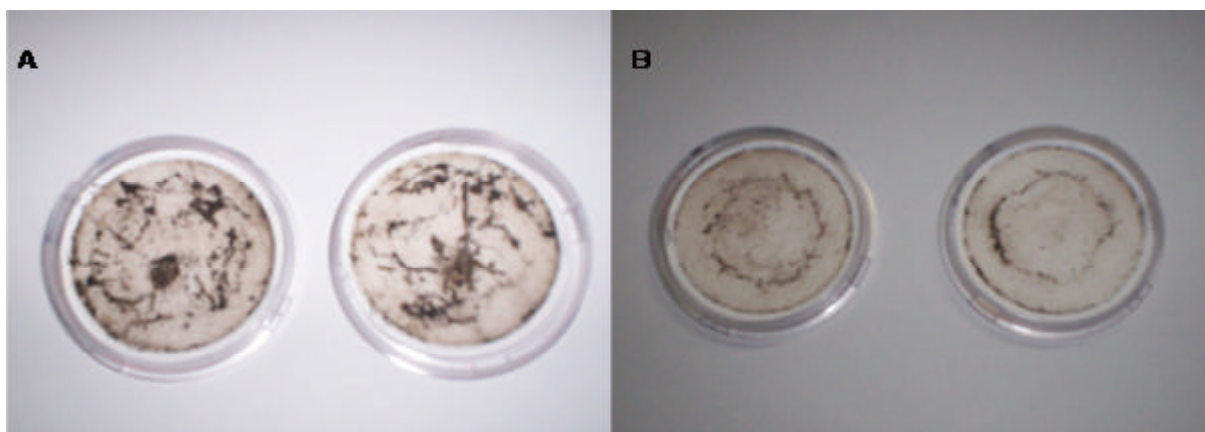


Figura 2. Frações Leves da MOS extraídas por meio do Fracionamento Físico Densimétrico seguindo a metodologia de Machado (2002). **A** - Fração Leve Livre; **B** - Fração Leve Intra-agregado.

4.4.2.2.1. Fracionamento granulométrico

Após o fracionamento densimétrico, o material contido no fundo do tubo de centrífuga (FP) foi removido para um pote plástico com o auxílio de água destilada, onde foram adicionados 0,5 g de Hexametáfosfato de Sódio como dispersante. Após esse procedimento, as amostras foram colocadas em mesa agitadora horizontal (Shaker 2540, FANEM) por 16 horas para a separação das partículas de solo, areia, silte e argila, dando início assim ao fracionamento granulométrico.

Esse material, após agitação, foi passado em peneira de 53 μm para a separação da fração areia (MO particulada), sendo lavado com água destilada em abundância até que esse material (contendo as frações silte e argila) se apresentasse transparente, com o cuidado de não ultrapassar os 1.000 mL da proveta. O material contido na proveta foi agitado com o auxílio de um bastão, através de movimentos contínuos de cima para baixo por aproximadamente 2 minutos para que ocorra uma melhor dispersão da argila e do silte. O tempo de descanso é determinado conforme uma tabela de temperatura encontrada na metodologia de Machado (2002). Após esse período foram pipetados 100 mL da solução contida na proveta, visando à coleta das partículas silte + argila (o silte foi determinado por diferença), e seguindo a metodologia de Machado (2002) coletaram-se os mesmos 100 mL, agora da partícula argila.

Esses materiais coletados são colocados em béqueres, previamente pesados, e são levados à estufa (com temperatura entre 50 – 60°C) para secagem e posterior pesagem. O conteúdo de cada partícula é determinado pela diferença do peso do béquer antes e depois do procedimento de coleta.

As análises de C e N desse material (densimétrico e granulométrico) estão sendo feitas na EMBRAPA Agrobiologia.

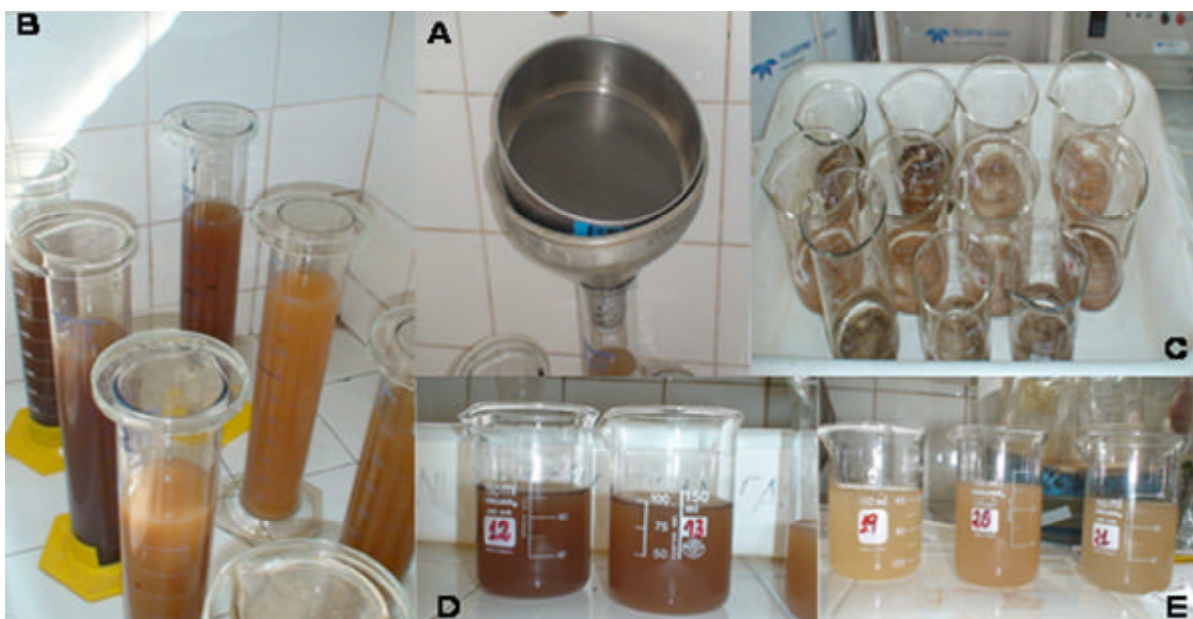


Figura 3. Etapas do Fracionamento Físico Granulométrico da MOS (Frações Pesadas). **A** – Separação da Fração Areia (**C**) por peneiramento; **B** – Sedimentação das Frações Silte (**D**) e Fração Argila (**E**).

4.4.2.2. Análises Química e Física do Solo

A análise química do solo para a determinação de macronutrientes, pH, matéria orgânica total e porcentagem de C orgânico foi realizada no laboratório de Análise Química no Departamento de Solos da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA conforme metodologia IAC, 2001.

A determinação da MO total baseia-se na sua oxidação a CO_2 , por íons Cr^{+2} em meio fortemente ácido. Primeiro determina-se a curva padrão de calibração através da titulação dos íons de Cr^{+2} em excesso, com íons Fe^{+2} (método indireto), o que dá uma maior precisão as análises para a determinação do teor de MO. Posteriormente iniciam-se as análises das amostras por meio do método colorimétrico (método direto), onde se avalia a intensidade da cor esverdeada por íons Cr_2 , o qual é reduzido pelo C orgânico. A porcentagem de C orgânico é determinada a partir da quantidade da MO, utilizando-se o fator de correção 1,724.

Cálculo do teor de MO:

$$\text{MO} = \frac{(\text{vol. branco} - \text{Vol.SFA}) * \text{concentração de Fe}^{+2} \text{ na SFA} * 1,33 * 1,724 * 1000}{\text{Volume do solo}}$$

Onde SFA é a solução de Sulfato Ferroso Amoniacal.

O pH foi determinado em solução de $0,01 \text{ mL.L}^{-1} \text{ CaCl}_2$, que é em média, 0,6 unidades menor do que o pH determinado em água destilada.

A determinação de Al^{+3} , Ca^{+2} e Mg^{+2} trocáveis foi realizada a partir da solução de cloreto de potássio utilizando o método de titulação com EDTA (IAC, 2001).

Para a determinação do P e do K é utilizada uma mistura de resinas de troca catiônica, e aniônica, saturadas com bicarbonato de sódio (IAC, 2001).

A análise física do solo foi realizada no laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UEMA, seguindo a metodologia da EMBRAPA, 1997. A metodologia empregada foi a mesma usada para solos ricos em matéria orgânica (teor $> 5 \%$) objetivando a eliminação de toda a MO presente no solo, para que as análises granulométricas pudessem ser comparadas às feitas no fracionamento físico granulométrico da MOS (MACHADO, 2002B).

Esta metodologia utiliza uma dada quantidade da solução de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 a 30%) às amostras de solo para oxidar todo material orgânico presente, aplicando-se a solução até que a reação de oxidação cesse, dando assim continuidade ao procedimento granulométrico pelo método da pipeta.

4.5. Análises Estatísticas

A distribuição dos dados foi investigada pelos testes Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors. Em casos onde ocorreu a não-normalidade dos dados, foi tentada a normalização por meio da transformação dos dados, ou foram aplicados métodos não-paramétricos (medianas, Kruskal-Wallis, ANOVA, correlações Spearman). Foram detectados e excluídos 3 outliers (distância da média $> 1,5$ vezes o desvio padrão) antes das análises. O nível de significâncias em comparações entre grupos e para correlações / regressões foi $p < 0,05$ se não indicado diferentemente. As análises estatísticas foram conduzidas com o programa STATISTICA 7 (StatSoft).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização Geral das Áreas de Estudo

5.1.1. Áreas pesquisadas na comunidade Mato Grosso, São Luís

5.1.1.1. Biomassa aérea

A composição da biomassa aérea da vegetação secundária no final da fase de pousio (capoeiras de 3 anos de idade), e no final da fase de cultivo (colheita da mandioca) é demonstrada na Figura 4.

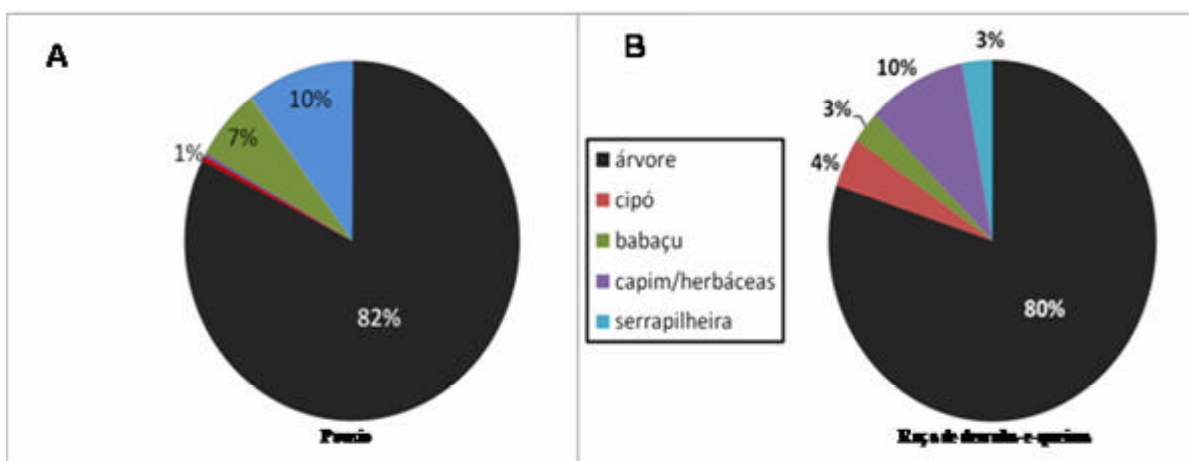


Figura 4. Composição da biomassa aérea de áreas pesquisadas na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. A – vegetação de pousio (média de 5 capoeiras de diferentes idades: 24,8 t ha⁻¹) e B – final do ciclo de cultivo (média de 3 roças de derruba-e-queima: 5,5 t.ha⁻¹). Dados apresentados pelo Dr. Christoph Gelring no Relatório CT Universal 2006.

5.1.1.2. Caracterização física e química dos solos

A densidade do solo refere-se à relação entre a massa de solo seco e o volume total, e é afetada pela cobertura vegetal, teor de matéria orgânica e uso do solo.

Com o aumento da profundidade observaram-se mudanças na densidade do solo na área de roça de derruba-e-queima e no solo da área de capoeira.

Quando se comparou a capoeira com a roça de derruba-e-queima (Figura 5A e 5B), se observou menores valores na densidade do solo da área de capoeira na camada de 0-10 cm ($p < 0,05$, $F = 1,86$). O maior aporte de material orgânico ao solo nesta área pode ter influenciado na diminuição da compactação nesta camada de solo, o que coincide com os

resultados encontrados por Corsini & Ferraudo (1999); Silva et al. (2000), Machado & Silva (2001); Araújo et al. (2004). Outra explicação para o menor valor da densidade do solo na área de capoeira para a roça de derruba-e-queima pode ser o tipo de solo das duas áreas, visto que anteriormente ambas já passaram por esse ciclo agrícola (capoeira e roça de derruba-e-queima).

Densidades com valores entre 1,27 e 1,57 g cm⁻³ são consideradas restritivas ao crescimento radicular e à infiltração de água no solo (ALVARENGA et al., 1996; CORSINI & FERRAUDO, 1999). De maneira geral, o valor de 1,40 g cm⁻³ é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (ARSHAD et al., 1996), de acordo com essa definição ambas as áreas (roça de derruba-e-queima e capoeira) não apresentam restrição ao crescimento de raízes nos primeiros 20 cm superficiais do solo (Figura 5A e 5B).

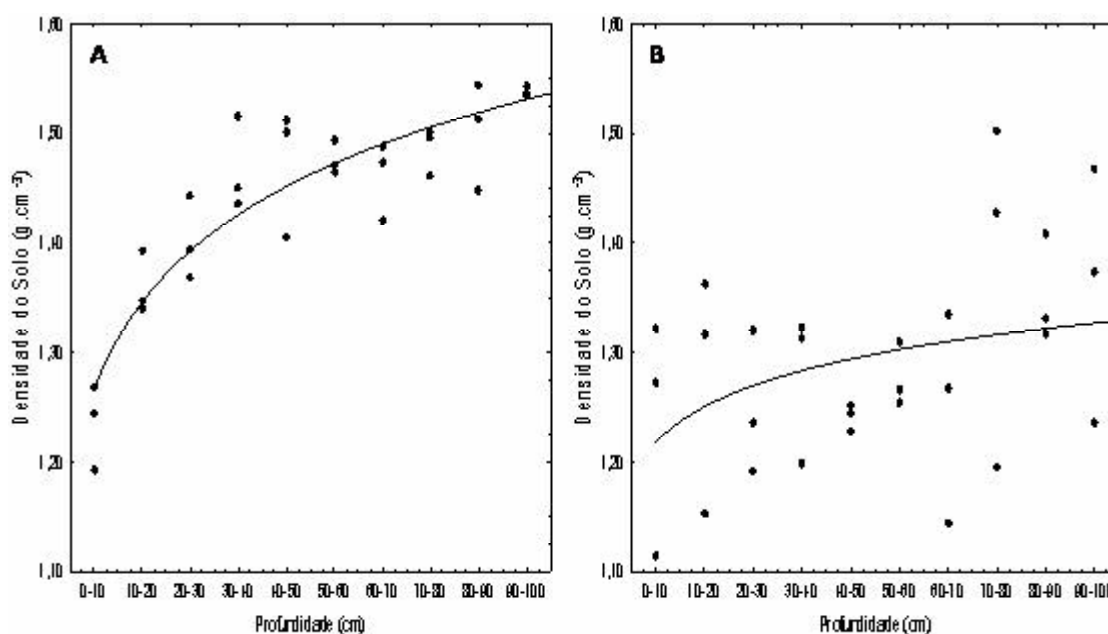


Figura 5. Relação entre a densidade e a profundidade do solo em roça de derruba-e-queima. $DS (g.cm^{-3}) = 1,27 + 0,265 * \log_{10}(\text{profundidade})$, $R = 0,81$, $p < 0,0001$ (A) e capoeira $DS (g.cm^{-3}) = 1,22 + 0,11 * \log_{10}(\text{profundidade})$, $R = 0,43$, $p = 0,02$ (B), localizadas na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA.

Quando comparadas as Figuras 5 e 6 pode-se observar que nos primeiros 10 cm superficiais do solo tem-se menores valores de densidade do solo e uma maior quantidade de MO, tal comparação pode se relacionar com a influência da MO nas propriedades físicas do solo (SECCO et al., 2005).

Comparando-se os valores de P das roças de derruba-e-queima (R1 e R2) nos anos de 2007 e 2008 observa-se que o valor no primeiro ano foi superior ao encontrado no segundo e sendo muito superior aos valores de P encontrados na capoeira (C) (Tabelas 1 e 2), portanto o

efeito do fogo aumenta a disponibilidade inicial e temporária deste elemento no solo sendo encontradas concentrações elevadas de P disponível nos primeiros 10 cm superficiais do solo. Este resultado pode ser atribuído ao efeito benéfico do fogo que aumenta de forma temporária e inicial a disponibilidade do fósforo (P) e elimina a toxicidade do alumínio (Al) (GEHRING, 2006).

Tabela 1. Análise Química do Solo nas áreas de roça de derruba-e-queima no primeiro ano de cultivo (R1) e capoeira (C), localizadas na Comunidade Mato Grosso, em São Luís / MA. Amostras coletadas no ano de 2007.

| Área | Prof. (cm) | M.O. (g/kg) | pH (CaCl ₂) | P | K | Ca | Mg | C % |
|------|---------------|----------------|----------------------------|------|-----|-------|-------|-----|
| | | | | | | | | |
| R1 | 0-10 | 43,7 | 5,2 | 46,4 | 9,1 | 831,0 | 171,6 | 2,1 |
| | 10-20 | 26,8 | 5,3 | 12,1 | 5,8 | 462,9 | 152,3 | 1,1 |
| C | 0-10 | 26,7 | 4,7 | 3,8 | 5,6 | 316,5 | 54,5 | 1,2 |
| | 10-20 | 15,9 | 4,6 | 2,6 | 2,9 | 151,4 | 54,5 | 0,7 |

Tabela 2. Análise Química do Solo nas áreas de roça de deruba-e-queima (R1 / R2) e na capoeira (C), localizadas na Comunidade Mato Grosso, em São Luís / MA. Amostras coletadas no ano de 2008. R1 – segundo ano de cultivo R2 – primeiro ano de cultivo,

| Área | Prof. (cm) | M.O. (g/kg) | pH (CaCl ₂) | P | K | Ca | Mg | C% |
|------|---------------|----------------|----------------------------|------|------|-------|-------|-----|
| | | | | | | | | |
| R1 | 0-10 | 24,3 | 5,1 | 3,8 | 18,5 | 297,4 | 103,3 | 1,1 |
| | 10-20 | 15,6 | 4,8 | 2,6 | 9,1 | 139 | 64,9 | 0,7 |
| | 20-30 | 14,7 | 4,5 | 1,3 | 2,9 | 75,6 | 36,3 | 0,6 |
| | 40-50 | 11,9 | 4,3 | 1,3 | 2,9 | 60,2 | 27,1 | 0,5 |
| | 70-80 | 9,2 | 4,4 | 1,3 | 2,9 | 45,5 | 27,3 | 0,4 |
| | 90-100 | 9 | 4,3 | 1,3 | 3 | 62,2 | 37,3 | 0,4 |
| R2 | 0-10 | 34,6 | 5,3 | 18,5 | 6,3 | 728,8 | 126,3 | 1,6 |
| | 10-20 | 23,1 | 5,3 | 10,9 | 2,9 | 353,2 | 123,6 | 1 |
| | 20-30 | 14 | 5,5 | 9,8 | 2,8 | 271,2 | 68,5 | 0,6 |
| | 40-50 | 14,7 | 4,9 | 5,9 | 2,7 | 203,9 | 81,6 | 0,6 |
| | 70-80 | 8,9 | 4,9 | 4,5 | 5,3 | 121,1 | 64,6 | 0,4 |
| | 90-100 | 7,7 | 4,8 | 4,6 | 2,5 | 130 | 46,8 | 0,3 |
| C | 0-10 | 38,7 | 4,8 | 3,9 | 6,1 | 481,2 | 74,5 | 1,7 |
| | 10-20 | 17,4 | 4,8 | 2,7 | 2,9 | 179,2 | 53,8 | 0,8 |
| | 20-30 | 14,1 | 4,7 | 1,3 | 3,1 | 141 | 75,2 | 0,6 |
| | 40-50 | 11,1 | 4,7 | 1,2 | 3,2 | 113,3 | 58,3 | 0,5 |
| | 70-80 | 11,6 | 4,6 | 1,5 | 2,7 | 82,7 | 41,3 | 0,5 |
| | 90-100 | 8,5 | 4,4 | 1,4 | 2,8 | 84,6 | 25,4 | 0,3 |

Os solos pesquisados na Ilha de São Luís apresentaram em torno de 80% de areia (somatório de areia fina e grossa), tendo poucas variações nas classes de solo (areia franca a franco arenosa), (Tabelas 3 e 4). As análises granulométricas mostraram que não há diferença nas características físicas dos solos entre as áreas de roça de derruba-e-queima e capoeira, haja vista que ambas são vizinhas (100 metros de distância).

Tabela 3. Análise Física do Solo nas áreas de roça de derruba-e-queima (R1) e capoeira (C), localizadas na Comunidade Mato Grosso, em São Luís / MA. Amostras coletadas no ano de 2007, primeiro ano de cultivo.

| Área | Prof. (cm) | % Areia grossa (2-0,2mm) | % Areia fina (0,02-0,05mm) | % Silte (0,05-0,002mm) | % Argila (<0,002mm) | Silte / Argila |
|------|------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| R1 | 0-10 | 32 | 55 | 3 | 10 | 0,30 |
| | 10-20 | 34 | 55 | 2 | 9 | 0,22 |
| C | 0-10 | 30 | 59 | 3 | 8 | 0,38 |
| | 10-20 | 29 | 60 | 4 | 7 | 0,57 |

Tabela 4. Análise Física do Solo nas áreas de roça de derruba-e-queima (R1 / R2) e na capoeira (C), localizadas na Comunidade Mato Grosso, em São Luís / MA. Amostras coletadas no ano de 2008. R2 – primeiro ano de cultivo, R1 – segundo ano de cultivo.

| Área | Prof. (cm) | % Areia grossa (2-0,2mm) | % Areia fina (0,02-0,05mm) | % Silte (0,05-0,002mm) | % Argila (<0,002mm) | Silte / Argila |
|------|------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| R1 | 0-10 | 31 | 58 | 3 | 8 | 0,38 |
| | 10-20 | 37 | 53 | 3 | 7 | 0,43 |
| | 20-30 | 28 | 57 | 6 | 9 | 0,67 |
| | 40-50 | 33 | 55 | 4 | 8 | 0,5 |
| | 70-80 | 30 | 57 | 5 | 8 | 0,63 |
| | 90-100 | 35 | 52 | 5 | 8 | 0,63 |
| R2 | 0-10 | 33 | 58 | 2 | 7 | 0,29 |
| | 10-20 | 36 | 55 | 2 | 7 | 0,29 |
| | 20-30 | 33 | 57 | 3 | 7 | 0,43 |
| | 40-50 | 36 | 54 | 2 | 8 | 0,25 |
| | 70-80 | 33 | 57 | 3 | 7 | 0,43 |
| | 90-100 | 28 | 55 | 9 | 8 | 1,13 |
| C | 0-10 | 41 | 49 | 3 | 7 | 0,43 |
| | 10-20 | 44 | 46 | 3 | 7 | 0,43 |
| | 20-30 | 36 | 53 | 4 | 7 | 0,57 |
| | 40-50 | 37 | 54 | 2 | 7 | 0,29 |
| | 70-80 | 35 | 48 | 9 | 8 | 1,13 |
| | 90-100 | 40 | 44 | 3 | 9 | 0,33 |

5.1.1.3.A MOS e a qualidade físico-química dos solos

Foi observada uma relação negativa entre o teor de MO e a densidade do solo (Figura 6). Esses resultados ressaltam a importância da MO para a qualidade física do solo, concordando com dados obtidos por Feller & Beare (1997) e Lehmann et al (2001).

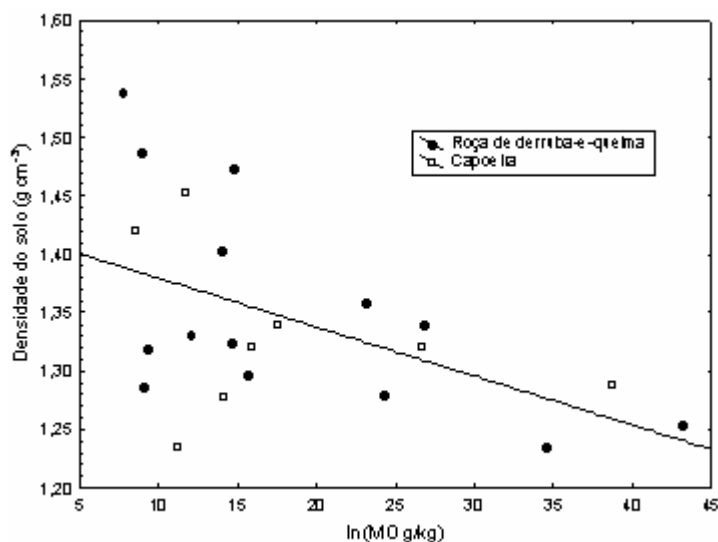


Figura 6. Relação entre a densidade do solo e a matéria orgânica, na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. Densidade = $1,42 - 0,004 * MOS$, $R^2 = 0,26$; $p < 0,05$.

Observou-se uma relação positiva entre o teor de MO e as concentrações de macronutrientes como o fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e o pH do solo (Figura 7). Observou-se um aumento dos valores de pH do solo das áreas de derruba-e-queima, principalmente na camada superficial de 0-10 cm (Tabelas 1 e 2).

Observou-se a presença de grande quantidade de carvão vegetal nas primeiras camadas de solo, oriundo das queimas de capoeira. Esse carvão pode influenciar nos estoques de carbono no solo, principalmente na fração leve da matéria orgânica.

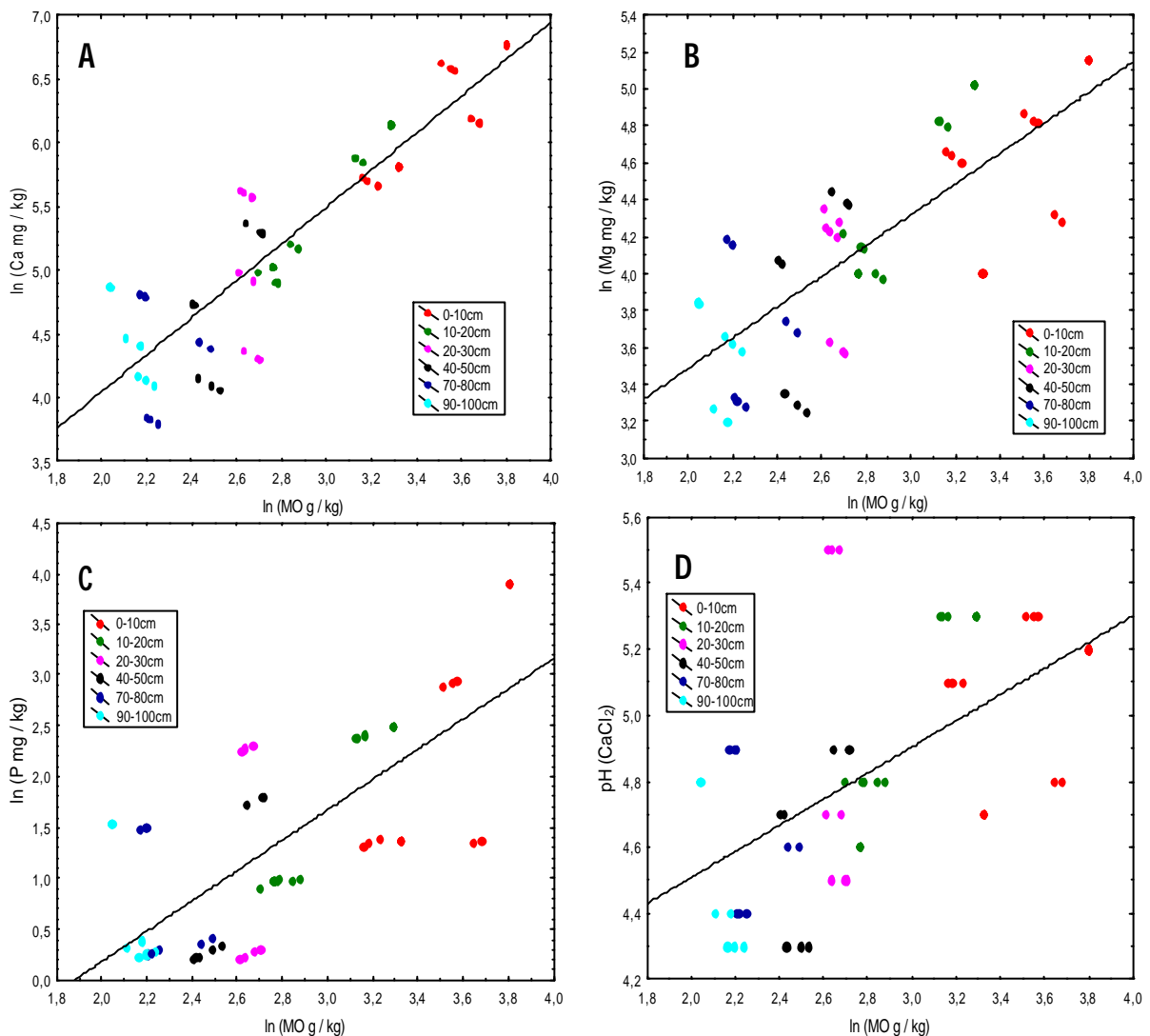


Figura 7. Influência da MO na qualidade química do solo da Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. **A-** Cálcio (Ca), $\ln(\text{Ca mg/kg}) = 1,15 + 1,45 * \ln(\text{MO g/kg})$, $R^2 = 0,80$, $p < 0,0001$; **B-** Magnésio (Mg), $\ln(\text{Mg mg/kg}) = 1,83 + 0,830 * \ln(\text{MO g/kg})$, $R^2 = 0,59$, $p < 0,001$; **C-** Fósforo (P), $\ln(\text{P mg/kg}) = 2,80 + 1,49 * \ln(\text{MO g/kg})$, $R^2 = 0,53$, $p < 0,0001$; **C-** pH, $\text{pH} = 3,72 + 0,396 * \ln(\text{MO g/kg})$, $R^2 = 0,35$, $p < 0,001$.

5.1.1.4. Distribuição da MOS

A distribuição da MO ao longo do perfil do solo, em uma área de roça de derruba-e-queima (R2) e em uma de capoeira na Comunidade Mato Grosso é demonstrada na Figura 8.

Na camada de 0-10 cm do solo, observa-se elevados teores de MO (Figuras 8A e 8B e Figura 9). Na camada de 10-20 cm ocorre uma significativa diminuição nos teores de MO (capoeira: $p < 0,01$, $F = 8,96$; roça de derruba-e-queima: $p < 0,001$, $F = 9,76$) em torno de aproximadamente 70%, e nas camadas subsequentes até a profundidade de 1 metro essa

diminuição ocorre gradualmente. Apesar dessa diminuição ainda é possível encontrar valores de MO até a camada 90-100 cm.

Essa concentração de MO nas camadas superficiais do solo (primeiros 10 cm) é consequência da entrada de material orgânico vegetal (serrapilheira e raízes superficiais) e da falta de movimentação vertical do solo, como por exemplo, via aração e gradagem (SIX et al, 1999; ZOTARELLI et al, 2007).

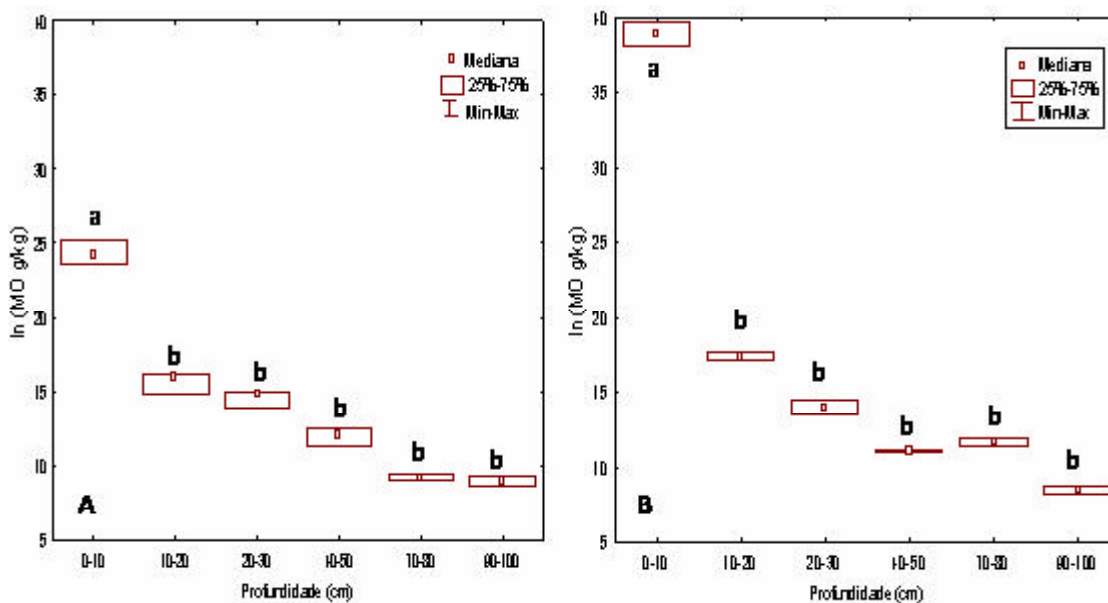


Figura 8. Comparação dos teores de MO entre uma roça de derruba-e-queima (R2) no primeiro ano de cultivo - 2008 (A) e uma capoeira (B), localizada na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA ao longo do perfil do solo.

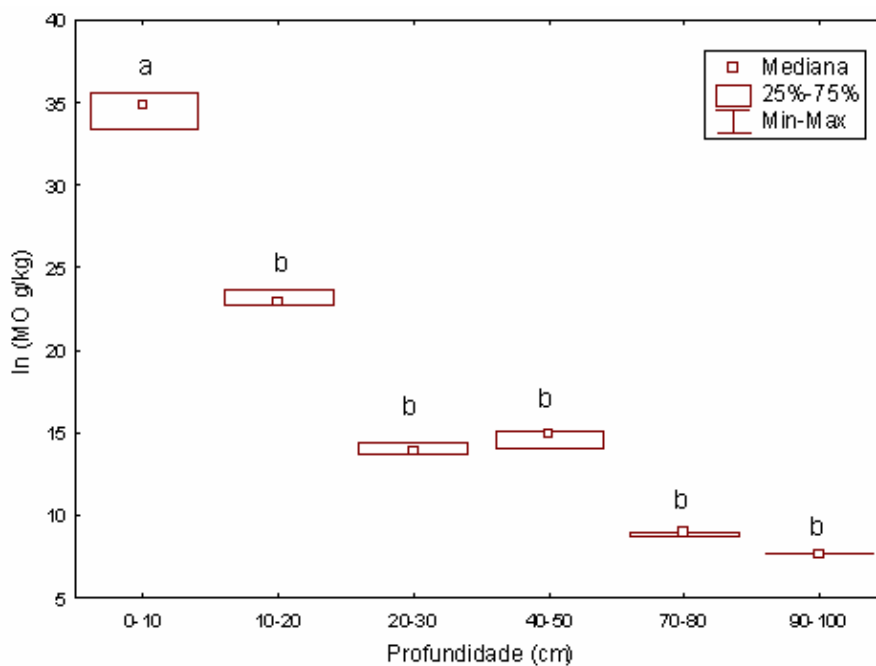


Figura 9. Teores de matéria orgânica em uma roça de derruba-e-queima (R1 – segundo ano de cultivo), na Comunidade Mato Grosso, em São Luís / MA ao longo do perfil do solo.

A maior concentração da MO na camada de 0-10 cm torna o solo mais susceptível a perdas aceleradas por mineralização em decorrência de práticas de manejo inadequadas e insustentáveis. Tal fato reforça a necessidade de se evitar práticas como o preparo mecanizado da terra e enfatiza os benefícios da incorporação de MO ao solo para o desenvolvimento de manejos voltados para a manutenção ou recuperação da MOS.

Observou-se uma ocorrência de MO no subsolo (nas camadas de 20 até 100 cm de profundidade) uma média dos 3 sistemas estudados de 15,6 t.ha⁻¹, indicando a existência de quantidades consideráveis de carbono orgânico em locais protegidos contra perdas por decomposição microbiana.

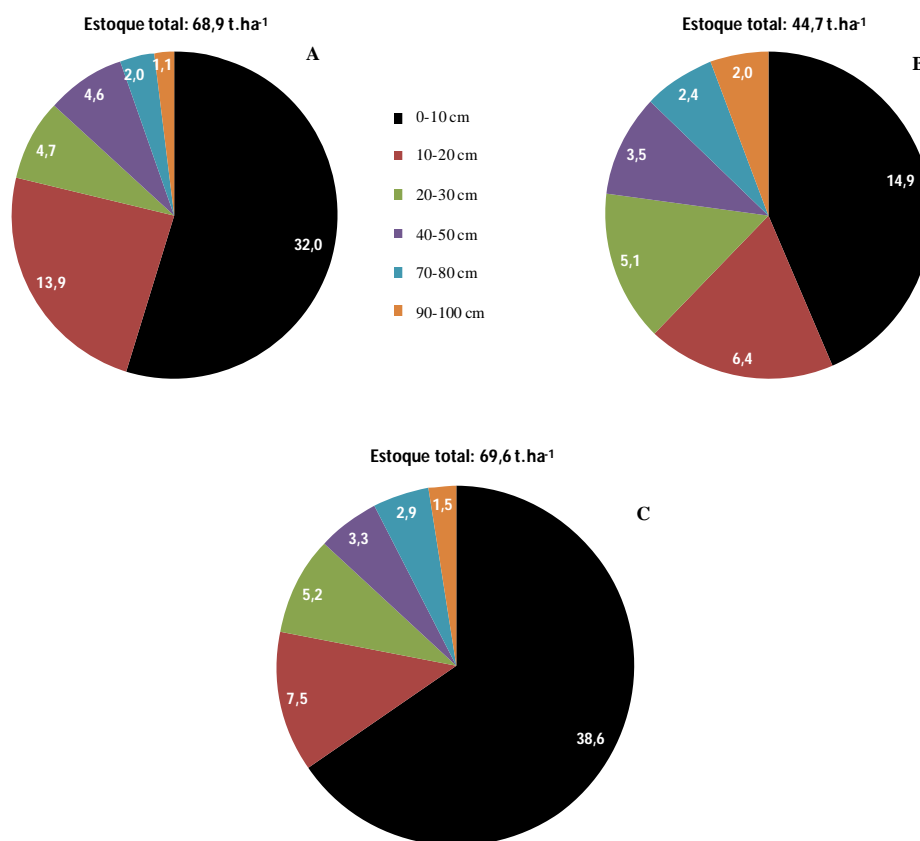


Figura 10. Estoque de carbono ao longo do perfil do solo em áreas de roça de derruba-e-queima (A e B) e em capoeira (C). A – R2: 2° ano de cultivo (média de 3 perfis: 68,9 t.ha⁻¹), B – R1: 1° ano de cultivo (média de 3 perfis: 44,7 t.ha⁻¹) e C – (média de 3 perfis: 69,6 t.ha⁻¹). As médias das camadas 30-40, 50-60, 60-70, 80-90, foram feitas e somadas às camadas amostradas (demonstradas na figura).

A maior quantidade de carbono estocado se encontra nos primeiros 10 cm do solo independente do manejo, o que para a capoeira se pode atribuir a uma constante entrada de

resíduos vegetais nesta camada, enquanto que para a roça de derruba-e-queima se pode se considerar a presença de a MO acumulada presente no solo antes da queima da capoeira (Figura 10).

Ao longo do perfil, a partir da camada de 20 cm, não se percebe diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as roças de derruba-e-queima e a capoeira, apesar de revelarem grandes quantidades de carbono estocado, resultado esperado quando se trata de estoque de C no solo.

A granulometria é outro fator decisivo para a ocorrência da MO no solo. Existe uma relação positiva entre as porcentagens de argila e silte com os teores de MO nas áreas pesquisadas na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA (Figura 11). O oposto ocorreu com a porcentagem de areia, que não apresentou nenhuma relação com a quantidade de MO (dados não apresentados).

Essa associação da MO com as partículas de menores tamanhos pode ser atribuída ao fato dessas partículas possuírem uma maior superfície específica (HASSINK et al., 1997; FREIXO et al., 2002B; MANDO, et al., 2005; HE et al., 2008) e por formarem complexos organo-minerais (BAYER et al., 2002).

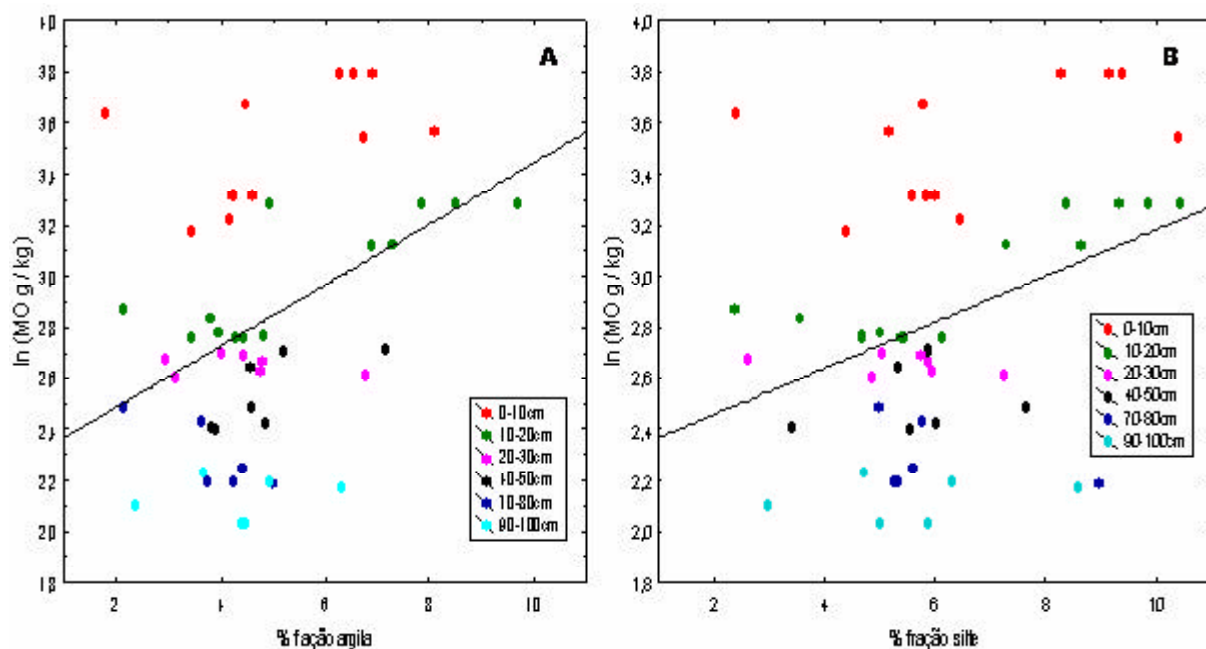


Figura 11. Relação entre a MO e a fração argila (A) e a fração silte (B), na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. A – $\ln (\text{MO g/kg}) = 2,25 + 0,119 * \% \text{ Fração argila}$, $R^2 = 0,16$; $p < 0,01$; B – $\ln (\text{MO g/kg}) = 2,28 + 0,091 * \% \text{ Fração silte}$; $R^2 = 0,13$; $p < 0,01$

Em geral, solos mais argilosos apresentam maiores estoques de C e menor taxa de mineralização (CHESHIRE et al., 2000; BIRD et al., 2003; LIMA et al., 2008), tendo a textura do solo como um dos componentes determinantes do potencial de seqüestro de CO₂ atmosférico e estoque de C no solo (SIX et al., 2001).

Os solos da Comunidade Mato Grosso, São Luís não se apresentam como uma alternativa para o estoque de C, haja vista que são solos que apresentam grandes quantidades de areia ao longo do perfil além do seu manejo inadequado que ocasiona uma grande perda de C.

O manejo inadequado do solo também tem uma grande influência nessas perdas de C nas áreas estudadas.

As análises físicas dos solos da Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA estão apresentadas nas Tabelas 3 e 4 demonstrando sua característica arenosa ao longo do perfil, nas áreas de roça de derruba-e-queima e capoeira.

5.1.1.5. Frações leves da MOS

O raciocínio básico do fracionamento densimétrico da MOS é a suposição de que a MO entra no solo pela serrapilheira aérea e radicular, possuindo uma baixa densidade, incorporando-se inicialmente ao reservatório lábil da MOS, que também possui uma baixa densidade ($< 1,8 \text{ g.cm}^{-3}$). Parte dessa MO lábil se perde pela respiração microbiana e fotoxidação, e outra parte se estabelece gradualmente por meio da proteção física (oclusão em microagregados dentro de agregados maiores), pela condensação química das macromoléculas e pela formação de complexos organo-minerais. Estes últimos dois processos de transformação da MO estão associados a um aumento da densidade, resultando no reservatório estável, que apresenta uma densidade $> 1,8 \text{ g.cm}^{-3}$.

Nos solos arenosos da Comunidade Mato Grosso as frações leves são irrelevantes em termos quantitativos (0,13 – 1,5 %), mas decisivos em termos dos fluxos de MO e mecanismos de sua incorporação e estabilização na MOS.

É demonstrada na Figura 12 a relação entre a MO e seus compartimentos (FLL e FLI = FL). Observa-se a dependência da porcentagem da FL em relação a MO total do solo (Figura 12A) e fica clara a dependência da porcentagem da FLI em relação à porcentagem da FLL (Figura 12B).

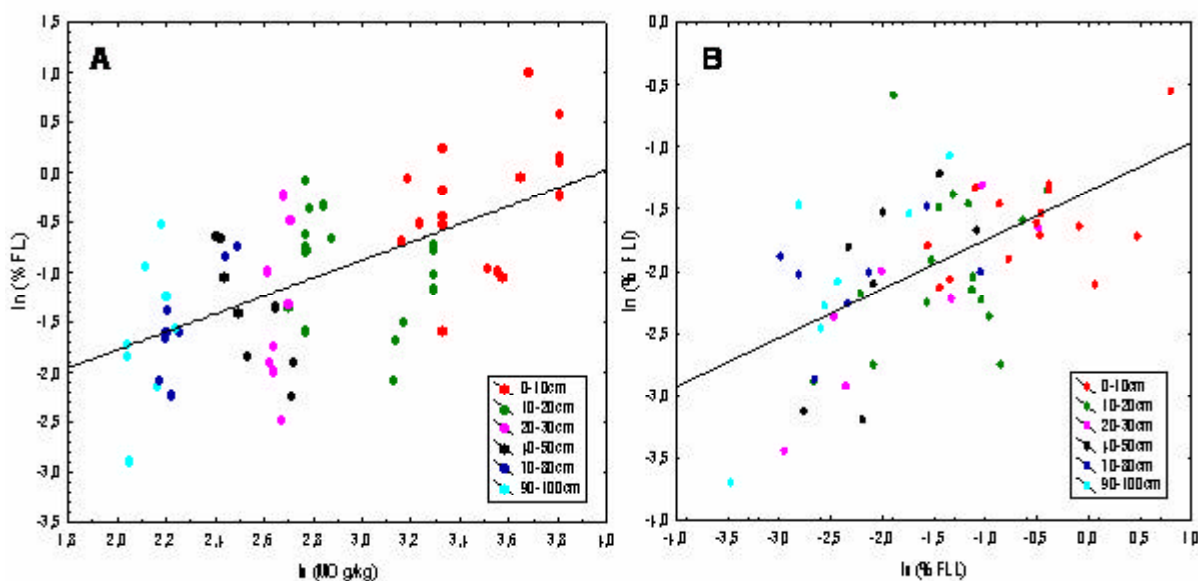


Figura 12. Relação entre a porcentagem de FL e o teor da MO total (A) e % FLL e a % FLI (B), na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. A - $\ln(\% FL) = 3,58 + 0,90 * \ln(MO \text{ g/kg})$, $R^2 = 0,37$, $p < 0,001$; B - $\ln(\% FLI) = 1,36 + 0,393 * \ln(\% FLL)$, $R^2 = 0,34$, $p < 0,001$.

Existe diferença na porcentagem das frações leves (livre e intra-agregado) nos primeiros 10 cm superficiais do solo em dois períodos diferentes de cultivo (6 e 18 meses) na roça de derruba-e-queima da Comunidade Mato Grosso (Figura 13).

A porcentagem da FLL ($p < 0,0001$, $F = 8,87$) é duas vezes superior a de FLI ($p < 0,002$, $F = 4,50$) em termos quantitativos, podendo ser explicado pela FLL se apresentar como a primeira no processo de estocagem de C no solo (fração lábil), que ao longo do processo de mineralização parte desta fração pode ser respirada, transformando o C em CO_2 voltando para a atmosfera, e outra parte podendo ser ocluída, e desta forma virando um compartimento mais estável no solo. Resultados encontrados por Lima et al. (2008) em solos sob plantio de eucalipto na mesma profundidade (0-10 cm) corroboram com os resultados encontrados neste estudo. Conforme esses autores, a FLL constitui um compartimento com rápida ciclagem e que pode favorecer a biota do solo.

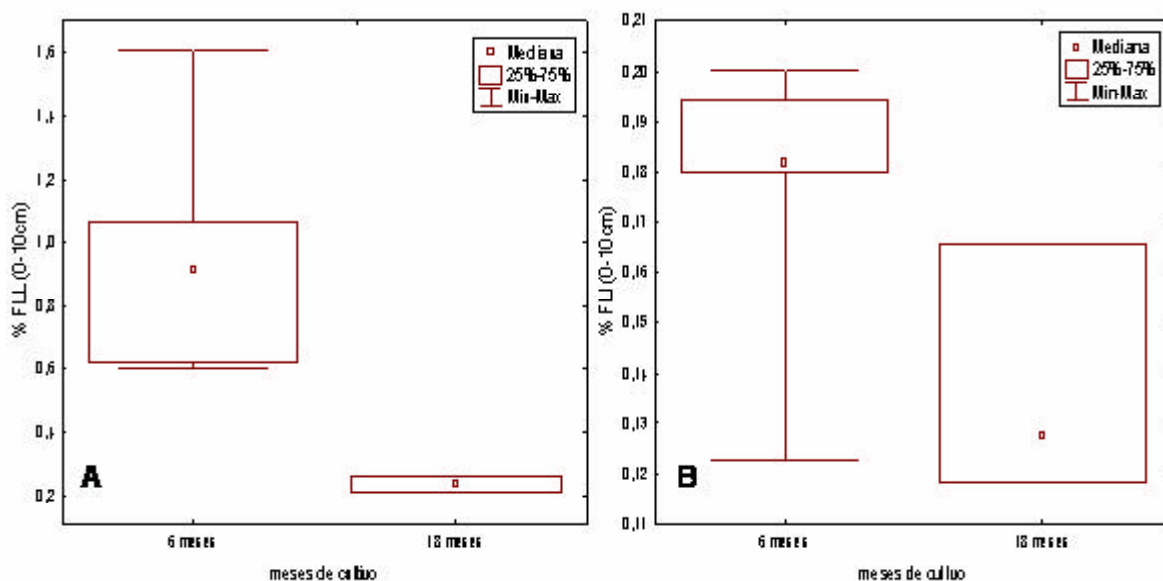


Figura 13. Concentração das frações leves em diferentes fases de cultivo e da roça de derruba-e-queima em relação ao tempo de cultivo, na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. **A** – porcentagem de FLL e **B** – porcentagem de FLI.

Após um ano e meio de cultivo, o processo de mineralização nessas frações da MOS aumenta gradativamente, demonstrada com a diminuição na porcentagem dessas frações no sistema (Figura 13A e 13B), o que pode influenciar no balanço de carbono dentro do sistema, quando considerados os valores absolutos dessas frações.

Resultados obtidos por Freixo (2000) confirmam a influência do cultivo na redução da FLL, principalmente no horizonte superficial (até 5 cm), comparando um sistema de plantio direto com um sistema convencional. Tal resultado foi atribuído à labilidade desta fração e à redução dos aportes de resíduos vegetais nos sistemas agrícolas, o que contribui para uma redução dos estoques de MOS, nestas frações lábeis (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1994).

Devido a sua natureza mais recente (material vegetal parcialmente decomposto) e em função da sua relação estreita com a MO total, as frações FLL e FLI (FL) se concentram nas camadas superficiais do solo, como mostra a Figura 14, de uma maneira similar a MO total do solo, como exposto nas Figuras 8 e 9 (capítulo V.1.1.4).

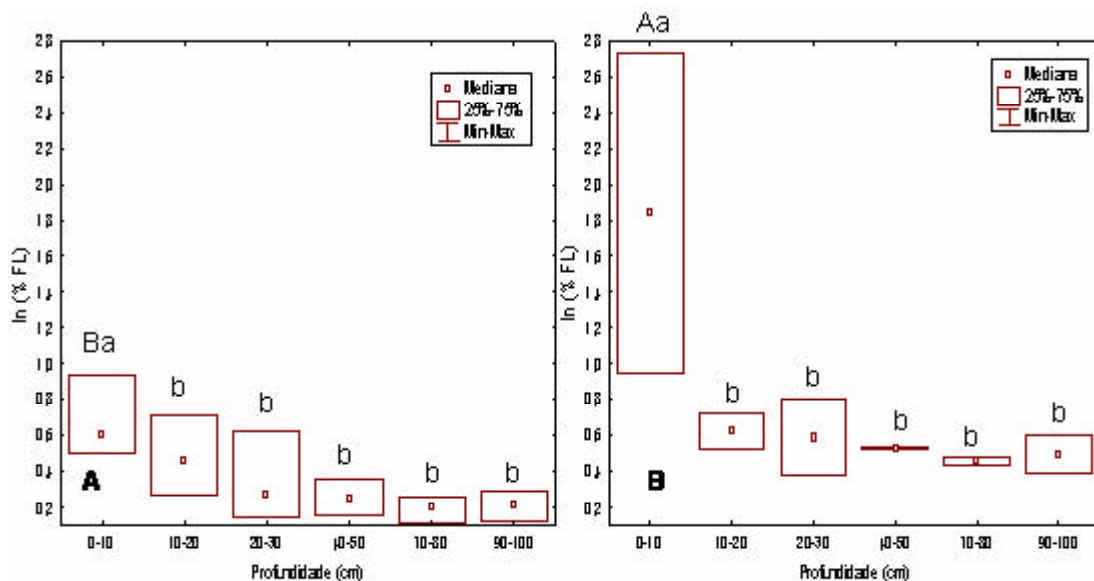


Figura 14. Porcentagem da FL na roça de derruba-e-queima (A) e na capoeira (B) ao longo do perfil do solo, na Comunidade Mato Grosso, São Luís / MA. Letras maiúsculas e minúsculas iguais indicam a não ocorrência de diferença significativa entre os tratamentos, letras maiúsculas comparam os usos da terra e letras minúsculas comparam a porcentagem de FL ao longo do perfil do solo.

A natureza lábil da fração leve da MOS é reforçada pela sua diminuição significativa ($p = 0,03$, $F = 3,31$) durante o ciclo de cultivo (Figura 14A) e sua recuperação durante a fase de pousio (Figura 14B). Essa variação temporal da fração leve na agricultura de derruba-e-queima é limitada aos primeiros 10 cm do solo, nas camadas mais profundas do solo não houve diferenças significativas ($p > 0,05$).

Quando comparamos os usos da terra observamos que na área de capoeira a porcentagem de FL apresenta valor duas vezes maior do que o encontrado na área de roça de derruba-e-queima, devido provavelmente a maior deposição de material vegetal e menor revolvimento do solo na capoeira corroborando resultados de Feller & Beare, 1997.

Tal resultado nos permite confirmar que a fração leve da MOS atua como indicador sensível de mudança de uso do solo, principalmente nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. As frações leves da MOS respondem muito mais rapidamente às mudanças na entrada de C no solo do que frações de menor granulometria, demonstrando que estas podem ser usadas como indicadores de mudança na MOS pelo efeito do manejo do solo (HASSINK et al., 1997; LUCA et al., 2008).

5.1.2. Áreas pesquisadas em Zé Doca

5.1.2.1. Biomassa aérea

A biomassa aérea aumenta de forma linear com o tempo de pousio (Figura 15), o que difere da recuperação em forma de curva saturada observada em capoeiras da Amazônia Central (GEHRING et al., 2005), indicando que a dinâmica de regeneração não desacelera mesmo depois de 15 anos e, portanto não é possível deduzir tempos de pousio otimizados baseados na dinâmica da regeneração. Por outro lado, o tempo estudado pode não ter sido suficiente para a curva atingir a saturação.

Constata-se também que a taxa de regeneração observada é muito menor do que em outras regiões dos trópicos úmidos, indicando um enfraquecimento da vegetação pela intensa degradação (comunicação pessoal Dr. Christoph Gehring). O uso anterior da terra (roça de derruba-e-queima vs. pastagens extensivas) não afetou a dinâmica de regeneração.

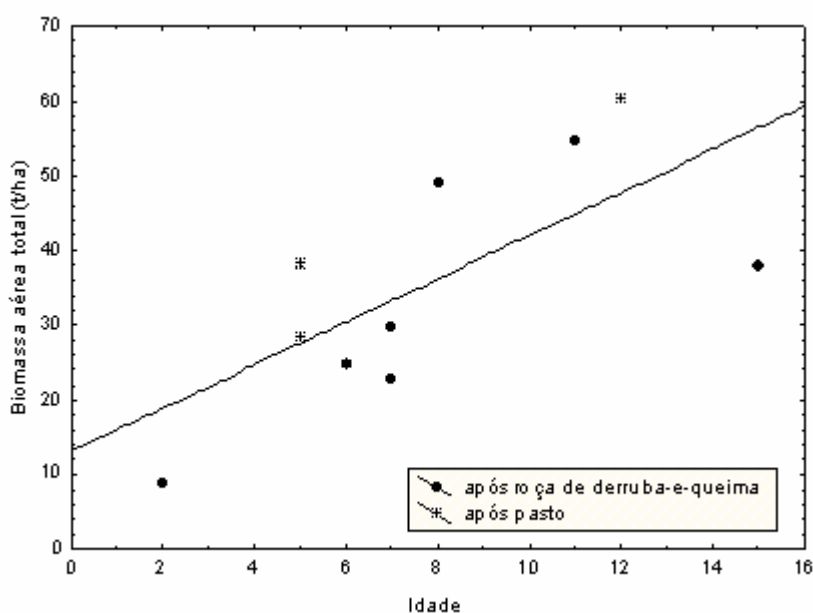


Figura 15. Acúmulo da biomassa aérea total no decorrer da sucessão secundária após agricultura de derruba-e-queima ('roça') ou pastagens ('pasto') em uma cronoseqüência de 10 capoeiras no Município de Zé Doca, na Pré-Amazônia Maranhense. Biomassa aérea total ($t \cdot ha^{-1}$) = $13,9 + 2,98 * idades$ (anos), R^2 ajustado = 0,43, $p = 0,02$. Dados obtidos por comunicação pessoal Dr. Christoph Gehring e Dr. Carlos Freitas.

5.1.2.2. Caracterização física e química dos solos

Nas áreas pesquisadas no Município de Zé Doca a densidade do solo não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) quando se comparou os tipos de uso do solo (capoeira, roça de derruba-e-queima e roça melhorada) e as diferentes profundidades (0-10 e 10-20 cm),

contrastando com resultados encontrados por Glab & Kulig (2008) onde na camada de 0-10 cm a densidade do solo apresentou menores valores nas áreas com adição de cobertura morta (*mulch*), se diferenciando das áreas com cultivo convencional.

Os efeitos do *mulch* na densidade do solo podem variar em relação ao tipo de solo, propriedades do solo, tipo de *mulch*, clima e uso da terra (MULUMBA & LAL, 2008).

Maiores quantidades de macronutrientes como o P, K e Ca foram encontradas em áreas de roça melhorada (Tabela 3). Esse resultado é devido ao efeito residual da adubação mineral feita nas áreas experimentais (*slash-and-mulch*).

A porcentagem de C orgânico apresenta valores elevados, porém não significativos ($p > 0,05$) nas áreas com manejo de roça melhorada (camada de 0-10 cm). Os demais tipos de uso do solo (capoeira e roça de derruba-e-queima) também não demonstraram valores significativos de C orgânico (camada de 0-10 cm), podendo-se atribuir este resultado à rápida mineralização da camada de cobertura morta (*mulch*) depositada na superfície do solo (Tabela 5).

Tabela 5. Análise Química do Solo das áreas localizadas no Município de Zé Doca / MA, coleta realizada no ano de 2008. *T3 - áreas de roça triturada (*slash-and-mulch*).

| Área | Prof. (cm) | M.O. (g/kg) | pH (CaCl ₂) | P | K | Ca | Mg | C % |
|-------------------|---------------|----------------|----------------------------|------|-------|-------|-------|-----|
| | | | | | | | | |
| Biné T3* | 0-10 | 52,3 | 4,6 | 10,2 | 110,4 | 385,7 | 124,0 | 2,1 |
| | 10-20 | 21,7 | 4,1 | 1,5 | 91,9 | 221,1 | 99,5 | 0,9 |
| Biné capoeira | 0-10 | 52,0 | 4,4 | 4,2 | 114,1 | 327,5 | 162,3 | 2,1 |
| | 10-20 | 52,3 | 4,2 | 0,00 | 110,4 | 220,4 | 93,4 | 1,1 |
| Chicá T3* | 0-10 | 32,4 | 5,1 | 20,7 | 81,5 | 524,6 | 212,9 | 1,5 |
| | 10-20 | 23,9 | 4,5 | 9,6 | 73,4 | 237,7 | 75,1 | 0,9 |
| Chicá capoeira | 0-10 | 28,3 | 4,4 | 9,5 | 40,6 | 311,2 | 53,4 | 1,2 |
| | 10-20 | 17,6 | 4,1 | 5,9 | 29,3 | 109,0 | 49,0 | 0,7 |
| Onofre T3* | 10-20 | 15,8 | 4,1 | 6,3 | 12,4 | 38,0 | 38,0 | 0,6 |
| Onofre roça nova | 0-10 | 31,3 | 5,1 | 28,3 | 31,5 | 309,0 | 104,8 | 1,2 |
| | 10-20 | 17,7 | 4,3 | 8,0 | 21,9 | 24,9 | 52,3 | 0,6 |
| Onofre roça velha | 0-10 | 33,8 | 5,0 | 7,0 | 11,1 | 454,4 | 76,7 | 1,4 |
| | 10-20 | 19,6 | 4,7 | 4,5 | 13,0 | 172,7 | 39,9 | 0,7 |
| Onofre capoeira | 0-10 | 29,3 | 4,6 | 8,4 | 16,8 | 157,6 | 60,2 | 1,2 |
| | 10-20 | 22,7 | 4,1 | 6,5 | 7,2 | 36,9 | 51,7 | 0,8 |
| RM T3* | 0-10 | 42,8 | 4,6 | 22,8 | 43,8 | 463,3 | 89,7 | 1,9 |
| | 10-20 | 16,1 | 3,9 | 5,9 | 42,8 | 109,4 | 82,0 | 0,7 |
| RM Roça | 0-10 | 30,9 | 4,7 | 9,4 | 20,4 | 402,5 | 80,5 | 1,3 |
| | 10-20 | 16,6 | 4,0 | 6,0 | 18,2 | 66,4 | 63,7 | 0,6 |
| RM capoeira | 0-10 | 38,4 | 4,1 | 5,5 | 25,7 | 262,4 | 105,0 | 1,6 |
| | 10-20 | 42,6 | 4,1 | 4,6 | 18,0 | 157,8 | 55,2 | 0,8 |
| Chico T3* | 0-10 | 45,8 | 4,2 | 17,5 | 49,3 | 504,3 | 80,1 | 2,0 |
| | 10-20 | 17,4 | 6,3 | 4,3 | 43,2 | 193,3 | 74,6 | 0,7 |

A Tabela 6 ilustra a análise granulométrica das 5 áreas pesquisadas no Município de Zé Doca / MA, onde foram avaliados três tipos de uso da terra (capoeira, roça de derruba-e-queima e roça melhorada). As 5 áreas pesquisadas apresentam textura do solo similar, todas elas apresentando uma alta porcentagem de areia nos primeiros 20 cm superficiais.

Tabela 6. Análise Física do Solo das áreas localizadas no Município de Zé Doca / MA, coleta realizada no ano de 2008. *T3- áreas de roça triturada (*slash-and-mulch*).

| Área | Prof. (cm) | % Areia grossa (2-0,2mm) | % Areia fina (0,02-0,05mm) | % Silte (0,05-0,002mm) | % Argila (<0,002mm) | Silte / Argila |
|-------------------|------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| Biné T3* | 0-10 | 5 | 76 | 8 | 11 | 0,73 |
| | 10-20 | 5 | 63 | 14 | 18 | 0,78 |
| Biné capoeira | 0-10 | 3 | 26 | 50 | 21 | 2,38 |
| | 10-20 | 3 | 40 | 39 | 18 | 2,17 |
| Chicá T3* | 0-10 | 1 | 73 | 18 | 8 | 2,25 |
| | 10-20 | 14 | 73 | 5 | 8 | 0,63 |
| Chicá capoeira | 0-10 | 9 | 82 | 3 | 6 | 0,50 |
| | 10-20 | 9 | 76 | 5 | 10 | 0,50 |
| Onofre T3* | 10-20 | 21 | 59 | 8 | 12 | 0,67 |
| Onofre roça nova | 0-10 | 15 | 63 | 10 | 12 | 0,83 |
| | 10-20 | 15 | 57 | 11 | 17 | 0,65 |
| Onofre roça velha | 0-10 | 20 | 70 | 2 | 8 | 0,25 |
| | 10-20 | 21 | 62 | 9 | 8 | 1,13 |
| Onofre Capoeira | 0-10 | 12 | 73 | 4 | 11 | 0,36 |
| | 10-20 | 13 | 71 | 4 | 12 | 0,33 |
| RM T3* | 0-10 | 3 | 80 | 4 | 13 | 0,31 |
| | 10-20 | 22 | 65 | 3 | 10 | 0,30 |
| RM Roça queimada | 0-10 | 14 | 76 | 3 | 7 | 0,43 |
| | 10-20 | 12 | 73 | 4 | 11 | 0,36 |
| RM Capoeira | 0-10 | 10 | 72 | 8 | 10 | 0,80 |
| | 10-20 | 10 | 68 | 9 | 13 | 0,69 |
| Chico T3* | 0-10 | 1 | 69 | 16 | 14 | 1,14 |
| | 10-20 | 2 | 82 | 3 | 13 | 0,23 |

5.1.2.3. Impacto do *slash-and-mulch* na dinâmica da MOS

Uma das maiores vantagens desse manejo é a acumulação de MO no solo com melhorias na sua qualidade e no armazenamento de C em suas frações.

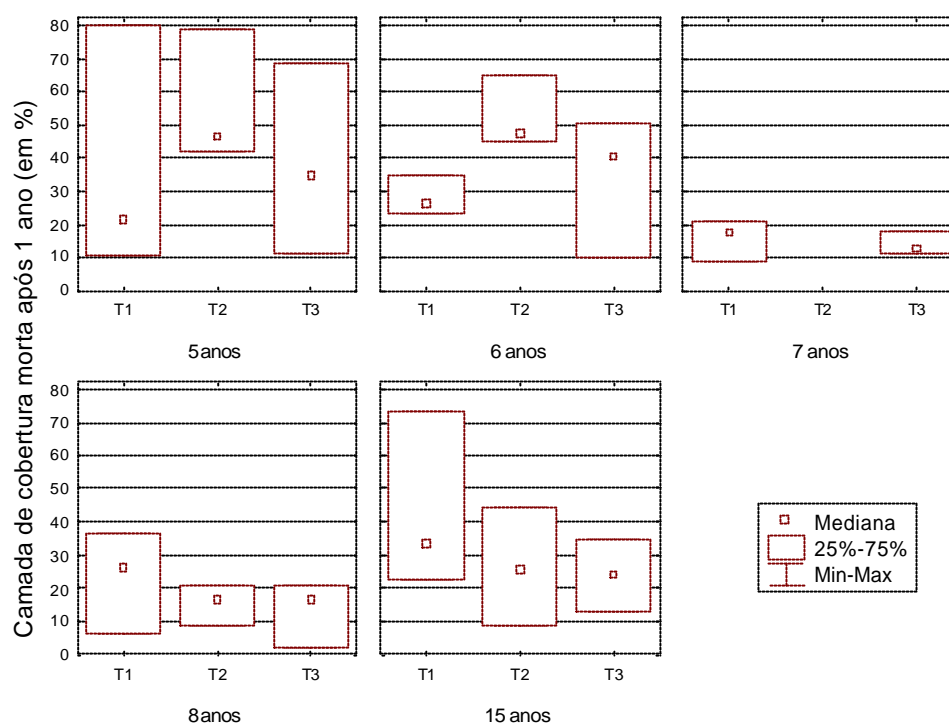


Figura 16. Camada de cobertura morta um ano após a trituração e cultivo com milho e feijão caupi expressa em porcentagem de biomassa aérea total da capoeira triturada, em função dos tratamentos de adubação (T1: NPK + calagem, T2: calagem, T3: NPK). *Somente o Tratamento 3 foi avaliado na presente pesquisa (Comunicação pessoal Dr. Christoph Gehring e Dr. Carlos Freitas).

A massa de cobertura morta remanescente dois anos após a trituração, seguido por adubação e cultivo com milho e feijão caupi, é demonstrada na Figura 16. Na média das 5 áreas e 3 tratamentos, somente 30% da biomassa anterior permaneceu como camada de cobertura morta. Isto significa que os outros 70% ($21,4 \text{ t. ha}^{-1}$ em média das áreas e tratamentos) foram, ou incorporados na MOS ou perdidos por respiração microbiana. Não se tornou evidente nenhuma dependência da porcentagem remanescente com a biomassa da capoeira triturada, nem com o posterior tratamento de adubação mineral e / ou calagem.

Esses dados foram gerados pelo projeto ‘Adaptação e validação participativa da tecnologia de corte e trituração da capoeira em substituição a derruba e queima no preparo de área para plantio’. MDA/Basa, Embrapa Macroprograma 4’.

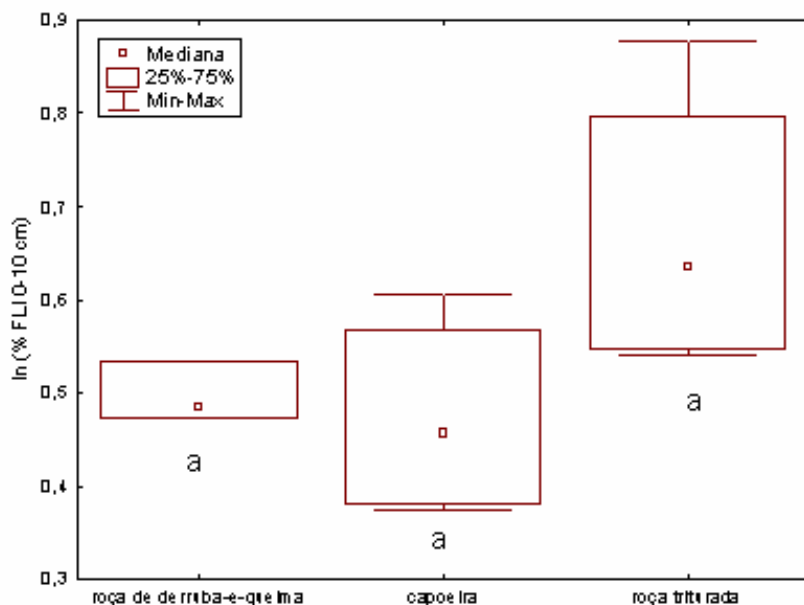


Figura 17. Porcentagem de FLI em relação ao uso da terra, nas áreas pesquisadas no Município de Zé Doca / MA.

Elevados teores de porcentagem de FLI nos tratamentos com trituração de capoeira (Figura 17) indicam um fluxo de MO da camada de cobertura morta para a fração lábil nos primeiros 10 cm de MOS. No entanto, não ocorreu diferença significativa ($p = 0,08$) nesta fração quando se comparou a roça de derruba-e-queima com a triturada.

As demais frações (FLL e frações granulométricas) da MOS e teor de MO total no solo não apresentaram significância estatística quando comparados os usos da terra ($p > 0,05$), o que sugere que a entrada da MO no solo é efêmera, sendo em seguida perdida por decomposição microbiana. Tal resultado contraria a hipótese de um seqüestro de C significativo na MOS em períodos contábeis para sua adoção pelo MDL, propiciados por esta forma de manejo melhorado.

6. CONCLUSÕES

A FL se mostra como indicador físico sensível de mudança no manejo do solo, pois demonstrou uma diminuição durante o ciclo de cultivo na camada de 0-10 cm nos diferentes tipos de uso do solo.

A MO influencia na diminuição da densidade do solo, além de ter uma estreita relação com as frações silte e argila, demonstrando assim que em solos que apresentam grande quantidade dessas frações o mesmo conterá maiores teores de MOS, e conseqüente de estoque de C e quando relacionada ao aumento nos teores de macronutrientes e pH no solo ocorre o aumento desses elementos nos primeiros 10 cm do solo.

Ao contrário do que se esperava a roça melhorada (*slash-and-mulch*) não apresentou maiores teores de MO total, frações pesadas e FL (FLL e FLI).

Os resultados mostraram que ao longo do perfil ocorre uma diminuição dos estoques de C, porém até a profundidade de 1 metro ainda é possível encontrar valores expressivos nas áreas de roça de derruba-e-queima (média de 6 amostragens em 2 áreas: 56,8 t.ha⁻¹) e capoeira (média de 3 amostragens em 1 área: 69,6 t.ha⁻¹), estando esse protegido da decomposição microbiana, podendo demonstrar um estoque de C nessas camadas mais profundas do solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, R. C.; Costa, L. M.; Moura Filho, W.; Regazzi, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20:319-326, 1996.
- Araújo, E. A.; Liani, J. L.; Amaral, E. F.; Guerra, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo Distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:307-315, 2004.
- Archad, M. A.; Lowery, B.; Grossman, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J. W. & Jones, A. J. (eds). **Methods for assessing soil quality**, 123-141. Madison, 1996.
- Bayer, C.; Mielniczuk, J.; Martin-Neto, L.; Ernani, P. L. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, 238:133-140, 2002.
- Bayer, C.; Martin-Neto, L.; Mielniczuk, J.; Pavinato, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 7, 39:677-683, 2004.
- Bird, J. A.; van Kessel, C.; Hotwath, W. R. Stabilization of ^{13}C -Carbon and immobilization of ^{15}N -Nitrogen from rice straw in humic fractions. **Soil Science Society of American Journal**, 76:806-816, 2003.
- Buyanovsky, G. A.; Aslam, M.; Wagner, G. H. Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of American Journal**, 58:1167-1173, 1994.
- Cade-Menun, B. J.; Berch, S. M.; Preston, C. M.; Lavkulich, L. M. Phosphorus forms and related soil chemistry of Podzolic soils on northern Vancouver Island. II The effects of clear-cutting and burning. **Canadian Journal Research**, 30:1726-1741, 2000.
- Cambardella, C. A.; Elliott, E. T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. **Soil Science Society of American Journal**, 58:123-130, 1994.
- Certini, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, 143:1-10, 2005.
- Cheshire, M. V.; Dumat, C.; Fraser, A. R.; Hillier, S.; Staunton, S. The interaction between soil organic matter and soil clay minerals by selective removal and controlled addition of organic matter. **European Journal of Soil Science**, 51:497-509, 2000.
- Christensen, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Agronomy**, 20:1-90, 1992.
- Christensen, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European journal of Soil Science**, 52:345-353, 2001.

- Corsini, P. C.; Ferraudo, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 34:289-298, 1999.
- Davidson, E. A.; Sá, T. D. A.; Carvalho, C. J. R.; Figueiredo, R. O.; Kato, M. S. A.; Kato, O. R.; Ishida, F. Y. Na integrated greenhouse gas assessment of an alternative to slash-and-burn agriculture in eastern Amazonia. **Global Change Biology**, 14:998-1007, 2008.
- Demolinari, M. S. M.; Silva, I. R.; Lima, A. M. N.; Vergtuz, L.; Mendonça, E. S. Efeito da solução de separação densimétrica na quantidade e qualidade da matéria orgânica leve e na quantificação do carbono orgânico da fração pesada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:871-879, 2008.
- Denich, M.; Vielhauer, K.; Kato, M. S. A.; Blok, A.; Kato, O. R.; Sá, T. D. A.; Lücke, W.; Vlek, V. L. G. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems. **Agroforestry Systems**, 61:91-106, 2004.
- Denich, M.; Vlek, P. L.G.; Sá, T. D. A.; Vielhauer, K.; Lücke, W. A concept for the development of fire-free fallow management in the Eastern Amazon, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 110:45-58, 2005.
- Desjardins, T.; Andreux, F.; Volkoff, B.; Cerri, C. C. Organic carbon and ¹³C contents in soils and soil size-fractions and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. **Geoderma**, 61:103-118, 1994.
- Dieckow, J.; Bayer, C.; Conceição, P. C.; Zannata, Z. A.; Martin-Neto, L.; Milori, D. B. M.; Salton, J. C.; Macedo, M. M.; Mielniczuk, J.; Hernani, L. C. Land-use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, 60:240-249, 2009.
- Eiza, M. J.; Fioriti, N.; Studdert, G. A.; Echeverría, H. E. Fracciones de carbono orgánico em la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. **Ciencia del Suelo (Argentina)**, 23(1):59-67, 2005.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos - SNLCS. Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado do Maranhão. Boletim de Pesquisa n.35, v.I, Rio de Janeiro / RJ, 1986.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 2ed., 212p., 1997.
- Feller, C.; Beare, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, 79:69-116, 1997.
- Fisher, R. F.; Binkley, D. Ecology and management of forest soils. **Wiley**, 3rd ed., New York / USA, 2000.

Freixo, A. A. Caracterização da matéria orgânica de Latossolos sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectroscopia de infravermelho. **Dissertação de Mestrado**, Pós-Graduação em Ciência do Solo – UFRRJ, Seropédica, 99p., 2000.

Freixo, A. A.; Machado, P. L. O. A.; Santos, H. P.; Silva, C. A.; Fadigas, F. S. Soil organic carbon and fractions of Rhodic Ferrisol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, 64:221-230, 2002A.

Freixo, A. A.; Machado, P. L. O. A.; Guimarães, C. M.; Silva, C. A.; Fadigas, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:425-434, 2002B.

Gehring, C.; Park, S. J.; Denich, M. Liana allometric biomass equations for Amazonian primary and secondary Forest. **Forest Ecology and Management**, 195(1-2):69-83, 2004.

Gehring, C.; Denich, M.; Vlek, P. L. G. Resilience of secondary forest regrowth after slash-and-burn agriculture in central Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, n.5, 21:1-9, 2005.

Gehring, C. O ambiente do trópico úmido e o manejo sustentável dos agrossistemas. In.: Moura, E. & Aguiar, A. C. F. (eds). **O desenvolvimento rural como forma de ampliação dos direitos no campo: Princípios e Tecnologias**, 2ed:101-140, Série Agroecologia, São Luís/MA, 2006.

Glab, T.; Kulig, B. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). **Soil and Tillage Research**, 99:169-178, 2008.

Hassink, J.; Whitmore, A. P.; Kubát, J. Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic matter. **European Journal of Agronomy**, 7:189-199, 1997.

He, Y.; Xu, Z.; Chen, C.; Burton, J.; Ma, Q.; G, Y.; Xu, J. Using light fraction and macroaggregate associated organic matters as early indicators for management-induced changes in soil chemical and biological properties in adjacent native and plantations forests of subtropical Australia. **Geoderma**, 147:116-125, 2008.

Houghton, R. A.; Skole, D. L.; Lefkowitz, D. S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. II Net release of CO₂ to the atmosphere. **Forest Ecology and Environment**, 65:69-78, 1991.

IAC, Instituto Agronômico de Campinas (Campinas / SP). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. In.: van Raij, B.; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. (eds.). 285p. Campinas / SP, 2001.

Jones, M. B.; Donnelly, A. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and evaluated CO₂. Review. **New Phytologist**, 164:423-439, 2004.

Koutika, L. S.; Andreux, F.; Hassink, J.; Choné, T.; Cerri, C. C. Characterization of organic matter in topsoils under rain forest and pasture in the eastern Brazilian Amazon basin. **Biology and Fertility of Soils**, 29:309-313, 1999.

Lal, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Review, **Geoderma**, 123:1-22, 2004.

Lal, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, 60:158-169, 2009.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:821-832, 2003.

Lehmann, J.; Cravo, M. S.; Zech, W. Organic matter stabilization in a Xanthic Ferralsol of the Central Amazon as affected by single trees: chemical characterization of density, aggregate, and particle size fractions. **Geoderma**, 99:147-168, 2001.

Leifeld, J.; Kögel-Knabner, I. Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use? **Geoderma**, 124:143-155, 2005.

Lima, A. M. N.; Silva, I. R.; Neves, J. C. L.; Novais, R. F.; Barros, N. F.; Mendonça, E. S.; Demolinari, M. S. M.; Leite, F. P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1053-1063, 2008.

Luca, E. F.; Feller, C.; Cerri, C. C.; Barthès, B.; Chaplot, V.; Campos, D. C.; Manechini, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:789-800, 2008.

Machado, P. L. O. A. Manejo da matéria orgânica de solos tropicais: abrangência e limitações. **Centro Nacional de Pesquisa em Solos / EMBRAPA Solos**, Documento n.24, Rio de Janeiro / RJ, 20 p., 2001A.

Machado, P. L. O. A.; Silva, C. A. Soil Management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 61:119-130, 2001B.

Machado, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo – um procedimento para a estimativa pormenorizada do seqüestro de carbono pelo solo. **EMBRAPA Comunicado técnico n°09**, Rio de Janeiro, 2002.

Mando, A.; Quattara, B.; Sédogo, M.; Stroosnijder, L.; Quatara, K.; Brussaard, L.; Vanlauwe, B. Long-term effect of tillage and manure application on soil organic fractions and crop performance under Sudano-Sahelian conditions. **Soil and Tillage Research**, 80:95-101, 2005.

Martius, C.; Tiessen, H.; Vlek, P. L. G. The management soil organic matter in tropical soils: what are the priorities? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 61:1-6, 2001.

Martin-Neto, L.; Segnini, A.; Simões, M. L.; Milori, D. M. B. P.; Silva, W. T. L.; Primavesi, O. Dinâmica e estabilidade da matéria orgânica em área com potencial para seqüestro de carbono no solo. **EMBRAPA Instrumentação Agropecuária**, São Carlos / SP, 53p., 2005.

Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. Status atual das atividades de projeto do MDL no Brasil no mundo, 14p., 2009, acesso 23/04/2009 às 11 horas e 37 minutos. http://www.mct.gov.br/upd_blob/0200/200842.pdf.

Mulumba, L. N.; Lal, R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil and Tillage Research**, 98:106-111, 2008.

Nelson, B. W.; Mesquita, R.; Perreira, J. L. G.; de Souza, S. G. A.; Batista, G. T.; Couto, L. B. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. **Forest Ecology and Management**, 117:149-167, 1999.

Oelbermann, M.; Voroney, R. P.; Kass, D. C. L.; Schlönvoigt, A. M. Soil carbon and nitrogen dynamics using stable isotopes in 19 – and 10 –year–old tropical agroforestry systems. **Geoderma**, 130:356-367, 2006.

Pinheiro, E. F. M.; Pereira M. G.; Anjos, L. H. C.; Machado, P. L. O. A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:731-737, 2004.

Pinheiro, E. F. M. Fracionamento físico e caracterização da matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Tese de Doutorado**, Pós-Graduação em Ciência do Solo - UFRRJ, Seropédica, 113p., 2007.

Primavesi, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. In: Primavesi, A. (ed.) **A Matéria Orgânica**. 6ed:108-138, Nobel, São Paulo / SP, 1984.

Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008. Acesso: 24/01/2009 às 17 horas e 50 minutos, http://www.pnud.org.br/arquivos/release_americalatina.pdf.

Post, W. M.; Kwon, K. C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential. **Global Change Biology**, 6:317-327, 2000.

Salamanca, E. F.; Rubuch, M.; Joergesen, R. G. Relationships between soil microbial indices in secondary tropical forest soils. **Applied Soil Ecology**, 21:211–219, 2002.

Sánchez, P. A. Linking climate change research with food security and poverty reduction in the tropics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 82:371-383, 2000.

Secco, D.; Da Ros, C. O.; Secco, J. K.; Fiorin, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:407-414, 2005.

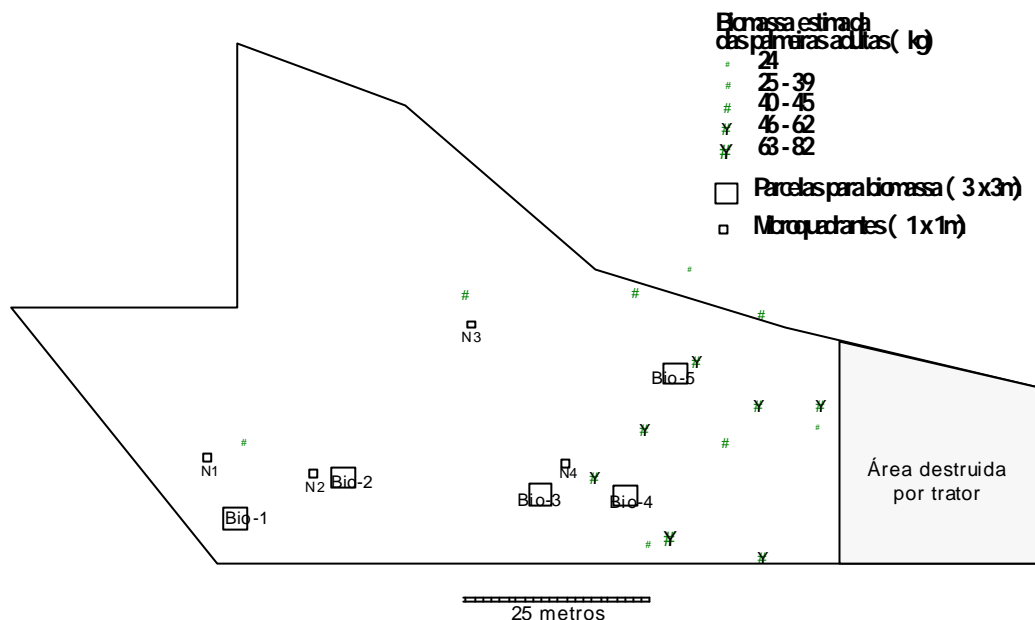
Shibu, M. E.; Leffelaar, P. A.; Van Keulen, H.; Aggarwal, P. K. Quantitative description of soil organic matter dynamics – A review of approaches with reference to rice-based cropping systems. **Geoderma**, 137:1-18, 2006.

Silva, V. R.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetado pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:191-199, 2000.

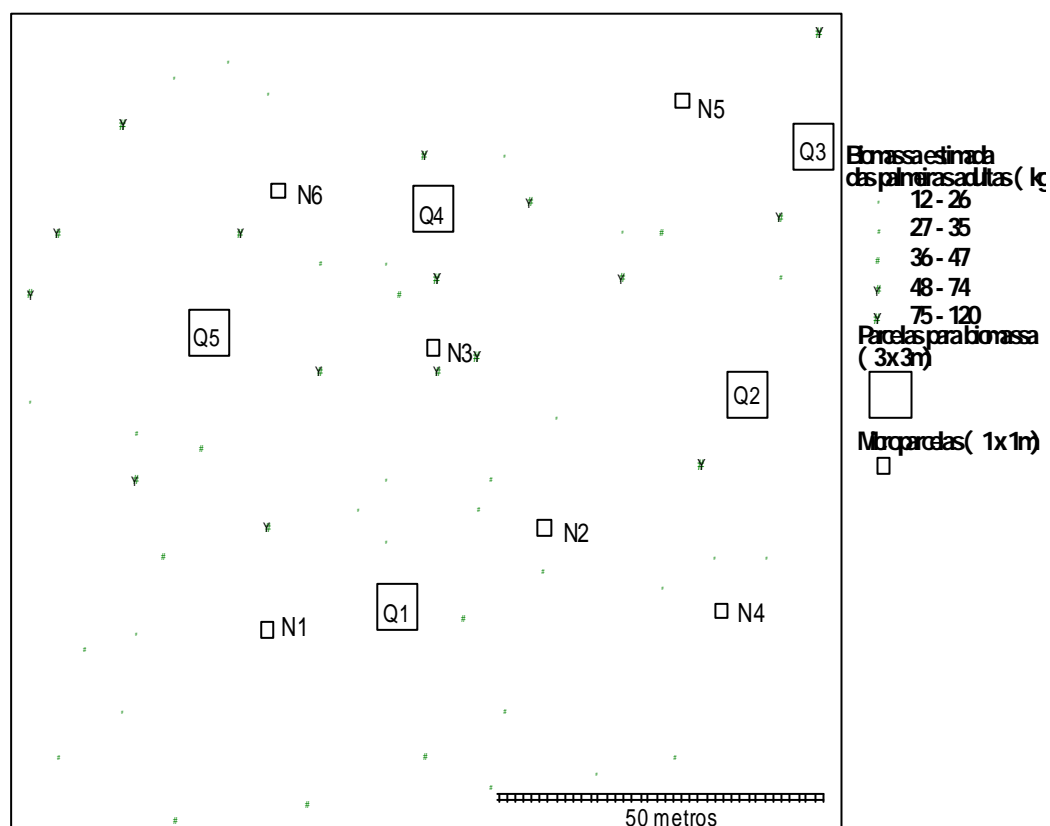
- Six, J.; Elliott, E. T.; Paustian, K. Aggregate soils and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of American Journal**, 63:1350-1358, 1999.
- Six, J.; Guggenberger, G.; Paustian, K.; Haumaier, L.; Elliott, E. T.; Zech, W. Source and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates. **European Journal of Soil Science**, 52:607-618, 2001.
- Sollins, P.; Swanston, C.; Kleber, M.; Filley, T.; Kramer, M.; Crow, S.; Caldwell, B. A.; Lajtha, A.; Bowden, R. Organic C and N stabilization in a forest soil: Evidence from sequential density fractionation. **Soil Biology and Biochemistry**, 38:3313-3324, 2006.
- Sommer, R.; Vlek, P. L. G.; Sá, T. D. A.; Vielhauer, K.; Coelho, F. R. F.; Fölster, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the eastern Amazon – evidence for subsoil nutrient accumulation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 68:257-271, 2004.
- Sposito, G., Skipper, N. T., Sutton R., Park, S. H., Soper, A. K., Greathouse, J. A. Surface geochemistry of the clay minerals. **Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America**, 96:3358-3364, 1999.
- Swift, R. S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**, 166:858-871, 2001.
- Szott, L. T.; Palm, C. A.; Buresh, R. J. Ecosystem fertility and fallow function in the humid and subhumid tropics. **Agroforestry Systems**, 47:163-196, 1999.
- von Lützow, M.; Kögel-Knaber, I.; Ekschmitt, K.; Matzner, E.; Guggenberger, G.; Marschner, B. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review. **European Journal of Soil Science**, 57:426-445, 2006.
- von Lützow, M.; Kögel-Knaber, I.; Ekschmitt, K.; Flessa, H.; Guggenberger, G.; Matzner, E.; Marschner, B. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. Review, **Soil Biology and Biochemistry**, 21:2183-2207, 2007.
- Yamashita, T.; Flessa, H.; John, B.; Helfrich, M.; Ludwig, L. Organic matter in density fractions of water-stable aggregates in silty soils: effect of land use. **Soil Biology & Biochemistry**, 38:3222-3234, 2006.
- Zotarelli, L.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, R.; Six, J. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. **Soil and Tillage Research**, 95:196-206, 2007.

8. ANEXO

Anexo A. Roça de derruba-e-queima (comunidade Mato Grosso, São Luís / Maranhão). Localização das palmeiras adultas de babaçu, das microparcelas de ^{15}N e dos quadrantes para a estimativa da biomassa (2ª quantificação, cultivo do feijão; cerca de 20% da área e duas microparcelas foram destruídas por trator).



Anexo B. Roça de derruba-e-queima (comunidade Cinturão Verde, em São Luís / Maranhão). Localização das palmeiras adultas de babaçu, das microparcelas de ^{15}N e dos quadrantes para a estimativa da biomassa (2ª quantificação, cultivo do feijão).



Anexo C. Roça de deruba-e-queima (Comunidade Mato Grosso, em São Luís / Maranhão).
 Localização das palmeiras adultas de babaçu, das microparcelas de ^{15}N e dos quadrantes para a estimativa da biomassa (2ª quantificação, cultivo do feijão).

