

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA

BENEFÍCIOS AMBIENTAL E AGRÍCOLA DE UM
AGROSSISTEMA INDICADO PARA A AGRICULTURA
FAMILIAR DO MARANHÃO

ANDREIA PEREIRA AMORIM

SÃO LUÍS/2009

CDU– 631.427:631.543.8

**BENEFÍCIOS AMBIENTAL E AGRÍCOLA DE UM
AGROSSISTEMA INDICADO PARA A AGRICULTURA
FAMILIAR DO MARANHÃO**

ANDREIA PEREIRA AMORIM

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Maranhão, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

SÃO LUÍS/2009

Amorim, Andreia Pereira

Benefícios Ambiental e Agrícola de um Agrossistema
Indicado para a Agricultura Familiar do Maranhão
/ Andréia Pereira Amorim. – São Luís, 2009.

56f

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

Orientador: Prof.Emanoel Gomes de Moura

1.Francionameto físico 2.Frações leves 3.Sistemas de
aléias I. Título


CDU: 631.427:631.543.8

**BENEFÍCIOS AMBIENTAL E AGRÍCOLA DE UM
AGROSSISTEMA INDICADO PARA A AGRICULTURA
FAMILIAR DO MARANHÃO**

ANDREIA PEREIRA AMORIM

Aprovada:

Comissão Julgadora:



Prof. Dr. EMANOEL GOMES DE MOURA – UEMA
Orientador



Prof. Dr. José Geraldo Donizetti dos Santos – UEMA

Alana das Chagas Ferreira Aguiar
Prof.^a Dra. Alana das Chagas Ferreira Aguiar – UFMA

Aos meus pequeninos filhos Maria Clara Amorim de Lima e Daniel Amorim de Lima; ao meu amado companheiro de todas as horas José Arimatea Rodrigues de Lima, aos meus amados pais Francisco e Maria da Conceição, forças que impulsionam o meu ser, dedico esse trabalho.

“Não há nada na natureza mais importante ou que mereça maior atenção do que o solo. Na verdade, é o solo que faz do mundo um ambiente agradável para a humanidade. É solo que fornece provisão para toda a natureza; toda a criação depende do solo, que, afinal, é à base da nossa existência”.

Friedrich Albert Fallou.

AGRADECIMENTOS

- A DEUS pelo dom da vida e por tudo que Ele representa no meu viver.
- Aos meus amados pais que muito se sacrificaram para que eu pudesse chegar até esse momento e por terem me ensinado a ser humilde e sempre respeitar as pessoas.
- Aos meus filhos Maria Clara Amorim de Lima e Daniel Amorim de Lima minhas fontes de motivação.
- Ao meu marido, José Arimatea Rodrigues de Lima, pelo imenso incentivo, amor e companheirismo e pelo apoio e ajuda com meus pequeninos.
- Aos meus irmãos Jacqueline Pereira Amorim, Aurideia Pereira Amorim, Leda Valquíria Pereira Amorim, Francielli Cabral Amorim e Francisco Santos Amorim Filho.
- Ao Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura, meu orientador, pelos ensinamentos e amizade e pelas valiosas discussões que muito contribuíram para minha formação profissional. À minha amiga, Prof.^a Dra. Alana Aguiar, pelo seu exemplo de dedicação ao trabalho, sempre pronta a ajudar e pelas discussões que muito contribuíram para a realização deste trabalho de dissertação.
- À FAPEMA, Fundação de Amparo à Pesquisa do Maranhão, pela concessão da bolsa de estudo, que tornou possível a realização do presente trabalho.
- À Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, pela minha formação, pelo acolhimento, pela lição e vida e pelos amigos adquiridos.
- Ao Prof. Dr. David Villas-Boas pela grande contribuição ao trabalho.
- As minhas comadres e amigas Giseli Alcântara Zamberlam, Janaína Montelles Aguiar e Lívia Candice Ribeiro pela amizade e apoio sempre.
- A todos os funcionários do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural e Agronomia - NTER/UEMA, pelo apoio e convívio durante a minha graduação e pós-graduação, em especial João Reis, Josael, Carmelita, Neto.
- E a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigada.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
RESUMO	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 O cultivo em aléias	15
2.2 Qualidade dos resíduos vegetais.....	19
2.3 Matéria orgânica como indicador de qualidade do solo.....	22
2.4 Efeito do manejo do solo nas adições e perdas de carbono orgânico.....	24
2.5 Fatores que regulam a dinâmica da matéria orgânica no solo.....	26
2.6 Compartimentos da matéria orgânica no solo	27
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1 Localização do experimento, clima e solo	34
3.2 Análise estatística	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 Benefício Ambiental.....	37
4.2 Benefícios Agronômicos	40
5 CONCLUSÃO.....	44
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Resultados da análise química do solo no início do experimento.....	34
2	Quantidades de carbono orgânico (Mg ha ⁻¹), nas diversas frações da matéria orgânica do solo.....	39
3	Teores totais de nutrientes aportados pelos resíduos de leguminosas no sistema de aléias, em cinco anos.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Vista das membranas com as Frações Leve Livre do solo.....	36
2	Quantidades de carbono aportadas pelos tratamentos ao longo de quatro anos.....	38
3	Dias em que o fator hospitalidade da raiz esteve abaixo do nível crítico na camada de 0 a 10 cm do solo.....	42
4	Produtividade do milho (Mg ha^{-1}) ao longo de cinco anos. Médias seguidas das mesmas letras, minúsculas no ano 2006, maiúsculas no ano 2007, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.....	43

BENEFÍCIOS AMBIENTAL E AGRÍCOLA DE UM AGROSSISTEMA INDICADO PARA AGRICULTURA FAMILIAR DO MARANHÃO

RESUMO

O manejo sustentável dos solos de baixa fertilidade natural na agricultura familiar do trópico tem sido um grande desafio que se vencido ensejará vantagens para o ambiente e para os agricultores. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar os benefícios ambiental e agronômico de um cultivo em aléias, por meio da determinação do carbono seqüestrado, dos indicadores da qualidade do solo e da produtividade da cultura do milho. Foram utilizadas combinações de quatro leguminosas, formando os tratamentos: Sombreiro + Guandu (S+G); Leucena + Guandu (L+G); Acácia + Guandu (A+G); Sombreiro + Leucena (S+L); Leucena + Acácia (L+A) e Testemunha. O milho foi utilizado como cultura econômica. Foram determinados o carbono nos vários compartimentos da matéria orgânica, o complexo sortivo, o P, a saturação por base, a percentagem de saturação por água, o período do fator hospitalidade da raiz abaixo do nível crítico e a produtividade da cultura do milho. Conclui-se que o sistema em aléias pode substituir o corte e queima no trópico úmido com vantagens ambientais como a manutenção de um equilíbrio dinâmico entre entrada e saída que pode sustentar até 10 Mg ha⁻¹ de carbono na liteira. Do ponto de vista agronômico, os benefícios do sistema em aléias se manifestaram aumentando a saturação por base e diminuindo a resistência física à penetração das raízes na camada de 0 a 10 cm, o que ensejou o aumento e a sustentação da produtividade da cultura do milho.

Palavras-chave: milho, liteira, enraizabilidade, fracionamento físico; frações leves, frações pesadas, sistemas em aléias.

THE ENVIRONMENTAL AND AGRICULTURAL BENEFITS OF AN AGROSYSTEM INDICATED FOR FAMILY FARM OF MARANHÃO

ABSTRACT

The sustainable management of soils with low natural fertility used for family farming in the human tropics has been a great challenge, which, if overcome, would yield many advantages for the environment and for farmers. The objective of this study was to evaluate the environmental and agronomic benefits of alley cropping, by determining the amount of carbon captured, the indicators of soil quality, and the productivity for corn cultivation. Combinations of four legumes were used to make up the following treatments of plots: Butterfly pea + Pigeon pea (B+P); Acacia + Pigeon pea (A+P); Butterfly pea + Leucaena (B+L); Leucaena + Acacia (L+A); and Control. Corn was chosen because it is an economic crop. The carbon content in the various compartments of organic matter was determined, as was the mixed soil complex, the P content, the base saturation, the percentage of water saturation, the period during which the root hospitality factor fell below the critical level, and the productivity of the corn crop. It was concluded that alley cropping could serve as a substitute for slash and burn in the humid tropics. This would have environmental benefits, such as the maintenance of a dynamic equilibrium between entry and exit that could sustain up to 10 Mg ha⁻¹ of carbon in the soil bed. From an agronomic point of view, the benefits of alley cropping are apparent in the increase in base saturation and the decrease in physical resistance to root penetration in the soil layer between 0 and 10 cm, which makes possible an increase in and the sustainability of productivity in corn cultivation.

Keywords: corn, alley cropping, bed, rootability.

1 INTRODUÇÃO

No trópico úmido brasileiro, às margens da floresta amazônica, ainda não foram superados os desafios tecnológicos, para o estabelecimento e a manutenção de sistemas agrícolas produtivos e sustentáveis, ao contrário do que acontece nas áreas de savanas do centro-sul. A ausência de alternativas para o manejo sustentável dos agrossistemas tropicais pode ser atribuída primeiro à fragilidade das instituições responsáveis pela geração e difusão de tecnologias da região. Segundo porque o paradigma estabelecido para a agricultura extensiva e monocultural das regiões sul/sudeste não se adequa às condições ambientais do trópico, nem atende a expectativa dos agricultores familiares da região, que preferem sistemas diversificados. Como em muitas outras partes do trópico, as populações que se dedicam à agricultura no norte do Brasil, na ausência de alternativas adequadas, ainda utilizam as queimadas como forma de preparo e fertilização do solo, com efeitos negativos para o ambiente local e global, sem a contrapartida de benefícios sociais para as comunidades rurais. No ambiente local, o crescimento populacional aumenta a demanda por área agricultável, o que leva a pousios cada vez mais curtos, entre queimadas sucessivas. Neste processo acabam sendo eliminadas as espécies mais sensíveis ao fogo, abrindo espaço para a predominância daquelas mais resistentes, diminuindo a biodiversidade e empobrecendo os ecossistemas.

Estabelece-se assim um círculo vicioso em que a pobreza aumenta a pressão sobre os recursos naturais e a degradação dos recursos aumenta a pobreza. Do ponto de vista agrônomo as vantagens do corte e queima, que se manifestavam numa época de vegetação abundante e baixa densidade demográfica, agora não são mais evidentes e o sistema tornou-se insuficiente para alimentar as famílias, e muito mais para lhes oferecer dignidade. Em razão destas vantagens remotas, a introdução de outros modelos agrícolas ainda conta com a resistência e desconfiança dos

agricultores, porque em seu imaginário as queimadas ainda são consideradas como ferramentas úteis para enfrentar a luta pela sobrevivência (FERRAZ JÚNIOR, 2004).

Nas regiões de transição para a Amazônia, como a do noroeste do estado do Maranhão, por exemplo, as áreas de fronteira agrícola com a vegetação original já devastada, têm hoje um enorme passivo social representado por um grande contingente de agricultores sobrevivendo abaixo da linha de pobreza. Não por acaso, muitos dos mais pobres municípios do Brasil situa-se nesta região, com IDHs variando de 0,498 a 0,467 (PNUD, 2000). A continuidade deste processo tem importância fundamental para o Brasil, porque significa o avanço das queimadas sobre a floresta amazônica com reflexos negativos em todas as dimensões da política nacional brasileira.

No âmbito do efeito global, deve ser considerado o impacto da queima da biomassa na emissão de carbono (C), que pode atingir 1.1 Pg por ano, o que leva a agricultura itinerante a contribuir com 25% da emissão total de CO₂ no mundo. No Brasil (um dos 5 maiores países em emissão) estima-se que 70% do total de CO₂ emitido derivam de queimadas descontroladas que emitem aproximadamente 69 toneladas de CO₂ para cada hectare queimado (FEARNSIDE (2002). Desta forma, a substituição do sistema de corte e queima se justifica, primeiro pela necessidade imperiosa de aumentar a produtividade da agricultura e segundo para diminuir o impacto ambiental do uso do fogo. Para melhorar e manter a fertilidade do solo nessa região o plantio direto e a cobertura morta são mais importantes que qualquer outra prática, por permitir a formação de uma camada superficial com condições mais favoráveis ao crescimento das raízes.

Não obstante seja incontestável e reconhecida a utilidade do sistema em aléias para a agricultura, seu impacto sobre os vários pools de C e o efeito destes sobre a fertilidade dos solos e na produtividade das culturas, no ambiente do trópico úmido, ainda não foram avaliados.

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar os benefícios ambiental e agrônômico de um sistema de cultivo em aléias, por meio da determinação do carbono, nos vários pools de matéria orgânica, dos indicadores de qualidade do solo mais importantes e da produtividade da cultura do milho, em um Argissolo do trópico úmido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O cultivo em aléias

O Sistema de cultivo em aléias ou Alley cropping, é um tipo de sistema agroflorestal simultâneo. Consiste na associação de árvores e/ou arbustos, geralmente fixadores de nitrogênio, intercalados por culturas anuais, em faixas. As árvores ou arbustos são podados periodicamente e utilizam a biomassa podada como adubação verde ou lenha. O objetivo principal é melhorar a fertilidade do solo, ou obter forragem de alta qualidade (BERTALOT et al., 2004).

Este sistema foi inspirado nas práticas dirigidas à recuperação de áreas em pousio melhorado mediante o uso de adubos verdes (KANG & OJO, 1996; MACDICKEN & VERGARA, 1990). O cultivo em aléias baseia-se no princípio da possibilidade de obter um uso produtivo e sustentável da terra, com diversificação de fontes de renda para o pequeno produtor, quando os métodos de conservação e reabilitação são introduzidos antes que ocorra degradação séria dos recursos (KAYA & NAIR, 2001; COPIJN, 1988).

O sistema de cultivo em aléias surgiu na Ásia, em regiões montanhosas das Filipinas, com a finalidade de reduzir a erosão do solo (KANG et al. 1990). Essas linhas de árvores também impedem a erosão superficial, aumentam a infiltração e retenção de água no solo e também podem fornecer lenha. O material orgânico resultante das podas e dos rebaixamentos é utilizado como “mulch”, que conseguem reduzir a evaporação na superfície do solo, controlar plantas invasoras, reciclar nutrientes e aumentar a matéria orgânica do solo (MACEDO, 2000).

Essa prática, tradicionalmente empregada em regiões tropicais da África e Ásia, tem permitido melhoria nas características químicas do solo (carbono orgânico e nutrientes), especialmente na camada superficial, quando comparado ao monocultivo (MAFRA et al., 1998; YAMOAHA et al. 1986). A melhoria tem sido atribuída à reciclagem mais eficiente dos nutrientes pela fitomassa das podas ou pela serrapilheira. Além disso, a espécie florestal mostra efeitos benéficos devido suas raízes mais profundas, que reduzem as perdas por lixiviação e pela maior cobertura do solo, a qual proporciona proteção contra a erosão (MAFRA et al., 1998).

Segundo Atta-Krah (1989), os dois processos essenciais de manutenção e regeneração da fertilidade do solo, os quais são separados espacialmente e temporariamente na agricultura itinerante, são reunidos no cultivo em aléias. Melhoria na fertilidade do solo e aumento na produtividade das culturas com o uso do sistema em aléias foram encontradas por vários autores como Buresh & Tian (1998) e Vanlauwe et al. (2005), mas a adição de fertilizantes inorgânicos principalmente os fosfatados são invariavelmente recomendados para complementar a boa reciclagem, principalmente quanto ao N e Ca, no sistema.

Vários trabalhos comparados por Oelbermann et al. (2004) indicaram que com o uso do sistema alley cropping as quantidades de C aplicadas ao solo podem variar de 0,3 a 4,6 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, principalmente em função da idade da espécie, espaçamento e classe de solo. Além da quantidade e da qualidade da biomassa aplicada, o incremento da matéria orgânica do solo varia também com as condições de decomposição oferecidas pelo manejo e propriedades do solo, segundo Albrecht & Kandji (2003). Resulta daí que a aplicação de biomassa é apenas o primeiro passo de um processo no qual o seqüestro efetivo de carbono só poderá ser considerado se houver um balanço positivo entre os estoques inicial e final, depois do período de algumas décadas (FELLER et al. 2001). Aumentos efetivos de C do solo promovidos em alley cropping foram encontrados por Kang (1997) 37% e Fassbender (1998) 21%, mas segundo Young (1997) o provável é que deve ser considerado um período de pelo menos 10 anos para que qualquer mudança no estoque de C do solo possa ser detectada, neste sistema.

Em experimento conduzido em um Argissolo franco-arenoso da Pré-Amazônia maranhense a cobertura do solo com 3t/ha de matéria seca surtiu efeito sobre a cultura do milho duas vezes superior ao aumento provocado pela calagem que elevou a saturação por base de 28 para 73%, como recomendado nos manuais de manejo do solo do sudeste do Brasil (MOURA, 1995). Além da crise que representa, este desafio abre uma oportunidade importante para a adoção de agrossistemas com capacidade para aumentar a fertilidade do solo e ao mesmo tempo diminuir o impacto da agricultura no aumento do C atmosférico tanto pela diminuição da emissão por queima da biomassa, quanto pela fixação de C na matéria orgânica do solo (MOS).

As espécies arbóreas recomendadas para o sistema de aléias devem apresentar fácil estabelecimento, sistema radicular profundo e pouco extenso nas camadas superiores, crescimento rápido, tolerância ao corte, capacidade de rebrota, alta produção de massa, fixação biológica de nitrogênio associada a altos teores de N nas folhas e ser de fácil decomposição (KANG et al., 1990). Também é desejável que as espécies arbóreas sejam tolerantes a condições adversas de solo, principalmente baixa fertilidade e acidez (SZOTT et al. 1991; FURTADO & FRANKE 2002).

As leguminosas arbóreas surgem como alternativa, pois possuem vasto sistema radicular, apresentam potencial para nodulação e fixação simbiótica de nitrogênio atmosférico e são de múltiplos usos, além de apresentarem grande rendimento de biomassa fresca por unidade de área, constituindo-se uma excelente fonte de matéria orgânica (FURTADO & FRANKE, 2002).

Dentre as espécies leguminosas, a leucena (*Leucaena leucocephala* (L.) e a gliricídia (*Gliricidia sepium* L.) são as mais usadas em condições experimentais, sendo que há relatos na literatura sobre o uso de outras espécies tais como: *Sesbania sesban*, Acácias (*Acacia spp*), Erithrina (*Erythrina spp*), Guandu (*Cajanus cajan* L.), Ingá (*Inga spp*), *Albizia salman* L. (KANG et al., 1990; ALEGRE & RAO, 1996).

Kang et al. (1990) e Szott et al. (1991) reportam que o sistema em aléias também resulta em diversos benefícios para a cultura associada; dentre as quais destacam-se: o aporte de matéria orgânica que causa a melhoria da estrutura e da porosidade do solo, favorecendo a disponibilidade de água e oxigênio; o tamponamento das temperaturas do solo, o que favorece os processos de liberação de nutrientes e absorção pelas plantas; a proteção contra erosão eólica; o controle da erosão superficial principalmente em áreas declivosas; o aumento da diversidade de espécie o que pode reduzir a ocorrência de pragas e doenças; o maior controle de ervas daninhas pela cobertura da copa das árvores e pela matéria morta adicionada ao solo.

No solo sob cultivo em aléias, foram observadas alterações nos teores de N, P, Ca e Mg na camada superficial (0-20cm). Para o N, o teor passou de 0,9 g.kg⁻¹ para 1,3 g.kg⁻¹, o que pode ser atribuído ao conteúdo reciclado pela fitomassa e a fixação biológica (MAFRA et al., 1998).

Sanchez et al. (1989), cita que, de maneira geral, os sistemas agroflorestais podem fornecer na superfície do solo de 3 a 15 t.ano⁻¹ de carbono, com um adicional de 1,3 a 6,5 t.ano⁻¹ por meio das raízes.

De acordo com Alegre & Rao (1996), os ramos de ingá adicionados nas estrelinhas permitiram a estabilidade da produtividade de arroz de sequeiro por seis anos em solos com baixa fertilidade natural da Amazônia peruana.

Em trabalhos realizados na Nigéria, Mulongoy & Meersch (1988) observaram aumento de 104% na produção de milho em sistema de rotação com leucena.

No experimento de Aguiar (2006) os aumentos de produtividade do milho devido à consorciação com árvores estão relacionados com o nível da fertilidade do solo, principalmente em relação ao conteúdo do N total em superfície. Esse estudo concluiu que a matéria orgânica do solo (MOS) é uma fonte importante de N para as culturas em sistemas de cultivo de baixo insumo.

A modificação positiva pelo cultivo em aléias tem sido relatada em outras situações, como em Ibadam, Nigéria, com o plantio de *Cassia* spp num “alfisol”, resultando em aumento significativo no teor de carbono orgânico na camada superficial do solo (0 - 15cm) (YAMOAHA et al., 1986).

A adubação verde proporcionada pelo sistema em aléias é uma alternativa para suprir a deficiência de N no solo, pois uma das vantagens do uso do N das leguminosas é que estas proporcionam uma liberação mais lenta que a oferecida pelos fertilizantes solúveis, havendo, assim, menores perdas por lixiviação (MARY, 1987).

Pereira & Kage (1980), sugerem que, no cerrado, a cada quatro anos, se faça pelo menos uma adubação verde. Sugerem, também, várias opções de rotação de culturas, incluindo, sempre, um adubo verde, no caso, uma leguminosa, que são as preferidas, pelo fato dessas plantas fixarem N₂ atmosférico, em simbiose com bactérias diazotróficas, enriquecendo o solo com esse nutriente.

Além do N, as leguminosas produzem biomassa geralmente rica em P, K e Ca e apresentam sistema radicular bem ramificado e profundo, que permite a reciclagem dos nutrientes no solo que serão assimilados pela planta, que, ao se decompor, irá torná-los disponíveis para as culturas econômicas (COSTA, 1993).

Em razão disso, a adoção de um sistema agroecológico torna-se uma necessidade de uso alternativo em terras degradadas, por maximizar a ação dos componentes bióticos no sistema de produção, mediante a reciclagem de nutrientes (SIQUEIRA et al., 1999).

Entre as principais limitações do sistema de cultivo em aléias, diversos autores apontam à competição, entre as árvores e a cultura consorciada, por água, luz e nutrientes (Kang et al., 1990; Szott et al., 1991). A competição por luz pode ser minimizada por meio da poda freqüente dos ramos.

Segundo Sato & Dalmacio (1991) o uso balanceado da energia solar pela árvore e cultura consorciada é fundamental para o sucesso desse sistema. A competição por água e nutrientes pode ser minimizada através da seleção de espécies arbóreas portadoras de uma arquitetura radicular compatível e mais eficiente na partição de matéria seca e nutrientes para a parte aérea (SANGINGA et al., 1990; AKINNIFESI et al., 1999). A poda dos ramos também pode reduzir a competição por água entre determinadas espécies arbóreas e a cultura consorciada em sistemas agroflorestais (JONES et al., 1998).

2.2 Qualidade dos resíduos vegetais

No trópico úmido, a adição de resíduos orgânicos é essencial para sustentar a fertilidade dos solos, pois os resíduos suprem nutrientes por meio de mineralização, principalmente nitrogênio, elemento bastante limitante, e ajudam a manter a matéria orgânica do solo, minimizam os efeitos adversos da erosão, encrustamento, desestruturação, temperatura elevada e baixa da capacidade de troca catiônica (RODER et al. 1995; VANLAUWE et al. 1995) além de diminuir ou até mesmo eliminar o uso de agroquímicos.

Há um interesse crescente sobre os resíduos vegetais, adubos verdes e outros adubos orgânicos como fontes de matéria orgânica do solo e nutrientes para as culturas. As quantidades de nutrientes que podem retornar anualmente aos solos como resíduos das culturas são consideráveis. Um dos principais problemas de manejo de solo nas regiões tropicais e subtropicais consiste no aproveitamento inadequado dos resíduos das culturas, que em vez de serem deixados na superfície

são queimados ou totalmente incorporados, expondo o solo a flutuações bruscas de temperatura e umidade, com sérios danos ao próprio solo e ao estabelecimento das culturas. O efeito das coberturas sobre as flutuações de temperatura e umidade do solo depende largamente da quantidade, qualidade e distribuição dos resíduos sobre o solo (BRAGAGNOLO & MIELNICZUK, 1990).

A palha na superfície do solo constitui reserva de nutrientes, cuja disponibilização pode ser rápida e intensa (ROSOLEM et al., 2003), ou lenta e gradual (PAULETTI, 1999), dependendo da interação entre a espécie utilizada, manejo da fitomassa (época de semeadura e de corte), umidade (regime de chuvas), aeração, temperatura, atividade macro e microbiológica do solo, composição química da palha e tempo de permanência dos resíduos sobre o solo (OLIVEIRA et al., 1999; ALCÂNTARA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002; PRIMAVESI et al., 2002).

Gama-Rodrigues et al. (2007) verificaram que, no manejo de plantas de cobertura, a compreensão dos fatores que regulam a decomposição pode assumir importante papel no manejo das culturas, possibilitando a elaboração de técnicas de cultivo que melhorem a utilização de nutrientes contidos nos resíduos vegetais que formam a serapilheira. A decomposição é regulada pela interação de três grupos de variáveis: as condições físico-químicas do ambiente, as quais são controladas pelo clima e pelas características edáficas do sítio; a qualidade (orgânica e nutricional) do substrato, que determina sua degradabilidade; e a natureza da comunidade decompositora, os macro e microrganismos (CORREIA & ANDRADE, 1999).

A qualidade do resíduo é usualmente definida em relação a sua composição química. O conteúdo de C, N, P, lignina e polifenóis, juntamente com suas interações, são as medições mais comuns. Os resíduos com altas concentrações de N, baixas quantidades de lignina e polifenóis são usualmente considerados de alta qualidade e aqueles com baixos teores de N e desses compostos devem ser denominados de baixa qualidade. Geralmente é aceito que resíduos com ampla relação C/N decompõem mais lentamente do que aqueles com relação C/N mais estreita (KUMAR & GOH, 2000).

A temperatura e a precipitação predominantes nas regiões tropicais e subtropicais podem influenciar a taxa de decomposição do material vegetal. O clima favorece a decomposição dos restos culturais, devendo-se dar atenção à quantidade e

durabilidade dos resíduos vegetais produzidos pela espécie antecessora à cultura principal. Os melhores indicadores da qualidade de uma cobertura morta são a porcentagem de cobertura do solo e sua persistência no tempo. Entretanto, a relação entre a erosão e a cobertura vegetal morta do solo pode ser influenciada pelo tipo e manejo dos resíduos culturais (ALVES et al., 1995). Estes autores relatam ainda que, as condições de temperatura e umidade destas regiões favorecem uma rápida decomposição do material orgânico adicionado ao solo.

Don e Kalbitz (2005) citam que as condições físicas, como o conteúdo de água do resíduo, também podem determinar a rapidez de sua decomposição. Especialmente durante a estação seca, o conteúdo de água torna-se o fator limitante para a atividade microbiana.

Observou-se de modo geral, que o clima controla o processo de decomposição em escala regional, enquanto a composição química domina o processo em escala local. Trabalhos têm sido desenvolvidos para avaliar o potencial de decomposição e mineralização de várias espécies de plantas de cobertura, especialmente em plantio direto (TORRES et al., 2005) e pastagens consorciadas (OLIVEIRA et al., 2002). A eficácia desse sistema está relacionada, entre outros fatores, com a quantidade e a qualidade de resíduos produzidos por plantas de cobertura.

Salmi et al. (2006), trabalhando com guandu, observaram que 75% da fitomassa seca permanecia sobre o solo 30 dias após a deposição. Silva et al. (1997) observaram que no cerrado, as leguminosas (guandu e crotalária) se decompueram mais lentamente, quando comparadas à braquiária. A mistura de resíduos vegetais de baixa e alta qualidade geralmente resulta em uma mineralização igual a do peso médio dos dois resíduos separados. Porém pode ocorrer uma redução do N disponível imediatamente após a aplicação dos resíduos, presumidamente devido à imobilização de N pelo resíduo de baixa qualidade. Diferentes resíduos vegetais têm diferentes padrões de transformação do N. Estes padrões são controlados pela qualidade e pelas condições de aeração. A imobilização de N pelos microorganismos ocorre após a adição ao solo de resíduos orgânicos com alta relação C:N, principalmente quando são decompostos rapidamente. O efeito da imobilização sobre o rendimento vegetal depende, entretanto, da quantidade de N imobilizada, da

disponibilidade de N no solo, e da época de maior imobilização relativamente à demanda vegetal, e esses fatores são influenciados por muitas variáveis (AGUIAR, 2006). Este mesmo autor relata que o potássio na biomassa vegetal não está associado ao C e as leguminosas podem suprir as necessidades de K pelas culturas alimentares sob condições tropicais úmidas.

2.3 Matéria orgânica como indicador de qualidade do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é um importante reservatório de carbono, nutrientes e energia. Sem a presença da MOS, a superfície da terra seria uma mistura estéril de minerais. Além disso, não há dúvidas quanto a sua essencialidade na fertilidade, produtividade e sustentabilidade das áreas agrícolas ou não agrícolas (LEITE et al., 2006).

O termo “matéria orgânica” (MO) é muito abrangente, podendo incluir diferentes fontes como MO aquática e MO terrestre, sendo que a matéria orgânica do solo representa um dos principais reservatórios de carbono (C) no ciclo global desse elemento (SILVA, 2007).

Os componentes vivos da MO são representados por raízes, fauna e microorganismos. Já os não vivos incluem os resíduos orgânicos em variado estágio de decomposição e o húmus, que engloba as frações humificadas: ácidos húmicos, fúlvicos e humina; e não humificadas: carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, pigmentos e ácidos orgânicos (STEVENSON, 1994).

Diversos trabalhos desenvolvidos nas zonas tropicais tem demonstrado o papel importante da matéria orgânica sobre as propriedades edáficas que intervêm na fertilidade do solo (PINHEIRO et. al., 2004; CHRISTENSEN & JOHNSTON, 1997; ROSCOE & MACHADO, 2002; CHRISTENSEN, 2000).

Aguiar (2006) verificou que a percepção de qualidade do solo evoluiu, principalmente nos últimos 10 anos, e, num entendimento mais amplo, não basta apenas o solo apresentar alta fertilidade, mas, também, possuir boa estruturação e abrigar uma alta diversidade de organismos.

A qualidade do solo não pode ser medida, mas deve ser inferida de medidas de propriedades do solo ou do agroecossistema, referidos como indicadores. A matéria orgânica é um dos melhores indicadores de qualidade do solo, pois se relaciona com inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas (REICHERT et al., 1990). No Brasil, vários pesquisadores têm ressaltado a importância da MOS em melhorar e manter as propriedades físico-químicas e biológicas de diversos tipos de solo (RAIJ, 1969; MORAIS et al., 1976; IGUE et al., 1984; CASTRO FILHO et al., 1998; MENDONÇA & ROWELL, 1994; FRANCHINI et al. 1999; ROSCOE & MACHADO, 2002). Contudo, a MOS possui um número de compartimentos com diferentes funções, os quais afetam o manejo na qualidade do solo. Em termos de fornecimento de nutrientes, o N orgânico dissolvido, N orgânico lábil e fração leve da matéria orgânica respondem mais rapidamente ao manejo do que o conteúdo total de MOS (AGUIAR, 2006).

Christensen & Johnston, (1997) e Janzen et al. (1997) relatam a função da MOS na manutenção da qualidade do solo, na sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas. Segundo Aguiar (2006) a sustentabilidade agrícola dos solos, prioritariamente, está relacionada com a preservação do estado de aeração e hidratação do sistema radicular. Ainda segundo esse autor, as modificações provocadas pela destruição da estrutura do solo, distribuição do tamanho de poros e teor de carbono orgânico, alteram as forças de retenção de água no solo e sua disponibilidade. Estes fatores determinantes para o desenvolvimento de plantas em sistemas não irrigados.

O não revolvimento do solo, bem como a manutenção dos resíduos vegetais na superfície, pode contribuir para uma melhor condição físico-hídrica do mesmo, pela não formação de crostas superficiais, aumento da estabilidade de agregados devido ao acúmulo de matéria orgânica, estabelecimento de porosidade contínua, conhecido como bioporos, pela atividade biológica da fauna edáfica e de raízes e o equilíbrio entre os valores de macro e microporosidade, que por sua vez podem contribuir para um maior volume de água disponível (SILVA et al., 2006).

Trabalhos realizados por Veras (1994) e Moura (1995) demonstraram que a utilização de resíduos orgânicos como cobertura do solo aumenta expressivamente a produtividade das culturas.

2.4 Efeito do manejo do solo nas adições e perdas de carbono orgânico

Em ecossistemas naturais, quando a vegetação nativa é substituída por sistemas agrícolas, os estoques de carbono orgânico (CO) podem ser drasticamente reduzidos, com perdas da ordem de 50 % nos primeiros 20 cm de profundidade do solo e de até 20 % na profundidade de um metro (RANGEL & SILVA, 2007). D'Andréa et al. (2004), trabalhando com amostras de Latossolo Vermelho distrófico submetido a seis sistemas de manejo no Sul do Estado de Goiás, relataram valores de estoques de CO acumulado na camada de 0–40 cm variando de 58,7 t ha⁻¹, sob plantio convencional de longa duração a 69,8 t ha⁻¹ sob pastagem.

Em regiões tropicais, as condições de temperaturas elevadas, os altos índices pluviométricos e, em conseqüência, a intensa atividade microbiana favorecem a rápida decomposição dos materiais orgânicos depositados no solo (SILVA, 2007; MIELNICZUK et al., 2003).

Segundo Zinn et al. (2005), as maiores taxas de decomposição da MOS observadas em áreas sob cultivo ocorrem devido às perturbações físicas do solo, que implicam no rompimento dos macroagregados. Isto reduz a proteção física da MOS e expõe a MO protegida aos processos microbianos, contribuindo, dessa forma, para aumentar as taxas de emissão de CO₂ para a atmosfera.

Silva et al. (2007) relata que o decréscimo no conteúdo total da matéria orgânica do solo nas regiões tropicais é resultante do manejo inadequado do solo, que favorece as perdas por oxidação.

A exploração desordenada dos solos e a retirada da cobertura vegetal intensificam o processo erosivo, culminando com a diminuição da fertilidade dos solos, o que resulta no abandono das áreas (TURETTA (2000). Este tipo de prática agrícola, além de contribuir para a redução dos estoques de material orgânico, acelera a degradação do conjunto de propriedades edáficas associadas à matéria orgânica do solo – MOS (PINHEIRO, 2002).

O solo se constitui em um compartimento chave no processo de emissão e seqüestro de carbono, portanto manejos inadequados podem mineralizar a matéria orgânica e transferir grandes quantidades de gases do efeito estufa para a atmosfera (SIX et al., 2002).

A conversão da vegetação natural do Cerrado para um agrossistema através da derrubada e queima, resulta na diminuição do estoque da matéria orgânica do solo (MOS) e emissão de gases do efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) para a atmosfera. Além disso, essa conversão para sistema de plantio convencional (SPC), baseado em aração e gradagem é agressiva para o solo, com grande poder de degradação e redução da MOS (BAYER & MIELNICZUK, 1999; RESCK, et. al., 1991).

Carvalho, et. al., 1997 cita que a adoção de sistemas de manejos mais conservacionistas, tais como o sistema plantio direto (SPD), pelo fato do solo não ser revolvido, interfere menos na taxa de decomposição a matéria orgânica deste (MOS), favorecendo a manutenção e o acúmulo da MOS.

Bayer & Mielniczuk (1999) e Resck, et. al. (1991) relatam a adoção de sistemas de manejos mais conservacionistas, tais como o sistema plantio direto (SPD) que podendo ser considerada alternativa de seqüestro de carbono e mitigação da emissão de gases do efeito estufa, auxiliando assim, na atenuação dos impactos relativos as mudanças climáticas globais. Essas perdas de MO em áreas cultivadas adquirem importância, em razão de dois aspectos principais, primeiro: anualmente, cerca de 1218g C são lançados na atmosfera devido a alterações nos sistemas de uso e manejo dos solos agrícolas.

Quanto à agregação do solo, Campos et al. (1995) citam que a influência da matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico. À medida que se adiciona material orgânico ao solo, a atividade microbiana é intensificada, resultando em produtos que desempenham função na formação e estabilização (agentes cimentantes) dos agregados.

Os efeitos benéficos sobre essa agregação é o resultado da atividade conjunta dos microorganismos, da fauna e da vegetação. O material orgânico em si, sem transformações biológicas, tem efeito muito pequeno, se é que tem algum, na estrutura do solo (BAYER et al. (1973) *apud* CAMPOS et al. (1995)). A influência dos sistemas de cultivo sobre a agregação é reflexo dos efeitos combinados dos diversos agentes físicos, químicos e biológicos (HARRIS et al. (1966) *apud* por CAMPOS et al. (1995)).

2.5 Fatores que regulam a dinâmica da matéria orgânica no solo

A conversão de ecossistemas naturais para sistemas agrícolas ou pecuários resulta em declínio da matéria orgânica do solo (MOS), que é acompanhado pela mineralização de nutrientes orgânicos. A produtividade em sistemas agrícolas de subsistência ou de baixos insumos depende do fornecimento de nutrientes provenientes da mineralização da MOS. Portanto, a quantidade e a qualidade da MOS são duas variáveis fundamentais associadas à sustentabilidade da produção agropecuária de subsistência (GALVÃO, et al. 2005).

Os estoques de MOS são controlados pelo balanço entre as entradas, acima e abaixo do solo, e as saídas por meio da mineralização. Em uma situação ao de equilíbrio, como em uma floresta nativa, essas entradas são equivalentes a produtividade primária líquida (PPL) de um sistema, a qual é fortemente controlada pelo clima, com alguma influência do estado de fertilidade do solo, textura do solo e vegetação. Os resíduos vegetais recém-depositados sobre o solo são gradativamente modificados por meio da fragmentação física, interações fauna/microflora, mineralização e formação de húmus (LEITE et al. 2006).

De forma geral, a mudança da floresta nativa para sistemas agrícolas propicia um declínio nos estoques de MOS. Essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, a processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica e oxidação de C orgânico do solo, a quantidades menores de aportes orgânicos e/ou aportes orgânicos mais facilmente decompostos em sistemas manejados comparativamente as florestas nativas (*op cit*).

No entanto, em alguns sistemas manejados, o aumento dos estoques de MOS pode ocorrer em face da maximização da produtividade das culturas e conseqüente aumento nos aportes da parte aérea e do sistema radicular ao solo.

Batjes (1999) relata que, após um distúrbio, como o desmatamento de uma floresta nativa, um período de manejo constante é requerido para se alcançar um novo estado de equilíbrio nos estoques de C. Esse novo equilíbrio pode tornar os estoques de MOS menores, similares ou maiores do que aqueles no solo em condições originais.

Apesar dessas possibilidades, os estoques da matéria orgânica do solo (MOS) é resultante, principalmente, da deposição de resíduos de plantas (fonte primária) e animais (fonte secundária) em vários estágios de decomposição, além dos organismos, vivos ou mortos, microrganismos e das raízes dos vegetais. Os resíduos ao serem depositados, são submetidos inicialmente a transformação parcial pela mesofauna e, posteriormente, a ação decompositora dos microrganismos. Parte do carbono presente nos resíduos é liberada para a atmosfera como CO₂, num processo denominado de mineralização, e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica do solo (BAYER & MIELNICZUK, 1997).

2.6 Compartimentos da matéria orgânica no solo

Em regiões de clima tropical e subtropical úmido, o rápido declínio na MOS ocorre principalmente em sistemas de manejo convencionais, que envolvem intensa perturbação do solo (TIESSSEN et al., 1992). O estudo da matéria orgânica e de seus diversos compartimentos, bem como sua relação com o manejo, visa desenvolver estratégias para utilização sustentável dos solos, com vistas a reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre o meio ambiente (PINHEIRO et al., 2004).

Definir a qualidade, a disponibilidade e a atividade dos nutrientes nos substratos orgânicos em diferentes compartimentos do solo e a chave para entender e descrever os processos de mineralização-imobilização dos nutrientes na forma orgânica. Independentemente da forma orgânica do nutriente, a matéria orgânica dos diferentes tipos de solos difere muito quanto à qualidade e habilidade de suprir nutrientes para as plantas (LEITE et al. 2006).

Assim, a tentativa de compartimentalizar a MOS pode ser um bom instrumento para se compreender o seu potencial de fornecimento de nutrientes. Com base em vários trabalhos, Duxbury, Smith e Doran (1989) *apud* Leite et al. (2006) sugeriram a organização da MOS em compartimentos protegidos e não protegidos, e Eswaran et al. (1995), *apud* Leite et al (2006) em ativo, lento e passivo.

Globalmente, há duas a três vezes mais carbono nos solos em relação ao estocado na vegetação e cerca do dobro em comparação com a atmosfera (LAL,

2003; CERRI, et. al., 2007). O solo é um dos compartimentos que mais armazenam C na Terra, de modo que, em termos globais, o primeiro metro superior do solo armazena 2,5 vezes mais C que a vegetação terrestre e duas vezes mais C que o presente na atmosfera (LAL, 2003).

O estoque de CO no primeiro metro de solo é estimado entre 1.462 e 1.548 Pg (Pg, Petagrama = 1015 gramas), enquanto na profundidade de até dois metros ele varia de 2.376 a 2.456 Pg (BATJES, 1999).

Os compartimentos não protegidos BIO e LAB, ou ativo, são caracterizados pela biomassa microbiana e pelos resíduos vegetais e microbianos parcialmente decompostos e respectivos produtos de transformação. O tamanho desses compartimentos está diretamente relacionado com o aporte de material orgânico e sua taxa de decomposição. O compartimento BIO pode representar até 4% do carbono orgânico total do solo (COT) e é o de menor tempo de ciclagem da MOS, sendo composto por células vegetativas em plena atividade funcional, o que o torna um importante reservatório de nutrientes potencialmente disponível para as plantas. Portanto, espera-se que a ciclagem dos nutrientes nos compartimentos não protegidos (BIO e LAB) seja alta, fazendo que os tamanhos desses compartimentos de carbono e de nutrientes sejam menores em regiões tropicais do que em regiões temperadas (*op.cit.*).

Os tamanhos dos compartimentos física e quimicamente protegidos, ou passivo, estão relacionados com o manejo, textura e mineralogia do solo. A maior parte da matéria orgânica e dos nutrientes do solo está nesses compartimentos. O tempo de ciclagem dos nutrientes é controlado pelo grau de proteção, intra e intermicroagregados e pelo grau de interação do nutriente com a matéria orgânica. Os nutrientes que interagem com a matéria orgânica por meio de ligações eletrostáticas estarão prontamente disponíveis para serem absorvidos pelas plantas, enquanto nutrientes formando quelatos com a matéria orgânica quimicamente protegida terão um tempo de ciclagem maior. O tempo de ciclagem varia muito de situação de manejo e de como o nutriente pode interagir com a matéria orgânica (LEITE et al. 2006).

As quantidades de nutrientes armazenados na fração não protegida da MOS (compartimentos BIO e LAB) podem atingir valores bastante elevados, como 100 kg

ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P, 70 kg ha⁻¹ de K e 11 kg ha⁻¹ de Ca. Como a reciclagem da matéria orgânica desses compartimentos é cerca de dez vezes mais rápida que a da matéria orgânica morta do solo, grande parte dos nutrientes armazenados é liberada durante essa reciclagem, realçando a importância desses compartimentos para a melhoria da qualidade do solo (LEITE et al. 2006).

Os compartimentos da MOS devem ser quantificados por se mostrarem muito sensíveis as ações antrópicas e mudanças no manejo, o que os credenciam como eficientes indicadores de qualidade do solo. Por isso, além dos teores ou dos estoques do COT, já determinados nas análises químicas de rotina, tem-se recomendado, nos últimos anos, a determinação desses compartimentos. Essa maior sensibilidade possibilita, de forma mais antecipada do que se utilizando apenas a medida do COT, a tomada de decisões em relação aos agroecossistemas mais adequados a determinado ambiente. No entanto, apesar da importância desses compartimentos para o estudo da dinâmica da MOS, são ainda escassos os métodos analíticos usados para referenciá-los. De forma geral, o C da biomassa microbiana, determinado pelo método da irradiação-extração (ISLAM & WEIL, 1998) e representando o compartimento ativo, e o C da fração leve ou da matéria orgânica particulada, determinados por fracionamento densimétrico ou granulométrico (JANZEN et al., 1998; ROSCO & MACHADO, 2002) e relacionados ao compartimento lento, tem sido usados para estudos de dinâmica da MOS em solos tropicais (LEITE et al., 2003a).

Apesar da dificuldade na escolha de métodos para os compartimentos lábeis ou ativo, a maior dificuldade esta em referenciar o compartimento passivo, caracterizado pela maior estabilidade, em razão da proteção física e da presença de compostos quimicamente recalcitrantes. Nesse sentido, em alguns trabalhos, tem-se sugerido a determinação do C das frações húmicas (ácidos húmicos + ácidos fúlvicos + huminas) obtido pelo método proposto por Swift (1993) para ser associado a esse compartimento (LEITE et al., 2003a).

A biomassa microbiana representa o componente vivo da MOS, excluindo-se animais e raízes das plantas. Embora normalmente constitua cerca de menos de 5% da MOS, desempenha importantes funções no solo, como servir de fonte e dreno de nutrientes, participar ativamente das transformações de C, N, P e S, atuar na

degradação de compostos orgânicos xenobióticos e imobilização de metais pesados, além de participar da formação e estrutura do solo. Considerado por diversos autores como excelente indicador de qualidade do solo, o C da biomassa microbiana tem apresentado, entretanto, resultados muito variáveis e até contraditórios em diversos estudos (GIL-STORES, 2005 *apud* LEITE et al. 2006).

A fração leve também tem sido muito referenciada como importante indicador de qualidade do solo. Essa fração é um intermediário entre os resíduos vegetais recém- incorporados ao solo e o húmus estabilizado. A quantidade e a labilidade da fração leve variam intensamente entre solos tropicais e temperados, dependendo de vários fatores, tais como, o pH, a temperatura, a umidade, a aeração, a mineralogia do solo e o estado de nutrientes do solo. As variações da fração leve no solo são indicativos das conseqüências sobre a dinâmica da MOS, causadas pelas mudanças no manejo. A composição química da fração leve no solo é similar aquela dos tecidos vegetais. A variabilidade dos estoques de C e N medidos na fração leve tem sido associada a relação C:N do material vegetal originário, ao estoque de C no solo, ao pH e as condições climáticas. Além de indicador de qualidade do solo, a fração leve é fonte de C lábil, isto é, cicla rapidamente e, por isso, contribui para a ciclagem de nutrientes, pois é fonte de energia prontamente disponível para os microrganismos responsáveis por essa ciclagem (LEITE et al. 2006).

Além da biomassa microbiana e da fração leve, há outros constituintes lábeis que poderiam referenciar compartimentos de MOS. As substâncias não húmicas compreendem diversos compostos quimicamente definidos, tais como, lignina, ceras, pectinas, além de vários polissacarídeos. Esses compostos são relacionados ao compartimento lábil da MOS, pelo menos em solos em que os processos biológicos não são restritos. Em geral, a labilidade das substâncias não húmicas nos solos é inversamente relacionada ao tamanho e complexidade das moléculas que as formam. A maioria desses compostos pode persistir por vários anos, especialmente em solos com baixa atividade biológica, em virtude, essencialmente, das suas estruturas poliméricas recalcitrantes, ou seja, de difícil decomposição, ou da estabilização química por meio de interações com minerais ou outras substâncias, tais como, complexos proteínas-taninos (LEITE et al. 2006).

Os compartimentos lábeis de MOS são extremamente importantes como fonte e dreno de nutrientes as plantas, especialmente em solos tropicais altamente intemperizados, como os Latossolos existentes em áreas de Cerrados. Embora existam poucas informações disponíveis sobre os processos de mineralização e conseqüente liberação e ciclagem de nutrientes desses compartimentos em solos tropicais, esses processos são controlados por aspectos químicos, como em solos temperados. Entretanto, o tamanho do compartimento lábil e aparentemente menor e tem ciclagem mais rápida, com liberação mais rápida de nutrientes em regiões tropicais úmidas do que naquelas temperadas. De outro lado, os compartimentos de MOS quimicamente protegidos são provavelmente maiores. O preparo intensivo do solo, entretanto, resulta na remoção parcial da proteção da MOS e numa rápida liberação de nutrientes em áreas tropicais úmidas (*op cit*).

O estoque de C orgânico (CO) é determinado pela diferença entre as quantidades de C que são adicionadas (aporte de resíduos vegetais) e perdas do solo em função da decomposição da matéria orgânica, erosão e lixiviação (DALAL & MAYER, 1986). Nos estudos de Diels et al., (2004) em um experimento agroflorestal em Ibadan, sudoeste da Nigéria foi observado que o compartimento de SOC (Carbono Orgânico do Solo) mudou em 16 anos de cultivo contínuo. O nível de carbono orgânico do solo diminuiu em todos os tratamentos. O declínio foi mais pronunciado no tratamento testemunha com o cultivo intenso de milho e feijão.

Os estoques de matéria orgânica do solo (MOS) em qualquer agroecossistema são obtidos pela interação dos fatores que determinam sua formação e aqueles que promovem sua decomposição. A hipótese mais aceita estabelece um declínio no estoque de matéria orgânica após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas (HOUGHTON et al., 1991). Essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica e oxidação de carbono (C) orgânico do solo e às menores quantidades de aportes orgânicos em sistemas manejados comparativamente a florestas nativas.

Em sua maioria, os estudos sobre o efeito de sistemas de manejo evidenciam a pouca sensibilidade da medida do C orgânico total. Como alternativa, tem-se apontado o C da biomassa microbiana do solo, representando o compartimento ativo da matéria orgânica do solo e o C da fração leve, referenciando o compartimento

lento, como indicadores mais sensíveis aos efeitos do manejo (CAMPOS et al. 1995).

Considerando um contínuo de sensibilidade ao manejo, ter-se-ia, numa extremidade, a medida de carbono da biomassa microbiana, bastante variável e sensível, e, na outra, a medida do carbono orgânico total do solo, pouco variável e pouco sensível. A fração leve da matéria orgânica do solo tem-se constituído numa medida de sensibilidade intermediária e, mais importante, que reflete as ações antrópicas (SIX et al., 2001).

A estabilidade dos agregados depende do agente cimentante. Na maioria dos solos, substâncias orgânicas juntamente com óxidos de ferro e carbonatos são os principais agentes cimentantes. Em alguns trabalhos, tem-se observado que a estabilidade dos agregados é maior em solos com maiores teores de matéria orgânica e com maior número de minhocas e negativamente correlacionada com sistemas agrícolas convencionais, essencialmente em razão do uso de fertilizantes e pesticidas (WOLF; SNYDER, 2003 apud LEITE et al 2006). Agregados são formados com a adição de polissacarídeos, mucilagens provenientes do metabolismo microbiano e da decomposição de raízes e resíduos vegetais e animais e da exsudação radicular, entretanto, a sua estabilidade dependera do entrelaçamento de hifas de fungos presentes nos agregados. Os fungos, concentrados próximo à superfície, em solos sob plantio direto, são muito eficientes na estabilização de agregados formados pelas minhocas e microartrópodos (BEARE, 1997). Embora a atividade de minhocas seja muito importante para a manutenção da estabilidade de agregados, fungos e bactérias também contribuem diretamente para a formação e estabilidade dos agregados do solo. A contribuição desses microrganismos é especialmente importante em sistemas de preparo convencional, em que a atividade de minhocas é reduzida pela presença de máquinas e implementos.

Em alguns estudos, tem-se reportado que diferentes materiais orgânicos podem ter efeitos diferentes na estabilização de agregados (PICCOLO & CONTE, 1998). Os autores mencionam a composição da matéria orgânica, especialmente a porção humificada, que pode ter importante papel na eficiência da matéria orgânica em estabilizar agregados. Além disso, sugerem que a adição de materiais orgânicos ricos em componentes hidrofóbicos (substâncias que repelem água) propiciarão maior benefício para a estabilização de agregados do que a adição de materiais

orgânicos ricos em componentes hidrofílicos (substâncias que absorvem a água), tais como, os polissacarídeos (LEITE et al. 2006).

Além dos efeitos benéficos sobre as propriedades do solo, ultimamente tem-se reconhecido que o outro papel importante da matéria orgânica do solo é funcionar como componente central global do carbono, sendo um compartimento de carbono muito maior do que aqueles observados na atmosfera e na biota, embora menor do que nos combustíveis fósseis e nos oceanos. O manejo da MOS pode ter implicações significativas no balanço global do carbono e, por isso, no impacto do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre as mudanças climáticas (*op cit.*).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento, clima e solo

O experimento foi instalado no ano de 2002, na Universidade Estadual do Maranhão a 2°30' de latitude sul e 44°18' de longitude. O solo da área foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico (Embrapa, 2006), com as seguintes características texturais: areia grossa 260, areia fina, 560, silte 80 e argila 100 g kg⁻¹. Uma calagem do solo foi feita em janeiro de 2002, com aplicação superficial, de cal hidratada, na dosagem de 1 Mg ha⁻¹, correspondente a 390 e 130kg ha⁻¹ de Ca e Mg, respectivamente. Quando da instalação do experimento a análise do solo apresentou os resultados indicados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados da análise química do solo no início do experimento*.

Profundidade	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
cm	g dm ⁻³	CaCl ₂	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----			-----		%	
0 – 5	22	6,4	4	0,4	19	11	10	30,4	40,4	75
5 – 10	16	5,9	3	0,5	10	9	13	19,5	32,5	60
10 – 15	12	4,8	2	0,4	5	5	20	10,4	30,4	34
15 – 20	10	4,2	1	0,4	3	2	24	5,4	29,4	18

*pH em CaCl₂, matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, H+Al, segundo metodologia do Instituto Agrônomo de Campinas (2001), SB = Ca + Mg + K, (CTC) = [SB + (H + Al)], e V = (SB/CTC)x100.

Na implantação das aléias foram usadas quatro espécies de leguminosas duas de alta qualidade de resíduos - *Leucaena leucocephala* (leucena) e *Cajanus cajan* (guandu), e duas espécies de baixa qualidade de resíduos - *Clitoria fairchildiana* (sombreiro) e *Acacia mangium* (acácia). As espécies foram semeadas em fileiras mistas e duplas de forma que cada parcela recebeu dois tipos de resíduos, resultante da combinação de duas leguminosas, formando os seguintes tratamentos: Sombreiro

+ Guandu (S+G); Leucena + Guandu (L+G); Acácia + Guandu (A+G); Sombreiro + Leucena (S+L); Leucena + Acácia (L+A) e Testemunha, sem leguminosas. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. As leguminosas foram espaçadas de 0,5m entre plantas, em parcelas de 21 x 4m. A cultura do milho (cultivar Ag 1051) foi semeada nos meses de janeiro dos anos de 2002 a 2007, no espaçamento de 90cm entre fileiras e 20cm entre plantas. As adubações nas semeaduras para o milho foram de 250 kg ha⁻¹ da fórmula N-P-K 10-25-15 + 0,05% Zn. Foram também aplicados 30kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio, como adubação de cobertura, quando do surgimento do quarto par de folha do milho. O fraco desempenho de crescimento das leguminosas no primeiro ano não permitiu o seu corte em 2003, então as podas foram realizadas em janeiro de 2004, 2005, 2006 e 2007 após a germinação da cultura do milho, à altura de aproximadamente 50cm. A biomassa produzida pelas leguminosas foi uniformemente distribuída entre todas as parcelas de cada tratamento e, portanto sobre ela não foram aplicadas análises estatísticas.

A massa da liteira foi determinada em abril de 2007, aplicando aleatoriamente três amostragens por parcela, com um quadrado de 0,25 x 0,25m. Nos resíduos das leguminosas foram determinados os teores de N total, P, K, Ca e Mg pelo método descrito em Tedesco (1995).

Para análises químicas do solo e da matéria orgânica as amostras foram tomadas na profundidade de 0-10 cm em abril de 2007. Foram determinados o P, K, Ca, Mg, H+Al, segundo metodologia do Instituto Agronômico de Campinas (2001). A capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinada como: K + Ca + Mg + H + Al, a SB = K + Ca + Mg e a saturação por bases $V = CTC/SB$. As amostras para avaliação da percentagem de saturação por água foram coletadas em anéis volumétricos com capacidade de 100cm³, em abril de 2007, com três repetições por parcela, na profundidade de 5 a 12 cm, segundo metodologia descrita em Thomasson (1978).

A matéria orgânica do solo foi fracionada utilizando-se dois métodos, o densimétrico e o granulométrico, segundo metodologia descrita em Machado (2002). A análise do carbono foi feita por oxidação via úmida, com dicromato de potássio,

segundo método descrito em Embrapa (1997). O índice de hospitalidade da raiz foi determinado por meio de medidas diárias, do 10º ao 70º dia da germinação do milho com penetrômetro digital da marca Fieldsout, até os 10 cm com variações de 2,5 cm e com limite crítico de 2,0 mPa. Para a análise de produção do milho foi avaliada a massa total de grãos de 50 plantas de duas fileiras no centro das parcelas.

A Figura 1 seguinte mostra as membranas com as Frações Leve Livre do solo em estudo.

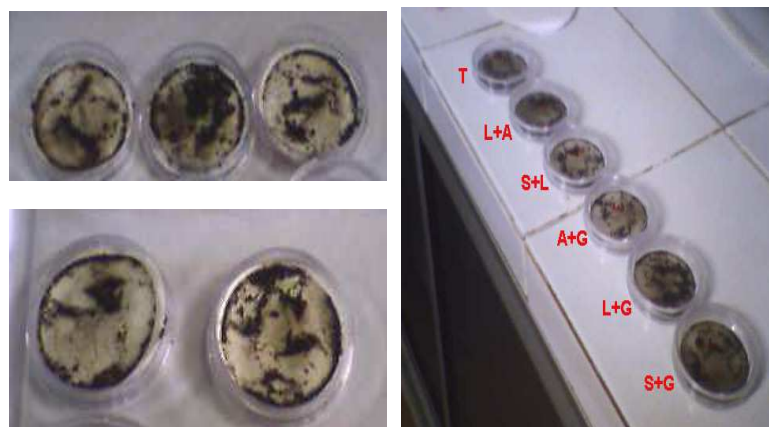


Figura 1 – Vista das membranas com as Frações Leve Livre do solo.

Após a remoção da fração leve livre (FLL) foi extraída a fração leve intra-agregado (FLI) ou oclusa, aplicando agitação mecânica por 1 (uma) hora na presença de esfera de vidro e seguindo as mesmas etapas da fração leve livre.

A separação da fração pesada foi realizada seguindo-se o método descrito em Machado (2002). A cada frasco contendo a fração foi adicionado 0,5 g de hexametáfosfato de sódio (NaPO_3)_n, sendo a mistura agitada por aproximadamente 14h, a 250 rpm. A separação da fração areia do silte e argila foi realizada por peneiramento úmido.

As frações silte (2–53 μm) e argila (0–2 μm) foram separadas a partir da coleta de alíquotas das frações granulométricas de 0–53 μm (argila + silte) e 0–2 μm (argila), em função dos tempos de sedimentação dessas partículas. A seguir, as frações foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, pesadas, maceradas em almofariz e peneiradas (malha de 0,210 mm), para posterior determinação do teor de carbono orgânico.

3.2 Análise estatística

Os dados foram analisados estatisticamente com auxílio do programa SAEG (2007) e submetidos à análise de variância, com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Benefício Ambiental

Em função da baixa fertilidade natural do solo, o fraco desenvolvimento inicial das leguminosas não possibilitou o corte das árvores no segundo ano. A partir deste ano, entretanto o crescimento das árvores refletiu os efeitos na melhoria da fertilidade do solo resultante da calagem e apressou a maturidade do sistema. De tal sorte que a partir do quarto ano a fixação de carbono pelas leguminosas foi em torno de dez vezes superior aos reportados em revisão de Oelbermann et al. (2004) para regiões subtropicais. Por outro lado, as diferenças de produtividade entre as espécies, ainda que sempre a favor daquelas de baixa qualidade de resíduos, não diminuiu a possibilidade de utilização conjunta de árvores de qualidades diferentes de forma a obter tanto a cobertura do solo quanto uma maior eficiência na reciclagem de nutrientes (Figura 2). Mesmo a combinação sombreiro mais leucena, (S+L) agronomicamente mais interessante por acrescentar uma mistura mais equilibrada dos dois tipos de resíduos, fixou mais de sete toneladas de carbono por ha/ano, aos quatro anos de corte.

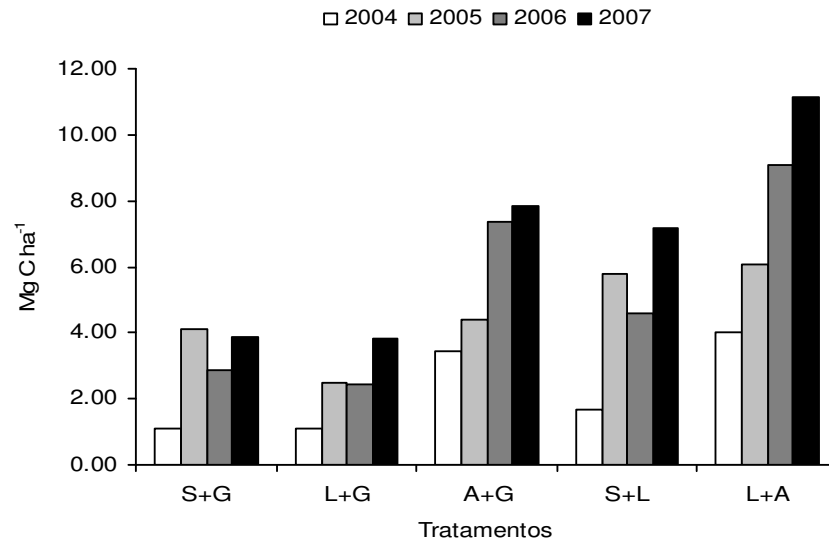


Figura 2 – Quantidades de carbono aportadas pelos tratamentos ao longo de quatro anos.

Uma das mais importantes características do sistema em aléias é a sua capacidade de manter a cobertura do solo por meio da liteira remanescente da biomassa vegetal aplicada à superfície. Neste experimento a variação da quantidade de carbono retido na liteira refletiu mais a resistência dos galhos e ramos do que a qualidade dos resíduos aplicados (Tabela 2). A leucena seguida da acácia foram as espécies que mais contribuíram para o volume de resíduos remanescentes o que indica que quando combinadas podem produzir maiores benefícios para a agricultura e para o ambiente.

Diferenças entre a testemunha e as parcelas que receberam resíduos foram encontradas para a fração leve total (Tabela 2). Neste quesito há uma confluência entre os benefícios agronômicos e ambientais, porque estas diferenças, segundo Shepherd et al. (2002) se deve à adição constante de resíduos e é importante para a qualidade do solo. Do ponto de vista ambiental esta mesma prática pode sustentar grande quantidade de carbono retido no sistema compensando a perda de carbono derivado da decomposição.

Ambientalmente, entretanto mais importante seria que o carbono fosse armazenado nos compartimentos mais estáveis dos diversos pools de matéria

orgânica do solo. Segundo Feller & Beare (1997) o tempo médio de vida das frações da M.O.S. decresce com o aumento do tamanho da partícula, entretanto, nenhum dos tratamentos com leguminosas diferiu da testemunha quanto aos compartimentos associados às frações minerais do solo, nem em relação à matéria orgânica humificada (Tabela 2).

Tabela 2 – Quantidades de carbono orgânico (Mg ha^{-1}), nas diversas frações da matéria orgânica do solo.

Frações de carbono (Mg ha^{-1})	Tratamentos					
	S+G	L+G	A+G	S+L	L+A	Testemunha
Liteira	3,72 d	7,32 c	6,57 c	8,86 b	10,67 a	0,86 e
Leve livre	1,65 ab	2,20 a	1,92 a	1,86 ab	1,82 ab	1,50 b
Leve intra-agregada	0,31	0,33	0,35	0,42	0,26	0,27
Areia	7,27	5,40	9,05	8,51	7,67	6,19
Silte	24,88	22,07	24,50	18,66	20,20	24,05
Argila	24,87	29,78	23,44	26,50	24,93	36,43

Médias seguidas das mesmas letras, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo Christensen (2000) fatores ambientais como boa disponibilidade de água, oxigênio, nutrientes e altas temperaturas, todos presentes neste experimento, podem acelerar a decomposição dos resíduos e eliminar as diferenças entre diferentes sistemas de manejo do solo quanto aos seus efeitos sobre essas frações da matéria orgânica. Estes resultados diminuem as possibilidades de utilização do plantio direto em alley cropping como sistema capaz de aumentar os teores das frações estáveis da m.o. nas condições deste experimento. Do ponto de vista ambiental, portanto apenas a alta produtividade de biomassa das leguminosas e a dinâmica e o volume de carbono mantido em steady-state, principalmente na liteira, pode credenciar o sistema como uma alternativa ambientalmente importante para a agricultura do trópico úmido.

4.2 Benefícios Agronômicos

Uma outra importante vantagem do cultivo em aléias é a sua capacidade de reciclar nutrientes e aumentar a sustentabilidade do sistema, por meio da recuperação dos elementos das camadas mais profundas do perfil. Neste experimento as quantidades de nutrientes recuperadas foram mais significantes quanto ao Ca e K e pouco importantes para o Mg e o P (Tabela 3). Entre os tratamentos mais eficientes estão os com acácia e leucena, a primeira mais pela quantidade de biomassa aportada e a segunda pelos maiores teores de Ca e K que apresenta. No entanto para a melhoria das condições do meio ambiente radicular foi mais importante a quantidade de cálcio reciclado por causa de seu efeito sobre a saturação por base cujos níveis foram superiores nos tratamentos com resíduos, principalmente dos que receberam a acácia.

Uma quantidade de N superior a exigida pela cultura foi acrescentada ao sistema principalmente nas combinações da leucena com acácia e sombreiro. Sobre o efeito dessa adição sobre a cultura, dois aspectos devem ser considerados, o primeiro deriva da ausência de sincronismo completo entre o N liberado e o absorvido. Buresh & Tian (1998) admitiram que o aproveitamento do N derivado dos resíduos de alley cropping varia em torno de 20%. Segundo, o aproveitamento depende das condições de enraizamento no ambiente radicular.

Wong & Asseng (2007) confirmaram que uma maior disponibilidade N pode compensar uma maior compactidade do solo, o que significa que estes fatores estão estreitamente relacionados. Neste experimento além das diferenças na a saturação por base, foi também observada uma maior percentagem de saturação por água nos tratamentos com leguminosas. Este efeito pode ser explicado pelos mais altos níveis da fração leve da matéria orgânica resultantes da adição continuada de resíduos que segundo Shepherd et al. (2002) promove a formação de uma “estrutura efêmera” constituída de agregados não estáveis que aumentam a capacidade de retenção de água do solo e contribui para a manutenção de um ambiente favorável ao enraizamento.

Tabela 3 – Teores totais de nutrientes aportados pelos resíduos de leguminosas no sistema de aléias, em cinco anos.

	Tratamentos					
	S+G	L+G	A+G	S+L	L+A	Testemunha
N (kg ha ⁻¹)	530,94	755,85	859,85	1146,50	1475,40	-
P (kg ha ⁻¹)	33,28	33,36	28,94	52,84	48,49	-
Ca (kg ha ⁻¹)	326,71	338,25	741,34	597,52	1012,14	-
Mg (kg ha ⁻¹)	63,92	113,29	79,62	167,45	183,14	-
K (kg ha ⁻¹)	157,01	152,33	253,34	269,23	365,55	-
Liteira (Mg ha ⁻¹)	7,93 d	12,25 c	12,78 c	17,94 b	21,42 a	1,96 e
Saturação por base (%)	37,5 b	35,0 b	42,0 a	31,0 b	46,0 a	21,0 c
Porcentagem de saturação por água (m m ⁻³)	41,5a	41,4a	41,6a	40,4a	42,5a	33,8b

Médias seguidas das mesmas letras, nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

Neste experimento, desde que o tratamento controle recebeu N apenas no plantio e em uma cobertura, dois fatores principais podem ter favorecido as plantas de milho com leguminosas quanto ao aproveitamento deste nutriente. Uma maior e melhor distribuição da disponibilidade de N derivada da decomposição dos resíduos ao longo do tempo, e uma melhor capacidade de aproveitamento do N pelas raízes em função do ambiente mais favorável na zona radicular.

Indubitavelmente o primeiro e maior benefício agrônômico do alley cropping no trópico úmido deriva da capacidade da liteira, sustentada pelo sistema, tamponar a temperatura e a umidade da superfície do solo, como foi relatado por Lal (1979). Nos argissolos do Maranhão isto tem importância fundamental, porque estes tendem ao endurecimento quando secos, por causa do alto grau de coesão da areia fina predominante. Segundo Becher et al. (1997), além do material fino, os baixos teores de ferro livre e de matéria orgânica também contribuem para o aumento da coesão e da resistência à penetração, com a diminuição da umidade, nos solos de estrutura

frágil. Nesta situação o principal efeito da liteira se manifesta pela diminuição da evapotranspiração que retarda o processo de secamento e endurecimento do solo, nos períodos sem chuva. Este fenômeno afeta a enraizabilidade porque diminui a severidade imposta pelas camadas do solo ao potencial de crescimento das raízes melhorando o “fator hospitalidade da raiz”, como denominado por Wong & Asseng (2007). Neste experimento as variações do número de dias em que o fator hospitalidade da raiz esteve abaixo do nível crítico de 2 mPa (Figura 3) demonstram a importância da quantidade de liteira para a enraizabilidade potencial do solo. No tratamento controle mesmo na camada de 0 a 5 cm houve três dias de stress resultante de uma semana sem chuvas.

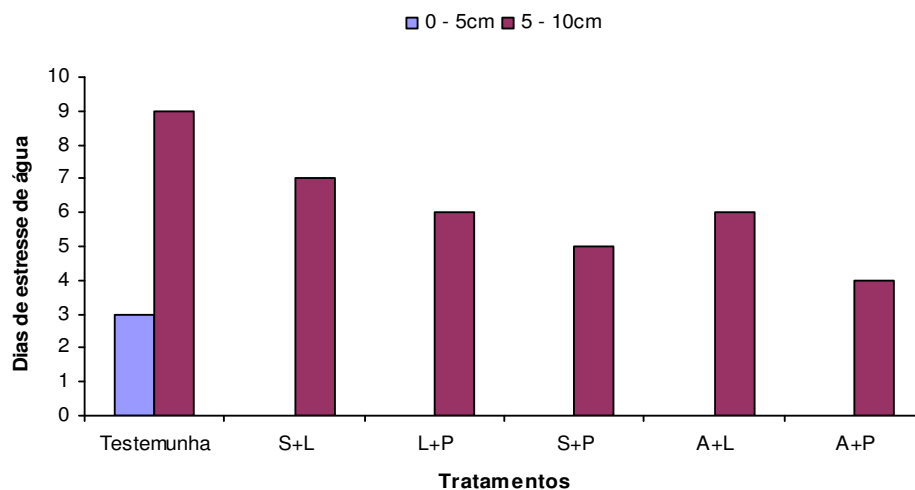


Figura 3 – Dias em que o fator hospitalidade da raiz esteve abaixo do nível crítico na camada de 0 a 10 cm do solo.

Do ponto de vista agrônômico, entretanto o mais importante deve ser o efeito da aplicação dos resíduos sobre a cultura econômica, como reflexo das melhorias na fertilidade do solo. A evolução do desempenho da cultura do milho neste experimento (Figura 4) mostra que o efeito dos resíduos foi sensivelmente significativo e cumulativo. De tal sorte que nas parcelas sem resíduo mesmo com calagem, adubações de plantio e de cobertura regulares não houve aumento da produtividade do milho, o que significa que isoladas estas práticas não contribuem para a construção da fertilidade deste solo. Por outro lado, em todos os tratamentos

com resíduos houve aumento significativo da produtividade do milho a partir do quarto ano. Com o adendo de que a partir do quinto ano os tratamentos com leucena produziram três vezes mais que as parcelas controle.

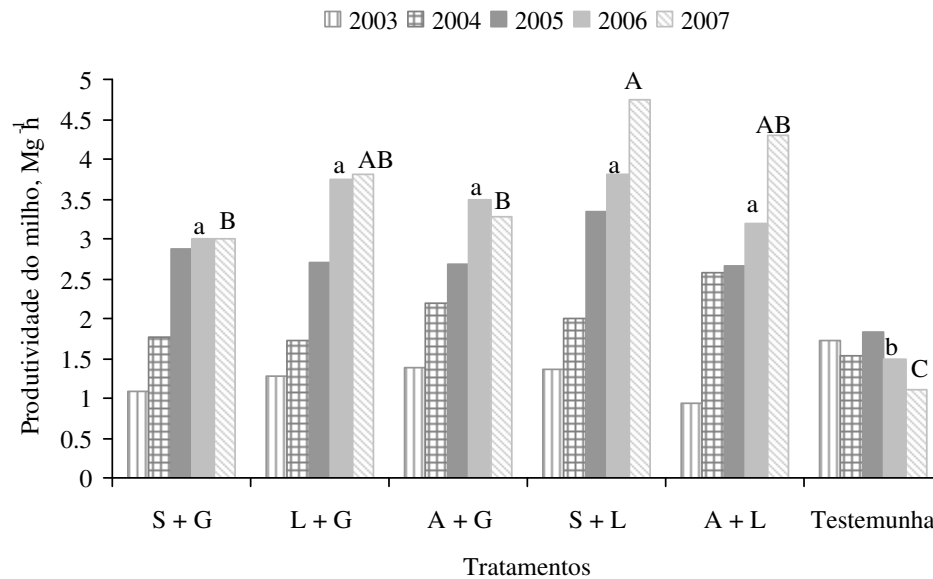


Figura 4 – Produtividade do milho ($Mg\ ha^{-1}$) ao longo de cinco anos. Médias seguidas das mesmas letras, minúsculas no ano 2006, maiúsculas no ano 2007, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

Estes resultados destacam o tratamento leucena com sombreiro como a que produziu os maiores benefícios agrônômicos o que indica que a mistura mais equilibrada de resíduos de baixa qualidade pode ser mais interessante do ponto de vista da produtividade agrônômica do sistema.

5 CONCLUSÃO

Por sua capacidade de deposição de grande quantidade de resíduos na superfície do solo o sistema em aléias (“alley cropping”) pode substituir o corte e queima no trópico úmido com vantagens ambientais e agronômicas. Entre estas últimas se destacam seu efeito sobre o aumento e a sustentação da produtividade da cultura econômica;

Além do benefício ambiental de substituir o corte e queima e evitar as emissões dele derivadas, do ponto de vista do seqüestro do carbono, as vantagens do sistema se restringem à manutenção de um equilíbrio dinâmico entre entrada e saída que pode sustentar até 10 Mg ha^{-1} de carbono, principalmente na liteira. Porquanto nos solos franco-arenosos do trópico úmido o sistema em aléias não possibilita, nos primeiros cinco anos, a fixação do carbono nas frações mais estáveis da matéria orgânica do solo.

Do ponto de vista agronômico, os benefícios do sistema em aléias se devem principalmente à reciclagem de cálcio e nitrogênio e ao tamponamento da umidade do solo. Para as plantas, estes benefícios se manifestam melhorando a enraizabilidade na camada de 0 a 10 cm pelo aumento da saturação por base e pela diminuição da resistência física à penetração das raízes

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. C. F. **Sustentabilidade do sistema plantio direto em argissolo no trópico úmido**. Tese de Doutorado. UNESP, Botucatu-SP, 2006. 55 f.

ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical Agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.99, p.15-27, 2003.

AKINNIFESI, F. K.; KANG, B. T.; LADIPO, D. O. Structural root form and fine root distribution of some woody species evaluated for agroforestry systems. **Agroforestry Systems**. n. 42, p. 121 - 138, 1999.

ALCÂNTARA, F.A.; FURTINI NETO, A.E.; DE PAULA, M.B.; MESQUITA, H.A.; MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.277-288, 2000.

ALEGRE, J.C. e RAO, M.R. Soil and water conservation by contours hedging in the humid tropics of Peru. **Agriculture, ecosystem and environment**, Amsterdã, n.57, p.17-25, 1996.

ALVES, A. G. C., COGO, P. N. & LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, 1995. p. 121-126.

ATTA-KRAH, A. N. Alley farming with leucaena: effect of short grazed fallows on soil fertility and crop yields. **Expt Agric**. Vol. 20, p.1-10, 1989.

BATJES, N.H. Management options for reducing CO₂ - concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. **The Netherlands**, ISRICWageningen, 1999. 114p.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da material orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. **Ecosystemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.9-26.

BEARE, M. H. Fungal and bacterial pathways of organic matter decomposition and nutrient mineralization in arable soil. In: BRUSSARD, L.; FERRERA-CERRATO, R. (Ed.). **Soil ecology in sustainable agriculture system**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997. p. 39-70.

BECHER, H.H.; BREUER, J.; KLINGLER, B. An index value for characterizing hardsetting soils by fall-cone penetration. *Soil Technology*, v.10, p.47-56, 1997.

BERTALOT, Maria José Alves; GUERRINI, Iraê Amaral; MENDOZA, Eduardo. Cultura do milho (*Zea Mays* L.) em sucessão com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) em áreas sob manejo agroflorestal em aléias com *Leucaena diversifolia*. In: Trabalho apresentado no V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 25 a 28 de outubro de 2004, Curitiba – Paraná.

BRAGAGNOLO, N. & MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, 1990. p. 91-98.

BURESH, R.J., TIAN, G., 1998. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems*, 38, 51-76

CAMPOS, B. C. de; REINERT. D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE. C. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p121-126, 1995.

CARVALHO, M. C. S. et al. Atividade microbiana de um latossolo vermelho escuro álico sob eucalipto e mata nativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Resumos expandidos**. Rio de Janeiro: SBSC, 1997. CD - ROM.

CERRI, Carlos Eduardo P., SPAROVEK, Gerd, BERNOUX, Martial et al. **Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options**. *Sci. agric.* (Piracicaba, Braz.), jan./fev. 2007, vol.64, no.1, p.83-99.

CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: **Plant Production**, DIAS Report, 2000. 95 p.

CHRISTENSEN, B. T.; JOHNSTON, A. E. Soil organic matter and soil quality
Christensen, B.T., 1997. Organic matter in soil: structure, function and turnover.
Tjele: Dias.

COPIJN, A. N. **Agrossilvicultura sustentada por sistemas agrícolas ecologicamente eficientes**. Rio de Janeiro: PTA, 1988. 46p.

CORREIA, M.E.F. & ANDRADE, A.G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., orgs. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.197-225.

COSTA, M.B.B. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, AS-PTA, 1993. 346p.

DALAL, R.C. & MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. I. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. Aust. J. Soil Res., 24:281-292, 1986.

DON, A.; KALBITZ, K. Amounts and degradability of dissolved organic carbon from foliar litter at different decomposition stages. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v.37, n. 12, p. 2171-2179, 2005.

DIELS, J., B. VANLAUWE, M.K. MEERSCH. Van der. SANGINGA. N., MERCKX. R. Long-term soil organic carbon dynamics in a subhumid tropical climate: ^{13}C data in mixed C3/C4 cropping and modeling with RothC. **Soil Biology & Biochemistry** 36. (2004) 1739–1750.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 2ed. Rio de Janeiro. 1997. 235p.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FASSBENDER, H.W. Long-term studies of soil fertility in cação-shade trees agroforestry systems: results of 15 years of organic matter and nutrients research in Costa Rica. In: Schulte, A.; Ruhujat, D. (Eds.), *Soils of tropical Forest ecosystems: characteristics, ecology and management*. **Springer Verlag**, Berlin, p. 150-158, 1998.

FEARNSIDE, P. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, v.16, n.44, p.99-123, 2002.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.69-116, 1997.

FELLER, C.; ALBRECHT, A.; BLANCHART, E.; CABIDOCHÉ, Y.M.; Chevallier, T.; HARTMANN, C.; ESCHENBRENNER, V.; LARRE-LARROUY, M.C.; NDANDOU, J.F. Soil carbon sequestration in tropical areas: general considerations and analysis of some edaphic determinants for Lesser Antilles soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.61, p.19-31, 2001.

FERRAZ JÚNIOR, A. S. L. O cultivo em aléias como alternativa para a produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: MOURA, E.G. (Ed.). **Agroambientes de transição: – entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 2004. Cap. 3, p.71-100

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 533-542, 1999.

FURTADO, S. C.; FRANKE, I. D. Dinâmica da fitomassa em sistema agroflorestal capoeira melhorada na amazônia ocidental. In: Simpósio nacional sobre recuperação de áreas degradadas – **água e biodiversidade**, Belo Horizonte/MG, 2002, p. 351-353.

GALVÃO, Sandra Regina da Silva, SALCEDO, Ignacio Hernan e SANTOS, Antonio Clementino dos. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, nov./dez. 2005, vol.29, no.6, p.955-962.

GAMA-RODRIGUES, GAMA-RODRIGUES E. F. DA & BRITO. E. C. DE. Decomposição e Liberação de Nutrientes de Resíduos Culturais de Plantas de Cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na Região Noroeste Fluminense (RJ) R. Bras. Ci. Solo, 31:1421-1428, 2007

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. For. Ecol. Manag., 38:173-199,1991.

IGUE, K.; ALCOVER, M.; DERPSCH, R.; PAVAN, M. A.; MELLA, S. C.; MEDEIROS, G. B. **Adubação orgânica**. Londrina: IAPAR, 1984. 33 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 2001. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Raij, B. van, Andrade, J.C., Cantarella, H., Quaggio, J.A. (Eds). IAC: Campinas.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.27, n. 4, p. 4008-416,1998.

JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A., ELLERT, B. H.; BREMER, E. Soil organic matter dynamics and their relationship to soil quality. In: GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. (Ed.). **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Amsterdam: Elsevier, 1997. p. 277-291. (Developments in Soil Science, 25).

JANZEN, H. H, CAMPBELL C.A, IZAURRALDE R.C, ELLERT B.H, JUMA N, MCGILL W.B, ZENTNER R.P (1998) Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. **Soil Tillage Res** 47:181–195.

JONES, M.; SINCLAIR, F. L.; GRIME, V. L. Effect of tree species and crown pruning on root length and soil water content in semi-arid agroforestry. **Plant and Soil**. Amsterdam, n. 201, p. 197 - 207, 1998.

KANG, B. T; REYNOLDS, L. e ATTA-KRAH, A .N. **Alley farming**. Adv. in Agron., New York, n.43, p.315-359, 1990.

KANG, B.T.; OJO, A. Nutrient availability of earthworm cast collected from under selected woody agroforestry species. **Plant and Soil**, Amsterdam, n.178, p.113-119, 1996.

KANG, B.T. Alley cropping – soil productivity and nutrient recycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 91, n. 1, p. 7582, 1997.

KAYA, B.; NAIR, P.K.R. Soil fertility and crop yields under improved fallow systems in southern Mali. **Agroforestry Systems**, The Netherlands, v. 52, p. 111, 2001.

KUMAR, K.; GOH, K.M. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. **Advances in Agronomy**, Washington, v.68, p.197-319, 2000.

LAL, R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 22, n.2, p. 151-184, 2003.

LAL, R. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. **Plant and Soil**, v.40, p.129-143, 1979.

LEITE, Luís Fernando Carvalho; OLIVEIRA, Francisco das Chagas, ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira. **Tópicos em manejo e fertilidade do solo com ênfase no Meio-Norte do Brasil**. -1. – Teresina/PI: Embrapa Meio-Norte, p. 108-140. 2006. 218 p.

LEITE, Luís Fernando Carvalho; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podizolic

under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, south-eastern Brasil. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 41, n.4, p. 717-730, July 2003a.

MACDICKEN, K.G.; VERGARA, N.T. Agroforestry: classification and management. New York: John Wiley, 1990. 382 p.

MACEDO, Renato Luiz Grinzi. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. 157p.: il. Lavras: 2000. UFLA / FAEPE.

MACHADO, P.L.O.A., 2002. Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo – um procedimento para a estimativa pormerizada do sequestro de carbono pelo solo. **Embrapa**, Rio de Janeiro.

MAFRA, A. L., MIKLÓS, A. A. W., VOCURCA, H. L., HARKALY, A. H., E MENDONZA, E. Produção de fitomassa e atributos químicos do solo sob cultivo em aléias e sob vegetação nativa do cerrado. **Revista brasileira de ciência do solo**. v. 22, p. 43-48, 1998.

MARY, B. Effets du precedent cultural sur la disponibilité du sol en azote minéral. CR. **Acad. Agric. Fr.**, Paris, 1987. 73: 57-69.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L. Influence of organic matter on the charges of soils from the Cerrado Region Brazil. In: SENESI, N.; MIANO, T. M. (Ed.). **Humic substances in the global environment and implications on human health**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 661-666.

MORAIS, F. I.; PAGE, A. L.; LUND, L. J. The effect of pH, salt concentration, and nature of electrolytes on the charge characteristics of Brazilian tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, p. 521-527, 1976.

MOURA, E. G. **Atributos de fertilidade de um podzólico vermelho amarelo da formação Itapecuru limitantes da produtividade do milho**. Tese de Doutorado. UNESP, Botucatu-SP, 1995. 91 f.

MULONGOY, K.; MEERSCH, H.K. Van Der. Nitrogen contribution by leucaena (*Leucaena leucocephala*) pruning to maize in an alley cropping system. **Biol. Fertil. Soils**, Berlin, n.6, p.282-285, 1988.

OELBERMANN, M.; VORONEY, R.P.; GORDON, A.M. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.104, p.359-377, 2004.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLO, M.C. Decomposição de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2359-2362, 1999.

OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1079-1087, 2002.

PAULETTI, V. A importância da palhada e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 3., 1999, Cruz Alta. **Palestras**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p.56-66.

PEREIRA, J.; KAGE, H. Manejo da matéria orgânica em solos de cerrado. In: Simpósio sobre o cerrado; uso e manejo, 5. Brasília, 1980, p.579-91.

PICCOLO, A.; CONTE, P. Advances in nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopies of soil organic particles. In: HUANG, P. M.; SENESI, N.; BUFFLE, J. (Ed.). **Structure and surface reactions of soil particles**. New York: J. Wiley, 1998. p. 184-250

PINHEIRO, E.F.M. **Frações orgânicas e agregação em Latossolo em função de sistemas de preparo do solo de oleráceas em Paty do Alferes**, RJ. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002. 65p. (Tese de Mestrado).

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.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C.; ARMELIN, M.J.A. Qualidade mineral e degradabilidade potencial de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região tropical de São Carlos, SP, Brasil. **Revista de Agricultura**, v.77, p.89-102, 2002

PNUD - Relatório de Desenvolvimento Humano, 2000. Disponível em www.undp.org.br. Acesso em 15 de maio de 2008.

RAIJ, B. van. **A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos**. Bragantia, Campinas, v. 28, p. 85-112, 1969.

RANGEL, Otacílio José Passos e SILVA, Carlos Alberto. **Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo**. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2007, vol. 31, nº. 6. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em 01 de abril de 2008.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.1, n.1, p. 29-48, 1990.

RESCK, D.V.S.; PEREIRA, J.; SILVA, J.E. de. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos Cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1991. 21p. (Embrapa-CPAC. Documentos, 36).

ROSCOE, R.; MACHADO. P. L. O. de A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p. : il. ; 21cm.

RODER, W. PHENGCHANH, S. e KEOBOULAPHA, B. Relationships between soil, fallow period, weeds and rice yield in slash-and-burn systems of Laos. **Plant and Soil**, v. 176, p. 27-36, 1995.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.355-362, 2003.

SALMI, G.P.; SALMI, A.P.; ABOUD, A.C.S. Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes de genótipos de guandu sob cultivo em aléias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.673-678, 2006.

SANCHEZ, P.A. PALM, C.A. SZOTT, L.T., et al. **Organic input management in tropical agro ecosystems. In: Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems.** D.C. Coleman, OADES, J.M e UENARA, G. (Eds.) Honolulu, University of Hawaii Press, 1989, P.125-152.

SANGINGA, N.; BOWEN, G. D.; DANSO, S. K. A. Assessment of genetic variability for N₂ fixation between and within provenances of *Leucaena leucocephala* and *Acacia albida* estimated by 15N labelling techniques. **Plant and soil**, Amsterdam, n. 127, p. 169 - 178, 1990.

SATO, A.; DALMACIO, R. V. Maize production under an intercropping system with fast growing tree species: a case in the Philippines: **Journal Agriculture Research Quartel**, n. 24, p. 319 - 326, 1991.

SHEPHERD, M.A., HARRISON, R., WEBB, J., 2002. Managing soil organic matter – implications for soil structure on organic farms. *Soil Use Manage.* 18, 284-292.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. & LOPES, A.S. Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição mineral de plantas: Base para um novo paradigma na agrotecnologia do século XXI. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.G., orgs. Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras, SBCS/UFLA/DCS, 1999. p.1-9.

SILVA, Ricardo Carvalho, PEREIRA, José Marques, ARAUJO, Quintino Reis et al. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, jan./fev. 2007, vol.31, no.1, p.101-107.

SILVA, Mellissa Ananias Soler da, MAFRA, Álvaro Luiz, ALBUQUERQUE, Jackson Adriano et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, mar./abr. 2006, vol.30, no.2, p.329-337.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 467-524.

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. **Eur. J. Soil Sci.**, 52:607-618, 2001.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; MORAES, J.C. & ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. **Agronomie**, 22:755-775, 2002.

STEVENSON, F.J. Húmus chemistry: genesis, composition and reactions. 2.ed. New York, **John Wiley & Sons**, 1994. 496p.

SZOTT, L. T.; PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Agroforestry in acid soils of humid tropics. **Advances in Agronomy**, Washington, n. 45, p. 275 - 301, 1991.

SWIFT, M. J.; WOOMER, P. Organic matter and the sustainability of agricultural systems: definition and measurement. In: MULONGO, K.; MERCKX, R. (Ed.). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Chichester: J. Willey, 1993. p. 3-18.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agric. Ecosyst. Environ.**, 38:139-151, 1992.

TORRES, José Luiz Rodrigues, PEREIRA, Marcos Gervásio, ANDRIOLI, Itamar et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, jul./ago. 2005, vol.29, no.4, p.609-618.

TEDESCO, M.J., GIANELLO, C., BISSANI, C.A., 1995. Análise de solos, plantas e outros materiais. UFRGS, Porto Alegre.

THOMASSON, A.J. Towards an objective classification of soil structure. **Journal Soil Science**, v.29, p.38-46, 1978.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. SAEG-Sistema para análise estatística versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - Viçosa, 2007.

VANLAUWE, B., VANLANGENHOVE, G., MERCKX, R. VLASSAK, K. Impact of rainfall regime on the decomposition of leaf litter with contrasting quality under subhumid tropical conditions. **Biol. Fétil. Soils**, n 20, p. 8-16, 1995.

VANLAUWE, B.; DIELS, J.; SANGINGA, N.; MERCKX, R. Long-term integrated soil fertility management in South-western Nigeria: crop performance and impact on the soil fertility status. **Plant and Soil**, v.273, p.337-354, 2005.

VERAS, M.S. **Efeito do resíduo de fava d' anta na fertilidade de um solo arenoso sob cultivo do milho**. Monografia de Bacharelado, UEMA, 1994. 23 f.

WONG, M.T. F., ASSENG, S., 2007. Yield and environmental benefits of ameliorating subsoil constraints under variable rainfall in a Mediterranean environment. **Plant and Soil** 297, 29-42.

YAMOAHA, C.F.; AGBOOLA, A. A. e MULONGOY, K. Decomposition, nitrogen release and weeds control by prunings of selected alley cropping shrubs. **Agroforestry Systems**, 1986. 4: 239-46.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. London: Cab International, 1997. 307p.