

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

DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE LEGUMINOSAS
CULTIVADAS EM SISTEMA DE ALÉIAS

JOSÉ GERALDO BOGÉA DE GÓES FONSECA
Engenheiro Agrônomo

São Luís
Maranhão – Brasil
2008

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

DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE LEGUMINOSAS
CULTIVADAS EM SISTEMA DE ALÉIAS

JOSÉ GERALDO BOGÉA DE GÓES FONSECA
Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agroecologia da Universidade
Estadual do Maranhão, para obtenção do
título de Mestre em Agroecologia.

São Luís
Maranhão – Brasil
2008

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

DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE LEGUMINOSAS
CULTIVADAS EM SISTEMA DE ALÉIAS

JOSÉ GERALDO BOGÉA DE GÓES FONSECA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof.º Dr. EMANOEL GOMES DE MOURA

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agroecologia da Universidade
Estadual do Maranhão, para obtenção do
título de Mestre em Agroecologia.

São Luís
Maranhão – Brasil
2008

Fonseca, José Geraldo Bogéa de Góes

Decomposição de resíduos de leguminosas cultivadas em sistema de aléias
/ José Geraldo Bogéa de Góes Fonseca. – São Luís – MA, 2008.

56 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão. 2008.

Orientador: Prof^o. Dr. Emanuel Gomes de Moura

1. Litter bag 2. Alley cropping 3. Ciclagem de nutrientes 4. Taxa de decomposição 5. Leguminosas arbóreas I. Título .

CDU: 633.875-181.031

DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE LEGUMINOSAS
CULTIVADAS EM SISTEMA DE ALÉIAS

JOSÉ GERALDO BOGÉA DE GOES FONSECA

Aprovada em 30/ 12/ 2008.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a. Alana das Chagas Ferreira Aguiar
Doutora em Agronomia
Universidade Federal do Maranhão

Prof^o Dr. Altamiro S. de L. Ferraz Júnior
Doutor em Agronomia
Universidade Estadual do Maranhão

Prof^o Dr. Emanuel Gomes de Moura (Orientador)
Doutor em Agronomia
Universidade Estadual do Maranhão

À minha esposa Mariber Alves Fonseca, aos meus filhos André Ricardo e Andréa e ao meu neto Lucas, que me permitiram, por preciosos momentos, o afastamento do convívio familiar, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Emanuel Gomes de Moura, por sua competência e dedicação à AGROECOLOGIA que me concedeu o privilégio de tê-lo como orientador.

À professora Dr^a. Raimunda Lemos pelo seu incentivo e colaboração.

À professora Dr^a. Alana Aguiar, pelos preciosos ensinamentos e disposição em contribuir.

Ao Sr. Neto, pela ajuda de grande valia na realização dos trabalhos de campo.

Ao professor Ronaldo, pelo encorajamento.

Ao professor Dr. Gilson Soares, pelos ensinamentos e motivação.

À professora Dr^a. Francisca Helena, pela dedicação ao Curso de Mestrado em Agroecologia.

Ao professor Dr. Altamiro Ferraz Jr., pelo seu grande conhecimento e imprescindíveis orientações.

Aos demais professores do Curso de Mestrado, pela abnegação e dedicação.

Ao professor Dr. Gusmão Araújo, pelo grandioso trabalho realizado à frente do Curso.

Aos colegas de turma: Lélío, Myrna, Marcelino, Aurenice, Anna Karine, Georgiana, Calixto, Nilcéia, Cleoneide, Lucinéia e Ileana, pelos alegres e inesquecíveis momentos que pudemos compartilhar.

Ao Sr. Walter pela forma atenciosa que sempre atendeu a todos na secretaria do Curso.

A Camila Nobre e Nárgila, pela ajuda nas análises realizadas no laboratório de nutrição de plantas.

Ao prof. Dr. Marco Gervásio Pereira, pela sua valiosa contribuição, para que as análises de material pudessem ser realizadas junto à UFRRJ.

Ao graduando Marlon Costa, pela colaboração para a realização deste trabalho.

Ao M.S Jovenilson que colocou a nossa disposição todo o seu valioso acervo bibliográfico

HOMENAGEM PÓSTUMA

Ao saudoso professor Dr. José Magno Martins Bringel que, precocemente, deixou o nosso convívio abrindo grande lacuna na Universidade Estadual do Maranhão, particularmente no Curso de Mestrado em Agroecologia, presto merecida homenagem póstuma.

O baixo estoque de conhecimento é o maior obstáculo para o desenvolvimento. Ele aprofunda o fosso entre ricos e pobres.

Conceição Andrade

SUMÁRIO

	Pág
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1. A Importância das Leguminosas.....	03
2.2 O Cultivo em Aléias.....	04
2.3. A ciclagem de nutrientes em sistema de cultivo em aléias.....	06
2.4. Adição de nutrientes no solo a partir da biomassa de leguminosas.....	09
2.5. Características desejadas nas espécies leguminosas para produção de biomassa	11
2.6. A decomposição da serapilheira e a mineralização dos nutrientes.....	13
2.7. Sincronismo.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1. Localização do experimento	18
3.2. Aspectos químicos e físicos do solo.....	19
3.3. Instalação do experimento e coleta de dados.....	19
3.4. Espécies leguminosas empregadas na avaliação da decomposição.....	22
3.4.1 <i>Acacia mangium</i>.....	22
3.4.2 <i>Cajanus cajan</i>.....	23
3.4.3 <i>Clitoria fairchildiana</i>.....	23
3.4.4 <i>Leucaena leucocephala</i>.....	24
3.5. Avaliação da decomposição do material de podagem.....	25
3.6. Análises químicas do material de podagem das leguminosas.....	26

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. Perda da matéria seca da parte aérea das leguminosas.....	27
4.2. Decomposição da biomassa da parte aérea das leguminosas.....	28
4.3. Liberação de nitrogênio.....	30
4.4. Liberação de fósforo.....	32
4.5. Liberação de cálcio.....	33
4.6. Liberação de magnésio.....	34
5. CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Dados climáticos mensais de São Luís – MA, Brasil, no ano de 2006. Temperatura média e precipitação.....	18
Figura 02. Dados climáticos mensais de São Luís – MA, Brasil, no ano de 2006. Umidade relativa do ar e radiação solar.....	19
Figura 03 Figura 3 – Delineamento experimental da área estudada.....	20
Figura 04. Litter bags: A – vazia; B – <i>Acacia mangium</i> e <i>Leucaena leucocephala</i> no “tempo zero”; C – <i>A. mangium</i> e <i>Clitoria fairchildiana</i> em estágio inicial de decomposição; e D – <i>A. mangium</i> e <i>L. leucocephala</i> em estágio avançado de decomposição.....	21
Figura 05. Leguminosas <i>Clitoria fairchildiana</i> , <i>Cajanus cajan</i> , <i>Acacia mangium</i> , e <i>Leucaena leucocephala</i> avaliadas em sistema de cultivo em aléias.....	22
Figura 06. Perda de matéria seca das combinações do material proveniente da podagem da parte aérea das leguminosas <i>Acacia mangium</i> (Acácia), <i>Cajanus cajan</i> (Guandu), <i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro) e <i>Leucaena leucocephala</i> (Leucena).....	27
Figura 07. Decomposição da biomassa das combinações do material proveniente da podagem da parte aérea das leguminosas <i>Acacia mangium</i> (Acácia), <i>Cajanus cajan</i> (Guandu), <i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro) e <i>Leucaena leucocephala</i> (Leucena).....	29
Figura 08. Liberação de nitrogênio das combinações do material proveniente da podagem da parte aérea das leguminosas <i>Acacia mangium</i> (Acácia), <i>Cajanus cajan</i> (Guandu), <i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro) e <i>Leucaena leucocephala</i> (Leucena).....	31
Figura 09. Liberação de fósforo das combinações do material proveniente da podagem da parte aérea das leguminosas <i>Acacia mangium</i> (Acácia), <i>Cajanus cajan</i> (Guandu), <i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro) e <i>Leucaena leucocephala</i> (Leucena).....	32
Figura 10. Liberação de cálcio das combinações do material proveniente da podagem da parte aérea das leguminosas <i>Acacia mangium</i> (Acácia), <i>Cajanus cajan</i> (Guadu), <i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro) e <i>Leucaena leucocephala</i> (Leucena).....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Biomassa e nutrientes adicionados com os ramos das leguminosas <i>Acacia mangium</i> , <i>Cajanus cajan</i> , <i>Clitoria fairchildiana</i> e <i>Leucaena leucocephala</i>	11
Tabela 02. Atributos de leguminosas arbóreas desejáveis para acúmulo de biomassa (Brienza, 2003).....	12

DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE LEGUMINOSAS CULTIVADAS EM SISTEMA DE ALÉIAS

Autor: José Geraldo Bogéa de Góes Fonseca

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

RESUMO

O cultivo em aléias é caracterizado pelo plantio, nas entrelinhas de espécies leguminosas, de culturas de interesse econômico, de modo a viabilizar, via decomposição da biomassa das leguminosas, o retorno de nutrientes ao solo para aproveitamento pelas culturas. O presente trabalho teve, por objetivo, avaliar a decomposição e a liberação de nutrientes da biomassa da parte aérea de leguminosas empregadas neste sistema de cultivo. Deste modo, foi realizado um experimento na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), envolvendo quatro leguminosas (*Acacia mangium*, *Cajanus cajan*, *Clitoria fairchildiana* e *Leucaena leucocephala*) em diferentes combinações. Para avaliação dos resultados, foi utilizado o método “litter bags” ou bolsas de liteiras. No interior de cada bolsa foram colocados 40 gramas de folhas e ramos de duas leguminosas combinadas, as quais foram distribuídas na superfície do solo para decomposição. Foram considerados quatro períodos de 30, 60, 90 e 120 dias para retirada do material distribuído nas bolsas para decomposição com a finalidade de comparar com o material retirado para análise, imediatamente após a poda dos ramos das leguminosas, considerado como “marco zero”. Os dados experimentais mostraram que a *Leucaena leucocephala* combinada com *Cajanus cajan* e *Clitoria fairchildiana* apresentou o maior coeficiente de decomposição de biomassa aos 30 dias e a *Acacia mangium* combinada com *Cajanus cajan* e *Leucaena leucocephala* apresentou o menor coeficiente de decomposição, no mesmo período. A liberação dos nutrientes, no período observado de 120 dias, ocorreu em todas as combinações com o N, P e Mg, exceto com o Ca, pois duas combinações *Clitoria fairchildiana* com *Leucaena leucocephala* e *Acacia mangium* com *Leucaena leucocephala* não apresentaram liberação desse nutriente.

Palavras chave: Litter bag, alley cropping, ciclagem de nutrientes, taxa de decomposição, leguminosas arbóreas.

DECOMPOSITION OF LEGUMINOUS' RESIDUES CULTIVATED IN ALLEY CROPPING SYSTEMS

Author: Jose Geraldo Bogéa de Góes Fonseca

Advisor: Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

ABSTRACT

Alley cropping is characterized by planting leguminous trees between rows of crop species of economic interest aiming at facilitate, the decomposition of biomass of leguminous trees as well as, the return of nutrients to the soil for use by crops. This work has, for purpose, assess the decomposition and release of nutrients from the biomass of leguminous shoots used in this system of cultivation. Thus, the experiment was conducted at Maranhão State University (UEMA), consisting of four leguminous plants (*Acacia mangium*, *Cajanus cajan*, *Clitoria fairchildiana* and *Leucaena leucocephala*) in different combinations. We used litter bags to evaluate the data. Within each bag were placed 40 grams of leaves and branches of two combined leguminous, which were distributed on the soil surface to decay. We considered four periods, i.e., of 30, 60, 90 and 120 days for withdrawl from the material distributed in the bags for decomposition in order to compare with the material removed for examination, immediately after the pruning of the branches of leguminous trees, considered as "zero mark". The experimental data showed that *Leucaena leucocephala* combined with *Cajanus cajan* and *Clitoria fairchildiana* presented the highest factor of decomposition of biomass at 30 days and *Acacia mangium* combined with *Cajanus cajan* and *Leucaena leucocephala* had the lowest rate of decomposition during the same period. The release of nutrients in the period of 120 days was observed in all combinations with N, P and Mg, except with Ca because the combinations *Clitoria fairchildiana* with *Leucaena leucocephala* and *Acacia mangium* with *Leucaena leucocephala* showed no release of this nutrient.

Key words: Litter bag, alley cropping, nutrient cycling, decomposition rate, leguminous tree.

1. INTRODUÇÃO

A demanda cada vez mais crescente de alimentos pela população mundial proporcionou o surgimento, a partir da década de 1950, de modernos processos de exploração agrícola, cujos resultados favoráveis causaram grandes mudanças na agricultura praticada nos sistemas tradicionais, constituindo o que ficou conhecido como Revolução Verde.

Destacaram-se como principais características dessa nova agricultura a grande produtividade, o monocultivo e a utilização de grande quantidade de insumos tais como agrotóxicos e adubos industrializados. Em várias regiões do estado do Maranhão, particularmente na região Centro-Norte, esse modelo de agricultura intensiva, com elevados índices de produtividade, apresenta sua sustentabilidade questionada, principalmente, pelas características físicas da maioria dos solos, de estrutura frágil e clima com temperatura elevada e chuvas de grande intensidade. Por outro lado, a agricultura itinerante considerada um sistema estável, pela existência de áreas com cobertura vegetal abundante, tem sua estabilidade comprometida diante do aumento de pressão populacional, o que tem causado reduções do período de pousio de um período mais favorável de 20 a 30 anos para períodos curtos, de até 5 anos, o que contribui para perdas de solo e esgotamento de nutrientes (ALTIERI, 1999).

O uso do fogo, como forma de preparo da área para a agricultura, não obstante seus resultados favoráveis, a curto prazo, apresenta resultados danosos dentre os quais destacam-se: aumento do efeito estufa pela emissão de CO₂, perdas de nutrientes para a atmosfera e pela lixiviação, diminuição da camada húmica do solo, proliferação e dominância de espécies daninhas agressivas e bem adaptadas ao manejo do fogo e diminuição da biodiversidade.

De acordo com Muniz (2004), nos últimos anos os níveis de desmatamento nos trópicos têm aumentado assustadoramente contribuindo para o aumento nas concentrações atmosféricas de gases como CO₂ e N₂O, dentre outros, o que provoca mudanças físico-químicas no planeta Terra.

Neste contexto, torna-se necessário e urgente o desenvolvimento de modelos de agricultura que assegurem a manutenção e melhoria da fertilidade das áreas, bem como das suas características físicas e biológicas naturais e que tenham, por fundamentos, uma nova abordagem da agricultura e do desenvolvimento agrícola. Despontam como sistemas capazes de manter a melhoria da capacidade produtiva do solo os Sistemas Agroflorestais (SAFs) e demais formas de agricultura alternativa. Dentre estes, destaca-se o sistema de cultivo em

aléias ou “alley cropping” que viabiliza, através da decomposição de biomassa, o retorno de nutrientes ao solo.

Neste sistema de cultivo, espécies leguminosas são plantadas em uma mesma área com culturas de interesse econômico e, na época adequada, os ramos das leguminosas são cortados e colocados nas entrelinhas das culturas sendo utilizados como cobertura morta e fonte de nutrientes.

O sistema de cultivo em aléias apresenta algumas características fundamentais e, entre elas, não preconiza o uso do fogo, intensifica e diversifica a produção agrícola e possibilita a recuperação da produtividade de áreas degradadas. Desta forma assegura a ciclagem eficiente dos nutrientes, pela fixação biológica, garante a combinação de diversas arquiteturas radiculares e proteção do solo com cobertura morta evitando perdas excessivas por lixiviação ou desnitrificação.

Para melhor conhecimento do processo de fornecimento de nutrientes, através da decomposição da parte aérea de leguminosas arbóreas, têm sido empregadas diversas formas de avaliação. Dentre estas, destaca-se o emprego da técnica de “litter bags” ou bolsas de liteira que possibilita ser medida a entrada de nutrientes através da liteira e limites máximos de decomposição, tornando-se possível um maior conhecimento dos fluxos de carbono e ciclagem de nutrientes e, desta forma, disponibilizar informações essenciais para o desenvolvimento de uma agricultura tropical ecologicamente correta.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a adição de nutrientes no solo por meio da decomposição da parte aérea de quatro leguminosas arbóreas combinadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Importância das Leguminosas

As leguminosas revestem-se de grande importância para a atividade agrícola por serem importante fonte de alimentos e de nutrientes para o solo. O “poder melhorador” do solo, pelas leguminosas, já era conhecido desde os tempos mais remotos, quando era cultivada a lentilha ou tremoço, antes do trigo (AMBROSANO *et al.*, 1999).

Esta capacidade da leguminosa arbórea ou arbustiva de fornecimento de adubo verde tem sido objeto de avaliação em várias condições edafo-climáticas. Segundo Ferraz Jr. (2000), há diferenças nos resultados promissores obtidos em regiões de solos férteis da Nigéria, Quênia, Etiópia e Austrália, onde são favoráveis e em solos ácidos onde há baixo potencial para ciclagem de nutrientes e sustentabilidade da produção da cultura associada.

Uma grande vantagem do emprego de espécies leguminosas como fonte de nutrientes é a capacidade destas plantas em fixar nitrogênio do ar, através da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* o que proporciona o enriquecimento do solo com este macronutriente. Por possuírem um sistema radicular profundo e ramificado, as leguminosas arbóreas absorvem os nutrientes que foram lixiviados, principalmente, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrato (NO₃), funcionando também como “agente minerador” de nutrientes de pouca disponibilidade como o fósforo (P) e o molibdênio (Mo), tornando-os disponíveis às culturas subseqüentes (SILVA *et al.*, 2002).

O emprego de leguminosas arbóreas aumenta o teor de matéria orgânica do solo, melhorando suas condições químicas, pois afeta a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a capacidade de trocas de cátions e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, fundamentais em solos tropicais, na sua maioria, intemperizados e ácidos; afeta as condições físicas, principalmente, a agregação e indiretamente são afetadas a densidade, a porosidade, a aeração, a capacidade da retenção e a infiltração de água, que são fundamentais à capacidade produtiva do solo; afeta as condições biológicas do solo, pois atua como fonte de carbono, energia e nutrientes para os microorganismos quimioheterotróficos e, através da mineralização do N e S orgânico, atua como fonte de energia aos microorganismos quimioautotróficos (BAYER & MIELNICZUK, 1999). Segundo Garcia (2002), a utilização agrícola economicamente viável de muitos solos arenosos e pobres em nutrientes, com baixo teor de matéria orgânica, em diversas regiões do mundo, tornou-se possível somente após a

introdução de adubação verde; porém, é importante que se defina, para cada região, quais as leguminosas e as tecnologias a serem adotadas.

As leguminosas, além de realizarem a fixação biológica de N_2 (FBN), podem fornecer nutrientes para a cultura consorciada por meio do material exsudado pelas raízes, decomposição dos nódulos e das raízes finas (“turnover” das raízes), nutrientes presentes nas folhas senescentes (liteira) e os nutrientes mineralizados a partir das folhas e dos ramos podados e adicionados ao solo (BLAIR *et al.*, 1990; KANG *et al.*, 1990).

O cultivo com leguminosas favorece também um aumento na população de fungos micorrízicos nativos do solo. Esses microrganismos associam-se às raízes das plantas cultivadas, aumentando a absorção de água e nutrientes, permitindo um melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados ao solo, principalmente os fosfatados (SIEVERDING, 1991).

2.2. O Cultivo em Aléias

O cultivo em aléias é um tipo de sistema agroflorestal caracterizado pelo plantio intercalado de espécies alimentares com espécies arbustivas ou arbóreas, preferencialmente leguminosas, pelo fato destas realizarem a fixação biológica de nitrogênio, fornecerem nutrientes às culturas associadas e possibilitarem o controle de ervas daninhas. Este sistema de cultivo constitui parte da Ciência de Agroecologia que é definida como a aplicação de conceitos e princípios ecológicos do desenho e manejo de agroecossistemas sustentáveis (GLIESSMAN, 2005).

Segundo Altieri (2001), o sistema de cultivo em aléias, é uma modalidade de sistema agroflorestal e constitui-se em um sistema melhorado de pousio, no qual arbustos ou árvores de múltiplos propósitos, preferencialmente leguminosas, devido à fixação de nitrogênio, são plantadas em associação com espécies alimentares, visando acelerar a regeneração dos nutrientes do solo, diminuindo, em consequência, o tempo de pousio.

A concorrência existente, no cultivo em aléias, entre as leguminosas de porte mais elevado com as culturas agrícolas por água, luz e nutrientes, é contornada com o manejo adequado realizado por meio da poda dos galhos (ALTIERI, 2000). De acordo com Kang (1997), este sistema tem, como características fundamentais, a reciclagem de nutrientes, a regeneração da fertilidade dos solos, o fornecimento “in loco” de material para cobertura morta e adubo verde, a redução das ervas espontâneas pelo sombreamento parcial das entrelinhas, a fixação do nitrogênio, além de disponibilizar alimentos para animais e ser fornecedor de estacas para cerca e lenha.

No sistema de cultivo em aléias, é importante levar em consideração, as diversas características das leguminosas arbóreas que serão plantadas. As principais características que devem ser consideradas são: fácil estabelecimento no campo, sistema radicular profundo, com maior concentração de raízes abaixo de 40 cm (AKINNIFESI *et al.*, 1999) e pouco extenso nas camadas superiores, crescimento rápido, tolerância ao corte, alta capacidade de rebrota, alta produção de biomassa, fixação biológica de N₂ associada com altos teores N nos tecidos e ser de fácil decomposição (KANG *et al.*, 1990). Também é desejável que as espécies sejam tolerantes a condições adversas do solo, principalmente, baixa fertilidade e acidez (SZOTT *et al.*, 1991; DANSO *et al.*, 1992).

Importante benefício desse agroecossistema é o maior controle de ervas daninhas, por meio da cobertura morta proveniente da podagem. Isto se deve à inibição física da entrada de sementes até o solo, de plântulas de ervas daninhas sem luz suficiente, à redução da exposição ao sol de algumas espécies gramíneas de ervas daninhas C₄ e ao fato de algumas leguminosas produzirem metabólitos secundários, que exercem efeitos alelopáticos, inibindo a germinação de sementes ou afetando o crescimento das plântulas indesejadas (JOSE & GILLESPIE, 1998). Na competição por luz e nutrientes, muitas espécies de adubo verde podem ter efeitos alelopáticos nas plantas concorrentes de outras espécies (RESENDE *et al.*, 2003).

De acordo com Saminêz *et al.* (2003), nos agroecossistemas a preservação dos nutrientes nos solos dependerá diretamente do manejo e biomassa vegetal. A capacidade de reserva de nutrientes dos solos, retenção de nutrientes no complexo coloidal e matéria orgânica, será maior quanto maior a presença de argilas do tipo 2:1 e teor de matéria orgânica. Para os solos mais intemperizados, pobres em argilas 2:1 e matéria orgânica como os de cerrado, maior é a importância do fluxo orgânico de nutrientes.

O sistema de cultivo em aléias é uma alternativa para as práticas tradicionais extensivas e a agricultura intensiva, permitindo obter maiores colheitas, além de intensificar o uso da terra pela recuperação da fertilidade dos solos degradados. Para Neupane & Thapa (2001) sistemas agroflorestais são práticas sustentáveis de produção agrícola porque, além de serem capazes de fornecer alimentos, madeira para construção e combustível, são capazes de incrementar a produtividade da terra e melhorar as condições econômicas dos agricultores, através da exploração de espécies arbóreas de múltiplas funções, sem grandes mudanças nas práticas agrícolas existentes.

2.3. A ciclagem de nutrientes em sistema de cultivo em aléias

Os nutrientes, essenciais para o crescimento das plantas e animais, se movimentam através dos solos, das plantas, dos animais e dos resíduos de origem vegetal e animal. Essa seqüência de transferências, através de uma série de compartimentos, representa a forma mais simples de reciclagem de nutrientes. Na prática, embora existam diversos sistemas naturais conhecidos pelo homem, há muito mais compartimentos e transferências envolvidos na reciclagem que os indicados num sistema simplificado (SPAIN & SALINA, 1985) citados por Borkert *et al* (2003). Na reciclagem de nutrientes, muitos ciclos são policíclicos, o que significa que um elemento pode se reciclar mediante vários processos, dentro de um compartimento (solo) antes ser transferido ao próximo compartimento (planta). O tempo para que o nutriente complete um ciclo varia de minutos, em transferências que envolvem microrganismos, meses, para absorção e crescimento das plantas em cultivos anuais, anos, para o consumo e crescimento de animais, e até milhares de milhões de anos, para transferências que envolvem ambiente físico, atmosfera, terra, mar e formação de rochas (NEWBOULD, 1978).

A mineralização dos restos de culturas de cobertura, considerando somente os compartimentos planta e solo, é um sistema aberto com a entrada de nutrientes via adubos e restos vegetais, que mineralizam em diferentes velocidades, sem considerar outras entradas, como, por exemplo, água da chuva. As saídas ocorrem pelas perdas por volatilização, lixiviação, percolação e escoamento por erosão laminar. No caso do N, que é um elemento muito móvel no sistema, e, mesmo com as perdas citadas, estima-se que 60% a 70% desse nutriente encontrado na biomassa vegetal heterotrófica é reciclado e novamente absorvido pelas plantas do cultivo seguinte (SPAIN & SALINA, 1985). A quantidade de N que retorna ao solo na forma de resíduos de plantas constitui considerável porção do N total absorvido pelas plantas (WHITNEY & KANEHIRO, 1967), comparada à pequena parte do que é liberado pelas raízes e do que é lavado das folhas pela chuva.

Os nutrientes que são liberados na mineralização dos resíduos tornam-se disponíveis para a imediata absorção pelas plantas. Ao mesmo tempo, eles são carreados em forma móveis na solução do solo, podendo ser lixiviados através da água de chuva, antes que a cultura alcance a fase de maior demanda de nutrientes. Uma sincronia nutricional se baseia na hipótese de que a liberação dos nutrientes procedente da biomassa vegetal aportada pode fazer-se coincidir com a demanda de crescimento das plantas, reduzindo as perdas e aumentando a absorção pelas plantas (MYERS *et al.* 1997) citado por Aguiar (2001).

No sistema de cultivo em aléias ou “alley cropping” os resíduos de raízes, nódulos e exsudados radiculares das leguminosas fluem continuamente para o solo. Alguns autores confirmam que essa adição é insignificante, como no caso da *Leucaena* onde 0,51 t. ha⁻¹ forneceu 7 kg de N. ha⁻¹ e 0,2 kg de P. ha⁻¹ (MULTHIAH *et al.*, 1996), comparado aos ramos que são sazonalmente adicionados.

As raízes fazem parte de uma larga porção da biomassa da planta, entretanto, a quantificação da biomassa das raízes das árvores é dificultada, devido sua localização, o que também dificulta a quantificação da contribuição das raízes para a matéria orgânica do solo e para o suprimento de nutrientes. De acordo com Armson (1977), raízes de árvores podem corresponder de 20 a 25% da biomassa total da planta. Nair (1993) reporta o baixo número de 15% para algumas árvores crescendo em zonas de florestas e cerca de 50% para aquelas que crescem no semi-árido e zonas áridas. Nye (1961) estima que em uma única floresta tropical a contribuição líquida anual de raízes mortas para o solo corresponde a cerca de 2.600 kg.ha⁻¹. Huxley (1989) mencionou que a quantidade de C orgânico que retorna ao solo por árvores através da decomposição de raízes finas pode potencialmente ser tão alta quanto a quantidade aportada via liteira (folhas).

Em sistemas agrícolas de baixo "input", onde os resíduos da parte aérea das plantas são removidos para uso como forragem ou combustível (lenha), os resíduos das raízes das plantas podem servir como principal fonte de matéria orgânica do solo e nutrientes. As raízes têm grande quantidade de estoque de nutrientes, estando cerca de 64% do N da biomassa das plantas contidas nas raízes, em Floresta Amazônica na Venezuela (SPRENT,1987).

Sanginga *et al.* (1990) reportam que 24 semanas, após o plantio, raízes de *Leucaena leucocephala* contribuíram com 24% do peso seco da planta e 75% do N total da planta. Smucker *et al.* (1995) estimaram que o “turnover” das raízes do milho cultivado em aléias com *Leucaena leucocephala*, contribui com 102 kg N ha⁻¹ para o solo durante o ciclo da cultura.

Apesar da importância da contribuição de nutrientes do “turnover” das raízes nos sistemas de produção agrícola, poucas informações estão disponíveis sobre os fatores que afetam a disponibilidade de N das raízes de espécies arbóreas.

A decomposição e liberação de nitrogênio pelos resíduos orgânicos depende da quantidade do resíduo orgânico, das características do solo e dos fatores ambientais (YADVINDER-SINGH *et al.*, 1992).

A biomassa do solo e resíduos orgânicos constituem a principal fonte de nutrientes para as plantas. Durante a decomposição e a mineralização a fauna do solo intervém no

processo com uma quebra mecânica dos resíduos em frações solúveis e íons que poderão ser lixiviados, reciclados pela biota do solo, retidos na matriz do solo, absorvidos por raízes de plantas ou perdidos pela erosão (SANGINGA *et al.*, 1988).

Vários trabalhos sobre decomposição de resíduos orgânicos demonstram a importância do teor de N, da relação C/N, como determinante da capacidade de suprimento de nutrientes pelos resíduos orgânicos (SWIFT & PALM 1995; Xu *et al.*, 1993a).

O equilíbrio entre as taxas de mineralização e imobilização pode ser bastante complexo. Este equilíbrio depende bastante da quantidade de carbono no resíduo e da relação entre carbono e nitrogênio, fósforo e enxofre. Entre essas, a que é mais utilizada é a relação C/N. Quando o resíduo é adicionado ao solo, o aumento da população microbiana é estimulado pelo aporte de energia e nutrientes que o resíduo representa. Com este aumento da população microbiana, a demanda por oxigênio, nutrientes, energia e carbono aumenta. Os tecidos microbianos possuem, em média, uma concentração de 5% de N, o que resulta em uma relação C/N entre 20 e 30. Isto significa que os resíduos que possuem uma relação C/N entre 20 e 30, fornecerão o nitrogênio necessário para reprodução microbiana, não havendo imobilização e nem mineralização significativa no início do processo. Se a relação C/N for maior, significa que os microorganismos buscarão outras fontes de N para satisfazer a demanda, consumindo formas de nitrogênio que estão disponíveis para a planta, o que resulta em uma imobilização líquida e pode causar uma deficiência temporária de nitrogênio para as plantas. Se a relação C/N for menor, haverá um excesso de N no resíduo, que será mineralizado pelos microorganismos, permanecendo disponíveis para as plantas já no primeiro momento. (SANTOS; CAMARGO, 1999).

A presença de raízes mortas ou vivas é um fator biológico que aumenta a velocidade de mineralização dos resíduos orgânicos (SINGH & SHEKHAR 1989). Elevadas temperaturas aumentam o grau de decomposição dos resíduos orgânicos, pois os microrganismos se desenvolvem bem nesse tipo de ambiente. O processo de decomposição do azevém, por exemplo, ocorreu quatro vezes mais rápido na Nigéria do que em climas frios da Inglaterra. Os efeitos da combinação entre temperatura elevada e umidade são mais significativos do que a atuação isolada da temperatura, pois condições de elevada temperatura e ótima umidade promovem o crescimento microbiano, favorecendo a decomposição (YADVINDER-SINGH *et al.*, 1992).

2.4. Adição de nutrientes no solo a partir da biomassa de leguminosas

A adição de ramos podados de leguminosas arbóreas ao solo vai assegurar, após a decomposição, o fornecimento de nutrientes à cultura associada, cujo quantitativo pode variar em função de diversos fatores. Para Blair *et al.* (1990) a decomposição da liteira é fortemente influenciada por qualidade de recursos, variações de macro e microclima, e atividade biológica. Destes, a qualidade de recursos pode ser o fator mais importante, pois tem interferência na fauna do solo.

Segundo Torres *et al.* (2002), quando os resíduos vegetais apresentam alta concentração de lignina e polifenóis, a taxa de mineralização é baixa. De acordo com Palm *et al.* (2001), a concentração de nitrogênio na biomassa de leguminosas varia de 2,5 a 4,5%. Em espécies não leguminosas, a concentração média deste elemento apresenta uma variação de 0,8 a 1,5%, dependendo da parte da planta.

Segundo Myers *et al.* (1994), materiais orgânicos com teor de N menor que 2% e relação C/N superior a 25 conduzem, inicialmente, à imobilização de nutrientes, (resíduo de baixa qualidade), enquanto que aqueles resíduos com teores de N superiores a 2% e relação C/N inferiores a 25, conduzem à mineralização de nutrientes (resíduos de alta qualidade).

Aproximadamente, 60% do N acumulado na parte aérea das leguminosas são liberados dos resíduos culturais, durante os primeiros 30 dias após o manejo das espécies. A melhoria do balanço de N no solo por meio da introdução de leguminosa é particularmente importante em solos pobres de matéria orgânica, onde a disponibilidade de N constitui fator limitante a produção (AITA *et al.*, 2001).

Bulhão & Figueiredo (2002), estudando uma área de cerrado no nordeste do Maranhão, observaram que as leguminosas arbóreas, quanto à renovação das folhas, exibem um padrão semidecíduo e sazonal na região de estudo. Na maioria das espécies, a interrupção da produção de novas folhas tem início ainda na estação chuvosa, nos meses de abril e maio. A abscisão, que na maioria das espécies coincide com os primeiros meses de seca em julho, atinge um máximo no meio da estação nos meses de agosto, setembro e outubro. Em geral, a rebrota e expansão inicial das folhas ocorre ainda nesta estação, entre os meses de outubro e novembro, antes das primeiras chuvas.

Segundo Ferraz Jr. (2000), as quantidades de nutrientes presentes nos ramos das leguminosas arbóreas ou arbustivas nesse sistema de cultivo variam em função de diferentes fatores dentre os quais pode-se destacar: a espécie de leguminosa, o tipo de solo, a intensidade de corte dos ramos e adubações.

Segundo Osterroht (2001), citado por Silva 2004, no trópico úmido, a dinâmica da matéria orgânica é bastante complexa devido à intensa atividade microbiana e presença, quase constante, de temperatura e umidade favoráveis. Esta dinâmica está relacionada também com outros fatores que podem favorecer ou prejudicar a atuação dos microorganismos como, por exemplo: disponibilidade de macro e micronutrientes, mobilização de fósforo, formação de agregados, retenção de água, poder tampão e imobilização/ retenção de alumínio.

Os tecidos vegetais incorporados ao solo se diferenciam bastante quanto à suscetibilidade à decomposição. Os microorganismos do solo decompõem estes materiais para obtenção de energia e nutrientes. Em geral, os teores de carbono no tecido vegetal são da ordem de 40 – 45%. A matéria orgânica não humificada é constituída pelos compostos produzidos durante a decomposição dos tecidos orgânicos incorporados ao solo. Apesar de existirem muitos compostos (tecidos orgânicos de origem vegetal e animal), apenas alguns tipos principais são detectados no solo em quantidades apreciáveis (carboidratos – 30 a 75%, celulose – 20 a 50%, hemicelulose – 10 a 30%, substâncias pécnicas – 1 a 10%, açúcares – 1 a 5%, lignina – 10 a 30%, compostos nitrogenados, fosfatados e sulfatados – 1 a 15%). Já as substâncias humificadas podem ser divididas em ácido flúvico, ácidos húmicos e huminas. São substâncias amorfas, coloidais, de coloração variando do amarelo ao marrom escuro e com variada massa molar. Embora possam possuir alguns açúcares e proteínas em sua estrutura, estas substâncias são bastante estáveis e resistentes ao ataque dos microorganismos do solo. As substâncias húmicas são um componente essencial nos solos, apesar de geralmente estarem em quantidades muito menores que os colóides minerais (minerais de argila ou argilominerais) do solo. Estas substâncias podem afetar o desenvolvimento das plantas, direta ou indiretamente. Diretamente, podem melhorar a germinação, o crescimento, respiração e absorção das raízes, e, indiretamente, podem melhorar o ambiente, através da melhoria na estrutura do solo, capacidade de retenção de água e de troca de cátions (CTC). A velocidade com que estas substâncias são decompostas pelos microorganismos do solo depende de sua composição e das condições do ambiente. Materiais com altos teores de substâncias solúveis e simples são mais rápida e facilmente decompostas do que aquelas com grandes quantidades de lignina (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Alguns dados de biomassa e nutrientes adicionados pelos ramos de leguminosas, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Biomassa e nutrientes adicionados com os ramos das leguminosas *Acacia mangium*, *Cajanus cajan*, *Clitoria fairchildiana* e *Leucaena leucocephala* (adaptada de Ferraz Jr. 2004).

Espécie	Massa seca (t/ha)	-----Kg.ha ⁻¹ -----					Referência
		N	P	K	Ca	Mg	
<i>Cajanus cajan</i>	8	209,7	15	55	88	19	Moreira et al., 2003
<i>Cajanus cajan</i>	6,84*	143,6	29, 9	131, 3	54,7	20, 5	SILVA et al., 2002
<i>Cajanus cajan</i>	1,4	31,2	2,0	18,7	8,7	3,2	Schroth et al., 1993
<i>L. leucocephala</i>	5	177	5	139	79	20	Tian et al., 1992
<i>L. leucocephala</i>	5	247	19	185	98	16	Kang et al., 1990
<i>L. leucocephala</i>	2,56	111	4,9	44	47	15	Lupwai et al., 1999
<i>L. leucocephala</i>		295	17	201			Osonubi et al., 1995
<i>L. leucocephala</i>	2,40	59,7	5,6	60	61	13, 4	Shepherd et al., 1997
<i>L. leucocephala</i>	4,46	62,5	2,9	34,7	10,9	8,6	Mafra et al., 1998
<i>L. leucocephala</i>	5,26**	289	16	159	37	30	Leite, 2002
<i>Clitoria fairchildiana</i>	8,06**	328	20	264	74	34	Leite, 2002
<i>Acacia mangium (RJ)</i>	9	134	2,3	21	60	12	Costa et al., 2004
<i>Acacia mangium (área degradada) PA</i>	7,8	94	1,3	5	29	5	Dias et al., 1994

*média de 4 anos; **média de 6 anos; RJ – Rio de Janeiro; PA – Pará.

2.5. Características desejadas nas espécies leguminosas para produção de biomassa

O plantio de leguminosas arbóreas tem por objetivo melhorar os acúmulos de biomassa e nutrientes. A introdução destas plantas feita durante a fase agrícola dá melhores condições para seu desenvolvimento até o momento de início do pousio. No final do pousio, quando a área enriquecida vai ser preparada para o novo ciclo agrícola, a biomassa acumulada deve ser podada e espalhada como cobertura morta sobre o solo para que, finalmente, após decomposição, libere nutrientes para o cultivo seguinte. A repetição desse procedimento de enriquecimento, ao longo dos anos, vai melhorar a incorporação da matéria orgânica ao solo e, conseqüentemente, as suas propriedades químicas (BRIENZA, 2003).

As características desejáveis na escolha de leguminosas arbóreas com função de acúmulo de biomassa, segundo Brienza (2003), podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2. Atributos de leguminosas arbóreas desejáveis para acúmulo de biomassa (Brienza, 2003).

Parâmetros	Atributos
Sementes	Grande disponibilidade de sementes e facilidade de acesso para coleta. Isso facilitará a disseminação de espécies para um grande número de usuários.
Germinação	Sementes sem dormência devem ser preferidas para facilitar a produção de mudas.
Copa	Espécies de copa leve devem ser indicadas para que chegue suficiente luz às culturas, permitindo o seu melhor desenvolvimento.
Florescimento	O florescimento durante o período de pousio, e especialmente na época seca, pode tradicionalmente contribuir para o fornecimento de alimento para abelhas, contribuindo para o a produção de mel, quando for o caso.
Folhas	Espécies com folhas de baixa relação C/N devem ser preferidas devido à facilidade de decomposição das folhas e otimização da entrada de nutrientes no sistema.
Tronco	Dominância apical não é o atributo necessário devido ao objetivo principal ser produção de biomassa, entretanto, troncos retos podem permitir outros usos como estacas (para maracujá, por exemplo). A utilização do toco para a lenha e carvão também deve ser considerada como vantajosa.
Raízes	Espécies com sistema radicular profundo podem melhorar a relação solo-nutriente e exploração de água no solo, além de poder representar também fixação de carbono no solo.
Pragas e doenças	Posteriormente com ambiente mais diversificado, é adequado que as árvores possuam resistência às pragas e doenças.
Crescimento	As espécies de crescimento inicial rápido devem ser selecionadas, entretanto, é desejável que haja um sincronismo de crescimento entre as árvores e as culturas para minimizar o efeito negativo no desenvolvimento destas.
Nutrientes e consumo de água	Baixa demanda por nutrientes e tolerância a estresse hídrico são importantes características desejáveis. Muitos solos onde a agricultura familiar é praticada são de baixa fertilidade e assim, as espécies desejáveis devem ser tolerantes a esses dois fatores.
Fixação de Nitrogênio	A fixação de nitrogênio é um importante atributo devido à sua necessidade pelas culturas agrícolas que serão plantadas após o término do período de enriquecimento.
Acúmulo de Fósforo	O fósforo (P) é o nutriente que mais limita a produtividade das culturas na Amazônia. O acúmulo de P nas folhas das árvores que serão usadas pode minimizar a necessidade de adubação com esse nutriente nos cultivos agrícolas subsequentes.
Rebrotação	Toco: esse atributo é desejável, pois pode eliminar necessidade da espécie a ser plantada para enriquecimento a cada ciclo agrícola, minimizando custos de plantio. Raiz: no caso do crescimento aéreo ser suprimido durante a fase agrícola, é desejável que o sistema radicular mantenha-se eficiente para garantir um novo ciclo de regeneração.
Competição	Baixa competição para não causar impactos durante a fase de consórcio com a cultura agrícola alimentar (por exemplo, mandioca) é um fator essencial para garantir o sucesso do enriquecimento.

2.6. A decomposição da serapilheira e a mineralização dos nutrientes

Em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados, a matéria orgânica tem grande importância para o fornecimento de nutrientes às culturas, a retenção de cátions, a complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, a estabilidade da estrutura, a infiltração e retenção de água, a aeração e a atividade microbiana, constituindo-se assim, um componente fundamental da sua capacidade produtiva (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

Para Moura (1995) o aporte de matéria orgânica, proporciona melhoria da estrutura e porosidade do solo o que favorece a disponibilidade de água e O₂ sendo, esta última, de grande importância em solos suscetíveis ao encrostamento, submetidos a chuvas torrenciais, o que é comum nos trópicos. De acordo com Ferraz Jr. (2004), a introdução de leguminosas arbóreas em campos agrícolas também assegura diversos benefícios para a cultura associada, pois há o tamponamento das temperaturas do solo, o que favorece os processos de liberação de nutrientes e absorção pelas plantas; há proteção do solo contra a erosão eólica e superficial, principalmente em áreas declivosas; há o aumento de diversidade de espécies o que pode reduzir a ocorrência de pragas e doenças, além do controle de ervas daninhas devido à presença da copa das árvores e da cobertura morta adicionada ao solo.

Muitos elementos essenciais são aproveitados pelas plantas através da decomposição da matéria orgânica e subsequente mineralização que é a liberação do nutriente na forma mineral. A mineralização é definida como a transformação do nitrogênio de origem orgânica em formas inorgânicas, como NH₄⁺ ou NH₃ (amonificação). O processo é conduzido por organismos heterotróficos do solo que utilizam substâncias orgânicas nitrogenadas como fonte de C, N e energia. A imobilização é definida como a transformação do N inorgânico (NH₄⁺, NH₃, NO₃, NO₂) para formas inorgânicas microbianas. A microbiota assimila os compostos inorgânicos nitrogenados, incorporando-os nos aminoácidos que irão participar da síntese de proteínas de suas células durante a formação da biomassa no solo (CAMARGO *et al.*, 2008)

Prescott (2005b) apresenta um modelo geral de processos de decomposição de liteira para húmus, em duas fases. Durante o estágio breve, há perda rápida de componentes solúveis em água e perda rápida de celulose da liteira. Durante esta fase, o carbono é relativamente aproveitado e os nutrientes são limitados. O estágio tardio de decomposição, é considerado húmus e é diferenciado por um conteúdo estabilizado e declínio lento de todos

os componentes. Este estágio de declínio é caracterizado por perda líquida de minerais e mineralização líquida de N.

Segundo Haynes (1986), resíduos com baixa relação C/N (< 25) e reduzidos teores de lignina e polifenóis apresentam rápida mineralização e fornecem grandes quantidades de nutrientes para as culturas subseqüentes. Já os resíduos com elevada relação C/N (> 25) e altos teores de lignina e polifenóis sofrem uma decomposição mais lenta, podendo formar uma cobertura morta estável que contribua para a melhoria das características físicas do solo, tais como a estrutura, a infiltração de água, dentre outros.

A maior parte do N total contido no solo está associado à matéria orgânica, justificando suas concentrações maiores no horizonte A₁, onde ocorre a deposição de material orgânico proveniente da floresta, e pouca quantidade desse elemento é translocada ao horizonte iluvial. A floresta alta apresenta uma concentração de N duas vezes mais elevada que a floresta baixa no horizonte A₁ do solo, devido, em parte, a maior deposição de serapilheira e N nesse material, com teores médios nas folhas de 11,6 g / kg, na floresta alta, e de 7,3 g / kg na floresta baixa (BRITTEZ, 1994).

Xavier *et al.*, (2003) estudando o efeito da adubação verde com leguminosas na decomposição da palhada de cana-de-açúcar, concluíram que esta prática proporcionou uma mais rápida decomposição dos restos culturais da cana, acelerando a mineralização do cálcio, nitrogênio e fósforo, dos resíduos, não afetando de forma significativa os níveis de potássio e de magnésio.

A decomposição do material vegetal adicionado ao solo é um processo biológico que se encontra relacionado com diversos fatores como composição química dos resíduos vegetais, temperatura, umidade, pH e teor de nutrientes do solo (LYNCH, 1996).

O fator clima tem forte influencia na decomposição, pois a velocidade da decomposição dos resíduos orgânicos e a mineralização de nutrientes aumentam com a temperatura e diminuem com a redução de temperatura (YANG, 1996). A temperatura exerce influência direta nos processos metabólicos das plantas, encontrando-se relacionada com a latitude e a altitude de cada região e, juntamente com a distribuição anual de chuvas, exerce uma forte influência no estabelecimento e desenvolvimento das plantas (ESPÍNDOLA *et al.*, 1997).

A atividade biológica reveste-se de grande importância, pois os organismos vivos do solo atuam diretamente na decomposição dos resíduos orgânicos. Segundo Kang & Ojo (1996), dependendo da espécie de leguminosa empregada, a atividade da fauna do solo pode variar e os excrementos desses organismos funcionarem como fertilizantes de liberação lenta.

Enquanto o sistema radicular está em crescimento, a matéria orgânica oriunda da decomposição do tecido radicular, raízes não-decompostas e micélios fúngicos também atuam na formação e estabilização, principalmente dos macroagregados. O material orgânico depositado continuamente serve como fonte de energia para os organismos do solo, cujos subprodutos, constituídos de moléculas orgânicas em diversas fases de decomposição, atuam como agentes de estabilização de agregados pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície e inorgânica por meio de cátions polivalentes, segundo Castro Filho *et al.* (1998) citados por Perin *et al.*, (2002).

A matéria orgânica funciona como um condicionador de solo, agregando partículas minerais e conferindo ao solo condições favoráveis de porosidade e friabilidade. Além disso aumenta a retenção de água no solo e é responsável, em grande parte, pela capacidade de troca de cátions (CTC) no solo. Uma das características mais importante dos solos é a CTC através da existência de cargas negativas (partículas de argila) e positivas (cátions cálcio, magnésio, potássio, sódio e amônio). A matéria orgânica tem carga negativa, para atrair cátions, de carga positiva, mas, as partículas de areia e silte não apresentam cargas (GAMA, 2004).

É importante destacar que a adição de matéria orgânica, visando a melhoria do solo, deve ser preferencialmente feita na parte superficial para que ocorra uma decomposição aeróbia. A prática de podar periodicamente as leguminosas consiste na adição de biomassa para as culturas que facilita a transferência de nutrientes e minimiza a competição entre leguminosa e cultura anual por luz, água e nutrientes (BRITO, D. R. *et al.* 2001).

A partir da decomposição dos resíduos vegetais pode ocorrer uma diminuição na acidez do solo, isto porque durante a decomposição dos resíduos, são produzidos ácidos orgânicos capazes de complexar íons Al^{3+} presentes na solução do solo, reduzindo desta forma, o alumínio tóxico do solo (LIU & HUE, 1996).

A decomposição da biomassa é de grande importância na ciclagem de energia e nutrientes. Nos trópicos, em especial nos trópicos úmidos, o padrão de ciclagem de nutrientes é diferente do padrão da zona temperada setentrional, sob vários aspectos. Nas regiões frias, uma grande parcela da matéria orgânica e dos nutrientes disponíveis permanece o tempo todo no solo ou no sedimento. Nos trópicos, uma porcentagem muito maior está na biomassa, sendo reciclada dentro da estrutura orgânica do sistema, com o auxílio de várias adaptações biológicas que conservam nutrientes, inclusive simbiose mutualística entre microorganismos e plantas. Ao remover-se esta estrutura biótica evoluída e bem organizada, os nutrientes perdem-se rapidamente por lixiviação sob condições de altas temperaturas e chuvas intensas,

principalmente em locais que, em princípio, são pobres em nutrientes. Por esta razão, as estratégias agrícolas das zonas temperadas que envolvem a monocultura de plantas anuais de vida curta, são totalmente inapropriadas para as regiões tropicais. É urgente uma reavaliação ecológica da agricultura tropical em particular e do gerenciamento ambiental em geral, se quisermos corrigir os erros passados e evitar desastres ecológicos no futuro (ODUM, 1988).

2.7. Sincronismo

A adição de nutrientes ao solo, através da biomassa de leguminosas, deve ocorrer em sincronismo com as necessidades das culturas de modo a haver absorção dos nutrientes pelas culturas associadas de forma bastante eficiente. Na seleção de leguminosas arbóreas para emprego no sistema em aléias, deve ser observado, dentre outros aspectos, um ajuste na relação raiz/parte aérea da leguminosa e época de plantio. A ocorrência do sincronismo depende, além dos fatores climáticos e edáficos, da qualidade dos ramos adicionados, que varia entre espécies de leguminosas. Dentre os parâmetros de qualidade, destacam-se a relação C/N e os teores de lignina e polifenóis. (FERRAZ, Jr. *et al.* 1997).

Segundo Aita *et al.* (2001), o fato do N das leguminosas ser rapidamente liberado após o seu manejo poderá ter conseqüências importantes do ponto de vista de fornecimento de N à cultura de sucessão, já que o N liberado poderá ser perdido no solo principalmente por lixiviação de nitrato, se ocorrerem chuvas intensas e não houver uma cultura capaz de absorver o N liberado. Assim, para maximizar o aproveitamento deste N, deve-se efetuar o plantio da cultura comercial logo após o manejo das leguminosas de inverno, conforme recomenda Heinziman (1985), ou deve-se promover a seleção de plantas de cobertura cuja taxa de mineralização do N dos resíduos culturais ocorra com maior sincronia possível em relação à demanda de N da cultura de sucessão.

Uma fração significativa do N proveniente de adubos verdes e minerais não é aproveitada pelas plantas, podendo permanecer no solo e ser utilizada por cultivos posteriores, ou, ser perdida no sistema solo-planta. A determinação da dinâmica do N incorporado ao sistema, bem como sua mensuração, são fundamentais ao estabelecimento de práticas de manejo que permitam maximizar a eficiência de uso de adubos verdes e minerais como fonte de N para as culturas, contribuindo para sustentabilidade do sistema produtivo (SCIVITTARO *et al.*, 2003).

A época de corte das leguminosas também influencia a decomposição dos resíduos adicionados ao solo. Por ocasião da floração, essas plantas apresentam a máxima acumulação de N nos tecidos. À medida que vão sendo formados flores e frutos, ocorre um aumento da

relação C/N. Desta forma, é recomendável fazer o corte das leguminosas durante a floração quando o objetivo é fornecer nutrientes para outras culturas. Por outro lado, quando essas plantas são cortadas após a produção de sementes elas podem contribuir para a melhoria das características do solo. Através do contínuo suprimento de material orgânico ao solo, torna-se possível garantir a manutenção e/ou recuperação de sua fertilidade. Assim, os resíduos dos adubos verdes proporcionam importantes contribuições quando adicionados ao solo (ESPÍNDOLA *et al.*, 1997).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do Experimento

A área onde foi realizado o experimento está situada no Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís, MA. As coordenadas geográficas do local apresentam 2° 35' de Latitude Sul e 44° 12' de Longitude Oeste do meridiano de Greenwich. A vegetação potencial é a floresta ombrófila densa e o clima da região na classificação de Köppen é do tipo AW', equatorial quente e úmido. Apresenta duas estações bem características: a primeira, que se estende de janeiro a junho é bastante chuvosa e a segunda que é uma estação seca, com déficit hídrico acentuado e se estende de julho a dezembro. As precipitações pluviométricas apresentam variações de 1700 a 2300 mm anuais, dos quais mais de 80% ocorrem nos meses de janeiro a maio.

A temperatura média situa-se em torno de 26,7°C (NEMRH, 2000). Os dados climáticos do ano de realização de estudo (2006) foram fornecidos pelo Laboratório de Meteorologia da Universidade Estadual do Maranhão, situado no município de São Luís – MA e foram obtidos da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) meteorológica também instalada na cidade de São Luis - MA (2° 35' S; 44° 12' W com 62 m de altitude).

A precipitação pluviométrica, durante o ano de realização do estudo, foi de 1.789 mm; sendo observada, no mês de abril, a maior precipitação, correspondendo a 529,75 mm, muito superior aos demais meses. As temperaturas foram mais baixas nos meses de janeiro a junho e elevaram-se progressivamente, a partir do mês de julho, até atingir o valor máximo no mês de novembro (Fig. 1).

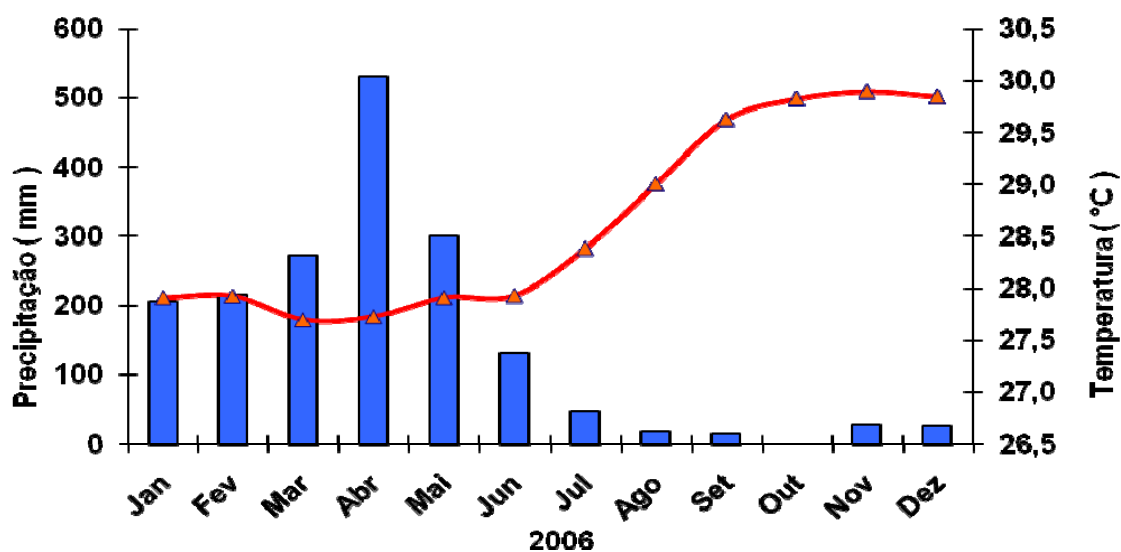


Figura 1 – Dados climáticos mensais de São Luís – MA, Brasil, no ano de 2006. Temperatura média (—▲—); precipitação (■).

A umidade relativa do ar, no ano do estudo, foi maior nos meses de março, abril e maio, enquanto que a radiação solar foi mais baixa no mês de abril e mais alta no mês de outubro (Fig. 2)

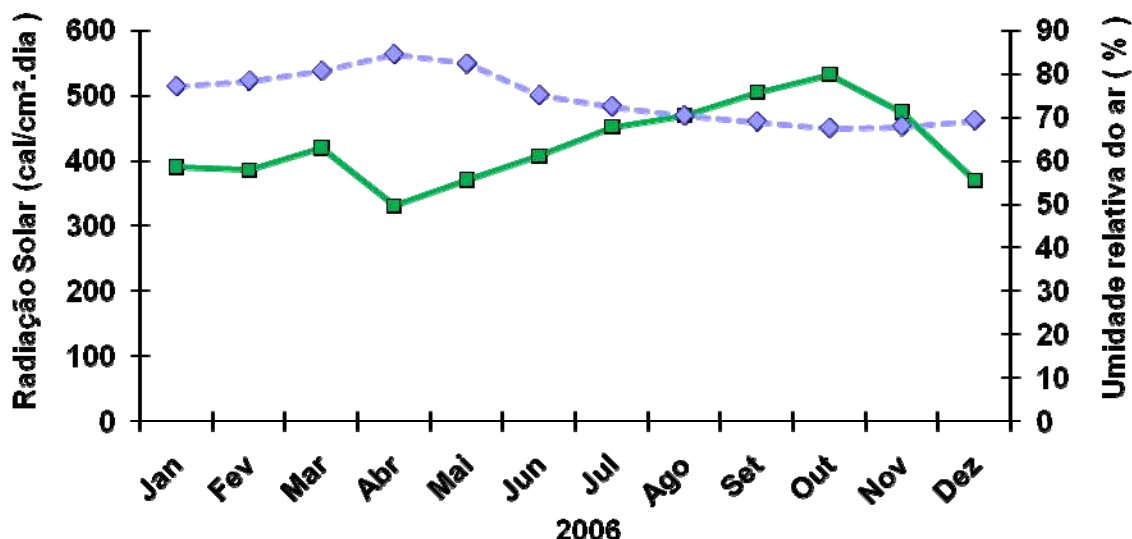


Figura 2 – Dados climáticos mensais de São Luís – MA, Brasil, no ano de 2006. Umidade relativa do ar (-- ♦ --) e radiação solar (-■-).

3.2. Aspectos Químicos e Físicos do Solo

O solo do local onde foi instalado o experimento é classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico, (EMBRAPA, 2006), oriundo de arenito da Formação Itapecuru, ácido e baixa fertilidade. É caracterizado por ser formado por areia fina e silte, com baixa capacidade de retenção de cátions, de estrutura frágil e drenagem interna dificultada pela presença, quase constante, de camadas subjacentes de baixa condutividade hidráulica. Esta formação reveste-se de grande interesse nos aspectos social e econômico, por ocupar quase a metade do território maranhense. A constituição primordial é de arenitos finos argilosos ou muito argilosos ricos em argila do grupo das caulinitas, às vezes intercalados por folhelhos (MOURA, 2004).

3.3. Instalação do Experimento e coleta de dados

O experimento foi realizado no local onde espécies leguminosas foram estabelecidas em linhas duplas alternadas. O tamanho das parcelas é de 21m x 4m com espaçamento de 0,5m entre linhas simples e 6m entre linhas duplas de leguminosas, sendo constituído de 4 blocos casualizados com 6 tratamentos (Sombreiro + Guandu, Leucena + Guandu, Acácia + Guandu, Sombreiro + Leucena, Leucena + Acácia e testemunha - sem leguminosa) (Fig. 3).

Estes tratamentos envolvem diferentes combinações entre as 4 leguminosas avaliadas. Os materiais coletados foram distribuídos nas áreas correspondentes, apresentando as mesmas combinações das leguminosas estabelecidas na área.

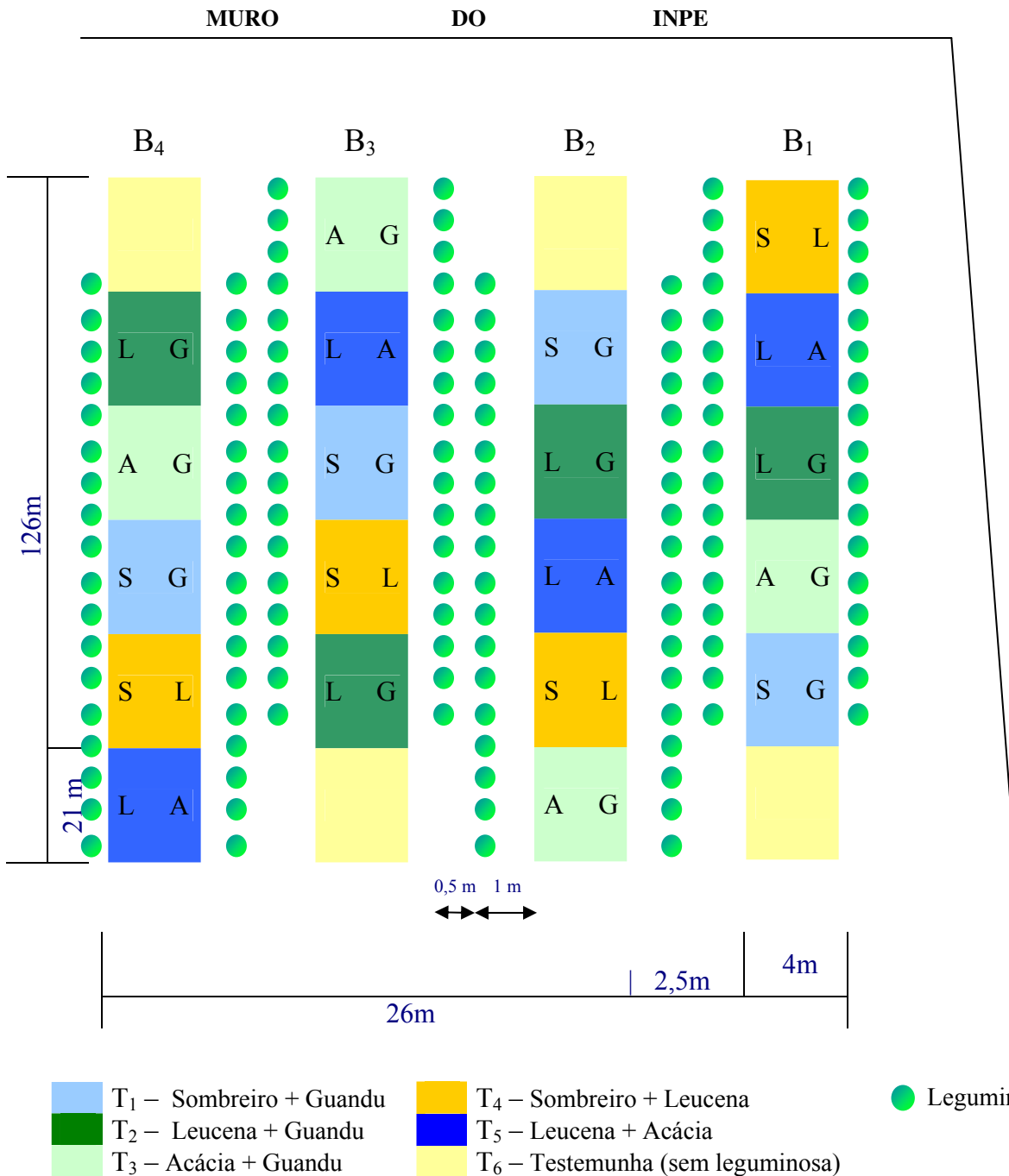


Figura 3 – Delineamento experimental da área estudada.

Para avaliar os tratamentos das diferentes combinações entre as leguminosas arbóreas existentes no local, foi empregado o método “litter bags”, que utiliza bolsas feitas com telas de “nylon” com aberturas e dimensões variadas no interior das quais, é colocado material para decomposição. Neste experimento foram empregadas, nas 20 parcelas, 80 “litter bags” com

abertura de 1,0 x 1,0 mm e dimensões de 20 x 20 cm (Fig. 4). Todas as sacolas foram colocadas no respectivo tratamento ao acaso sobre a superfície do solo no mesmo dia em que os ramos foram podados.

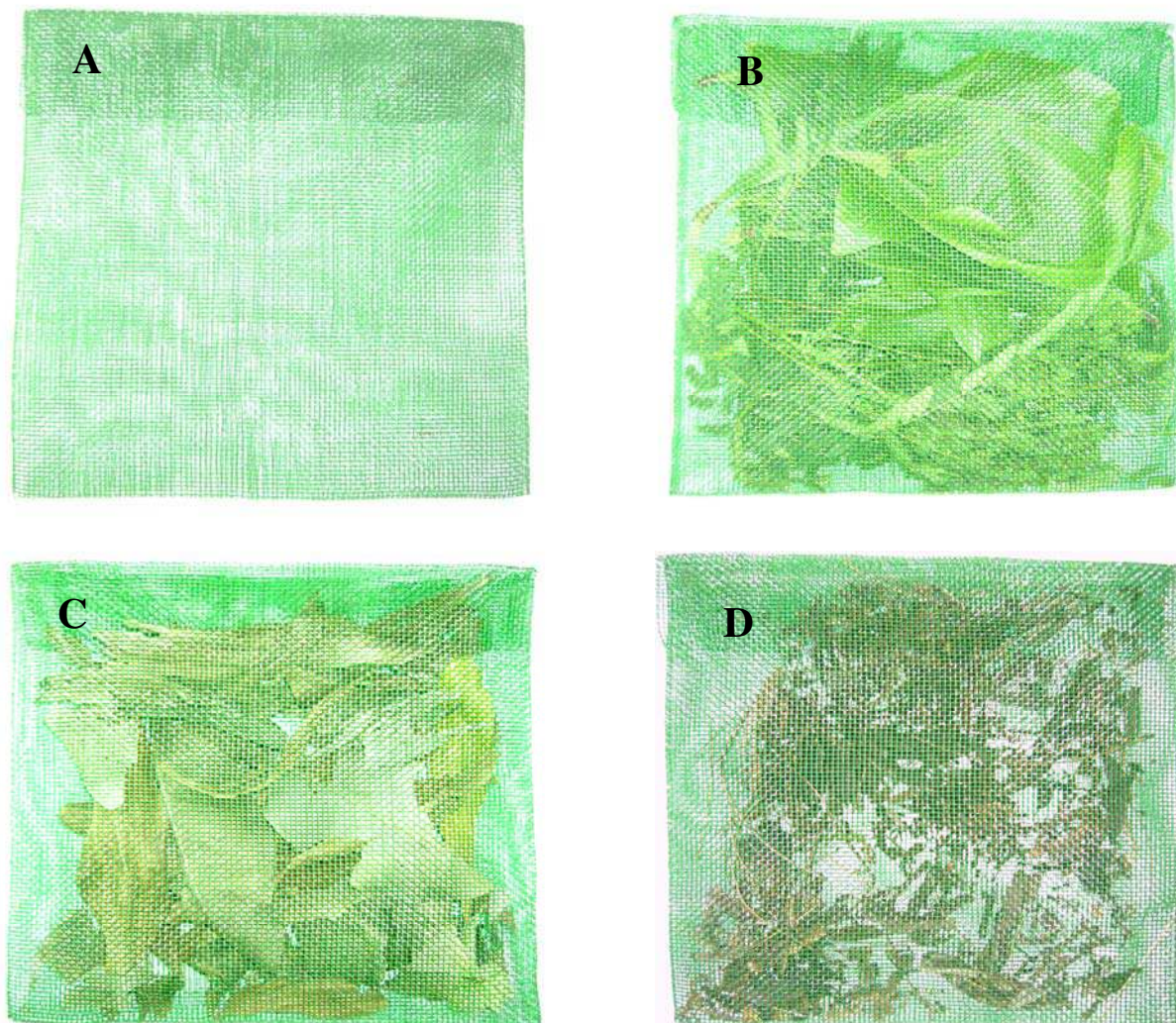


Figura 4 – Litter bags: A – vazia; B – *Acacia mangium* e *Leucaena leucocephala* no “tempo zero”; C – *A. mangium* e *Clitoria fairchildiana* em estágio inicial de decomposição; e D – *A. mangium* e *L. leucocephala* em estágio avançado de decomposição.

No interior de cada sacola foram colocados 40 g de folhas e ramos de duas leguminosas combinadas, cortados com o auxílio de facão a uma altura média de 1,5 m, o que corresponde a adição de 10 toneladas de matéria fresca, por hectare. As bolsas de liteira foram colocadas na superfície do solo para decomposição. A implantação do experimento ocorreu no dia 10 de março de 2006, com a colocação das 80 litter bags em toda a área, de acordo com a metodologia e delineamento experimental descritos.

3.4. Espécies leguminosas empregadas na avaliação da decomposição

No presente estudo foram empregadas as espécies leguminosas: *Clitoria fairchildiana*, *Cajanus cajan*, *Acacia mangium*, e *Leucaena leucocephala*. (Fig. 5).



Sombreiro → *Clitoria fairchildiana*



Feijão guandu → *Cajanus cajan*



Acácia → *Acacia mangium*



Leucena → *Leucaena leucocephala*

Figura 5 – Leguminosas *Clitoria fairchildiana*, *Cajanus cajan*, *Acacia mangium*, e *Leucaena leucocephala* avaliadas em sistema de cultivo em aléias

3.4.1 *Acacia mangium*

A *Acacia mangium*, conhecida como Acácia, é uma espécie arbórea originária do nordeste da Austrália, Nova Guiné e parte oriental da Indonésia (YARED *et al.*, 1990). A espécie apresenta rápido crescimento e ampla capacidade de adaptação a diferentes ambientes (FARIAS *et al.*, 1996).

Devido ao seu rápido crescimento, adaptação a diversas condições de clima, fácil estabelecimento em solos rasos, erodidos, ácidos e de baixa fertilidade e à elevada produção de serapilheira, é amplamente utilizada em plantios para recuperação de áreas degradadas e

reflorestamento em regiões áridas e semi-áridas (FAO, 1998; NAP, 1983; FAGG & STEWART, 1994; CAMPELO, 1998) citado por Fortes (2000).

Esta espécie tem sido frequentemente utilizada para recuperação de áreas alteradas, estando esse benefício relacionado com a adição de carbono orgânico e, sobretudo por nitrogênio ao solo, processo realizado pela simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* que se associam às suas raízes (FARIAS *et al.*, 1996). Esta associação desempenha papel catalisador de importantes processos biológicos do solo (COSTA *et al.*, 2004).

3.4.2 *Cajanus cajan*

O *Cajanus cajan* (L.) Millsp., conhecido como guandu, é uma cultura muito antiga e ocupa mundialmente o quinto lugar de importância e consumo entre as leguminosas. A Índia contribui com mais de 90% da produção mundial, vindo a seguir outras regiões tropicais como África, Caribe e América do Sul (SALUNKHE *et al.*, 1986).

Esta leguminosa foi introduzida no Brasil e Guianas pela rota dos escravos procedentes da África, tornando-se largamente distribuída e semi-naturalizada na região tropical, onde assumiu importância como fonte de alimento humano, forragem e também como cultura para adubação verde. O guandu situa-se entre as mais importantes culturas de leguminosas, porque é capaz de produzir colheitas elevadas de sementes ricas em proteína, mesmo em solos de baixa fertilidade, estando adaptado a altas temperaturas e a condições de seca (MORTON *et al.* 1982). É uma cultura adaptável a regiões quentes e úmidas, VIEIRA (1992).

3.4.3 *Clitoria fairchildiana*

A *Clitoria fairchildiana* Howard, conhecida como Sombreiro, é uma espécie nativa, pertencente à família Papilionoideae. Sua distribuição concentra-se principalmente na floresta ombrófila densa na Amazônia em formações secundárias e apresenta nítida preferência por solos férteis e úmidos. Como uma espécie rústica e de rápido crescimento, é extremamente útil nos reflorestamentos heterogêneos, destinados a reconstituição da vegetação (LORENZI, 1992).

Os folíolos da *Clitoria fairchildiana* apresentam aspectos morfológicos diferentes que permitem dividi-los de acordo com a maturidade: folíolos novos, com 10 a 15 cm de comprimento, coloração verde clara e consistência áspera; intermediários, com mais de

15 cm de comprimento, coloração verde escura sem manchas e consistência pergaminhosa; e velhos, com mais de 15 cm de comprimento, coloração verde escura com pequenas manchas marrons e consistência pergaminhosa e mais ásperas que os folíolos intermediários (PORTELA *et al.*, 2001).

3.4.4 *Leucaena leucocephala*

A *Leucaena leucocephala*, conhecida como leucena, é uma leguminosa exótica originária da América Central, de onde se dispersou para outras partes do mundo devido a sua versatilidade de utilização, podendo ser empregada como forragem, produção de madeira, carvão vegetal e melhoria da fertilidade do solo. É uma planta que apresenta tolerância à seca mantendo-se verde nesta estação, perdendo somente os folíolos em secas muito prolongadas ou com geadas fortes. Cresce nos trópicos e subtropicais em regiões de até 500 m de altitude, suportando grandes diferenças de precipitação, luminosidade, salinidade do solo, inundações periódicas, fogo, geadas leves e seca (SEIFFERT & THIAGO, 1983).

A planta apresenta um sistema radicular profundo, com poucas raízes laterais, que ocorrem em pequeno número, próximas à superfície do solo e que portam nódulos fixadores de nitrogênio com 2,5 a 15 mm de diâmetro e com formato frequentemente multilobado. As folhas são bipinadas, com 15 a 20 cm de comprimento, apresentando quatro a dez pares de pinas, cada uma com cinco a vinte pares de folíolos em cada pina. A inflorescência é globosa e solitária, sobre um pedúnculo com mais de 5 cm de comprimento, apresentando numerosas flores brancas. As vagens são estreitas e achatadas, com 20 cm de comprimento e 2 cm de largura, acuminadas, portando 13 a 20 sementes (SEIFFERT & THIAGO, 1983).

As folhas de leucena contêm, em média, 23% de proteína bruta e são altamente palatáveis. Em regiões com seca prolongada, é registrada queda acentuada das suas folhas. A leucena é exigente em relação à calagem e a adubação, principalmente de fósforo e micronutrientes; portanto é imprescindível a correção do pH, se o solo for ácido, e adicionar nutrientes, conforme a análise do solo (XAVIER & BOLTREL, 2006).

3.5. Avaliação da decomposição do material de podagem

Para as avaliações consideraram-se quatro períodos, de 30, 60, 90 e 120 dias, que foram comparados com o material retirado para análises no ato da podagem, “marco zero”, que serviu como testemunha para o parâmetro decomposição em função do tempo.

A cada 30 dias, 20 “litter bags” eram recolhidas, durante quatro meses, e seus conteúdos colocados em sacos de papel que foram postos na estufa a 65°C até atingirem peso seco constante. Em seguida, o material foi pesado em balança analítica.

As perdas de matéria seca e liberação de nutrientes pela liteira foram calculadas de acordo com as fórmulas abaixo, conforme metodologia empregada por Guo & Sims (1999):

$$L (\%) = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

$$R (\%) = \frac{W_0 C_0 - W_t C_1}{W_0 C_0} \times 100 \quad (2)$$

onde L é a perda de matéria seca da liteira; R é a liberação de nutriente; W_0 é o peso seco inicial da liteira; W_t é o peso seco da liteira remanescente na “litter bag” quando foi coletado; C_0 é a concentração de nutrientes ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) inicial na liteira; C_1 é concentração de nutrientes ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) remanescentes na liteira.

A decomposição da liteira foi modelada exponencialmente (OLSON, 1963):

$$W_t = W_0 e^{-kt} \quad (3)$$

onde W_t é o peso seco no tempo t, W_0 é o peso seco inicial de folha de liteira, e k a constante instantânea de declínio anual ou decomposição.

Os valores de percentagem de matéria seca, coeficiente de decomposição e de N, P, Ca e Mg remanescentes foram submetidos ao teste Kolmogorov-Smirnov (KS) que avalia o

ajuste dos dados à distribuição normal, considerando o delineamento experimental de blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial, envolvendo quatro espécies leguminosas que combinadas formaram cinco tratamentos, cinco épocas de coletas de dados (incluindo o marco zero) e quatro repetições.

3.6. Análises químicas do material de podagem das leguminosas

Os teores de macronutrientes (N, P, Ca e Mg) do material de podagem das leguminosas empregadas, foram determinados de amostras coletadas no ato da podagem ou marco zero e, das “litter bags”, nos intervalos de 30, 60, 90 e 120 dias, após determinação de seus respectivos pesos secos para estudo das taxas de decomposição. Os materiais foram submetidos à digestão sulfúrica para determinação dos macronutrientes (TEDESCO, 1995). O nitrogênio foi determinado por meio de arraste a vapor, o fósforo colorimetricamente por meio da reação do molibdato-vanadato e o cálcio e magnésio no espectrofotômetro de absorção atômica (MIYAZAWA *et al.*, 1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Perda da matéria seca da parte aérea das leguminosas

As combinações das leguminosas observadas apresentaram grandes variações na perda de matéria seca, durante o período em que a avaliação foi realizada. (Fig. 6)

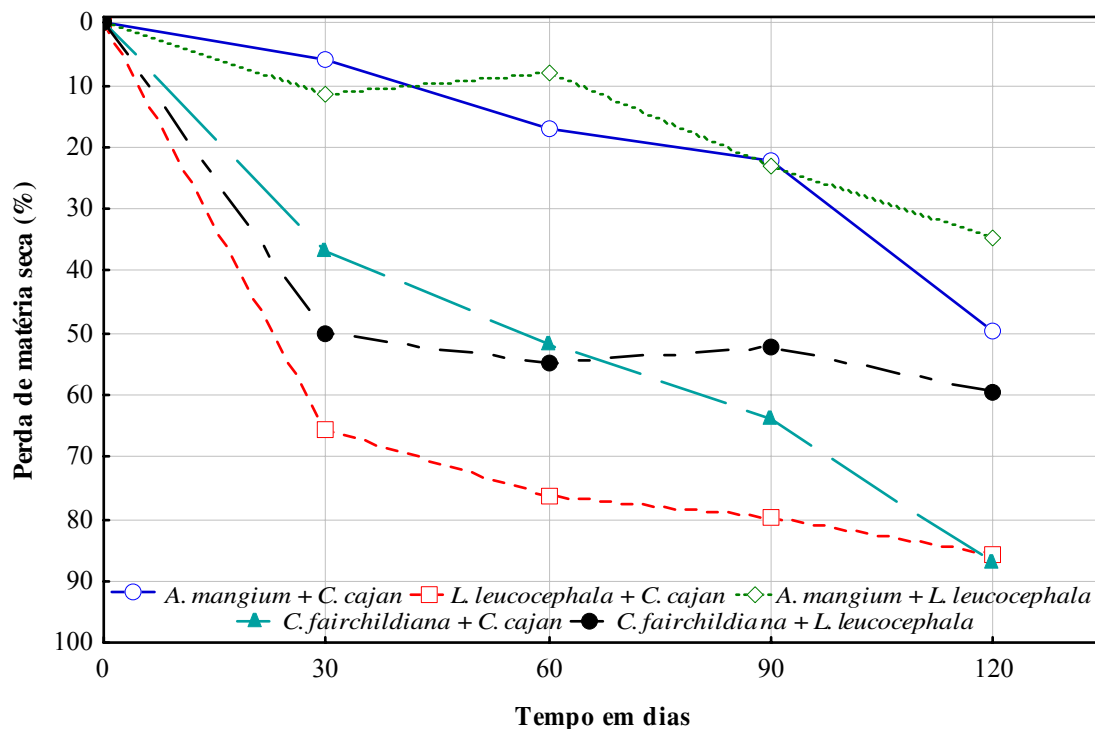


Figura 6. Perda de matéria seca das combinações do material proveniente da podagem da parte aérea das leguminosas *Acacia mangium* (Acácia), *Cajanus cajan* (Guandu), *Clitoria fairchildiana* (Sombreiro) e *Leucaena leucocephala* (Leucena).

Na primeira coleta dos resíduos vegetais, que ocorreu 30 dias após a instalação do experimento, observou-se que a mistura de leucena com guandu teve a maior perda de matéria seca, em torno de 67%. No mesmo período, a mistura de sombreiro com leucena apresentou um percentual de perda menor, em torno de 50% e sombreiro com guandu com aproximadamente 38% de perda. As combinações, acácia com guandu e acácia com leucena, apresentaram menores perdas de matéria seca com valores de 7% e 12%, respectivamente.

Este resultado é compatível com o trabalho de Ferraz Jr. (2000) que relata a taxa de decomposição da leucena relacionando-a com os teores de polifenóis, lignina e N presentes na biomassa dessa leguminosa, confirmando que a liberação de nutrientes, particularmente o N ocorre na fase inicial da perda de matéria seca. De acordo com Hayners (1986), os resíduos com baixa relação C/N (<25) e baixos teores de lignina e polifenóis apresentam rápida

mineralização e fornecem maiores quantidades de nutrientes. A mistura leucena com guandu ofereceu resíduos de alta qualidade, daí o elevado percentual de perda de matéria seca.

Observou-se, na segunda coleta dos resíduos, que ocorreu aos 60 dias, menores variações na perda de matéria seca remanescente nas misturas, não alcançando 18%. A mistura acácia com leucena apresentou resultado diferente do esperado, ou seja, houve aumento, em torno de 4%, da matéria seca remanescente o que pode ser atribuído, em parte, ao acréscimo de material nas litter bags, proveniente de precipitação, excrementos, hifas de fungos do solo e material escorrido de galhos e folhas do dossel (GUO & SIMS, 1999).

Na terceira coleta, verificada aos 90 dias, as variações de perda de matéria seca, em relação aos 60 dias, ocorreram com percentuais inferiores a 15%, mas a mistura sombreiro com leucena, apresentou diminuição na percentagem de perda de matéria seca em torno de 3%, enquanto que a mistura sombreiro com guandu apresentou aumento na percentagem de perda de matéria seca.

As observações verificadas ao final do experimento, que ocorreu 120 dias após sua instalação, evidenciam uma perda de matéria seca de todas as combinações em relação às medições utilizadas no período anterior de 90 dias com variações de cerca de 7% para as misturas de leucena com guandu e sombreiro com leucena e, aproximadamente 27% para a mistura acácia com guandu e sombreiro com guandu. A combinação acácia com leucena teve variação de 12%.

As perdas de matéria seca verificadas demonstram taxas mais rápidas ou mais lentas de decomposição da biomassa e conseqüente liberação de nutrientes e servem de orientação para a escolha das espécies a serem empregadas no cultivo em aléias de forma a assegurar uma produção sustentável, pois indicam a época mais adequada para o corte da parte aérea das leguminosas observadas. Deste modo, os nutrientes liberados dos ramos das leguminosas serão absorvidos eficientemente viabilizando o sincronismo.

4.2. Decomposição da biomassa da parte aérea das leguminosas

De acordo com os dados de decomposição de biomassa, obtidos do material empregado no experimento, constata-se um resultado bastante compatível com o observado na perda de matéria seca, confirmando o que já era esperado.

Na primeira verificação ocorrida aos 30 dias, nota-se que a decomposição das misturas leucena com guandu e sombreiro com leucena, apresentaram o maior coeficiente de

decomposição com valores acima de 9,2. (Fig. 7) Nesta mesma verificação, ocorrida aos 30 dias, nota-se que a decomposição da combinação sombreiro com guandu teve coeficiente de decomposição inferior, alcançando o valor de 5,8. As misturas acácia com guandu e acácia com leucena, apresentaram os valores de k bastante reduzidos, correspondendo a 0,8 e 1,7, respectivamente.

Para Haynes (1986), os resíduos com elevada relação C/N (> 25) e altos teores de lignina e polifenóis apresentam uma decomposição mais lenta e, desta forma, podem contribuir para a melhoria das características físicas do solo, através da formação de uma cobertura morta estável.

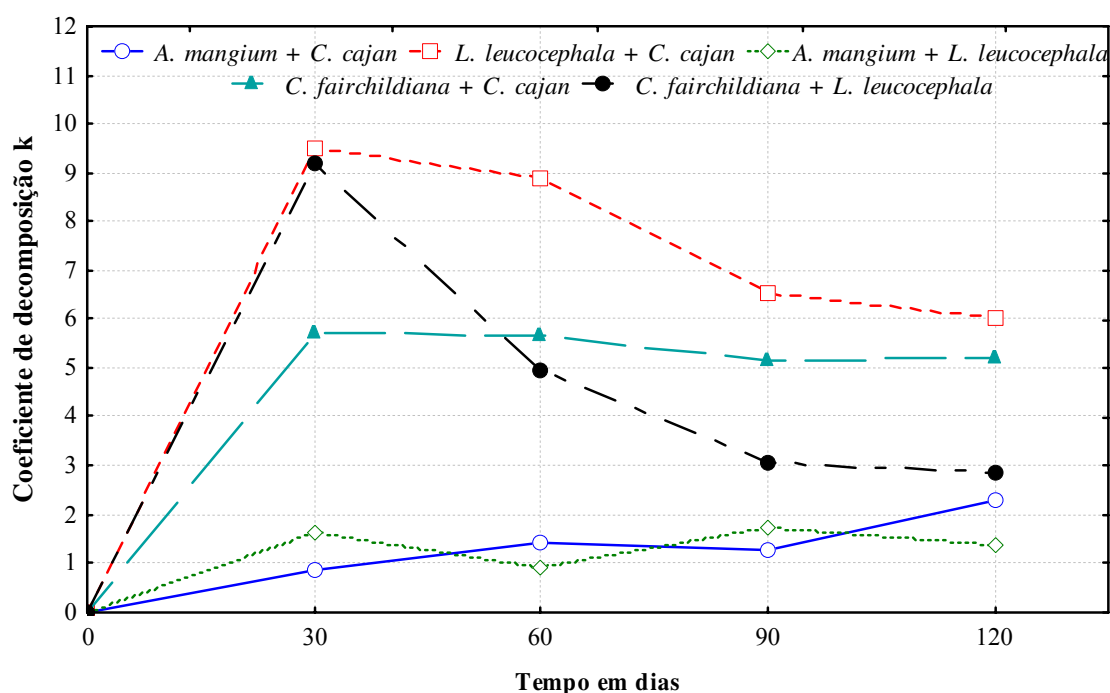


Figura 7. Decomposição da biomassa das combinações do material proveniente da podagem da parte aérea das leguminosas *Acacia mangium* (Acácia), *Cajanus cajan* (Guandu), *Clitoria fairchildiana* (Sombreiro) e *Leucaena leucocephala* (Leucena).

A combinação das leguminosas leucena com guandu, na segunda verificação ocorrida aos 60 dias, apresentou o coeficiente de decomposição mais elevado dentre as demais combinações correspondendo a 8,9, mantendo-se próximo da verificação anterior, ocorrida aos 30 dias. O mesmo não ocorreu com a mistura sombreiro com leucena que apresentou redução acentuada, alcançando o valor de k igual a 4,9. A mistura sombreiro com guandu não apresentou alteração no coeficiente de decomposição. A combinação acácia com guandu manteve, nesta verificação, tendência de aumento do valor de k, alcançando 1,5 o que não ocorreu com a mistura acácia com leucena que apresentou redução no coeficiente de decomposição. De acordo Santos *et al.*(1999), materiais com altos teores de substâncias

solúveis e simples são mais rápida e facilmente decompostos do que aqueles com grandes quantidades de lignina

Segundo Prescott (2005b) as condições de solo, tais como acidez, aproveitamento de nutrientes e atividade macro e micro biológicas afetam a taxa com que o material se decompõe e varia de situação para situação. Mudanças na temperatura e precipitação pluviométrica também afetam as taxas de decomposição, e elevadas concentrações de CO₂ atmosférico talvez leve a mudanças na qualidade da liteira.

Os valores de k, observados na terceira verificação ocorrida aos 90 dias, mostraram-se decrescentes em todas as combinações, exceto na combinação acácia com leucena que apresentou o valor de k ligeiramente superior ao valor de 1,8 observado na primeira verificação.

As verificações do coeficiente de decomposição feitas no final do experimento, ocorrido aos 120 dias, mostraram tendências de estabilização em todas as combinações, com exceção da mistura acácia com guandu que apresentou o maior aumento no valor de k.

A decomposição de húmus e matéria orgânica do solo é lenta como consequência da baixa qualidade da biomassa e atividade dos organismos decompositores. O aumento nas condições de temperatura e umidade pode incrementar o declínio das taxas em alguma extensão, dentro do limite disposto pela qualidade do substrato. (PRESCOTT, 2005b)

4.3. Liberação de nitrogênio

A liberação do N, a partir da decomposição da biomassa da parte aérea das combinações das leguminosas empregadas neste experimento, apresentou diferentes percentuais, em função do tempo e da combinação.

Na primeira verificação, ocorrida aos 30 dias, a combinação sombreiro com leucena apresentou o maior percentual de liberação de N correspondendo a 68%. As combinações sombreiro com guandu e leucena com guandu apresentaram percentual de 38% e 45% respectivamente e a combinação acácia com guandu apresentou um percentual de liberação correspondente a 20%. Foi observado que a combinação acácia com leucena apresentou imobilização. (Fig. 8).

A imobilização de N em liteira é muitas vezes explicada como consequência das baixas concentrações de N sendo relativa ao requerimento de organismos decompositores, portanto, como uma indicação da extensão de que eles são limitados por nitrogênio (PRESCOTT, 2005b).

De acordo com Aguiar (2006), a mistura de resíduos vegetais de baixa e alta qualidade geralmente resulta em uma mineralização igual à do peso médio dos dois resíduos separados, porém pode haver uma redução do N disponível imediatamente após a aplicação dos resíduos, presumidamente devido à imobilização de N pelo resíduo de baixa qualidade.

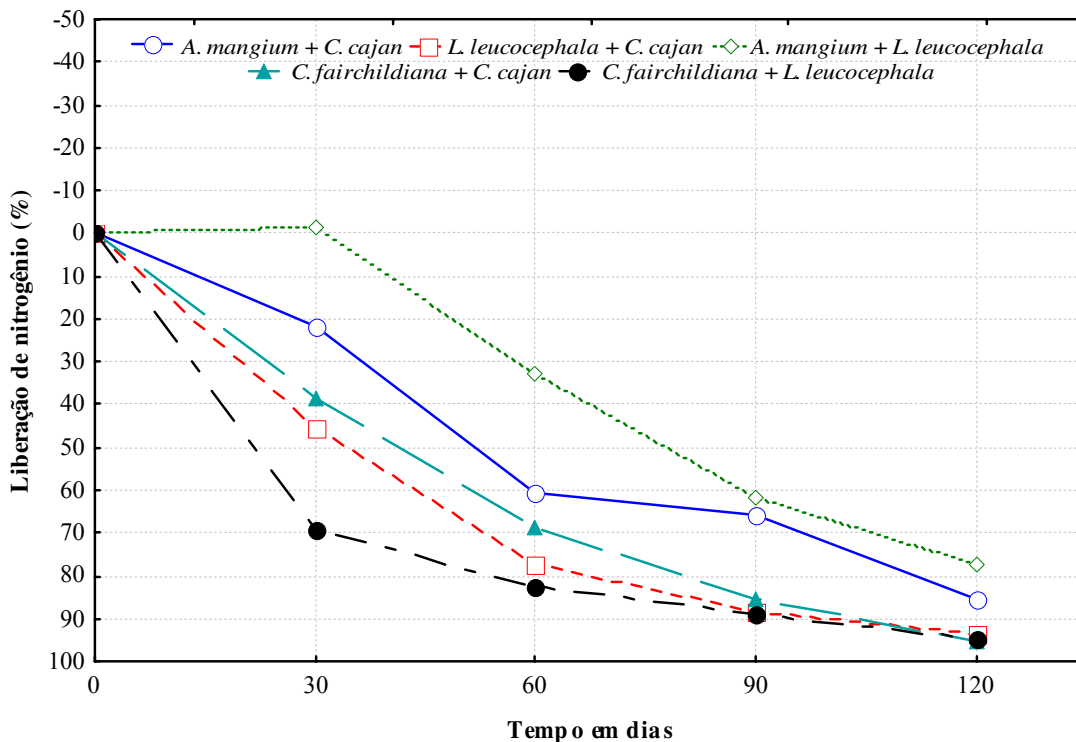


Figura 8. Liberação de nitrogênio das combinações do material proveniente da podagem da parte aérea das leguminosas *Acacia mangium* (Acácia), *Cajanus cajan* (Guandu), *Clitoria fairchildiana* (Sombreiro) e *Leucaena leucocephala* (Leucena).

Segundo Aita *et al.* (2001) o N das leguminosas é rapidamente liberado, chegando a alcançar 60% nos primeiros 30 dias o que confirma os resultados observados com a combinação sombreiro com leucena, que chegou a alcançar quase 70% de liberação no mesmo período.

Aos 60 dias, quando ocorreu a segunda coleta, verificou-se que a liberação de N continuou aumentando com grande velocidade em todas as combinações, apresentando acréscimo nos percentuais de liberação de N.

Na terceira coleta ocorrida aos 90 dias, o percentual de liberação de N continuou apresentando incremento com valores que variaram de 62% para a combinação acácia com leucena e 89% para a combinação sombreiro com leucena.

A última coleta, ocorrida aos 120 dias, mostrou que o percentual de N liberado das combinações sombreiro com guandu, leucena com guandu e sombreiro com leucena, ficou em torno de 95%, superior às outras duas combinações.

Segundo Xu *et al.* (1993) a liberação lenta de nutrientes do material empregado pode permitir a sua utilização por mais de um cultivo.

4.4. Liberação de fósforo

A liberação do P, na primeira coleta, verificada aos 30 dias, ocorreu de forma acentuada, alcançando 70% na combinação leucena com guandu tendo a combinação acácia com guandu apresentado o menor percentual de liberação de P, com valor de 37% (Fig. 9).

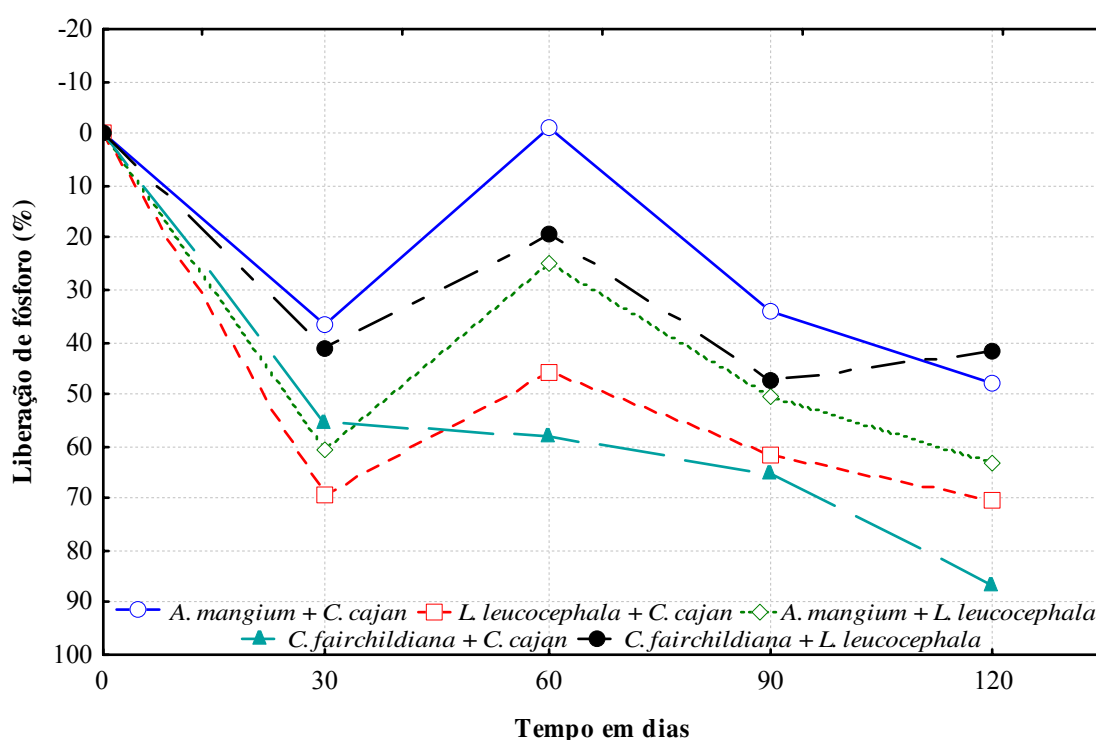


Figura 9. Liberação de fósforo das combinações do material proveniente da podagem da parte aérea das leguminosas *Acacia mangium* (Acácia), *Cajanus cajan* (Guandu), *Clitoria fairchildiana* (Sombreiro) e *Leucaena leucocephala* (Leucena).

Na segunda verificação, ocorrida aos 60 dias, o percentual de P liberado mostrou valores percentuais menores do que aos 30 dias, nas misturas sombreiro com leucena com 20%, acácia com leucena com 25% e 45% na combinação leucena com guandu. A combinação acácia com guandu não apresentou liberação de P. Na combinação sombreiro com guandu a liberação de P continua crescente, passando de 56% aos 30 dias para 58%.

Aos 90 dias, verificou-se que todas as combinações apresentaram aumento na liberação de P, em relação aos valores anteriores. Segundo Araújo (2006), mesmo que as

diferenças entre tratamentos pareçam importantes em termos relativos, não podem ser consideradas significativas para a sustentabilidade do sistema, em termos absolutos.

Na última avaliação ocorrida aos 120 dias, todas as combinações apresentaram aumento no percentual de liberação de P em relação ao “marco zero”, destacando-se a combinação sombreiro com guandu, com percentual de 90%. Para Buresh *et al.* (1997), os resíduos vegetais geralmente apresentam uma maior razão N:P do que a requerida pelas culturas, sendo mais adequado integrar uma fonte de P mineral com o material orgânico fornecedor de N do que buscar atender as necessidades de P a partir dos resíduos vegetais. Segundo Szott *et al.* (1991), o potencial de reciclagem de nutrientes no sistema de aléias é inadequado para P e K, mesmo para as culturas com baixa demanda desses nutrientes.

4.5. Liberação de cálcio

Os resultados das análises do material coletado aos 30 dias mostraram que apenas três, das cinco combinações das leguminosas empregadas, liberaram cálcio. Nas duas outras, acácia com leucena e sombreiro com leucena, ocorreu imobilização. (Fig. 10). Na verificação feita aos 60 dias, ocorreu imobilização em quatro das combinações observadas e apenas a combinação leucena com guandu liberou Ca.

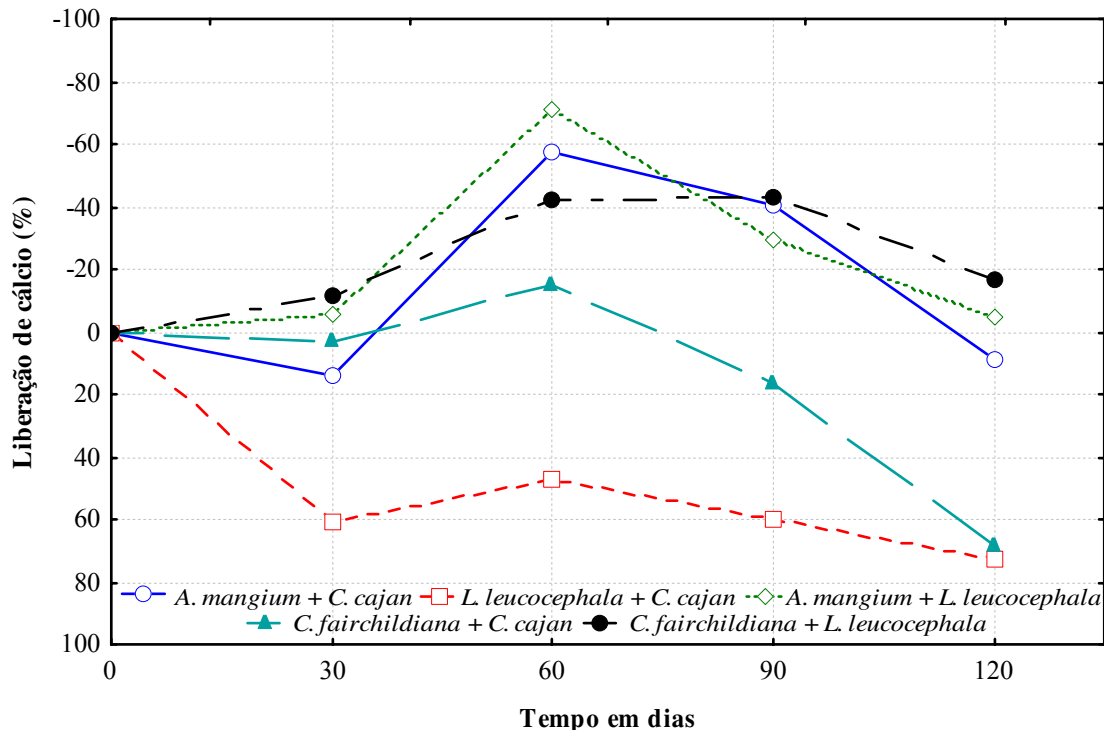


Figura 10. Liberação de cálcio das combinações do material proveniente da podagem da parte aérea das leguminosas *Acacia mangium* (Acácia), *Cajanus cajan* (Guandu), *Clitoria fairchildiana* (Sombreiro) e *Leucaena leucocephala* (Leucena).

De acordo com Santos *et al.* (1999), os componentes dos tecidos vegetais são decompostos por microorganismos que utilizam parte do composto simples e energia liberada para seu próprio metabolismo e reprodução, o que provoca imobilização temporária dos nutrientes dos tecidos vegetais, podendo alcançar 11kg . ha⁻¹ de Ca

Aos 90 dias, a liberação de Ca também foi verificada nas combinações sombreiro com guandu e leucena com guandu.

Na ultima verificação, ocorrida aos 120 dias, constatou-se que as combinações sombreiro com leucena e acácia com leucena não liberaram Ca e as combinações sombreiro com guandu e leucena com guandu apresentaram os maiores percentuais de liberação, em torno de 75%.

4.6. Liberação de magnésio

Na análise do material coletado aos 30 dias foi constatado que houve liberação de Mg em todas as combinações, sendo que ocorreu de forma mais acentuada na combinação acácia com leucena que alcançou percentual de 68% de liberação. A mistura acácia com guandu apresentou, nesse período, o menor percentual, correspondendo a apenas 3% de liberação de Mg (Fig. 11).

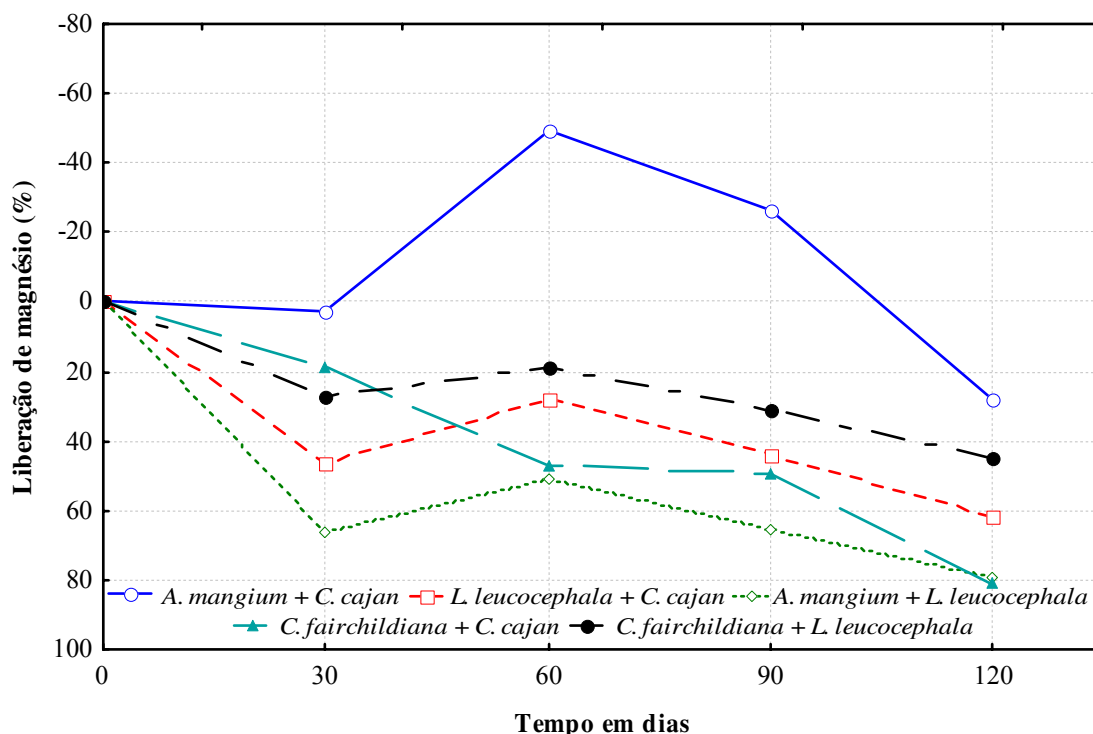


Figura 11. Liberação de magnésio das combinações do material proveniente da podagem da parte aérea das leguminosas *Acacia mangium* (Acácia), *Cajanus cajan* (Guandu), *Clitoria fairchildiana* (Sombreiro) e *Leucaena leucocephala* (Leucena).

Aos 60 dias, na segunda verificação de liberação deste nutriente, houve redução no percentual de liberação em todas as combinações, exceto a combinação sombreiro com guandu que continuou liberando este nutriente e na combinação acácia com guandu houve imobilização o que pode ser atribuído à relação C/N que, quando estiver relativamente alta a população microbiana tende a multiplicar e a imobilizar nutrientes (SWIFT & PALM 1995; Xu *et al.*, 1993).

Os dados obtidos na terceira avaliação, ocorrida aos 90, dias demonstram que houve liberação de Mg em todas as combinações com exceção da combinação acácia com guandu, que não liberou este nutriente, mas teve sua imobilização reduzida.

Constatou-se, na última avaliação, realizada aos 120 dias, liberação em todas as combinações e que as leguminosas acácia com leucena e sombreiro com guandu combinadas, alcançaram o maior valor de liberação de Mg, em torno de 80%.

5. CONCLUSÕES

O emprego das leguminosas acácia, guandu, sombreiro e leucena, combinadas, no sistema de aléias, viabilizam a reciclagem de N, P, Ca e Mg, permitindo a redução do emprego de adubos químicos ou a substituição destes, exceto as combinações de acácia com leucena e sombreiro com leucena que, no período de 120 dias, não apresentaram liberação de Ca.

As combinações leucena com guandu e sombreiro com guandu liberam, a partir dos 30 dias, N, P, Ca e Mg, disponibilizando estes nutrientes para aproveitamento pela cultura associada. No mesmo período, a combinação sombreiro com leucena libera N, P e Mg; a combinação acácia com guandu libera N, P e Ca e a combinação acácia com leucena libera P e Mg.

As combinações em que a acácia foi empregada apresentaram baixa velocidade de decomposição e liberação de nutrientes tornando-as recomendáveis para uso como cobertura morta.

A liberação de nutrientes existentes na biomassa empregada na decomposição não ocorreu em sua totalidade, até o final do período observado, indicando que essa liberação continua de forma lenta, possibilitando o aproveitamento por cultivos subseqüentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA RIOS, C. O. (2001). Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. R. Bras. Ci. Solo: Viçosa, v. 25, p. 157-165.
- AGUIAR, A. C. F. Efecto de especies usadas como abono en el enriquecimiento de la fertilidad del suelo y en el manejo de plagas. Centro Agronômico Tropical de Investigacion y Ensiñanza. Programa de Ensiñanza para el desarrollo y La conservacion. Escuela de posgraduados. Turriaeba, Costa Rica. (Tese submetida a concideración) (2001).
- AGUIAR, A. C. F. Sustentabilidade do sistema plantio direto em argissolo no trópico úmido. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Tese de doutorado, 2006.
- AKINNIFESI, F.K., KANG, B.T. & LADIPO, D.O. Structural root form and fine root distribution of some wood species evaluated for agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, n. 42, p. 121-138. 1999
- ALTIERI, M. A. Agroecologia – Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan-Comunidad, Montevideo, 1999, p. 335.
- ALTIERI, M. “The ecological impacts of transgenic crops on agroecosystem health.” *Ecosystem Health* 6: 13-23, 2000
- ALTIERI, M. Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 3 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001, 110 P.
- AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; BRAGA, N. R. MIRANDA, M. A. C. Leguminosas: alternativas para produção ecológica de grãos em diferentes regiões agroecológicas do estado de São Paulo. In: AMBROSANO, E. J (Coord.). *Agricultura Ecológica*. Ed. Agropecuária. Guaíba, Rio Grande do Sul, 1999, p. 161 - 178.
- ARAÚJO, Jovenilson Corrêa. Avaliação da eficiência de leguminosas herbáceas em reciclar nutrientes e suprimir ervas espontâneas quando consorciadas em sistema de aléias. UEMA – São Luis - MA. Dissertação de Mestrado em Agroecologia, 77p. 2004.
- ARMSON, K. A. *Forest Soils. Properties and Processes* Toronto: University of Toronto, 1977.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: GENESIS, 1999. p. 9-23.
- BLAIR, G. CATCHPOOLE, D. & HORNE, P. Forage tree legumes: their management and contribution to the nitrogen economy of wet and humid tropical environments. *Advances in Agronomy*, n. 44, p. 155-223, 1990.
- BORKERT, C. M.; GALDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; PEREIRA, L. R.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.

BRIENZA S. Junior. O uso de leguminosas para melhorar a agricultura familiar da Amazônia oriental brasileira. Circular Técnica. Embrapa Amazônia oriental. Belém-PA, junho, 2003.

BRITEZ, R. M. Ciclagem de nutrientes minerais em duas florestas da planície litorânea da ilha do mel, Paranaguá PR. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1994, 240p. (Dissertação de Mestrado).

BRITO, D. R. Importância do Sistema de Aléias em Cultivos Dependentes de Chuva. 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi- Árido, Petrolina – PE, 2001, 6p.

BULHAO, CLARISSA F.; FIGUEIREDO, PAULO S.. Fenologia de leguminosas arbóreas em uma área de cerrado marginal no nordeste do Maranhão. Rev. bras. Bot., São Paulo, v. 25, n. 3, 2002.

BURESH, R.J.; SMITHSON, P.C.; HELLUMS, D.T. Building soil phosphorus capital in Africa. In: BURESH, R.J.; SANCHEZ, P.A.; CALHOUN, F. (Eds.) Replenishing soil fertility in Africa. USA: SSSA Special Publication Number 51, 1997. Cap. 6, p. 111 – 149

CAMARGO, F. A. O.; SILVA, L. S.; GIANELO, C.; TEDESCO, J. M. Nitrogênio Orgânico do solo. In: SANTOS, G. A. (Ed.)... (*et al*) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. – 2. ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008.

CAMPELO, E.F.C. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. In: Recuperação de Áreas degradadas. DIAS, L.E., MELLO, J.W.V. (eds.) Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p: 181-196, 1998.

CASTRO FILHO, C., MUZILLI, O., PODANOSHI, A.L., Estabilidade dos agregados e suas relações com teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Rev. bras. Ci. Solo**, 22: 527-538, 1998.

COSTA, G.S.; FRANCO, A.A.; DAMASCENO, R.N.; FARIA, S.M. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28: 919-927, 2004.

DANSO, S. K. A.; BOWEN, G. D. & SANGINGA, N. Biological nitrogen fixation in trees in agro-ecosystems. *Plant and Soil*, n. 141, p. 177-196, 1992.

DIAS, L. E., FRANCO, A. A., CAMPELO, E. F. C. Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Acacia mangium* e *Eucalyptus pellita*. In: SIMPÓSIO SUL – AMERICANO e SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADA-DAS, 2, Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu: s. ed., p. 145 – 153, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ESPÍNDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de. Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia, 1997.20p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 42).

FAGG, C. W. & STEWART, J. L. The value of Acacia and Prosopis in arid and semi-arid environment, v. 27, p. 3-25, 1994.

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations. Current World Fertilizer Situation and Outlook 1996/97-2002-2003, Roma, 32p. 1998.

FARIAS, M.P.; SIQUEIRA, J.O.; VALE, F.R.; CURI, N. Crescimento inicial da acácia em resposta a fósforo, nitrogênio, fungo micorrízico e rizóbio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 20: 209-216, 1996.

FERRAZ JR., A. S. L.; SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Ciclagem de nutrientes em sistema de cultivo em aléias. Pesquisa em Foco, São Luís, v. 5, n. 6, p. 7-29, 1997.

FERRAZ JR., A. S. L. Arroz de sequeiro em aléias de leguminosas sobre solo de baixa fertilidade natural. 2000. 126 f. Tese (Phylosophiae Doctor em Agronomia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro.

FERRAZ JR., A. S. L. O cultivo em aléias como alternativa para a produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: MOURA, E. G. (Org.). Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil: atributos; alterações; uso na produção familiar. São Luis: UEMA, 2004, p. 71 -100.

FORTES, J.L.O. Reabilitação de depósito de rejeito do refino de bauxita com o uso de resíduos industriais e leguminosas arbóreas. UFRRJ – Seropédica –RJ. Tese de Doutorado, 185p. 2000.

GAMA, J. R. N. F. Solos: manejo e interpretação. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA, 183 p. 2004.

GARCIA, L. F. Introdução e avaliação de leguminosas para adubação verde em solos arenosos de tabuleiros costeiros do Piauí. Revista da Faculdade de Agronomia, Maracay, v. 28, p. 93-103, 2002.

GLIESSMAN, S. R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005, 653 p.

GUO, L.B. & SIMS, R.E.H. Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. Agriculture, Ecosystems and Environment, 75, p. 133-140, 1999.

HAYNES, R.J. The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation and degradation. In: HAYNES, R.J., ed. Mineral nitrogen in the plantsoil system. Orlando: Academic Press, 1986. p.52-176.

HEINZIMAN, F. X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de inverno. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 20, p. 1021-1030, 1985.

HUXLEY, P. A. Hedgerow intercropping: some ecological and physiological issues. In: (KANG, B.T. & REYNOLDS, L., Eds.). *Alley Farming in the Humid and subhumid tropics*, Ottawa, 1989, p. 208 – 220.

INDERJIT & KEATING, K. I. Allelopathy: principles, procedures, processes, and promises for biological control. *Advances in Agronomy*, n. 67, p. 141-231, 1999.

JOSE, S. & GILLESPIE, R. Allelopathy in black walnut (*Jugla nigra* L.) alley cropping. I Spatio-temporal variation in soil juglone in a black walnut-corn (*Zea mays* L.) alley cropping system in the midwestern USA. *Plant and Soil*, n. 203, p. 191-197, 1998.

KANG, B.T; REYNOLDS, L. & ATTA-KRAH, A.N. Alley farming. *Advances in Agronomy*, 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. *For. Ecol. Manage*, v. 91, p. 75-82, 1997.

LEITE, A. A. L. Cultivo de milho em aléias de leguminosas como alternativa à agricultura de corte e queima. 2001, 95 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão.

LIU, J.; HUE, N.V. Ameliorating subsoil acidity by surface application of calcium fulvates derived from common organic materials. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v.21, n.4, p.264-270, 1996.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo das plantas nativas do Brasil. Ed. Plantarum. Nova Odessa, São Paulo, 1992.

LUPWAYI, N.Z., HAQUE, I., SAKA, A.R, SIAW, D.E.K.A. Leucaena hedgerow intercropping and cattle manure application in the Ethiopian highlands. II. Maize yields and nutrient uptake. **Biology Fertility Soils**, 28: 196-203, 1999.

LYNCH, J.M. *Biotechnology do solo*. São Paulo: Manole, 1996. 209p.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELLO, W. J. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (ed.). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília, p. 171-223, 1999.

MOREIRA, V. F.; PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; GUEDES, R. E.; COSTA, J. R. Produção de biomassa de guandu em função de diferentes densidades e espaçamento entre sulcos de plantio. Comunicado técnico 57. Seropédica, Rio de Janeiro, outubro, 2003.

MORTON, J. F.; SMITH, R. E.; LUCO-LOPEZ, M. A. & ABRANS, R. Pigeon-peas (*Cajanus cajan* Millsp). A valuable crop of the tropics. *Mayaguez, Univ. Puerto Rico - Dep. of Agronomy and Soils*, 122p., 1982.

MOURA, E.G. Atributos físico-hídricos e de fertilidade de um PVA distrófico da formação Itapecuru em São Luís, Ma, que afetam o crescimento do milho (*Zea mays* L.). Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Tese de doutorado, 1995.

MOURA, E. G. & CAVAIGNAC, K. M. L. Otimização do sistema “Alley Cropping” para uso como alternativa à agricultura itinerante no trópico úmido. Bolsa PIBIC/CNPq, Relatório Final, 23 p., CCA – UEMA, São Luís, 2003.

MOURA, E. G. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. In: MOURA, E. G. (Org.). Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil: atributos; alternativas; uso na produção familiar. São Luis: UEMA, 2004, p. 15 -51.

MUNIZ, F. H. A vegetação da região de transição entre a amazônia e o nordeste, diversidade e estrutura. In: MOURA, E. G. (Org.). Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil: atributos; alternativas; uso na produção familiar. São Luis: UEMA, 2004, p. 53 -69.

MYERS, R.J.K.; NOORDWIJK, M. van; VITYAKON, P. Synchrony of nutrient release and plant demand: plant litter quality, soil environment and farmer management options. In: CADISCH, G; GILLER, K.E. (Eds.). *Drivem y nature: plant litter quality and decomposition*. United King: CAB Iternational, 1997. cap. 17, p. 215-229

NAIR, P. K.R. *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publishers; Dor drech, The Netherlands, 1993.

NAP, NATIONAL ACADEMY PRESS. *Mangium and Others Fast-Growing Acacias for the Humic Tropics*. Washington, 62 p., 1983.

NEMRH, Núcleo Estadual de Metereologia e Recursos Hídricos. *Dados climáticos de São Luís*. UEMA. São Luís, 2000.

NEUPANE, R. P.; THAPA, G. B. Impact of agroforestry intervention on soil fertility and farm income under the subsistence farming system of the middle hills, Nepal. **Agric. Ecosyst. Envir.** V. 84, p. 157 – 167, 2001.

NEWBOULD, P. Principles of nutrient cycling: elements compartments, pathways and transfers, times scales, race of transfers and nutrients balances. In: FRISSEL, M. J. (ed). *Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems*. Amsterdam: Elsevier, 1978. Cap. 2, p. 3-6.

NYE, P. H. Organic matter and nutrient cycles under moist tropicl forest. *Plant and Soil.*, n. 13, p. 333 – 346, 1961.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro, ed. Guanabara, 1988. 434 p.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44 (2), p. 322-331, 1963.

OSONUBI, O, ATAYESE, M.O. & MULONGOY, K. The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation on nutrient uptake and yield of alley-cropped cassava in a degraded alfisol of southwestern Nigeria. **Biology Fertility Soils**, Berlin 20:70-76, 1995.

OSTERROHT, M.V. Alguns aspectos de dinâmica da matéria orgânica em solos tropicais. **Rev. Agroecologia**. 17:04-07, 2002.

PALM, C. A.; GACHENG, C. N.; DELVE, R. J.; CADISCH, G.; GILLER, K. E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agriculture Ecosystems Environment*, v. 83, p. 27-42, 2001.

PERIN A.; GUERRA, J. G. M. TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G. & FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um argissolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26, p. 713-720, 2002.

PORTELA, R. Q.; SILVA, I. L.; PINÃ-RODRIGUES, F. C. M. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophobium dubium* (Spreng) Taub em diferentes condições de sombreamento. *Ciência Florestal*, v. 11, n. 2, p. 163-170, 2001.

PRESCOTT, C.E. 2005a. Do rates of litter decomposition tell us anything we really need to know? *Forest Ecology and Management*. 220:66-74.

PRESCOTT, C. E. 2005b. Decomposition and mineralization of nutrients from litter and húmus. *Ecological Studies*. H. BassiriRad (Ed.) *Nutrient Acquisition by Plants. An Ecological Perspective*. Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 181:15-41.

RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; QUESADA, D. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Use of green manures in increasing inputs of biologically fixed nitrogen to sugar cane. *Biol. Fertl. Soils*, v. 37, p. 215-220, 2003.

SALUNKHE, D.K.; CHANCELLOR, V.; CHAVAN, J.K.; KADAM, S.S. Pigeonpea as an important food source. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Cleveland, v. 23, n. 1, p. 103-145, 1986.

SAMINÊZ, T. C. O.; RESENDE, F. V.; SOUZA, A. F.; CARVALHO, A. M. Extração de nutrientes por espécies de adubos verdes sob sistema orgânico de produção nas condições de verão dos Cerrados. In: 1. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 4. SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE AGROECOLOGIA, 5. SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE AGROECOLOGIA, 2003, Porto Alegre, EMATER/ RS – AS, 2003. cd-rom.

SANGINGA, N.; MULONGOY, K.; AYANABA, A. Nitrogen contribution of *Leucaena Rhizobium* symbiosis to soil and a subsequent maize crop. *Plant and Soil*, Amsterdam, n. 112, p. 137 - 141, 1988.

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 N₁₅ labelling techniques. *Plant and Soil*, Amsterdam, 127:169-178, 1990.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. 491p.

SEIFFERT, [N. F.](#) & THIAGO, [L. R. L. S.](#) Legumineira cultura forrageira para produção de proteína. Circular Técnica 13, Embrapa – Gado de Corte, Campo Grande, MS, 1983.

SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Eschborn: Technical Cooperation, Federal Republic of Germany, 1991. 371p.

SILVA, J. A. A. da.; VITTI, G. C.; STUCHI, E. S.; SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-'Pêra'. Rev. Bras. Frutic., vol. 24, no. 1, 2002.

SILVA, A. C.; MOURA, E. G. Atributos e especificidades de solos de baixada no trópico úmido. In: MOURA, E. G. (Org.). Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil: atributos; alternativas; uso na produção familiar. São Luis: UEMA, 2004, p. 133-160.

SINGH, K. P. & SHEKHAR. Weight loss in relation to environmental factors during decomposition of maize and wheat roots in a seasonally dry tropical region. Soil Biology and Biochemistry, n. 21, p. 73 - 80, 1989.

SMUCKER, A.J.M, ELLIS, B.G & KANG, B.T. Alley cropping on an alfisol in the forest savana transition zone: root, nutrient and water dynamics. In: Alley Farming Research and Development (Kang et al., eds.) In: Alley farming research and development. Alley Farming Network for Tropical Africa; Ibadan, Nigeria, 1995.

SPAIN, J. M.; SALINA, J. G. A recicagem de nutrientes nas pastagens tropicais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16.; 1984, Ilhéus. Anais...Ilhéus: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, 1985. p. 259-299.

SPRENT, J. I. The Ecology of the Nitrogen Cycle. Cambridge University Press; Cambridge, 1987.

SWIFT, M. J.; PALM, C. A. Evaluation of the potencial contribution of organic sources of nutrients to crop growth. In: Integrated plant nutrition systems. DUDAL, R. e ROY, R. N. (Eds.) Roma, FAO, p. 171 – 180, 1995.

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

TEDESCO, M. J.; GIANELO, C.; BOHNEN, H. E.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solos, plantas e outros materiais. Boletim Técnico n. 5. 2 ed. Porto Alegre, departamento de Solos de Agronomia da UFRGS, 174 p. 1995.

TIAN, G.; BRUSAARD, L. Biological effects of plants residues with contrasting chemical composition and humid tropical condition – decomposition and nutrients release. Soil biology and Biochemistry. 24: 1051-1060, 1992.

TORRES, A.; RIVERO, C.; AMPUEDA, J.; DE CORI, C. E. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos marcados com 15N sobre la dinámica del nitrogéno en dos suelos venezuelanos. Revista da Faculdade de Agronomia, Maracay, v. 28, p. 105-116, 2002.

VIEIRA, C. Leguminosas de grãos: importância na agricultura e na alimentação humana. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.16, n. 174, p. 5-11, 1992.

XAVIER, R. P.; MOREIRA COELHO, C. H.; QUESADA, D. M.; RESENDE, A. S. DE.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.. Influência dos adubos verdes na decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar. *Agronomia*, vol. 37, nº 2, p. 13 - 18, 2003.

XAVIER, D. F. & BOLTREL, M. de A. Principais características da leucena, do guandu e da cratília. Embrapa gado de leite instrução técnica para o produtor de leite. Juiz de Fora-MG, 2006.

XU, Z.H., MYERS, R.J.K., SAFFIGNA, P.G. et al., Nitrogen fertilizer in leucaena alley cropping. II. Residual value of nitrogen fertilizer and leucaena residues. *Fertility Research*. Dordrecht, 3:1-8, 1993.

WHITNEY, A. S.; KANEHIRO, Y. Pathways of nitrogen transfer in some tropical legume grass associations. *Agronomy Journal*, Madison, v. 59, n. 6, p. 585-588, 1967.

YADVINDER-SINGH, BIJAY-SINGH E KHIND, C. S Nutrient transformations in soils amended with green manure. *Advances in Soil Science*, New York, 20:237-309, 1992.

YANG, H. S. Modelling organic matter mineralization and exploring options for organic matter management in arable farming in northern China. PhD. Thesis, Wageningen Agricultural University, 159 p., 1996.

YARED, J.A.G.; VIANA, L.M.; KANASHIRO, M. Teste de procedências de *Acacia mangium* Willd., no planalto do Tapajós. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1990. 19p. (Embrapa-CPATU. Boletim de Pesquisa, 107).