

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA PLANTIO DIRETO EM
ARGISSOLO NO TRÓPICO ÚMIDO**

ALANA DAS CHAGAS FERREIRA AGUIAR

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU-SP
Novembro – 2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA PLANTIO DIRETO EM
ARGISSOLO NO TRÓPICO ÚMIDO**

ALANA DAS CHAGAS FERREIRA AGUIAR

Orientador: Prof. Dr. Silvio José Bicudo

Co -Orientador: Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP

Novembro – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

A282a Aguiar, Alana das Chagas Ferreira, 1975-
Sustentabilidade do sistema plantio direto em argissolo no trópico úmido / Alana das Chagas Ferreira Aguiar. - Botucatu : [s.n.], 2006.
vii, 55 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2006
Orientador: Silvio José Bicudo
Inclui bibliografia

1. Plantio direto. 2. Solos arenosos. 3. Cultivos de cobertura. 4. Agricultura - Trópicos. I. Bicudo, Silvio José. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA PLANTIO DIRETO EM ARGISSOLO
NO TRÓPICO ÚMIDO.**

ALUNA: ALANA DAS CHAGAS FERREIRA AGUIAR

ORIENTADOR: PROF. DR. SILVIO JOSÉ BICUDO
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. EMANOEL GOMES DE MOURA

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. SILVIO JOSÉ BICUDO



PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES



PROF. DR. IRAÉ AMARAL GUERRINI



DR. EDMILSON JOSÉ AMBROSANO



DR. RICARDO AUGUSTO DIAS KANTHACK

Data da Realização: 10 de novembro de 2006.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Silvio José Bicudo, pela orientação. Ao Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura, pela orientação na fase de campo e redação da tese.

Ao CNPq, pela concessão do auxílio financeiro para a implantação do experimento.

À FAPEMA, Fundação de Amparo à Pesquisa do Maranhão, pela concessão da bolsa de estudo que tornou possível a realização do presente trabalho.

À Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, pela concessão da área experimental desse estudo e pelas análises de laboratório.

Aos amigos da hora mais difícil em Botucatu, Angela Alvarez, Liana Rodrigues e Maria do Carmo Oliveira.

Ao João Reis e Jozael, pelas análises químicas e físicas do solo. À Andreia Amorim e Katia Pereira pela ajuda no laboratório. Ao Dionísio, pelo trabalho de campo.

Ao Christoph Gehring pela ajuda com as análises estatísticas.

À Amanda e Eduardo, meus sobrinhos, que norteiam meu caminho para o mundo da paciência e perseverança.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
4.1 A região Centro-Norte do Maranhão	8
4.2 Plantio direto	9
4.3 Cultivo em aléias	11
4.4 Plantio direto na palha de leguminosas cultivadas em aléias	14
4.5 Qualidade dos resíduos vegetais	15
4.6 Indicadores da qualidade do solo	18
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
5.1 Localização do experimento, clima e solo	22
5.2 Delineamento experimental	25
5.3 Condução do experimento	25
5.4 Avaliações	26
5.5 Análise estatística	27
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6.1 Estabelecimento das leguminosas e estabilização do sistema	29
6.2 Qualidade e produtividade de biomassa das leguminosas	30
6.3 Aporte de nutrientes ao sistema	33
6.4 Avaliação das variações nos indicadores de qualidade de solo	37
6.5 Produtividade das culturas de arroz e milho	42
7 CONCLUSÕES.....	45
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
APÊNDICE	54
Apêndice 1	55

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Características pedológicas do perfil de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico, em São Luís, MA	23
2	Percentagem de sobrevivência no 1 ^o ano e massa seca produzida pelas leguminosas nos três anos de corte	30
3	Caracterização química das leguminosas usadas no experimento, em janeiro de 2005, em folhas e galhos tenros	31
4	Resultados da análise química do solo do experimento para os anos de 2003 e 2004	37
5	Análise química das amostras de solo do experimento retiradas após a colheita, nas profundidades de 0-40 cm, em junho de 2005	39
6	Análise química das amostras de solo do experimento retiradas após a colheita, nas profundidades de 0-40cm, em junho de 2006	40
7	Dados comparativos da Soma e Saturação por Bases entre 2003 e 2006 nas camadas de 0-10 e 10-20cm	41
8	Efeito dos tratamentos sobre a densidade do solo, capacidade de aeração e porosidade total, em agosto de 2006	42
9	Produtividade do arroz (kg ha ⁻¹), na área do experimento, ao longo de três anos	43
10	Parâmetros da produção do milho ao longo de quatro anos	44

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Precipitação pluviométrica para São Luís-MA nos anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (d)	24
2	Croqui da área experimental	28
3	Biomassa seca produzida em três anos e aplicada às parcelas pela combinação de leguminosas	33
4	Quantidades aportadas pela combinações de leguminosas de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) e nutrientes totais adicionados (f)	36

1 RESUMO

Os objetivos do presente estudo foram: (i) avaliar a sustentabilidade do agrossistema de plantio direto na palha com leguminosas cultivadas em aléias, por meio de seu efeito sobre os indicadores qualitativos químicos e físicos de um Argissolo do trópico úmido; (ii) identificar como a combinação de resíduos de leguminosas de diferentes qualidades interferem nos indicadores de sustentabilidade do uso do solo, por meio das produtividades do arroz e do milho. Foram avaliadas duas espécies de leguminosas de alta qualidade de resíduos - *Leucaena leucocephala* (leucena) e *Cajanus cajan* (guandu), e duas espécies de baixa qualidade de resíduos - *Clitoria fairchildiana* (sombreiro) e *Acacia mangium* (acácia), combinadas entre si, nos seguintes tratamentos: Sombreiro + Guandu (S+G); Leucena + Guandu (L+G); Acácia + Guandu (A+G); Sombreiro + Leucena (S+L); Leucena + Acácia (L+A) e Testemunha, sem leguminosas. Concluiu-se que o sistema de plantio direto na palha com leguminosas cultivadas em aléias pode ser considerado alternativa de uso sustentável do solo nas condições de regime pluviométrico e nos ARGISSOLOS arênicos, por sua capacidade de reciclar nutrientes e melhorar os indicadores de qualidade do solo ao longo do tempo. Os principais indicadores influenciados pelo sistema são: a capacidade de aeração, as quantidades de N adicionadas ao solo via resíduos de leguminosas e o tamponamento dos teores de Ca na zona radicular que resultam na melhoria na qualidade do solo, com reflexos notáveis no aumento da produtividade do milho. A combinação acácia+leucena apresenta, além da precocidade, grande eficiência na cobertura do solo e na reciclagem de nutrientes, mas o uso do sombreiro, como fornecedora de resíduo de baixa qualidade, por sua facilidade de

implantação, não pode ser descartado. A incapacidade do sistema em aumentar a retenção do K e Mg na zona radicular, somada à baixa concentração deste último e do P nos resíduos das leguminosas, sugere que deve ser adotada uma estratégia de acompanhamento de seus níveis no solo e da reposição destes três nutrientes via fontes inorgânicas. O sistema de plantio direto na palha de leguminosas cultivadas em aléias é incompatível com a monocultura do arroz, que terá que ser combinado no sistema com outras culturas aptas a receber a palha das leguminosas produzidas no ano de plantio.

Palavras chaves: agrossistema, leguminosas, manejo do solo, aléias.

SUSTENTABILITY OF NO TILLAGE SYSTEM ON A HUMID TROPIC ARGISSOL.

Botucatu, 2006. 55 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ALANA DAS CHAGAS FERREIRA AGUIAR

Adviser: SILVIO JOSE BICUDO

Co-adviser: EMANOEL GOMES DE MOURA

2 SUMMARY

The present study was carried out focused in the following subjects: (i) Evaluation of no tillage agriculture sustainability over green manure straws in alley system throughout of its effects on the soil's chemical and physical qualitative parameters; (ii) Identification of what and how different green manure residues combine each other to improve the rice and corn crops in sustainability alleys system way. Two green manure species with high residues and other two with low quality had been evaluated: *Leucaena leucocephala* and *Cajanus cajan*, and *Clitoria fairchildiana* and *Acacia mangium* respectively. A combination between these green manures were made as the treatments: *Clitoria* + *Cajanus* (S+G); *Leucaena* + *Cajanus* (L+G); *Acacia* + *Cajanus* (A+G); *Clitoria* + *Leucaena* (S+L); *Leucaena* + *Acacia* (L+A) and the control treatment with no green manure. It was concluded that the no tillage soil management using green manure straws in alleys systems could be an alternative as a sustainable way to the crop productions, considering the environments and soil conditions. It was observed that the soil where the trial was carried out has the capacity to recycle nutrients and improve the quality parameters throughout the management used as far. It was observed also that the mainly parameters as aeration capacity, nitrogen range added by the green manure of leguminous species residues, and the Ca⁺⁺ content in the rizosphere environment were the factors that improve the soil physical and chemical quality, with higher corn crop productivities. The *Leucaena* + *Acacia* combination has shown precocious behavior and more efficiency to cover the soil and to recycle nutrients. The *Clitoria* residues, even as a low quality green manure, could be na option for implanting a alley system because it is easier to

management. It was observed that the studied system has no capacity of K^+ and Mg^{++} retain, shown decreasing values in their range at soil solution. Even the P low concentration observed in the leguminous residues, suggest that the observation about those levels in the soil should be replaced by inorganic fertilizers as it will be needed. The no tillage system by the leguminous straw in alley is incompatible with the rice crop production as a monoculture.

Keywords: agro-system, leguminous, soil management, alley cropping.

3 INTRODUÇÃO

A situação geográfica do Maranhão entre o Nordeste e a Amazônia, ao mesmo tempo em que lhe faculta o domínio de uma grande diversidade de agroambientes, não lhe permite utilizar parte das tecnologias geradas em outras regiões do país, para resolver os problemas de produtividade da agricultura, em virtude de suas especificidades de solo e clima. Em mais de 60% do Estado predominam solos derivados de rochas sedimentares, mais precisamente arenitos finos com teores razoáveis de silte. São, portanto, solos arenosos com altas percentagens de areia fina, teores de silte entre 15 e 20%, argila entre 10 e 15% e baixa disponibilidade dos principais nutrientes para os vegetais. Do ponto de vista climático, tem-se de modo geral na região um período seco de cinco a seis meses, dos quais três podem ser considerados muito secos, com menos de 8% das chuvas. No período chuvoso de seis a sete meses, pelo menos dois podem ser considerados muito chuvosos com mais de 40% de um total de aproximadamente 2000 mm anuais.

Na ausência de alternativas adequadas, os agricultores familiares da região ainda praticam a agricultura itinerante, que se caracteriza pela derrubada da floresta ou capoeira em pequenas áreas, queima da vegetação e limpeza rápida do terreno. Aproveitando o efeito positivo da cinza sobre a disponibilidade de nutrientes, são cultivados milho, arroz, mandioca, feijão caupi e algumas cucurbitáceas. Depois de uma ou duas colheitas, as áreas cultivadas são abandonadas para a regeneração da vegetação, fase caracterizada como período de pousio.

As principais vantagens agronômicas do uso do fogo e da agricultura itinerante, que induzem os agricultores a utilizá-la, são a rapidez e baixo custo na limpeza da área, fertilização pela cinza da camada superficial, queima das sementes das ervas daninhas e diminuição da pressão de inóculos devido à mudança da área de cultivo. Todas essas vantagens que foram significativas nos tempos de vegetação abundante e em regiões de baixa densidade demográfica, hoje se transformaram em fatores que dificultam a introdução de outros modelos agrícolas na região (FERRAZ JÚNIOR, 2004).

Como esperado para uma área de solos arenosos com altos índices pluviométricos, as tentativas de introdução de práticas “modernas”, como a gradagem pesada e aplicação de fertilizantes sintéticos, para substituição do sistema de corte e queima resultaram apenas em degradação de extensas áreas, onde a camada arável foi recompactada pela ação de chuvas torrenciais, sobre um solo de estrutura frágil porque é constituído basicamente por areia fina e silte (BUSSCHER et al., 2002). Além disso, a exposição desta camada aos rigores da insolação equatorial acelera a queima da matéria orgânica, elimina a possibilidade de reestruturação do solo e aumenta o efeito nocivo da acidez (MOURA, 2004).

Uma abordagem adequada ao manejo desse agroecossistema deve, portanto, levar em conta as especificidades locais inerentes ao trópico úmido, onde a sustentabilidade do uso do solo representa o componente estratégico mais importante. O plantio direto na palha que consiste no plantio sem o preparo do solo com grade ou arado logo após a colheita e, portanto, em cima da palha da cultura anterior, tem sido uma alternativa interessante de uso sustentável do solo para as regiões com chuvas suficientes para a obtenção de duas colheitas denominadas de inverno e de verão, semeadas em sucessão e quase sem nenhum intervalo entre a colheita de uma e a semeadura da outra. Infelizmente, no Maranhão, a época de plantio das culturas de verão (dezembro/janeiro) é precedida de um período de seca intenso (agosto/novembro) que não possibilita a produção de palha suficiente para a adoção desse sistema.

No trópico úmido, os sistemas agroflorestais, por sua estabilidade e sustentabilidade ecológica, têm sido considerados como alternativa mais adequada ao uso permanente da mesma área, o que significa a manutenção de certa estabilidade do sistema. O cultivo em aléias, que parece ser adequado para esta situação, consiste em plantar uma cultura de interesse econômico nas entrelinhas de um plantio de árvores preferencialmente

leguminosas. Esse sistema surgiu na Ásia, em regiões montanhosas das Filipinas, com a finalidade de reduzir a erosão do solo (KANG et al., 1990). Segundo Atta-Krah (1989), os dois processos essenciais de manutenção e regeneração da fertilidade do solo, os quais são separados espacialmente e temporariamente na agricultura itinerante, são reunidos no cultivo em aléias.

Levando em conta as condicionantes sociais e ambientais da região, Moura, (1995) e Ferraz Jr., (2000), conceberam um agrossistema denominado de “plantio direto na palha de leguminosas cultivadas em aléias” que combina as vantagens do “plantio direto na palha” com os benefícios do “cultivo em aléias”. Neste caso, os ramos das árvores são cortados e aplicados entre as fileiras com as vantagens de produzir resíduos de alta qualidade no período seco, uma vez que as árvores estão adaptadas para crescer neste período e retornar para a superfície os nutrientes das camadas mais profundas do solo por onde crescem suas raízes.

Considerando a hipótese que a adoção do sistema de plantio direto na palha de leguminosas cultivadas em aléias, possa conferir a solos de baixa fertilidade, uma tendência de melhoria continuada, a presente pesquisa teve como objetivos:

- avaliar a sustentabilidade do agrossistema de plantio direto na palha de leguminosas em aléias, por meio de seu efeito sobre a qualidade química e física de um Argissolo do trópico úmido;
- identificar como a combinação de resíduos de leguminosas de diferentes qualidades interferem nos indicadores de sustentabilidade do uso do solo, por meio da produtividade das culturas de arroz e milho.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A região Centro-Norte do Maranhão

O Maranhão é um Estado de transição entre o Semi-árido e a Amazônia e, portanto, detém características regionais peculiares, como: (a) grande variabilidade espacial da pluviosidade média; (b) solos altamente intemperizados e que, em grande parte, derivam de rochas sedimentares e, por isso, apresentam estrutura frágil, baixa capacidade de retenção de cátions e teores de outros nutrientes também baixos; (c) insolação equatorial rigorosa que acelera a decomposição e queima da matéria orgânica do solo, que, no trópico, é muito importante para neutralizar a acidez tóxica e manter a estrutura do solo por onde deve fluir o excesso de água (MOURA, 2004).

A região Centro-Norte, por ocupar grande parte do Estado, tem grande importância do ponto de vista social e econômico, por causa de sua extensão e alta densidade demográfica. Os principais solos dessa região são Argissolos, Plintossolos e Latossolos, constituídos principalmente de areia fina e silte com baixa capacidade de retenção de cátions, estrutura frágil e drenagem interna dificultada pela presença quase constante de camadas subjacentes de baixa condutividade hidráulica.

Além dos aspectos peculiares de clima e solo, da população que ocupa essa área, aproximadamente 60% sobrevive abaixo da linha de pobreza, praticando uma agricultura itinerante, aliada à utilização do fogo, cujos objetivos são a limpeza da área de

cultivo e a fertilização pelas cinzas. Essa prática de manejo foi sustentada durante muito tempo pela abundância de áreas disponíveis e pela baixa densidade demográfica. No entanto, com o advento do programa de reforma agrária, grande parte dos agricultores familiares ficaram limitados a produzir sempre na mesma área todos os anos.

Alternativas de manejo geradas para esses agrossistemas devem levar em consideração as especificidades de clima e solo. Uma delas surgiu a partir da fusão do plantio direto na palha, técnica muito utilizada nas regiões sudeste e sul do Brasil, com o sistema de cultivo em aléias, um sistema agroflorestal. Este novo sistema denominado plantio direto na palha de leguminosas cultivadas em aléias agrega os benefícios de cada um dos sistemas anteriores de que é derivado, permitindo o crescimento das culturas e dos adubos verdes no mesmo espaço e ao mesmo tempo.

4.2 Plantio direto

O plantio direto é um sistema de semeadura no qual a semente e o adubo são colocados diretamente no solo não revolvido, usando-se máquinas especiais. É aberto somente um sulco, de profundidade e largura suficientes para garantir uma boa cobertura e contato da semente com o solo. O sistema prepara no máximo 25% a 30% da superfície do solo. O controle de plantas daninhas, operação fundamental no sistema, é geralmente feito com herbicidas aplicados antes ou depois da instalação da cultura. Esse sistema tem sido usado desde tempos antigos, mas somente após o advento dos herbicidas com a Segunda Guerra Mundial que o plantio direto tornou-se viável em grandes escalas (MACHADO e SILVA, 2001).

A adoção do sistema plantio direto no Brasil, a partir do início da década de 70 do século XX, proporcionou novo alento à conservação do solo, a qual se baseava principalmente em práticas mecânicas de controle da erosão, como cultivo em nível e terraceamento. Os manejos conservacionistas, quando comparados ao preparo convencional, imprimem características químicas, físicas e biológicas distintas ao solo, de maneira a modificar a distribuição e morfologia das raízes, com reflexos no crescimento da parte aérea, interagindo, conseqüentemente, na produtividade (PAULETTI et al., 2003).

No Brasil, há uma aceitação crescente pelos produtores por semear soja, milho, trigo, cevada, sorgo, feijão e cultivos de cobertura, como aveia, crotalaria e

milheto sob sistema de plantio direto. Este sistema é significativamente benéfico para o ambiente devido ao aumento notável na taxa de infiltração da água no solo, aumento do conteúdo da matéria orgânica na camada superficial e pela grande estabilidade econômica das comunidades rurais (MACHADO e SILVA, 2001).

Na busca por sistemas de manejo que diminuam a perda de solo e favoreçam o aproveitamento da água, o sistema de plantio direto tem-se caracterizado por apresentar, principalmente na camada superficial, maior estabilidade estrutural, o que, aliado à manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, têm proporcionado maior proteção contra o impacto direto das gotas de chuva, favorecendo a infiltração e redução da perda de água por escoamento superficial. Dessa forma, esse sistema reduz significativamente as perdas de solo por erosão, tendo como consequência a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas no solo, que irão repercutir na sua fertilidade (CARVALHO et al., 2004). Benefícios a longo prazo do plantio direto em relação ao preparo convencional incluem: redução da erosão do solo, aumento do carbono orgânico, maior infiltração, aumento da atividade biológica do solo, redução da evaporação (KLADIVKO, 2001).

O plantio direto acelera o crescimento das culturas e aumenta as produtividades do milho, arroz de terras altas e soja, devido à temperatura mais adequada e melhores condições de umidade do solo, quando comparadas com o preparo convencional (TSUJI et al., 2006). Além disso, promove, à exceção do K, aumento dos teores de nutrientes, MO, pH e CTC efetiva e reduz o Al na camada superficial (0-5cm) do solo (FALLEIRO et al., 2003). Aumentos do carbono orgânico do solo (COS) na superfície também são relatados, porém geralmente quantidades menores são encontradas nas camadas inferiores, quando comparados ao preparo convencional (DEAN e KATAKI, 2003). O aumento da matéria orgânica do solo (MOS) nos primeiros 5cm de profundidade levam ao aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) nessa camada (DUIKER e BEEGLE, 2006). Esses resultados sugerem que as práticas conservacionistas nem sempre levam a acumulações do COS e N no perfil do solo como um todo (DOLAN et al., 2006). Como os níveis de COS estão em função da quantidade de resíduos vegetais, raízes das plantas e outros materiais orgânicos retornados ao solo e da taxa de decomposição, o seqüestro de C e a conservação do solo podem ser combinadas se a intenção for uma produção satisfatória e sustentável (MACHADO e SILVA, 2001).

4.3 Cultivo em aléias

No trópico úmido a integração de árvores com culturas alimentares é freqüentemente promovida com finalidade de aumentar a biodiversidade, otimizar a produção, conservar recursos naturais e melhorar o habitat de animais silvestres, mas segundo Albrecht e Kandji (2003), dado seu custo de implantação, um sistema agroflorestal além de ter baixo impacto no ambiente deve sustentar alta produção. De acordo com Montagnini e Nair, (2004) os sistemas agroflorestais nos trópicos podem manter os estoques de carbono do solo pelo ingresso das podas de árvores e pelos restos culturais. Esses sistemas melhoram o seqüestro de carbono da atmosfera e assim aumentam a estocagem de carbono nos componentes permanentes, as espécies arbóreas. A adição de matéria orgânica na forma de material podado das árvores pode significativamente alterar a condição físico-química do solo no curto prazo, o qual não seria alcançado somente com fertilizantes químicos (AIHOU et al., 1999).

O sistema de cultivo em aléias é um sistema que combina em uma mesma área espécies arbóreas, preferencialmente leguminosas e culturas anuais ou perenes de interesse econômico. As leguminosas são plantadas em linhas simples ou duplas, cujos ramos podem ser periodicamente cortados a altura de 0,5m e adicionados às entrelinhas das culturas de interesse econômico, onde servirão de cobertura e adubo verde. É uma prática tradicional em regiões montanhosas na Ásia, adotada como método de controle da erosão (KANG et al., 1990).

Características como melhoria da qualidade do solo, aumento das produtividades das culturas alimentares e dos rendimentos das propriedades rurais têm sido atribuídas ao sistema de cultivo em aléias, mas o sucesso de um sistema deste tipo está relacionado com a quantidade e qualidade do material podado das árvores, com a quantidade de nutrientes liberados dos resíduos durante o processo de decomposição e com a quantidade e o tempo de liberação de nutrientes para satisfazer as necessidades das culturas subsequentes (MENDONÇA e STOTT, 2003). Kang (1997) relata que, biologicamente, o sucesso do sistema de cultivo em aléias depende dos seguintes fatores: (1) escolha correta das espécies arbóreas; (2) pleno estabelecimento das aléias; (3) manejo eficiente das árvores/arbustos e das culturas alimentares. Portanto as espécies arbóreas escolhidas para o cultivo em aléias devem apresentar algumas características desejáveis, como: fácil estabelecimento no campo, sistema

radicular profundo e pouco extenso nas camadas superficiais, crescimento rápido, tolerância ao corte, alta capacidade de rebrota, alta produção de biomassa, fácil decomposição, altos teores de N (KANG et al., 1990).

Geralmente, neste sistema são usadas árvores leguminosas que são conhecidas por melhorar a fertilidade do solo pelo aumento na disponibilidade de N, principalmente derivado da fixação biológica do nitrogênio (FBN), pela captura de N dos perfis mais profundos e pela adição de cobertura vegetal ao solo (MAFONGOYA et al., 1998). As leguminosas com raízes profundas podem potencialmente interceptar nutrientes percolados ao longo do perfil do solo, também acessar os nutrientes acumulados nos subsolos abaixo da zona radicular de culturas anuais. Esses nutrientes capturados do subsolo pelas árvores tornam-se insumos quando transferidos para a superfície do solo na forma de liteira e de outros resíduos vegetais.

Estudo realizado na Costa Rica confirmaram a sustentabilidade do cultivo em aléias com *Gliricidia sepium* e *Erytrina poeppigiana*, principalmente com relação ao controle de ervas daninhas, por manter a disponibilidade de nutrientes e conseqüentemente a produtividade em nível economicamente viável (RIPPIN et al., 1994). Outros resultados indicam que o cultivo em aléias com *L. leucocephala* é vantajoso em áreas subúmidas. Por outro lado, a inclusão de *Calliandra calothyrsus* adversamente afeta a produtividade da cultura. A leucena oferece vantagem potencial em termos de aumento da produtividade do milho, comparada com a caliandra (MUGENDI et al., 1999).

A competição abaixo do solo, medida pela interação raiz-raiz entre as espécies arbóreas e culturas alimentares tem sido identificada como a maior determinante da produtividade e sustentabilidade de sistemas agroflorestais em regiões tropicais e temperadas do mundo (JOSE et al., 2000a). No entanto, as raízes apresentam um papel importante em aumentar e manter a fertilidade do solo nesses sistemas (YOUNG, 1997). Por exemplo, a quantidade de C e N ciclados por meio da decomposição de raízes finas pode ser igual ou maior do que a ciclagem do material podado deixado na superfície do solo (JOSE et al., 2000b).

As produtividades das culturas no cultivo em aléias podem aumentar com o passar do tempo, por causa do incremento da fertilidade do solo, uma vez que os nutrientes exportados ficam restringidos àqueles removidos pelos grãos na colheita, ademais

todos os resíduos vegetais das culturas e das árvores ficam retidos no sistema (AKYEAMPONG e HITIMANA, 1996). Contudo, a fertilidade do solo pode declinar como resultado de um manejo não adequado, pela perda de nutrientes com a remoção da biomassa (BAUHUS et al., 2002). Na Costa Rica com sistemas de cultivo em aléias as produtividades de grãos e de biomassa têm sido mantidas ou aumentadas quando comparadas com sistemas de produção solteiros (OELBERMANN et al., 2005).

O cultivo em aléias pode apresentar limitações, como o difícil estabelecimento do estande das árvores, insignificante resposta da produtividade, custos adicionais de produção, trabalho extra de manutenção do sistema, limitada opção para escolha de árvores (BÖHRINGER e LEIHNER, 1997). Além disso, durante o período do estabelecimento das árvores, a competição de plantas invasoras por nutrientes, luz e água pode severamente impedir sua sobrevivência e crescimento (DELATE et al., 2005).

Apesar de vários estudos terem demonstrado o potencial do cultivo em aléias para melhorar as produtividades das culturas em solos do trópico úmido onde a água não é um fator limitante, estudos no semi-árido não mostram consistência nos benefícios positivos desse sistema de cultivo, mesmo para aumentar as produtividades por meio da melhoria da fertilidade do solo ou pelo aumento na produção de biomassa, sob uso adequado de fertilizantes. Isso é explicado pela competição das árvores com as culturas por água, a qual é limitante no semi-árido. Em um vertissolo do semi-árido Korwar e Radder (1997) concluíram que os benefícios tangíveis em termos de produtividade no cultivo em aléias são pequenos, tais como 20% no nível 0kg de N e não vantajoso com 50kg N por ha. Segundo os mesmos autores, quando se considera os benefícios intangíveis, tais como as vantagens do sistema na conservação do solo e umidade em áreas com baixa pluviosidade, esse pode ser vantajoso com o decorrer do tempo. Portanto, além do clima, o solo é um fator importante que influencia a sustentabilidade e eficiência do cultivo em aléias e deve ser considerado quando da tomada de decisão do uso ou não desse sistema de cultivo, assim como na seleção das espécies arbóreas, porque solos de baixa fertilidade dificultam o estabelecimento das árvores e diminuem a quantidade de biomassa nos primeiros anos (TOSSAH et al., 1998).

Os aumentos de produtividade do milho devido à consorciação com árvores estão relacionados com o nível da fertilidade do solo, principalmente em relação ao conteúdo do N total em superfície. A matéria orgânica do solo (MOS) é uma fonte importante

de N para as culturas em sistemas de cultivo de baixo insumo. Em geral locais com maior ingresso de N na forma de resíduos vegetais contém uma quantidade relativamente maior de N total na fração matéria orgânica particulada (MOP). Esse N que se encontra na fração MOP é mais lábil do que o N associado com outras frações da MOS (VANLAUWE et al., 1999). O cultivo em aléias com árvores perenes e fixadoras de N₂ pode reduzir as perdas por lixiviação pelo aumento da MOS e, portanto, do poder tampão do solo (AKONDÉ et al., 1997).

Resultados de Chintu et al., (2004) sugerem que a mistura de árvores nos sistemas de cultivo é mais eficiente do que espécies solteiras na captura de nutrientes. As árvores podem potencialmente melhorar o N na superfície do solo por meio de adições de resíduos vegetais e estes podem significar aumentos significativos nas produtividades subsequentes do milho. Segundo Aihou et al. (1999), o cultivo em aléias, suplementado com fertilizante mineral, regenera e mantém a fertilidade do solo em áreas degradadas. Isso foi particularmente o caso da *Senna siamea* e em menor grau para a *L. leucocephala*. É amplamente aceito que insumos externos de nutrientes são necessários para suportar a produção sustentável (VANLAUWE et al., 1999).

Albuquerque (1999), trabalhando em um Argissolo da região Amazônica relata que a produtividade do milho sob cultivo em aléias depende fortemente dos indicadores físicos da fertilidade do solo, da estabilidade da macroporosidade do solo preparado e da não reconsolidação do perfil pelo impacto das chuvas.

4.4 Plantio direto na palha de leguminosas cultivadas em aléias

Nas condições do trópico úmido o plantio direto na palha de leguminosas em aléias pode contribuir para a sustentabilidade do uso do solo, principalmente com a reciclagem de potássio e nitrogênio, mas a escolha da leguminosa deve levar em conta sua capacidade de cobertura do solo, além da reciclagem de nutrientes (LEITE e FERRAZ JR., 2002).

O plantio direto na palha de leguminosas em aléias em um Argissolo evidencia que se pode sustentar a produtividade de terras cultivadas se for adotada a estratégia que permita regular a adição de pelo menos seis toneladas de *mulch* ao solo. No caso desses Argissolos com baixo poder tampão, ainda que para a sustentabilidade de seu uso seja essencial a aplicação de calcário, a recomendação de calagem deve otimizar-se em termos de

doses e frequências para evitar riscos de diminuição drástica da disponibilidade de micronutrientes metálicos, como o zinco. Os mesmos autores concluem que uma combinação adequada de calagem e cobertura a serem adicionadas ao solo a cada ano pode ser a chave que permitirá a agricultura atender os requisitos de sustentabilidade quando praticadas nestes solos (MOURA, comunicação pessoal).

Leite e Ferraz Junior (2002) relatam que pequenas respostas às variações na adição do N via leguminosa mais as diferenças da matéria seca entre a antese e a maturação do milho indicam a importância do aprimoramento do manejo deste sistema visando o aumento do sincronismo entre a liberação e a absorção do N. Segundo os mesmos autores, a produtividade desse sistema não depende da competição entre as espécies mas pode ser aumentada com o uso de cultivares mais eficientes no aproveitamento da disponibilidade variável do N.

Os resultados de um experimento para avaliação do comportamento de quatro espécies de leguminosas arbóreas: *Inga edulis*, *Clitoria fairchildiana*, *Leucaena leucocephala* e *Cajanus cajan*, em plantio direto na palha de leguminosas em aléias, revelaram que a leguminosa *Clitoria fairchildiana* de ocorrência espontânea na região Centro-Norte do Estado do Maranhão, produziu de biomassa na ordem de $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e considerável aporte de nitrogênio ao solo de $240 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, bem como produtividades relativamente altas de arroz nos três primeiros anos de $2,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e de milho no quarto ano de 6 Mg ha^{-1} (FERRAZ JUNIOR, 2000).

4.5 Qualidade dos resíduos vegetais

Os resíduos vegetais, em geral, são partes de plantas deixadas no campo após a colheita ou após os pastos serem roçados (KUMAR e GOH, 2000). Há um interesse crescente sobre os resíduos vegetais, adubos verdes e outros adubos orgânicos como fontes de matéria orgânica do solo e nutrientes para as culturas. As quantidades de nutrientes que podem retornar anualmente aos solos como resíduos das culturas são consideráveis. A fixação biológica de nitrogênio pelas leguminosas e a reciclagem de N fixado quando os resíduos das leguminosas retornam ao solo podem ser uma fonte significativa de N para o reservatório de N orgânico, assim como para a absorção pela cultura seguinte.

A qualidade do resíduo é usualmente definida em relação a sua composição química. O conteúdo de C, N, P, lignina e polifenóis, juntamente com suas interações, são as medições mais comuns. Os resíduos com altas taxas de decomposição e mineralização de N são usualmente considerados de alta qualidade. Contudo, se o principal objetivo de sistema de cultivo for manter coberta a superfície do solo, o conceito de baixa qualidade do resíduo deveria ser reconsiderado (MENDONÇA e STOTT, 2003). Para Young (1997), os resíduos de alta qualidade são aqueles que apresentam alto teor de N, baixas quantidades de lignina e polifenóis, e o inverso deve ser denominado de resíduo de baixa qualidade.

Os resíduos vegetais contém aproximadamente 40-50% de C em peso seco, porém seu conteúdo de N varia consideravelmente, causando variação na relação C/N. Resíduos vegetais com alto conteúdo de N mostram alta taxa de decomposição e liberação de nutrientes. Geralmente é aceito que resíduos com ampla relação C/N decompõem mais lentamente do que aqueles com relação C/N mais estreita (KUMAR e GOH, 2000).

A lignina é conhecida como uma substância recalcitrante, altamente resistente à decomposição microbiana e somente alguns poucos microrganismos podem degradá-la e estes são exclusivamente aeróbios. A concentração de lignina é considerada melhor preditor da taxa de decomposição do que a concentração de N. Os polifenóis se ligam às proteínas e formam complexos resistentes à decomposição. Eles também podem se ligar aos compostos de N orgânico, como os aminoácidos e as proteínas nas folhas, tornando o N indisponível, ou ligando-se ao N orgânico solúvel liberado das folhas, formando complexos resistentes no solo (KUMAR e GOH, 2000).

Para melhor prever os efeitos dos resíduos vegetais no solo e para as culturas um índice de qualidade é proposto por Tian et al. (1995), que integra os efeitos da relação C/N, da lignina e dos polifenóis. Segundo os autores, o índice de qualidade de resíduos vegetais (IQRV), pode ser usado para selecionar resíduo vegetal e projetar seu valor agrônomo, porque esse índice correlaciona com a taxa de decomposição do resíduo vegetal em *litter bags*.

A decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos vegetais geralmente segue uma tendência exponencial. A fibra detergente neutro e a digestibilidade *in vitro* são os parâmetros de qualidade mais relacionados com as taxas de decomposição. Os

polifenóis nos tecidos vegetais podem também reduzir a decomposição e a liberação dos nutrientes pela ligação entre os constituintes da parede celular e as proteínas. O tipo de polifenol e seu conteúdo nos tecidos vegetais são importantes em estudos de mineralização do N de resíduos vegetais, porque os diferentes polifenóis possuem diferentes atividades químicas. As plantas cultivadas em solos com pouca disponibilidade de N podem apresentar altas concentrações de polifenóis, em comparação com aquelas cultivadas em solos mais férteis.

A temperatura e a precipitação podem influenciar a taxa de decomposição do material vegetal (COBO et al., 2002). Don e Kalbitz (2005), relatam que as condições físicas, como o conteúdo de água do resíduo, também podem determinar a rapidez de sua decomposição. Especialmente durante a estação seca, o conteúdo de água torna-se o fator limitante para a atividade microbiana.

A mistura de resíduos vegetais de baixa e alta qualidade geralmente resulta em uma mineralização igual a do peso médio dos dois resíduos separados. Porém pode ocorrer uma redução do N disponível imediatamente após a aplicação dos resíduos, presumidamente devido a imobilização de N pelo resíduo de baixa qualidade. Isso não é seguido por um período de liberação rápida do N, como foi predito por algumas das hipóteses de sincronia. Em casos onde uma grande quantidade de C está disponível no resíduo de baixa qualidade, a capacidade de imobilização do N pode ser muito maior do que as quantidades de N disponível no solo. Nesse caso, a mistura com um resíduo rico em N pode resultar na imobilização total do N (PALM et al., 2001).

Vityakon e Dangthaisong (2005) relatam que sob condições aeróbias, o teor de N sozinho pode explicar 53% da variância na transformação do N, porém quando se adiciona o polifenol, essa variância foi aumentada para 62%. O polifenol parece ser o segundo maior fator que influencia a qualidade do resíduo na transformação do N sob condições aeróbias. Diferentes resíduos vegetais tem diferentes padrões de transformação do N. Estes padrões são controlados pela qualidade e pelas condições de aeração. Os resíduos de alta qualidade apresentam mineralização de N precoce e em larga quantidade com picos entre 2 a 4 semanas após incorporação e nenhuma ou pouca imobilização. No período de pico de produção de N, os resíduos podem liberar aproximadamente 156 a 416 kg N ha⁻¹ considerando uma dada uma taxa de aplicação de resíduo vegetal no solo de 10 t ha⁻¹. O conteúdo de N dos

resíduos é o mais importante fator de promoção da mineralização de N. Por outro lado, os polifenóis desempenham papel importante em retardar a mineralização de N.

A imobilização de N pelos microorganismos ocorre após a adição ao solo de resíduos orgânicos com alta relação C:N, principalmente quando são decompostos rapidamente. O efeito da imobilização sobre o rendimento vegetal depende, entretanto, da quantidade de N imobilizada, da disponibilidade de N no solo, e da época de maior imobilização relativamente à demanda vegetal, e esses fatores são influenciados por muitas variáveis. A quantidade e a época em que os adubos nitrogenados são aplicados ao solo também podem afetar a imobilização ou a liberação do N, conforme Amado et al, (2000).

Os resíduos vegetais com concentrações de N menores que 2% mostram uma relação linear positiva entre o N liberado e as concentrações de N, ao passo que os resíduos com concentrações de N maiores que 2% não se verificou nenhuma tendência. Abaixo dos níveis críticos, os nutrientes das plantas determinam a liberação dos elementos químicos. A concentração de N ou quaisquer outros nutrientes limitam a decomposição de resíduos vegetais que regem a proporção do N liberado, antes que o tipo, origem ou estado dos resíduos vegetais, como é geralmente aceito, segundo Seneviratne (2000).

O potássio da planta não está associado com o C e as leguminosas podem suprir as necessidades do K pelas culturas alimentares sob condições tropicais úmidas. A decomposição das folhas de leucena é mais rápida em ambientes muito úmidos. A liberação do P por folhas de leucena é mais relacionada com a quantidade de P presente no solo durante a decomposição da folha. A quantidade de P liberada pelas folhas de leucena, após 32 semanas de decomposição, é em média $4,9 \text{ kg ha}^{-1}$, no trabalho realizado por Bossa et al. (2005).

4.6 Indicadores da qualidade do solo

O entendimento atual do conceito de qualidade de solo compreende o equilíbrio entre os condicionantes geológicos, hidrológicos, químicos, físicos e biológicos do solo (BRUGGEN e SEMENOV, 2000; SPOSITO e ZABEL, 2003). Esse termo, muitas vezes utilizado como sinônimo de saúde do solo, refere-se à sua capacidade de sustentar a produtividade biológica dentro das fronteiras do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental

e promovendo a saúde de plantas e animais e do próprio ser humano (DORAN et al., 1996; SPOSITO e ZABEL, 2003).

O conceito de qualidade do solo surgiu no final da década de 70 do século XX e durante os 10 anos seguintes esteve muito associado ao conceito de fertilidade (KARLEN et al., 2003). Acreditava-se, por exemplo, que um solo quimicamente rico era um solo com alta qualidade, isto porque tinha a capacidade de prover a produção agrícola. Entretanto, a percepção de qualidade do solo evoluiu, principalmente nos últimos 10 anos, e, num entendimento mais amplo, percebe-se que não basta apenas o solo apresentar alta fertilidade, mas, também, possuir boa estruturação e abrigar uma alta diversidade de organismos. Dessa forma, a qualidade do solo influencia o potencial de uso, a produtividade e a sustentabilidade global do agrossistema, sendo seu estudo necessário para fornecer informações sobre o seu manejo e assegurar a tomada de decisões para uma melhor utilização desse recurso (SPOSITO e ZABEL, 2003).

A indagação de como avaliar a perda de qualidade de um determinado solo em função do manejo agrícola é antiga, controversa e pertinente. A qualidade do solo não pode ser medida, mas deve ser inferida de medidas de propriedades do solo ou do agroecossistema, referidos como indicadores. A matéria orgânica é um dos melhores indicadores de qualidade do solo, pois se relaciona com inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas (REICHERT et al., 1990). Contudo, a MOS possui um número de compartimentos com diferentes funções, os quais afetam o manejo na qualidade do solo. Em termos de fornecimento de nutrientes, o N orgânico dissolvido (NOD), N orgânico lábil e fração light da matéria orgânica respondem mais rapidamente ao manejo do que o conteúdo de MOS. Os carboidratos são importantes na agregação das partículas e é a chave determinante de muitas propriedades estruturais do solo (BENDING et al., 2004).

A sustentabilidade agrícola dos solos, prioritariamente, está relacionada com a preservação do estado de aeração e hidratação dos sistemas radiculares. As modificações provocadas pelo revolvimento da estrutura, distribuição do tamanho dos poros e teor de carbono orgânico, alteram as forças de retenção de água no solo e sua disponibilidade, os quais são fatores determinantes para o desenvolvimento de plantas em sistemas não irrigados. O não revolvimento do solo, bem como a manutenção dos resíduos vegetais na

superfície, podem contribuir para uma melhor condição físico-hídrica do solo, pela não formação de crostas superficiais, aumento da estabilidade de agregados devido ao acúmulo de matéria orgânica, estabelecimento de porosidade contínua, conhecido como bioporos, pela atividade biológica da fauna edáfica e de raízes e o equilíbrio entre os valores de macro e microporosidade, que por sua vez podem contribuir para um maior volume de água disponível (SILVA et al., 2005).

A macroporosidade, ou a porosidade ocupada com ar no potencial de 6 MPa, é uma medida relacionada com a taxa de difusão de oxigênio no solo. Os resultados obtidos por Thomasson (1978) em solos temperados indicam que a rápida drenagem do solo cessa em potenciais da ordem de 5 MPa e os poros drenados neste potencial determinam a capacidade de aeração dos solos. Araújo et al. (2004) utilizando o critério estabelecido por Thomasson (1978) e os valores médios de macroporosidade obtidos nesse estudo, de 0,16 e 0,05 m³ m⁻³, para mata e área cultivada, respectivamente, constataram que a capacidade de aeração do solo na área cultivada é classificada como inadequada, enquanto no solo sob mata é considerada muito boa. Salienta-se que valores adequados de capacidade de aeração são dependentes das condições climáticas e devem ser ampliados sob condições mais úmidas. Segundo Tormena et al., (2004), a porosidade com ar de 10% é o mínimo necessário para a difusão de O₂ até às raízes, indicando que a redução no volume de macroporos reduz a difusão de O₂ no solo.

O estresse da falta de oxigênio no solo causa distúrbios funcionais nos vegetais, especialmente na absorção de nutrientes e na composição da planta. Geralmente, as mudanças na absorção de nutrientes são vistas primeiro devido a estarem conectadas com uma diminuição clara no peso das plantas expostas à deficiência de oxigênio, enquanto mudanças na composição mineral aparecem somente sob condições de prolongado estresse de oxigênio. No caso do nitrogênio a absorção é sempre menor sob estresse de oxigênio quando comparada com o suprimento adequado de oxigênio para as raízes. Isso é acompanhado por uma diminuição no peso e na produtividade das plantas em condições anoxicas (GLIŃSKI e STEPNIIEWSKI, 1983).

Para Prade e Trolldenier (1988), com a porosidade livre de água acima de 10% a taxa de desnitrificação é insignificante e estável em solos cultivados e não cultivados. Abaixo desse limiar a desnitrificação aumenta exponencialmente com o decréscimo da

porosidade livre de água. Estavillo e Rodriguez (1994), relatam que as taxas de denitrificação maiores que $0,1\text{kg N ha}^{-1}\text{ dia}^{-1}$ ocorrem com porosidade livre de água menor que 26% e conteúdo de nitrato no solo maior que 1mg N kg^{-1} de solo seco.

O estresse da cultura do milho e provavelmente de outras não tolerantes ao déficit de O_2 se manifesta pela diminuição da eficiência fotossintética (MOURA, 1995). O mesmo autor relata que em um Argissolo com predominância da fração areia fina e sob regime de alta precipitação pluviométrica, a porosidade efetiva é o principal fator determinante da fertilidade.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização do experimento, clima e solo

O experimento foi instalado na área experimental da Universidade Estadual do Maranhão, Campus de São Luís, em janeiro de 2002, no início do período chuvoso. As coordenadas geográficas compreendem 2° 30' Latitude Sul e 44° 18' Longitude a Oeste do meridiano de Greenwich. O clima da região na classificação de Köppen é do tipo AW', equatorial quente e úmido, com duas estações bem definidas: uma estação chuvosa que se estende de janeiro a junho e uma estação seca, com déficit hídrico acentuado de julho a dezembro. As precipitações variam de 1700 a 2300 mm anuais, das quais mais de 80% ocorrem de janeiro a maio. A temperatura média situa-se em torno de 26,7° C, sendo que as máximas variam de 28° C a 37° C e mínimas entre 20°C e 23°C.

O solo da área experimental é denominado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico, pela EMBRAPA (1999), antigo PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO. Suas características morfológicas, físicas e químicas são descritas na Tabela 1. A precipitação pluviométrica para São Luís, do período de janeiro de 2002 a outubro de 2006, é apresentada na Figura 1.

Tabela 1. Características pedológicas do perfil de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico em São Luís, MA.

Características Morfológicas												
Horizonte	Profundidade		Cor					Textura				
	----- cm -----											
A1	0-20		Bruno-acizentada muito escura					Areno-franca				
A2	20-33		Bruna					Franco-arenosa				
AB	33-51		Bruno-amarelada					Franco-arenosa				
BA	51-77		Bruno-amarelada					Franco-arenosa				
Bt	77-111		Bruno-amarelada					Franco-argilo-siltosa				
BC	132+		Bruno-amarelada					Franco-argilo-siltosa				

Características Físicas						
Horizonte	Granulometria					Ds
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila		
			%			kg m ⁻³
A1	26	56	8	10		1,740
A2	24	54	12	10		1,691
AB	21	51	15	13		1,782
BA	19	50	21	13		1,680
Bt	19	47	13	21		1,571
BC	19	44	9	28		1,754

Características Químicas												
Horizonte	Ca	Mg	K	S	Al	H+Al	T	P	pH	C	V	m
	----- mmol _c dm ⁻³ -----							g dm ⁻³	CaCl ₂	----- % -----		
A1	2	3	1,2	6,2	3	33	39,2	7	4,3	1,2	16	18,5
A2	3	2	0,5	5,5	4	36	41,5	3	4,1	0,3	13	42,1
AB	4	5	0,5	9,5	7	41	50,5	1	4,0	0,3	19	42,4
BA	3	2	0,4	5,4	7	41	46,4	-	4,1	0,3	11	61,4
Bt	4	4	0,5	8,5	5	24	32,5	1	4,2	0,2	26	37,0
BC	4	5	0,5	9,5	4	24	33,5	1	4,2	0,1	28	27,5

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo – UEMA – São Luís (MA).

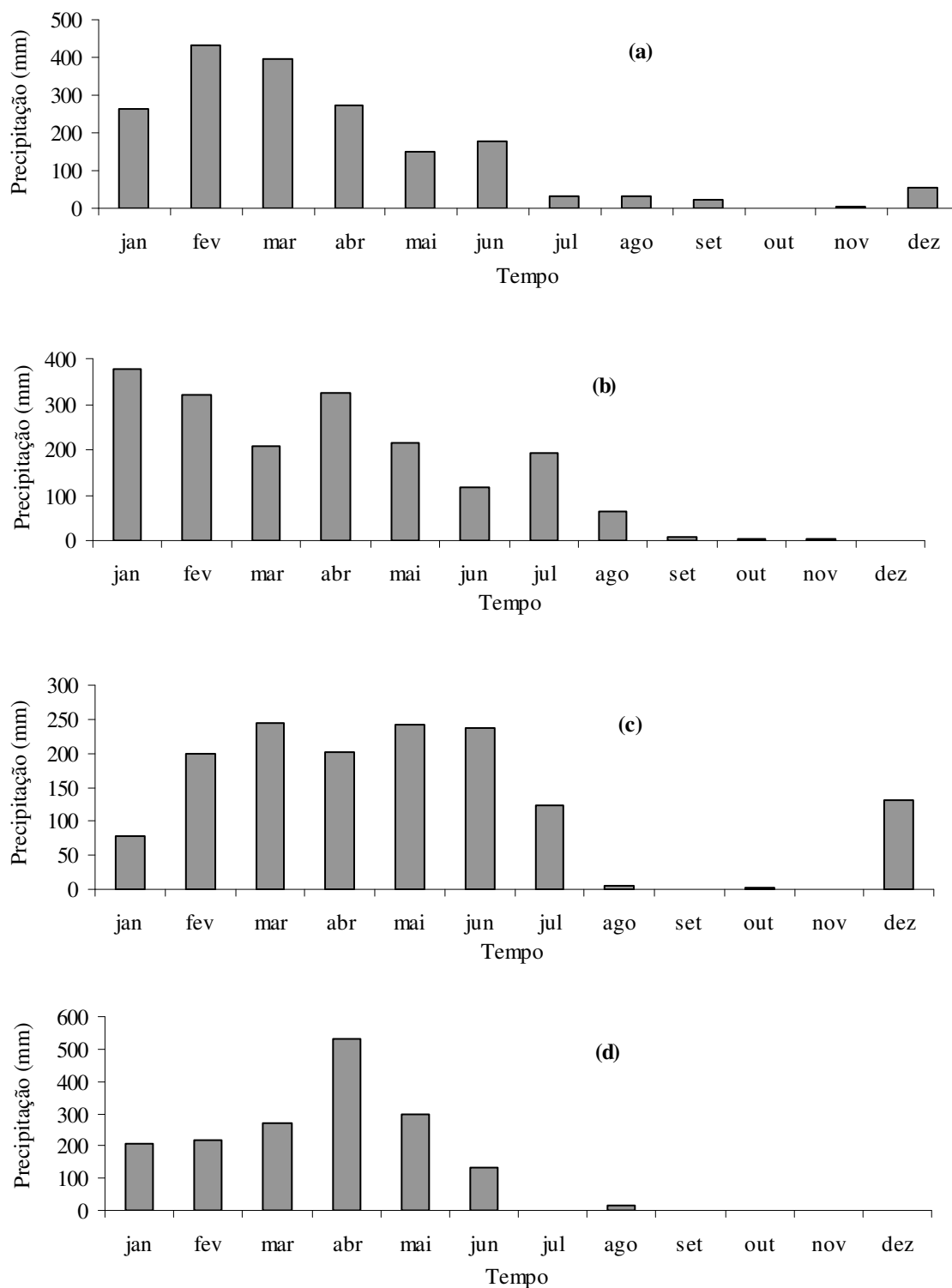


Figura 1. Precipitação pluviométrica para São Luís-MA nos anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (d). Dados não mostrados para julho e setembro a dezembro de 2006.

5.2 Delineamento experimental

Foram avaliadas duas espécies de leguminosas de alta qualidade de resíduos - *Leucaena leucocephala* (leucena) e *Cajanus cajan* (guandu), e duas espécies de baixa qualidade de resíduos - *Clitoria fairchildiana* (sombreiro) e *Acacia mangium* (acácia), combinadas entre si, nos seguintes tratamentos: Sombreiro + Guandu (S+G); Leucena + Guandu (L+G); Acácia + Guandu (A+G); Sombreiro + Leucena (S+L); Leucena + Acácia (L+A) e Testemunha, sem leguminosas (Figura 2). As sementes de leucena e sombreiro foram coletadas de espécies locais. Para a semeadura do guandu foi utilizada a cultivar taifeiro. Para o plantio da acácia foi utilizado mudas de 2 meses de idade, produzidas localmente.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. As leguminosas foram dispostas em linhas simples, espaçadas de 0,5m entre plantas e 4m entre linhas, em parcelas de 21 x 4m.

5.3 Condução do experimento

A calagem do solo foi feita em 2003, com aplicação superficial, de cal hidratada, na dosagem de 1 Mg ha^{-1} , com 30% de CaO e 22% de MgO, o que equivale a 214kg de cálcio e 132kg de magnésio. As sementes de milho, cultivar AG 1051, foram semeadas com matraca em janeiro de cada ano, com densidade de cinco sementes por metro, em sulcos espaçados com 1m entre linhas. A cultura do arroz de terras altas (*Oriza sativa* L.), cultivar Bonança, foi semeada manualmente no mesmo período que a cultura do milho, com 100 sementes por metro, com espaçamento de 0,40m entre linhas.

As adubações nas semeaduras nos anos de 2003 e 2004 foram de 250 e 200kg ha^{-1} de 10-25-15 + 0,05% Zn, respectivamente para o milho e arroz. A adubação de cobertura foi de 30kg ha^{-1} de N na forma de sulfato de amônio. No ano de 2005 a adubação de semeadura foi de 30-80-40-04 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O e Zn, nas formas de uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio e sulfato de zinco, respectivamente, para a cultura do milho. Para o arroz foi usado 20-50-40-04 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O e Zn, nas formas de uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio e sulfato de zinco. Para adubação de cobertura foi usado 40 e 30kg ha^{-1} de N na forma de uréia, respectivamente, para o milho e o arroz. No ano de 2006, a adubação de semeadura foi de 30-80-40-04 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O e Zn nas formas de uréia,

MAP, cloreto de potássio e gramozinco a 10%, respectivamente, para a cultura do milho. Para o arroz foi usado 20-50-40-04 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O e Zn nas formas de uréia, MAP, cloreto de potássio e gramozinco a 10%, respectivamente. Para a adubação de cobertura foram usados 50 e 40 kg ha⁻¹ de N, tendo como fonte a uréia, respectivamente, para o milho e o arroz.

Os cortes das leguminosas foram realizados em janeiro de 2004, 2005 e 2006, após a germinação das culturas de milho e arroz, à altura de aproximadamente 50cm. O corte não foi realizado em 2003 devido ao difícil estabelecimento das leguminosas, principalmente da leucena, devido à baixa fertilidade natural do solo. No ano de 2006 a leucena sofreu um segundo corte aos 35 dias do plantio das culturas, para evitar o sombreamento. As quantidades de biomassa, em kg parcela⁻¹ da massa fresca, produzidas e aplicadas ao solo foram igualmente distribuídas entre todas as parcelas de cada tratamento.

5.4 Avaliações

O índice de sobrevivência das leguminosas, realizado após 1 ano da instalação do experimento (2003), foi calculado pelo número de indivíduos mortos dividido pelo número total de indivíduos plantados.

Nos resíduos das leguminosas foram determinados os teores de N total, P, K, Ca e Mg pelo método descrito em Tedesco (1982), além dos teores de lignina, celulose, hemicelulose, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro, pelo método de Van Soest (1967) e polifenol pelo método de Anderson e Ingram (1996). As amostras para essas análises foram tomadas em janeiro de 2005, logo após o corte das leguminosas. Para a análise de produção do milho foram avaliados: massa da espiga, massa de 1000 grãos e massa total de grãos. Para a cultura do arroz foi avaliada a massa total de grãos.

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

As análises químicas do solo foram as seguintes: pH em CaCl₂, matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, H+Al, segundo metodologia do Instituto Agrônomo de Campinas (2001), e determinados a capacidade de troca catiônica (CTC) pela fórmula $[SB + (H + Al)]$,

onde $SB = Ca + Mg + K$ e a saturação por bases, calculada por $V = (SB/CTC) \times 100$. As amostras foram tomadas nas profundidades de 0-20 e 20-40cm em janeiro de 2003; de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-40cm em junho de 2005 e de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm depois da colheita em junho de 2006. As amostras foram tomadas nas entrelinhas do milho e do arroz em caminamento zig-zag, com cinco amostras simples por parcela para formar uma composta.

As amostras para avaliações dos atributos físicos do solo foram coletadas em agosto de 2006, com três repetições por parcela, na profundidade de 0 a 20cm. Os anéis volumétricos com capacidade de 100cm^3 foram saturados, pesados e levados à mesa de tensão no potencial de 5kPa. Após, o solo de cada anel foi seco em estufa a 105°C . A densidade do solo foi calculada pela fórmula $D_s = m/v$, onde: D_s = densidade do solo; m = massa do solo da amostra seca a 105°C ; v = volume do anel. A porosidade total (Pt) foi calculada pela fórmula $Pt = [1 - (D_s/2,65)]$, onde: Pt = porosidade total; D_s = densidade do solo e densidade de partícula foi assumida como 2,65. A capacidade de aeração corresponde ao volume de macroporos e foi calculada como a diferença de massa entre a amostra saturada em água e a amostra equilibrada a 5kPa.

5.5 Análise estatística

Os dados foram analisados estatisticamente com auxílio do programa STATISTICA. Os dados obtidos pelas análises químicas e físicas do solo, assim como as produtividades das culturas de milho e arroz, foram submetidos à análise de variância, com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

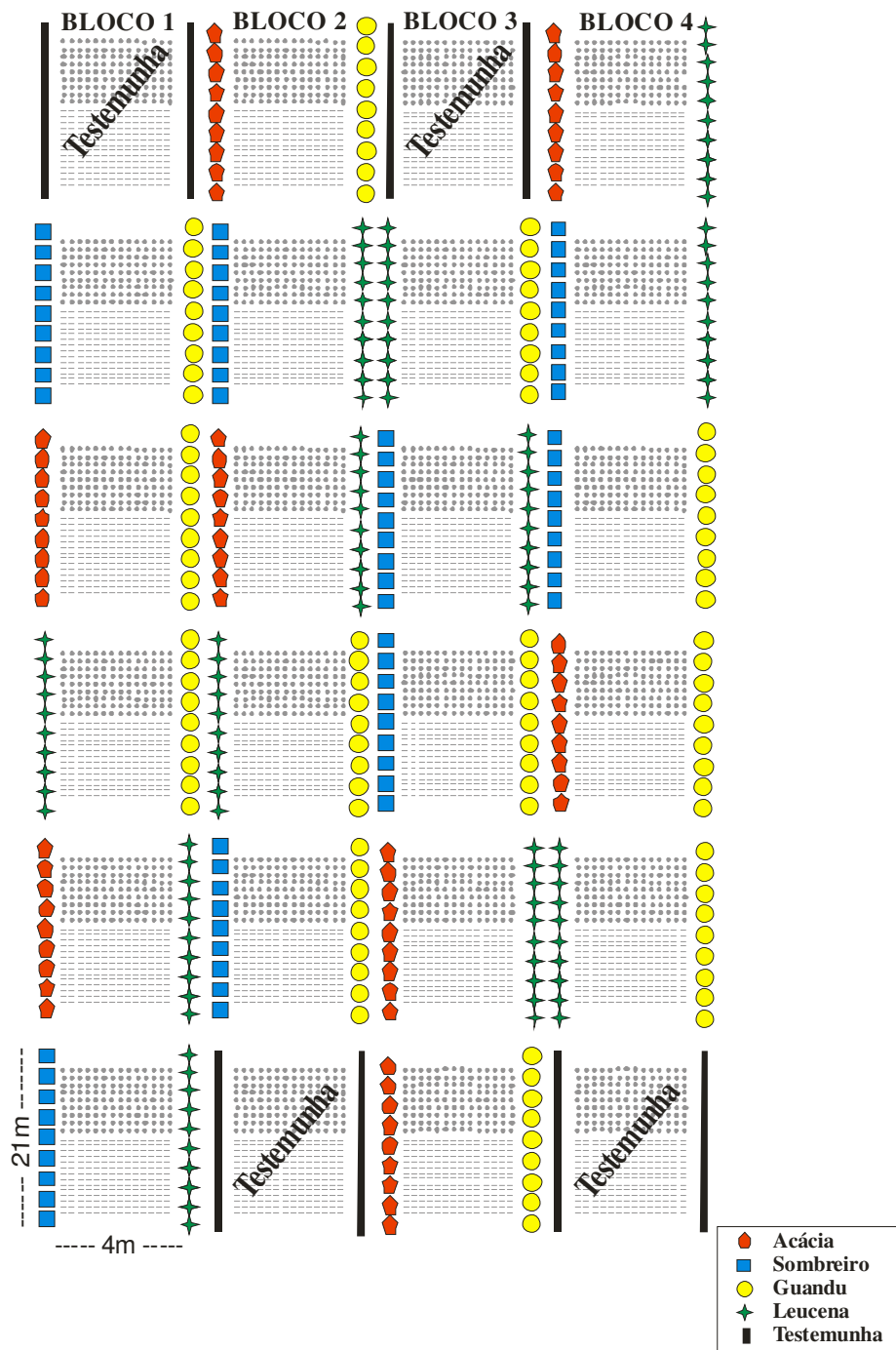


Figura 2. Croqui da área experimental.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Estabelecimento das leguminosas e estabilização do sistema

No sistema de cultivo em aléias a escolha das espécies de árvores deve, entre outros fatores, levar em conta sua capacidade de crescimento na fase inicial que pode contribuir para a antecipação da idade do primeiro corte e, conseqüentemente, da diminuição do tempo de estabilização da produtividade do sistema. Neste experimento, em função da baixa fertilidade natural do solo da área, todas as leguminosas apresentaram problemas de sobrevivência inicial e nenhuma delas atingiu crescimento suficiente para o corte em 2003. A maior taxa de sobrevivência no primeiro ano (2003) foi obtida pelo sombreiro, seguido pela acácia, leucena e guandu. Dados de Ferraz Jr. (2000), trabalhando no mesmo solo indicam o plantio diretamente no campo de sementes de sombreiro e guandu, mas alertam para a dificuldade de estabelecimento da leucena, principalmente devido sua baixa nodulação na fase inicial. No primeiro corte (2004), as leguminosas produziram quantidades muito variáveis de massa seca, com destaque para a acácia que produziu 4,5 vezes mais (6,33 t ha⁻¹) que a leucena. Já no segundo corte, a diminuição da diferença entre as espécies, indicou que o sistema se estabilizara no terceiro ano de cultivo (Tabela 2).

Tabela 2. Percentagem de sobrevivência no 1º ano e a massa seca produzida pelas leguminosas nos três anos de corte

Espécies	Sobrevivência no 1º ano (%)	Massa seca (Mg ha ⁻¹)		
		2004	2005	2006
Sombreiro	55,39	1,60	7,07	4,73
Acácia	48,57	6,33	7,93	13,88
Leucena	40,90	1,69	4,12	4,17
Guandu	14,39	0,49	0,75	0,69

A importância desses resultados pode ser refletida na dificuldade de aceitação do sistema pelos agricultores, acostumados aos resultados imediatos do corte e queima. Além disso, a duração do período de carência incidirá diretamente sobre os custos de implantação, considerando que o agricultor local, ao qual se destina esta tecnologia, tem baixa capacidade de inversão de capital. Ressalte-se que para a consolidação dos grandes projetos estabelecidos em áreas de solo sob cerrado brasileiro, três anos é também o tempo mínimo para o retorno do investimento, que começará a ser obtido pelo aumento da produtividade do empreendimento.

6.2 Qualidade e produtividade de biomassa das leguminosas

Pela análise da qualidade dos resíduos observou-se que a expectativa quanto à posição de cada leguminosa no ranking das espécies foi mantida. Porém, as diferenças entre os parâmetros analisados foram menores do que as esperadas, principalmente em relação à leucena e ao guandu que apresentaram índices abaixo dos encontrados em vários outros experimentos, como os de Tian et al. (1995) e Vityakon e Dangthaisong (2005). Entre os componentes analisados nestas espécies houve maior discrepância nos teores de polifenóis que, segundo Klaus et al. (2003), aumentam nas folhas das plantas com a diminuição da fertilidade do solo. No trabalho de Isaac et al. (2003) em três diferentes locais, ambos em solo fértil, os teores de polifenóis da *L. leucocephala* foram maiores em menor altitude e maior

temperatura do ar. Mendonça e Stott (2003) analisaram espécies cultivadas na Zona da Mata Mineira e concluíram que as plantas utilizadas nos sistemas agroflorestais tropicais apresentam muito maiores teores de polifenóis do que em outros locais. Para o guandu eles encontraram teores de 88 g kg^{-1} , quantidade 3 vezes maior do que a normalmente citada na literatura (TIAN et al., 1995) e semelhante àquela encontrada neste experimento (Tabela 3).

No caso deste experimento, a baixa fertilidade natural do solo, as altas temperaturas e a baixa altitude local podem ter sido a causa do aumento dos teores de polifenóis, não apenas do guandu, mas também da leucena, com o agravante de que para esta espécie as sementes para o plantio foram coletadas de árvores da própria Ilha, portanto já adaptadas aos rigores do ambiente local. Os altos teores de polifenóis apresentados por estas duas espécies reduziram a qualidade de seus resíduos, aproximando os seus índices de qualidade dos da acácia e do sombreiro (Tabela 3).

Em termos totais, a maior concentração de nutrientes foi apresentada pela leucena, com mais do dobro de N e K que a acácia e quase o dobro do sombreiro. Todas as leguminosas apresentaram altos teores de Ca e muito baixos de P e Mg. A acácia apresentou menores teores de N, P, K e Mg, confirmando sua eficiência de uso dos nutrientes já descrito por Balieiro et al. (2004).

Tabela 3. Caracterização química das leguminosas usadas no experimento, em janeiro de 2005, em folhas e galhos tenros.

Espécies	C/ N *	FDA	FDN	Polifenol	Lignina	Hemicelulose	Celulose	IQRV	
		----- % -----							
Leucena	12	23,52	36,45	18,0	9,72	12,93	14,52	8,4	
Guandu	18	31,24	49,24	9,0	16,19	18,0	15,77	6,2	
Sombreiro	23	38,85	54,82	17,6	17,47	15,97	21,66	5,0	
Acácia	27	31,04	47,65	21,4	14,28	16,61	17,43	4,8	
Espécies	N	P	K	Ca	Mg				
		----- g kg^{-1} -----							
Leucena	40,17	1,55	11,18	17,84	2,92				
Guandu	28,75	2,83	8,22	13,82	2,00				
Sombreiro	22,71	1,30	6,75	14,44	2,91				
Acácia	18,28	0,51	5,40	16,38	1,73				

* C/N = relação carbono/nitrogênio; FDA = fibra detergente ácido; FDN = fibra detergente neutro; IQRV = índice de qualidade de resíduo vegetal.

Quanto à produção total de biomassa, a acácia e o sombreiro foram as leguminosas mais produtivas seguidas da leucena e guandu. Com a alta produtividade da acácia, já a partir do primeiro ano, o tratamento com esta leguminosa na combinação com leucena produziu mais de 33 t/ha na soma dos três anos (Figura 3). Dado o caráter arbustivo e semi-perene do guandu, seu pico de produção ocorre no segundo ano, o que explica as menores adições nos tratamentos em que ele foi combinado com outras leguminosas que não a acácia. Em comparação com a acácia a produção do sombreiro foi sempre mais equilibrada em relação à companheira de resíduo de maior qualidade, o que pode refletir na reciclagem e disponibilidade sincronizada dos nutrientes, no período de maior exigência da cultura. Em 2005 as altas temperaturas de um incêndio em área adjacente ao experimento atingiram as árvores de duas parcelas de sombreiro, o que diminuiu a produtividade desta leguminosa no corte de 2006. No terceiro ano, o crescimento da leucena ensejou um segundo corte das árvores aos 35 dias do plantio das culturas, o que além de evitar o sombreamento, pode ter contribuído para uma maior sincronia do N.

Quanto à cobertura do solo, apenas as parcelas com acácia tiveram o solo coberto completamente no primeiro ano de corte. A partir do segundo ano todas as parcelas foram cobertas, mas nas áreas com leucena+guandu o período de cobertura não abrangeu o ciclo total do milho (Figura 3). Tendo em vista estes resultados, parece ser mais atraente a combinação acácia+leucena, pois atende aos critérios de precocidade, quantidade e longevidade, embora esses não sejam os únicos que devam ser considerados na escolha das espécies para a combinação no sistema.

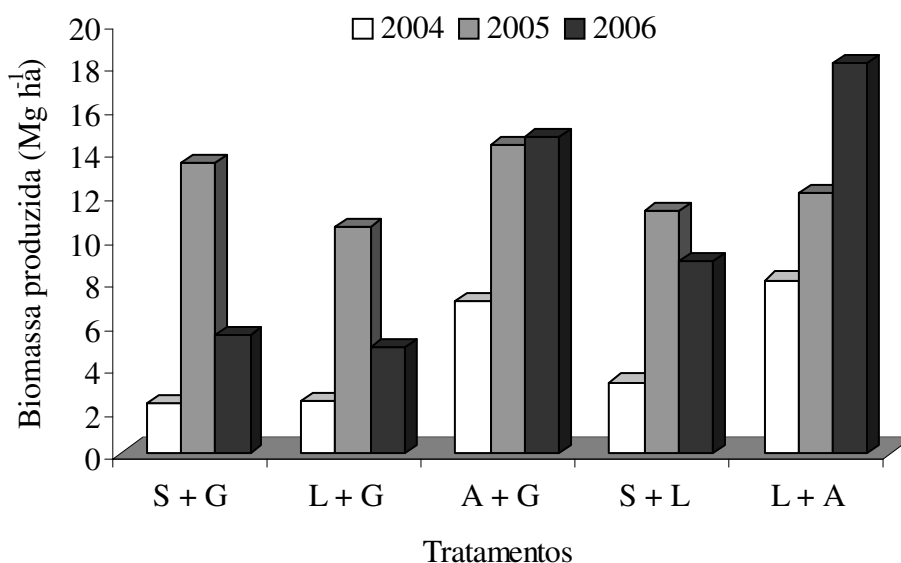


Figura 3. Biomassa seca produzida em três anos e aplicada às parcelas pela combinação de leguminosas.

S + G = sombreiro + guandu; L + G = leucena + guandu; A + G = acácia + guandu; S + L = sombreiro + leucena; L + A = leucena + acácia

6.3 Aporte de nutrientes ao sistema

Ao discutir a contribuição dos resíduos para a sustentabilidade do sistema é essencial diferenciar os outros nutrientes do nitrogênio, o único realmente adicionado ao solo. Já no primeiro ano a quantidade aportada de N orgânico seria significativa no atendimento da demanda de nitrogênio em todos os tratamentos com leguminosa, se houvesse sincronismo completo entre a liberação e a exigência das culturas. A partir do segundo ano as quantidades de N recicladas já seriam suficientes para alcançar as produtividades obtidas, o que abre espaço para o aprimoramento do manejo do sistema visando aumentar o aproveitamento do N orgânico e diminuição do inorgânico a ser aplicado (Figura 4a). Buresh et al. (1997) admitem que o aproveitamento do N adicionado, via resíduo vegetal, varia nos agrossistemas em torno de 20%. Para o aumento do sincronismo do N, Myers et al. (1997) sugerem que devem ser aprimorados o tempo de aplicação, a localização, a qualidade do resíduo e a adição de N inorgânico.

Inúmeros trabalhos confirmam que a adição de resíduos com N maior que 25 g.kg^{-1} aumenta o aproveitamento total do N das fontes orgânica e inorgânica, o que resulta em aumento da produtividade da cultura adubada (JONES et al., 1997; MITTAL et al., 1992; GOYAL et al., 1992). Especificamente para as condições desse experimento a diminuição da porosidade livre de água para níveis abaixo de 10% nas parcelas sem cobertura do solo pode ter contribuído para a diminuição do aproveitamento do N com o aumento da denitrificação. Segundo Moura (1995), este fenômeno acontece comumente nos Argissolos do Centro-Norte do Maranhão graças a um processo denominado de recompactação por Busscher et al. (2002), em função da incidência de chuvas intensas em solo descoberto e de estrutura frágil.

Entre os tratamentos as combinações com leucena, exceto dela com guandu, foram as que mais contribuíram com o aporte de N, mas na comparação entre tratamentos deve ser ressaltado o maior equilíbrio entre resíduos diferentes apresentado pela combinação leucena+sombreiro, somado ao fato que os dois cortes da leucena favorece uma maior sincronia do N. A menor contribuição dos tratamentos com guandu deve ser atribuída ao seu caráter de planta arbustiva e semi-perene com menor produção de biomassa que as outras espécies.

Em todos os tratamentos as quantidades de fósforo recicladas foram aquém do que se considera necessário quanto a este indicador para a sustentabilidade do sistema (Figura 4b). Mesmo que as diferenças entre tratamentos pareçam importantes em termos relativos não podem ser consideradas significativas para sustentabilidade do sistema em termos absolutos. Segundo 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. Além disso, deve ser ressaltado, como adverte Palm et al. (1997), que no caso do P, as aléias podem servir apenas como tampão do teor do nutriente, não havendo propriamente adição deste elemento.

Com relação à ciclagem do potássio os tratamentos com acácia foram de maior eficiência, mais pela quantidade de biomassa do que pela concentração deste elemento nos resíduos (Figura 4c). Dessa forma, o manejo pode ser considerado adequado

para solos com baixa CTC, principalmente para os sistemas produtivos orgânicos, onde a adição de fontes inorgânicas passa por restrições das entidades certificadoras.

Nos tratamentos com acácia observou-se melhor eficiência para reciclar o cálcio do solo, recuperando quantidades maiores do que a adicionada via calagem e adubação (Figura 4d; 4f). A combinação sombreiro+leucena recuperou a mesma quantidade aplicada, o que não foi alcançado pelos outros tratamentos. A transferência para a superfície de nutrientes interceptados abaixo da zona radicular das culturas é uma das funções do sistema de aléias, segundo Kang (1997). Segundo Buresh e Tian (1997), a capacidade das árvores exercer esta função varia com a profundidade de seu sistema radicular, de sua demanda por nutrientes e dos teores de água e nutrientes dos horizontes sub-superficiais.

Nenhum dos tratamentos conseguiu reciclar nem 2/3 da quantidade de magnésio aplicada, o que pode ser crítico, considerando a grande mobilidade desse elemento em solos com baixa capacidade de retenção de cátions, principalmente se for levado em conta os limites adequados da relação Ca/Mg sugerido por Lopes (1983), já que a tendência do sistema é de manter o Ca em níveis satisfatórios (Figura 4e; 4f).

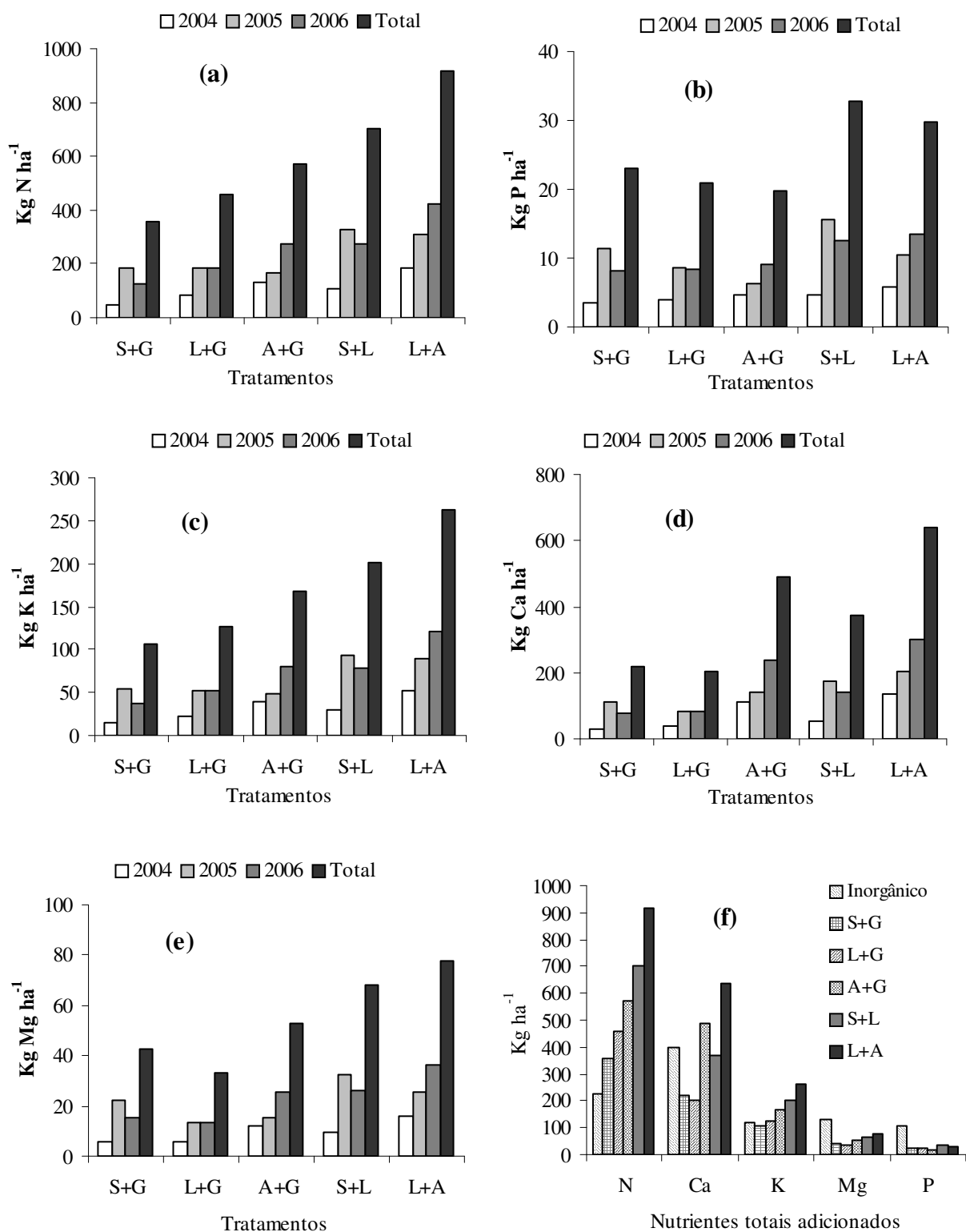


Figura 4. Quantidades aportadas pelas combinações de leguminosas de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) e nutrientes totais adicionados (f).

6.4 Avaliação das variações nos indicadores de qualidade de solo

Observou-se na análise do solo do local do experimento, antes do plantio, indicadores de qualidade importantes, como soma de bases, teores de fósforo e saturação por bases, abaixo dos níveis críticos desejados para um sistema agrícola produtivo, como era de se esperar nos ARGISSOLOS da Formação Itapecuru, no centro-norte do Maranhão. Um ano após a calagem superficial a camada de 0-10cm já apresentava melhoria nos indicadores químicos, o que favoreceu o estabelecimento das leguminosas, todas elas espécies calcícolas, ou seja, com teores de cálcio variando entre 15,7 a 22,7 g kg⁻¹, como relata Hou e Merkle (1950), citados por Haridason e Araújo (2005). Outro efeito importante da calagem superficial foi a drástica redução dos teores de potássio, que na camada de 0-5 foi para 1/3 do existente antes da aplicação do calcário. Para Tisdale et al. (1985), as ligações do K com as argilas e matéria orgânica são relativamente fracas, o que explica sua pronta substituição por outros cátions principalmente cálcio e magnésio.

Tabela 4. Resultados da análise química do solo do experimento para os anos de 2003 e 2004.

Antes da calagem e da primeira semeadura (2003)										
Profundidade	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
cm	g dm ⁻³	CaCl ₂	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----			-----			%
0 – 20	13	4,2	1	1,2	5	5	23	11,2	34,2	33
20 – 40	13	4,1	1	1,0	5	4	21	10,0	41,0	24
Um ano após a calagem superficial (2004)										
Profundidade	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
cm	g dm ⁻³	CaCl ₂	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----			-----			%
0 – 5	22	6,4	4	0,4	19	11	10	30,4	40,4	75
5 – 10	16	5,9	3	0,5	10	9	13	19,5	32,5	60
10 – 15	12	4,8	2	0,4	5	5	20	10,4	30,4	34
15 – 20	10	4,2	1	0,4	3	2	24	5,4	29,4	18

A partir da aplicação dos ramos das leguminosas em 2004 e 2005 os teores de cálcio do solo nas parcelas que receberam resíduos se mostraram diferentes da testemunha, principalmente na camada de 0-5cm, o que refletiu positivamente na CTC e na soma de base (Tabela 5). Mesmo na camada de 5-10 os tratamentos com sombreiro conseguiram diferenciar-se dos demais, quanto aos teores de cálcio, provavelmente em função da melhor combinação da quantidade com a qualidade dos resíduos aplicados. Embora pareça ter havido uma leve recuperação dos níveis de potássio na camada de 0-5cm, não se pode

atribuir à aplicação dos resíduos, uma vez que não foram encontradas diferenças estatísticas entre a testemunha e os demais tratamentos.

Na análise do solo em 2005 também indica uma redistribuição do cálcio no perfil até a profundidade de 15cm com reflexos na acidez ativa e potencial e na soma e saturação por bases (Tabela 5). Trabalhando com aléias de guandu no mesmo solo Moura (2006)* constatou que a saturação por bases mantida entre 60 e 70%, com leve calagem anual, provocou deficiência drástica de zinco diminuindo a produtividade do milho em relação às parcelas com V% em torno de 45%, o que segundo Fageria e Zimmermann (1979), pode ser atribuído à baixa capacidade de retenção de cátions do solo.

Ao contrário do ano anterior, 2006 foi um ano de chuvas intensas na região, com precipitações superiores a 1100mm nos 90 dias de março a maio (Figura 2d), o que deve ter contribuído para uma remoção generalizada das bases na camada de 0-20 cm, principalmente do cálcio, fenômeno verificado em todos os tratamentos, conforme a comparação das análises de solo das amostras retiradas em 2005 e 2006 (Tabelas 5 e 6). O efeito da lixiviação foi mais intenso nas parcelas sem resíduos, o que resultou na manutenção das diferenças dos teores de cálcio, em relação aos outros tratamentos, com reflexos em todo o complexo sortivo, principalmente na soma e saturação por bases que na camada de 0-10 cm atingiram níveis menores que os encontrados antes do plantio do experimento, nas parcelas sem resíduos.

Não houve alteração significativa nos teores de matéria orgânica do solo nem na camada de 0-5cm após os três anos de adição de resíduos (Tabela 5). O acúmulo de matéria orgânica no solo se dá em função de alguma restrição a que são submetidos os decompositores (RESENDE et al., 2002). Segundo Bosatta e Ågren (1997), mesmo em condições de disponibilidade adequada de água, oxigênio e nutrientes, as substâncias orgânicas interagem com a argila para formar complexos e microagregados que tornam a matéria orgânica menos acessível aos decompositores. Esta “proteção física” não ocorre em solos arenosos e segundo Christensen (2000), o fracionamento físico da matéria orgânica é recomendado para a detecção de alterações de manejo do solo.

* MOURA, EG. (Universidade Estadual do Maranhão – Campus de São Luís). Comunicação pessoal, 2006.

Tabela 5. Análise química das amostras de solo do experimento retiradas após a colheita, nas profundidades de 0-40 cm, em junho de 2005.

Tratamentos	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³				mmol _c dm ⁻³			%
----- 0-5 cm -----										
Sombreiro + Guandu	4,6	23	18 b	0,6	20 a	3	26	23,6 a	49,6 a	48
Leucena+Guandu	4,8	24	18 b	0,6	18 a	3	22	21,6 a	43,6 ab	49
Acácia+Guandu	4,5	27	25 a	0,6	22 a	3	27	25,6 a	52,6 a	48
Sombreiro+Leucena	4,7	28	19 b	0,7	18 a	3	26	21,7 a	47,7 a	45
Leucena+Acácia	4,5	24	12 c	0,8	19 a	3	28	22,8 a	50,8 a	45
Testemunha	4,6	22	21 b	0,5	13 b	2	26	15,5 b	41,5 b	38
F	0,91 ^{ns}	0,81 ^{ns}	3,08*	1,01 ^{ns}	*	0,45 ^{ns}	1,23 ^{ns}	*	1,46 ^{ns}	2,42 ^{ns}
CV (%)	5	19	23	31	14	27	13	13	8	11
----- 5-10 cm -----										
Sombreiro + Guandu	4,4	18	16	0,4	14 a	2	28	16,4	44,4	37
Leucena+Guandu	4,7	19	14	0,5	11 b	2	22	13,5	35,5	38
Acácia+Guandu	4,3	20	20	0,4	11 b	2	29	13,4	42,4	32
Sombreiro+Leucena	4,5	21	16	0,5	14 a	2	27	16,5	44,0	39
Leucena+Acácia	4,3	21	10	0,6	12 ab	2	28	14,6	42,6	34
Testemunha	4,5	18	18	0,3	10 b	2	26	12,3	38,3	32
F	1,38 ^{ns}	0,77 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,39 ^{ns}	*	0,35 ^{ns}	0,97 ^{ns}	2,55 ^{ns}	1,41 ^{ns}	1,41 ^{ns}
CV (%)	6	17	24	51	15	25	15	14	11	12
----- 10-15 cm -----										
Sombreiro + Guandu	4,3	14	16	0,4	9	1	30	10,4	40,4	26
Leucena+Guandu	4,4	14	13	0,3	6	2	24	8,3	32,3	26
Acácia+Guandu	4,1	16	18	0,3	9	2	30	11,3	41,3	27
Sombreiro+Leucena	4,3	18	14	0,5	8	2	31	10,5	41,5	25
Leucena+Acácia	4,1	14	10	0,3	8	2	29	10,3	39,3	26
Testemunha	4,3	15	18	0,3	8	2	28	10,3	38,3	27
F	0,77 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,73 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,08 ^{ns}
CV (%)	6	15	30	64	36	38	17	25	14	24
----- 15 - 20cm -----										
Sombreiro + Guandu	4,1	13	12	0,3	5	1	30	6,3	36,3	17
Leucena+Guandu	4,2	12	11	0,3	4	1	27	5,3	32,3	16
Acácia+Guandu	3,9	14	15	0,3	5	1	34	6,3	40,3	15
Sombreiro+Leucena	4,1	15	12	0,4	5	1	33	6,4	39,4	16
Leucena+Acácia	3,9	14	7	0,2	6	1	33	7,2	40,2	18
Testemunha	4,2	14	18	0,2	6	1	29	7,2	36,2	20
F	1,78 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,50 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,86 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,42 ^{ns}	0,65 ^{ns}
CV (%)	5	18	40	58	35	34	12	31	13	23
----- 20-40 cm -----										
Sombreiro + Guandu	4,1	11	10	0,3	3	1	30	4,3	34,3	12
Leucena+Guandu	4,1	10	7	0,2	2	1	28	3,2	31,2	10
Acácia+Guandu	4,1	11	11	0,4	3	1	32	4,4	36,4	12
Sombreiro+Leucena	4,1	13	8	0,4	3	1	34	4,4	38,4	11
Leucena+Acácia	4,0	12	4	0,1	3	2	34	5,1	39,1	13
Testemunha	4,1	11	10	0,2	3	1	34	4,2	38,2	11
F	0,17 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,40 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,84 ^{ns}	1,77 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,29 ^{ns}
CV (%)	4	21	47	61	42	22	12	29	12	21

ns, * = não significativo e significativo a 5% de probabilidade, respectivamente. Letras diferentes na mesma coluna, entre tratamentos, indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste Tukey.

Tabela 6. Análise química das amostras de solo do experimento retiradas após a colheita, nas profundidades de 0-40cm, em junho de 2006

Tratamentos	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmol _c dm ⁻³ -----						
----- 0-5 cm -----										
Sombreiro + Guandu	4,5	22	11	0,4	19 a	3	26	22,4 a	48 a	46 a
Leucena+Guandu	4,4	18	11	0,4	16 a	2	23	18,4 a	41 a	45 a
Acácia+Guandu	4,7	20	9	0,4	11 b	2	20	13,4 b	33 b	40 a
Sombreiro+Leucena	4,5	21	12	0,4	11 b	3	24	14,4 b	38 ab	38 a
Leucena+Acácia	4,6	20	10	0,4	18 a	3	22	21,4 a	43 a	50 a
Testemunha	4,3	17	14	0,4	6 c	1	28	7,4 c	35 b	21 b
F	1,41 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,23 ^{ns}	*	2,10 ^{ns}	1,44 ^{ns}	*	*	*
CV (%)	6	26	41	36	15	45	19	15	12	11
----- 5-10 cm -----										
Sombreiro + Guandu	4,3	14	12 a	0,3	7 b	2	23	9,3 b	32	29 b
Leucena+Guandu	4,5	14	10 a	0,3	13 a	2	24	15,3 a	39	39 a
Acácia+Guandu	4,4	14	8 b	0,5	7 b	2	22	9,5 b	31	30 b
Sombreiro+Leucena	4,3	14	10 ab	0,3	6 b	2	26	8,3 b	34	24 b
Leucena+Acácia	4,5	13	14 a	0,3	14 a	2	22	16,3 a	38	43 a
Testemunha	4,1	13	10 ab	0,5	6 b	1	27	7,5 b	35	21 b
F	1,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}	*	0,77 ^{ns}	*	0,64 ^{ns}	0,57 ^{ns}	*	0,81 ^{ns}	*
CV (%)	6	17	13	63	22	40	22	18	12	25
----- 10-20 cm -----										
Sombreiro + Guandu	4,1	11	8 b	0,3	4	1	28	5,3	32	15
Leucena+Guandu	4,2	11	5 c	0,2	6	1	26	7,2	34	22
Acácia+Guandu	4,2	11	7 b	0,4	5	1	25	6,4	32	20
Sombreiro+Leucena	4,1	11	7 b	0,4	5	1	29	6,4	35	18
Leucena+Acácia	4,2	11	13 a	0,3	5	1	25	6,3	32	22
Testemunha	4,0	11	8 b	0,3	4	1	28	5,3	34	17
F	0,53 ^{ns}	0,20 ^{ns}	*	0,48 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,32 ^{ns}
CV (%)	5	12	24	50	54	30	15	42	8	44
----- 20-40 cm -----										
Sombreiro + Guandu	4,0	10	7	0,3	3	1	30	4,3	34	11
Leucena+Guandu	4,1	10	4	0,3	3	1	28	4,3	32	12
Acácia+Guandu	4,0	11	4	0,4	3	1	31	4,4	35	12
Sombreiro+Leucena	4,0	9	4	0,4	4	1	30	5,4	35	14
Leucena+Acácia	4,0	9	5	0,3	3	1	28	4,3	32	12
Testemunha	4,0	10	6	0,3	3	1	30	4,3	34	13
F	1,28 ^{ns}	0,64 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,20 ^{ns}	-	0,52 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,27 ^{ns}
CV (%)	2	16	48	41	52	0	12	34	10	34

ns, * = não significativo e significativo a 5% de probabilidade.

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste Tukey.

Na Tabela 7, observou-se o efeito dos resíduos sobre o complexo sortivo do solo, mas que ficou restrita à camada de 0-10 cm, onde a saturação por bases e os teores de cálcio foram mantidos em níveis satisfatórios, enquanto o Mg e o K ficaram abaixo dos teores adequados. Na camada de 10-20 cm a diminuição dos teores de Mg e da saturação por bases foram as alterações mais significativas. Porém, a capacidade do sistema de tamponar os teores de cálcio, aliado à maior mobilidade deste elemento no perfil do solo permite esperar que ao longo do tempo em toda a zona radicular este nutriente possa atingir os níveis adequados. Quanto ao K e Mg estes resultados indicam que devem ser aumentadas as contribuições das fontes inorgânicas para assegurar a sustentabilidade do sistema.

Tabela 7. Dados comparativos da Soma e Saturação por Bases entre 2003 e 2006 nas camadas de 0-10 e 10-20cm.

Tratamentos	Profundidade 0-10 cm					
	Ca	Mg	K	SB	Ca/Mg	V
	----- mmol _c dm ⁻³ -----					%
Início (2003)	14,5 a	10 a	0,5	25,0 a	1,4	68 a
Final (2006)						
S+G	13,0 a	2 b	0,3	15,3 b	6,5	36 c
L+G	14,0 a	2 b	0,4	16,4 b	7,0	41 b
A+G	9,0 b	2 b	0,4	11,4 c	4,5	34 c
S+L	8,5 b	2 b	0,3	10,8 c	4,2	30 c
L+A	16,0 a	2,5 b	0,4	18,9 b	6,4	46 b
Testemunha	6,0 c	1,1 c	0,4	7,5 d	5,4	22 d
F	*	*	0,45 ^{ns}	*	-	*
CV (%)	12	18	3	11	-	11
	Profundidade 10-20 cm					
	Ca	Mg	K	SB	Ca/Mg	V
	----- mmol _c dm ⁻³ -----					%
Início (2003)	4	3,5 a	0,4	7,9	1,1	26 a
Final (2006)						
S+G	4	1,0 b	0,3	5,3	4,0	15 b
L+G	6	1,2 b	0,2	7,4	4,8	15 b
A+G	5	1,2 b	0,4	6,6	4,0	16 b
S+L	3	1,0 b	0,4	4,4	3,0	18 b
L+A	5	1,2 b	0,3	6,6	4,0	15 b
Testemunha	4,5	1,0 b	0,3	5,8	4,5	14 b
F	0,90 ^{ns}	*	0,60 ^{ns}	2,22 ^{ns}	-	*
CV (%)	39	14	39	15	-	17

ns, * = não significativo e significativo a 5% de probabilidade, respectivamente. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste Tukey.

Indicadores físicos da qualidade como densidade, porosidade total e capacidade de aeração do solo foram alterados pela aplicação dos resíduos na superfície (Tabela 8). Entre estes, a capacidade de aeração é importante em solos arenosos nos quais a ausência, ou a destruição dos agregados força a água e o ar a circularem nos mesmos espaços. Segundo Currie (1962) e Glińsk e Stepniewski (1983), isto diminui o coeficiente de difusão do O₂ no solo, seguido pelo decréscimo na respiração das raízes, na absorção de água, na disponibilidade de N e na capacidade fotossintética das plantas. A diferença de 6% na capacidade de aeração encontrada entre parcelas cobertas e testemunha não deve ser considerada pelo seu valor absoluto, mas levando em conta que o valor de 10% na capacidade de aeração, encontrado nas parcelas sem cobertura, é referido por vários autores (THOMASSON, 1978 e SALLAN et al., 1984), como o valor crítico para a difusão do ar no solo. Isto significa que pequenas variações abaixo ou acima deste nível ampliam em maior grau a restrição ou a disponibilidade de oxigênio.

Tabela 8. Efeito dos tratamentos sobre a densidade do solo, capacidade de aeração e porosidade total, em agosto de 2006.

Tratamentos	Densidade do solo	Capacidade de aeração	Porosidade total
	----- Mg m ⁻³ -----	----- m ³ m ⁻³ -----	-----
Sombreiro + Guandu	1,30 a	0,16 a	0,50 a
Leucena + Guandu	1,32 a	0,17 a	0,50 a
Acácia + Guandu	1,30 a	0,16 a	0,50 a
Sombreiro + Leucena	1,32 a	0,16 a	0,48 a
Leucena + Acácia	1,32 a	0,16 a	0,49 a
Testemunha	1,40 b	0,10 b	0,46 b
F	*	*	*
CV (%)	2	10	2

* = significativo a 5% de probabilidade, Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste Tukey.

6.5 Produtividade das culturas de arroz e milho

Por razões ainda não bem esclarecidas a cultura do arroz não se adapta ao sistema de aléias, principalmente com o aumento da quantidade de resíduos aplicada. Trabalhando na mesma área na avaliação de espécies de leguminosas, Ferraz Júnior (2000) concluiu que o sistema não manteve a produtividade do arroz por anos subseqüentes. Neste

experimento a produtividade aumentou de 2003 para 2004, mas diminuiu para níveis irrisórios em 2006 (Tabela 9). Uma alternativa importante, já adotada pelos pesquisadores do Programa de Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, é o plantio de faixas alternadas de arroz, milho, mandioca ou abóbora, com a possibilidade de controlar a quantidade de resíduos aplicada na faixa do arroz, distribuindo o excesso nas outras faixas. Ressalte-se que esta alternativa também facilita a rotação de culturas e diminui a propagação de pragas e doenças (ALTIERI, 2005*)

Tabela 9. Produtividade do arroz (kg ha^{-1}), na área do experimento, ao longo de três anos.

Tratamentos	Massa de grãos (kg ha^{-1})		
	2003	2004	2006
Sombreiro + Guandu	589,83	1.327,5 a	341,3 ab
Leucena + Guandu	688,55	1.199,0 a	547,3 a
Acácia + Guandu	583,67	703,0 b	227,0 b
Sombreiro + Leucena	615,28	1.501,0 a	368,8 ab
Leucena + Acácia	480,48	809,8 b	687,5 a
Testemunha	363,66	451,0 b	281,5 b
F	0,87 ^{ns}	*	*
CV (%)	42	27	45

ns, * = não significativo, significativo a 5% de probabilidade, respectivamente. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste Tukey.

A adição de resíduos aumentou ano a ano tanto a massa das espigas quanto a massa de 1000 grãos da cultura do milho, com reflexos óbvios na produtividade de grãos em 2006 (Tabela 10). Importante observar que em 2003 mesmo com os níveis de saturação por base em torno de 70% foi irrisória a produtividade do milho, confirmando os resultados de Moura (1995), que concluiu que a porosidade livre de água tem maior importância para o crescimento do milho do que os indicadores químicos neste solo.

A melhoria na qualidade do solo refletida pelo dobro da produtividade do milho das parcelas com resíduo, em relação à testemunha em 2006, pode ser atribuída principalmente a três fatores principais: i) maior capacidade de aeração das parcelas cobertas com resíduos; ii) maior quantidade e melhor aproveitamento do nitrogênio aplicado, tanto na

*ALTIERI, M. (Universidade de Berkeley). Comunicação pessoal, 2005.

forma orgânica quanto inorgânica, como consequência da maior aeração; iii) e melhor distribuição e manutenção de níveis adequados de bases na zona radicular.

Os níveis de indicadores alcançados pelo sistema abrem espaço para a escolha de cultivar de milho mais exigente e mais produtiva do que o AG 1051 adotado nestes quatro anos, como forma de aumentar o rendimento da cultura e do sistema, por consequência.

Tabela 10. Parâmetros da produção do milho ao longo de quatro anos

Tratamentos	Anos			
	2003	2004	2005	2006
	----- Massa da espiga, g -----			
Sombreiro + Guandu	39	26	96	115 a
Leucena + Guandu	40	33	90	121 a
Acácia + Guandu	44	46	90	120 a
Sombreiro + Leucena	43	36	110	124 a
Leucena + Acácia	32	41	89	110 a
Testemunha	57	32	72	68 b
F	2,25 ^{ns}	1,37 ^{ns}	1,30 ^{ns}	*
CV (%)	26	28	25	15
	----- Massa de 1000 grãos, g -----			
Sombreiro + Guandu	200	242	288	258 ab
Leucena + Guandu	200	238	322	312 a
Acácia + Guandu	194	266	314	295 a
Sombreiro + Leucena	198	249	317	310 a
Leucena + Acácia	201	254	281	290 a
Testemunha	220	217	273	208 b
F	0,67 ^{ns}	3,12 ^{ns}	2,55 ^{ns}	*
CV (%)	10	8	10	12
	----- Produtividade de grãos, Mg ha ⁻¹ -----			
Sombreiro + Guandu	1,08	1,77	2,88	3,00 a
Leucena + Guandu	1,28	1,72	2,71	3,75 a
Acácia + Guandu	1,39	2,20	2,69	3,50 a
Sombreiro + Leucena	1,37	2,00	3,33	3,80 a
Leucena + Acácia	0,94	2,58	2,66	3,20 a
Testemunha	1,72	1,54	1,84	1,50 b
F	2,55 ^{ns}	1,10 ^{ns}	2,25 ^{ns}	*
CV (%)	30	24	20	33

ns, * = não significativo, significativo a 5% de probabilidade, respectivamente. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste Tukey.

7. CONCLUSÕES

O sistema de plantio direto na palha de leguminosas cultivadas em aléias pode ser considerado alternativa de uso sustentável do solo nas condições de regime pluviométrico e nos ARGISSOLOS arênicos, por sua capacidade de reciclar nutrientes e melhorar os indicadores de qualidade do solo ao longo do tempo.

Os principais indicadores da qualidade do solo influenciados pelo sistema são: a capacidade de aeração, as quantidades de N adicionadas via resíduos de leguminosas e o tamponamento dos teores de Ca na zona radicular que resultam na melhoria na qualidade do solo, com reflexos notáveis no aumento da produtividade do milho.

A combinação acácia+leucena apresenta, além da precocidade, grande eficiência na cobertura do solo e na reciclagem de nutrientes, mas o uso do sombreiro, como fornecedora de resíduo de baixa qualidade, por sua facilidade de implantação não pode ser descartado.

A incapacidade do sistema aumentar a retenção do K e Mg na zona radicular, somada à baixa concentração deste último e do P nos resíduos das leguminosas, sugere que deve ser adotada uma estratégia de acompanhamento de seus níveis no solo e da reposição destes três nutrientes via fontes inorgânicas.

O sistema de plantio direto na palha de leguminosas cultivadas em aléias é incompatível com a monocultura do arroz, que terá que ser combinado no sistema com outras culturas aptas a receber a palha das leguminosas produzidas no ano de plantio.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIHOU, K.; SANGINGA, N.; VANLAUWE, B.; LYASSE, O.; DIELS, J.; MERCKX, R. Alley cropping in the moist savanna of West-Africa: I. Restoration and maintenance of soil fertility on “terre de barre” in Bénin Republic. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 42, n. 3, p. 213-227, 1999.

AKONDÉ, T. P.; STEINMÜLLER, N.; LEIHNER, D. E.; KÜHNE, R. F. Alley cropping on na Ultisol in subhumid Benin. Part 3: nutriente budget of maize, cassava and trees. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 37, n. 3, p. 213-226, 1997.

AKYEAMPONG, E.; HITIMANA, L. Agronomic and economic appraisal of alley cropping with *Leucaena diversifolia* on na acid soil in the highlands of Burundi. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 1-11, 1996.

ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 99, n. 1/3, p. 15-27, 2003.

ALBUQUERQUE, J.M. **Níveis de preparo e de cobertura entre aléias de guandu com milho, como alternativas de melhoramento da qualidade física e do uso intensivo de um Argissolo da Formação Itapecuru**. 1999. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia)– Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 1999.

AMADO, T. J.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 179-189, 2000.

ANDERSON, J.D.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2. ed. Wallingford, UK: CAB International, 1996. 171 p.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

ATTA-KRAH, A.N. Alley farming with leucaena: effects of short grazed fallows on soil fertility and crop yields. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 20, n. 1, p. 1-10, 1989.

BALIEIRO, F.C.; DIAS, L.E.; FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. **Ciência Florestal**, Seropédica, v. 14, n. 1, p. 59-65, 2004.

BAUHUS, J.; KHANNA, P.K.; HOPMANS, P.; WESTON, C. Is soil carbon a useful indicator of sustainable soil management? – a case study from native Eucalypt forest of southeastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.171, n.1/2, p.59-74, 2002.

BENDING, G. D.; TURNER, M.K.; RAYNS, F.; MARX, M.; WOOD, M. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v.36, n. 11, p.1785-1792, 2004.

BÖHRINGER, A.; LEIHNER, D.E. A comparison of alley cropping and block systems in sub-humid Bénin. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.35, n.2, p.117-130, 1997.

BOSATTA, E.; ÅGREN, G. Theoretical analyses of soil texture effects on organic matter dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.29, n.11/12, p.1633-1638, 1997.

BOSSA, J.R.; ADAMS, J.F.; SHANNON, D.A.; MULLINS, G.L. Phosphorus and potassium release pattern from leucaena leaves in three environments of Haiti. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 73, n.1, p. 25-35, 2005.

BRUGGEN, A. H. C.; SEMENOV, A. M. In search of biological indicators of soil health and disease suppression. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.15, n.1, p.13-24, 2000.

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

BURESH, R.J.; TIAN, G. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. **Agroforestry Systems**, Boca Raton, v.38, p.51-76, 1997.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; FREDERICK, J.R. Recompaction of the coastal loamy sand after deep tillage the function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.68, n.1, p.49-57, 2002.

CARVALHO, M.A.C. de; ATHAYDE, M.L.F.; SORATTO, R.P. et al. Adubação verde e sistemas de manejo do solo na produtividade do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1205-1211, 2004.

CHINTU, R.; MAFONGOYA, P.L.; CHIRWA, T.S.; MWALE, M.; MATIBINI, J. Subsoil nitrogen dynamics as affected by planted coppicing tree legume fallows in eastern Zambia. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 40, n.3, p.327-340, 2004.

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

COBO, J.G.; BARRIOS, E.; KASS, D.C.L.; THOMAS, R.J. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.240, n.2, p. 331-342, 2002.

CURRIE, J.A. Gaseous diffusion in the aeration of aggregated soils. **Soil Science**, Washington, v.92, n.1, p.40-45, 1962.

DEAN, W.; KATAKI, P.K. Carbon sequestration in a long-term conventional versus conservation tillage experiment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.74, n.2, p.143-150, 2003.

DELATE, K.; HOLZMUELLER, E.; FREDERICK, D.D.; MIZE, C.; BRUMMER, C. Tree establishment and growth using forage ground covers in na alley-cropped system in Midwestern USA. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.65, n.1, p.43-52, 2005.

DOLAN, M.S.; CLAPP, C.E.; ALLMARAS, R.R.; BAKER, J.M.; MOLINA, J.A.E. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.89, n.2, p.221-231, 2006.

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

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, Washington, v. 56, p. 2-54, 1996.

DUIKER, S.W.; BEEGLE, D.B. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, n.1/2, p.30-41, 2006.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p

ESTAVILLO, J.M.; RODRIGUEZ, M. Denitrification losses from a natural grassland in the Basque Country under organic and inorganic fertilization. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.162, n.1, p.19-29, 1994.

FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Interação entre P, Zn e calcário em arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, n.2, p.88-92, 1979.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1097-1104, 2003.

FERRAZ JUNIOR, A.S.L. **Arroz de sequeiro em sistema de cultivo em aléias sobre solo de baixa fertilidade natural**. 2000. 186 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas)– Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

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

GLIŃSKI, J.; STEPNIIEWSKI, W. **Soil aeration and its role for plants**. Boca Raton: CRC Press, 1983. 229 p.

GOYAL, S.; MISHRA, M.M.; HOODA, I.S.; SINGH, R. Organic matter-microbial biomass relationships in field experiments under tropical conditions: effects of inorganic fertilization and organic amendments. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.24, n.11, p.1081-1084, 1992.

HARIDASON, M.; ARAUJO, G.M.. Nutritional status of woody species of two semideciduous forests in Uberlândia, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, Brasília, v.28, n.2, p. 295-303, 2005.

ISAAC, L.; WOOD, C.W.; SHANNON, D.A. Hedgerow species and environmental conditions effects on soil total C and N and C mineralization patterns of soils amended with their prunings. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v.65, n.1, p.73-87, 2003.

JONES, R.B.; WENDT, J.W.; BUNDERSON, W.T.; ITIMU, O.A. Leucaena + maize alley cropping in Malawi: 1. Effects of N, P, and leaf application on maize yields and soil properties. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.33, n.3, p.281-294, 1997.

JOSE, S.; GILLESPIE, A.R.; SEIFERT, J.R. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. 2. Competition for water. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 41-59, 2000a.

JOSE, S.; GILLESPIE, A.R.; SEIFERT, J.R.; POPE, P.E. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. 3. Competition for nitrogen and litter decomposition dynamics. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 48, n.1, p. 61-77, 2000b.

KANG, B.T.; REYNOLDS, L.; ATTA-KRAH, A. N. Alley farming. **Advances in Agronomy**, New York, v.43, p.315-359, 1990.

KANG, B.T. Alley cropping: soil productivity and nutrient recycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.91, n.1, p. 75-82, 1997.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 145-156, 2003.

KLADIVKO, E.J. Tillage systems and soil ecology. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.61, n.1/2, p.61-76, 2001.

KORNAR, G. R.; RADDER, G.D. Alley cropping of sorghum with *Leucaena* during the post-rainy season on Vertisols in semi-arid India. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.37, n.3, p.265-277, 1997.

KLAUS, T.E.C.; DAHLGREN, R.A.; ZASOSKI, R.J. Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems: a review. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.256, n.1, p.41-66, 2003.

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

LEITE, A. A. L.; FERRAZ JR., A.S.L. Competição entre genótipos de milho e leguminosas arbóreas em sistema de cultivo em aléias. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, XXV. 2002, Rio de Janeiro. p. 20-23.

LOPES, A.S. **Solos sob cerrado**: características, propriedades e manejo. Washington: Instituto de Potassa e Fosfato (EUA), 1983. 60p.

MACHADO, P.L.O.A.; SIVA, C.A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 61, n.1/2, p.119-130, 2001.

MAFONGOYA, P.L.; NAIR, P.K.R.; DZOWELA, B.H. Mineralisation of nitrogen from decomposing leaves of multipurpose trees as affected by their chemical composition. **Biology and Fertility of Soils**, Amsterdam, v.27, n.2, p.143-148, 1998.

MENDONÇA, E.S.; STOTT, D.E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.57, n.2, p.117-125, 2003.

- MITTAL, S.P.; GREWAL, S.S.; AGNIHOTRI, Y.; SUD, A.D. Substitution of nitrogen requirement of maize through leaf biomass of *Leucaena leucocephala*: agronomic and economic considerations. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.19, n.3, p.207-216, 1992.
- MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: na underexploited environmental benefit of agroforestry system. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.61, n.1/3, p.281-298, 2004.
- 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.)**. 1995. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)–Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1995.
- MOURA, E.G. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. In: MOURA, E.G. (Ed.). **Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 2004. Cap.1, p. 15-51
- MUGENDI, D. N.; NAIR, P.K.R.; MUGWE, J.N.; O'NEILL, M.K.; WOOME, P. Alley cropping of maize with calliandra and leucaena in the subhumid highlands of Kenya. Part 1. Soil-fertility changes and maize yield. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.46, n.1, p.39-50, 1999.
- 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.). **Driven by nature: plant litter quality and decomposition**. United King: CAB International, 1997. cap. 17, p. 215-229
- OELBERMANN, M.; VORONEY, R.P.; KASS, D.C.L.; SCHLÖNVOIGT, A.M. Above-and below-ground carbon inputs in 19-, 10- and 4-year-old Costa Rican Alley cropping systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.105, n.1/2, p.163-172, 2005.
- PAULETTI, V.; LIMA, M. R. de, BARCIK, C.; BITTENCOURT, A. Rendimento de grãos de milho e soja em uma sucessão cultural de oito anos sob diferentes sistemas de manejo de solo e de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.3, p.491-495, 2003.
- PALM, C.A.; MYERS, R.J.K.; NANDWA, S.M. Combined use of organic and inorganic nutrient sources for soil fertility maintenance and replenishments. In: BURESH, R.J.; SANCHEZ, P.A.; CALHOUN, F. (Eds.). **Replenishing soil fertility in Africa**. USA: SSSA Special Publication Number 51, 1997. Cap.8, p.193-217
- PALM, C.A.; GILLER, K.E.; MAFONGOYA, P.L.; SWIFT, M.J. Management of organic matter in the tropics: translating theory into practice. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 61, n.1/2, p. 63-75, 2001.

PRADE, K.; TROLLDENIER, G. Effect of wheat roots on denitrification at varying soil air-filled porosity and organic-carbon content. **Biology and Fertility of Soils**, Amsterdam, v.7, n.1, p.1-6, 1988.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

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

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes, 2002. 338 p.

RIPPIN, M.; HAGGAR, J.P.; KASS, D.; KÖPKE, U. Alley cropping and mulching with *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook and *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.: effects on maize/weed competition. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.25, n.2, p.119-134, 1994.

SALLAM, A.; JURY, W.A.; LETEY, J. Measurements of gas diffusion coefficient under relatively low air-filled porosity. **Soil Science Society American Journal**, Washington, v.48, n.1, p.3-6, 1984.

SENEVIRATNE, G. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. **Biology and Fertility of Soils**, Amsterdam, v.31, n.1, p.60-64, 2000.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.544-552, 2005.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, Amsterdam, v.114, n. 3/4, p. 143-144, 2003.

TEDESCO, M.J. **Extração simultânea de N, P, K, Ca e Mg em tecido de planta por digestão por H₂O₂ – H₂SO₄**. Porto Alegre: UFRGS, 1982. 50p. (Informativo interno)

THOMASSON, A.J. Towards an objective classification of soil structure. **Journal of Soil Science**, Washington, v.29, n.1, p.38-46, 1978.

TIAN, G.; BRUSSAARD, L.; KANG, B.T. An index for assessing the quality of plant residues and evaluating their effects on soil and crop in the (sub-) humid tropics. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.2, n.1, p.25-32, 1995.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York: Macmillan, 1985. 754 p.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo vermelho

após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.1023-1031, 2004.

TOSSAH, B.K.; ZAMBA, D.K.; VANLAUWE, B.; SANGINGA, N.; LYASSE, O.; DIELS, J.; MERCKES, R. Alley cropping in the moist savanna of West-Africa: II. Impact on soil productivity in a North-to-South transect in Togo. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.42, n.3, p.229-244, 1998.

TSUJI, H.; YAMOMOTO, H.; MATSUO, K.; USUKI, K. The effects of long-term conservation tillage, crop residues and P fertilizer on soil conditions and responses of summer and winter crops on na Andosol in Japan. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.89, n.2, p.167-176, 2006.

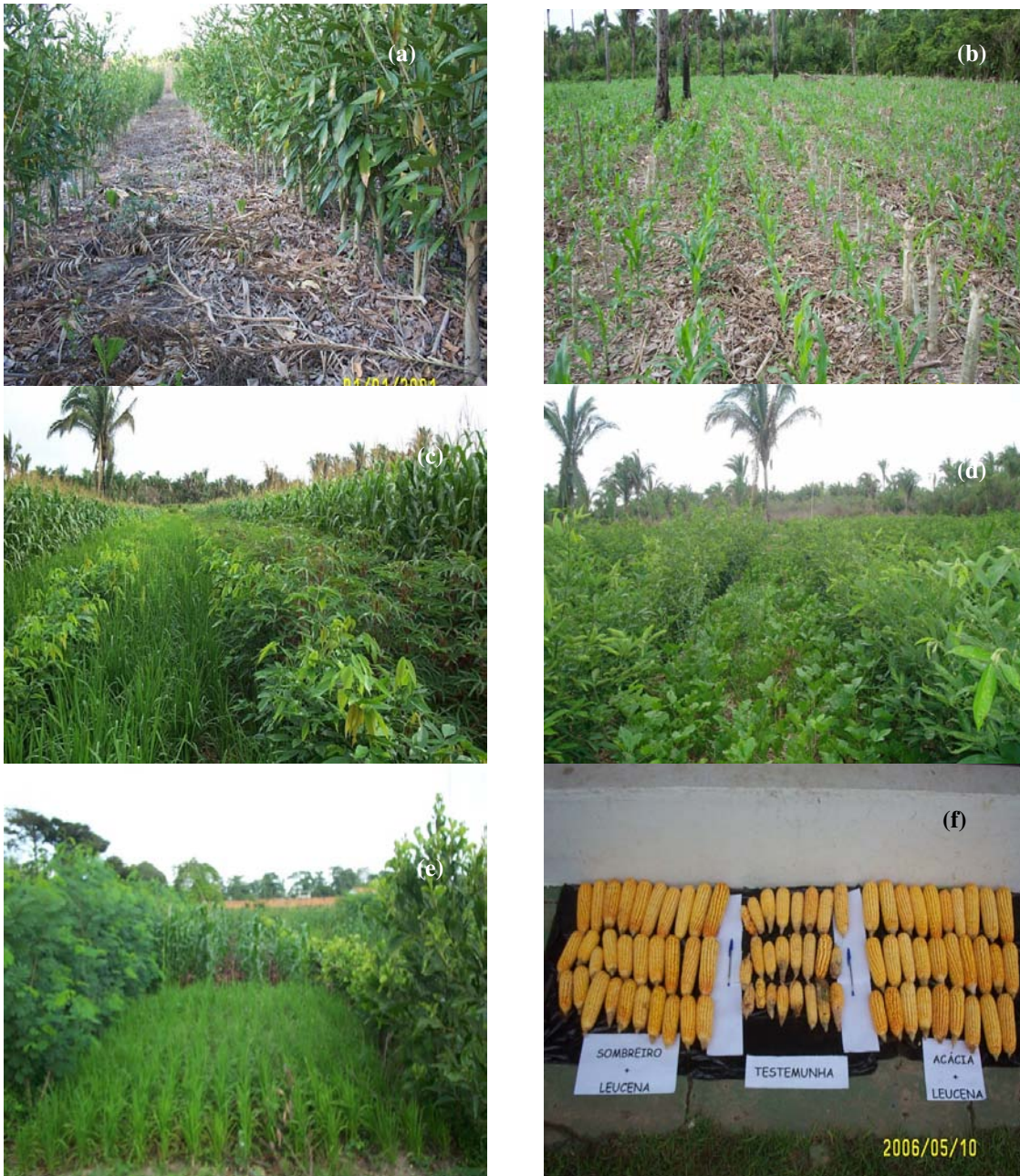
VANLAUWE, B.; AMAN, S.; AIHOU, K.; TOSSAH, B.K.; ADEBIYI, V.; SANGINGA, N.; LYASSE, O.; DIELS, J.; MERCKES, R. Alley cropping in the moist savanna of West-Africa. III. Soil organic matter fractionation and soil productivity. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.42, n.3, p.245-264, 1999.

VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. **Journal of Animal Science**, Amsterdam, v.26, n.1, p.119-128, 1967.

VITYAKON, P.; DANGTHAISONG, N. Environmental influences on nitrogen transformation of different quality tree litter under submerged and aerobic conditions. **Agroforestry System**, Amsterdam, v. 63, n.3, p. 225-236, 2005.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. New York: CAB International, 1997. 320 p.

APÊNDICE



Apêndice 1. Fotos do sistema de plantio direto em palha de leguminosas cultivadas em aléias. (a) área preparada para o plantio; (b) área após o plantio e corte das leguminosas; (c) culturas alternadas entre aléias de sombreiro; (d) leguminosa anual semeada junto à cultura de safrinha; (e) culturas de arroz e milho entre combinação leucena+acácia; (f) comparação entre testemunha e duas combinações.