

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

SHEILLA SILVA E SERPA

EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE ALÉIAS
NA PERIFERIA DA AMAZÔNIA

São Luís – Maranhão
Dezembro de 2011

SHEILLA SILVA E SERPA

Bióloga

**EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE ALÉIAS
NA PERIFERIA DA AMAZÔNIA**

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Alana das Chagas Ferreira Aguiar

**São Luís - Maranhão
Dezembro de 2011**

Serpa, Sheilla Silva e

Eficiência do uso de nutrientes em sistemas de aléias na periferia da Amazônia / Sheilla Silva e Serpa. – São Luís, 2011.

59f.

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2011.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Alana das Chagas Ferreira Aguiar.

1. Sistema de aléias 2. Eficiência do uso de nutrientes 3. Cobertura do solo I. Título

CDU: 631.81:630

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA**

Sheilla Silva e Serpa

**EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE ALÉIAS
NA PERIFERIA DA AMAZÔNIA.**

Dissertação defendida e aprovada em: 19/12/2011

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dra. Alana das Chagas Ferreira Aguiar (Orientadora)

Prof.^a Dra. Ana Maria da Silva Araújo (UEMA)

Prof. Dr. Altamiro Souza de Lima Ferraz Júnior (UEMA)

À minha querida mãe, pelo carinho,
amor e compreensão não economizando
esforços em meu crescimento moral e
espiritual.

DEDICO

Aos meus irmãos Simone e
Francisco.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho contou com o apoio, o estímulo e carinho de muitas pessoas: professores, amigos, colegas e familiares. Cada um, ao seu modo, contribuiu para encontrar forças e o incentivo necessário para transpor os obstáculos e as dificuldades inerentes. Por isso, aqui vai o meu sincero agradecimento a todos que ajudaram de alguma forma, na elaboração desta Dissertação. Algumas pessoas, porém, foram fundamentais.

A Deus, meu refúgio e força, onde sempre encontrei respostas para os meus problemas.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Alana das Chagas Ferreira Aguiar pela orientação na fase de campo e redação da dissertação.

Ao Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura por ter possibilitado a realização deste trabalho.

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

À minha família, um agradecimento muito especial pelo apoio constante e compreensão;

Aos técnicos dos laboratórios João Reis e Enedias pelos ensinamentos e as análises químicas.

Ao Neto, que sempre ajudou nas atividades de campo e no laboratório e alegrava meu dia.

Aos meus queridos amigos: Sandra, Kleydyjany, Fábio, Idelfonso pelo companheirismo.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURE 1** Diagram of the experimental plot 49
- FIGURE 2** Percentage of leguminous residue mixture remaining in the litter bags. Quantity (Mg ha^{-1}) of residue remaining at day 120 is indicated with each line. Different letters indicate significant difference at the 5% level by Tukey test. Bar represents standard errors 50
- FIGURE 3** Quantity of nitrogen released from the leguminous mixture estimated through litter bags decomposition 51
- FIGURE 4** Quantity of potassium released from the leguminous mixture estimated through litter bags decomposition 52

LISTA DE TABELAS

TABLE 1 Soil chemical analyses at corn harvest in 2007	53
TABLE 2 Nutrient content in the leaves of maize at tasseling stage	54
TABLE 3 Accumulated levels of nutrients in above-ground plant until tasseling	54
TABLE 4 Post-tasseling nitrogen and potassium accumulation (PTNA, PTKA), weight of grain of maize, residues nitrogen and potassium use efficiency (RNUE, RKUE).	55

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
CAPITULO I	9
RESUMO	10
INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Agricultura Itinerante	20
2.2 Sistema agroflorestal: cultivo em aléias	26
2.3 Ciclagem de nutrientes em sistema de cultivo em aléias	19
2.4 Eficiência do uso de nutrientes na cultura do milho no plantio direto na palha em sistema de aléias	25
REFERÊNCIAS	29
CAPITULO II	34
ABSTRACT	35
1. INTRODUCTION	36
2. MATERIAL AND METHODS	37
2.1 <i>Experimental site and treatments</i>	37
2.2 <i>Soil and plant analysis</i>	38
2.3 <i>Statistical analysis</i>	40
3. RESULTS	40
3.1 <i>Chemical changes in soil properties through recovery of longer residence time nutrients</i>	40
3.2 <i>Decomposition of residues, Nitrogen and Potassium release</i>	41
3.3 <i>Concentration and accumulation of nutrients in corn plants</i>	41
4. DISCUSSION	43
5. CONCLUSIONS	45
REFERENCES	46
ANNEX	56

Aproveitamento de nutrientes pela cultura do milho no plantio direto na palha em um sistema de aléias

CAPÍTULO I

Aproveitamento de nutrientes pela cultura do milho no plantio direto na palha em um sistema de aléias

RESUMO

Na periferia do sudeste da Amazônia brasileira, os sistemas agrícolas de baixo input em solos arenosos têm baixa eficiência no uso de nutrientes. Em um sistema de aléias de baixo input, medimos a dinâmica de decomposição de resíduos, o rendimento e absorção de nutrientes na cultura de milho associada com os seguintes tratamentos: Sombreiro + Guandu; Acácia + Guandu; Leucena + Sombreiro; Leucena + Acácia; Leucaena + Guandu e nenhum resíduo input (controle). Os tratamentos com acácia forneceram melhor cobertura do solo durante todo o ciclo do milho. O potássio foi liberado mais rápido que o nitrogênio dos resíduos; a concentração de N em folhas do milho nos tratamentos com resíduos foram abaixo dos níveis críticos. O tratamento Leucena + Acácia foi mais efetivo em aumentar a assimilação e a eficiência de N e K no pós-pendoamento. Isto resultou em produtividade de milho 3,5 vezes maior ($7,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) do que o controle sem aplicação do resíduo. Nos solos franco-arenosos da periferia da Amazônia, que são suscetíveis à lixiviação de nutrientes e coesão, a utilização eficiente de N e K devem ser prioridades no manejo sustentável dos sistemas agrícolas. Embora o plantio direto em sistema de aléias com leguminosas constitua uma importante opção para o uso de agricultura de baixo input, sua eficiência depende da combinação de resíduos que mantenha o solo coberto e tenha altas taxas de N e liberação de K durante o ciclo da cultura.

Palavras-chave: sistema de aléias. eficiência do uso de nutrientes. cobertura do solo.

INTRODUÇÃO

No Maranhão, aproximadamente metade da população ainda vive no meio rural e a prática agrícola mais comum é o sistema corte-queima e pousio, em que a área cultivada varia de 1 a 5 ha por família onde o milho é plantado em consórcio com arroz, feijão e mandioca, sendo a mão-de-obra basicamente familiar (FERRAZ JR, 2006). O preparo da área consiste da roçagem, derrubada, aceiramento, queima, remoção dos troncos e galhos que não queimaram e construção de cerca de proteção contra animais.

O sistema de corte-queima, além de auxiliar na limpeza da área sem muitos custos, as cinzas derivadas da queima ajudam na liberação de nutrientes e reduz a acidez do solo, estimula a atividade microbiana e reduz a invasão de plantas daninhas (SAMPAIO et al, 2008). Por outro lado, a queima da vegetação como forma de preparação da área para o plantio foi condenado tendo em vista a perda de nutrientes, degradação ambiental, a perda gradual da biodiversidade, emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, aumento da erosão do solo, mudanças nos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos e os riscos de incêndios acidentais.

A agricultura sustentável consiste em processos agrícolas que envolvam atividades biológicas de crescimento e reprodução com a intenção de produzir culturas, que não comprometa nossa capacidade futura de praticar agricultura com sucesso. Para Altieri (1993) sustentabilidade é a habilidade de um agroecossistema em manter a produção através do tempo, em face de distúrbios ecológicos e pressões socioeconômicas de longo prazo.

O sistema de cultivos em aléias é uma alternativa ao corte e queima, utilizando leguminosas arbóreas ou arbustivas que são podadas periodicamente a fim de servir como cobertura para proteção do solo contra o calor e chuvas intensas na região do tropico úmido, além de nutrientes, em especial o nitrogênio (BERTALOT et al. 2004). O cultivo em aléias baseia-se no princípio de que é possível obter um uso produtivo e sustentável da terra, com

diversificação de fontes de renda para o pequeno produtor, quando os métodos de conservação e reabilitação são introduzidos antes que ocorra degradação séria dos recursos. Pode ser considerado como um sistema de agricultura migratória melhorado, com as seguintes características: as práticas de cultivo e pousio realizam-se simultaneamente; consegue-se um maior período de cultivo e um uso mais intensivo da terra; obtém-se uma regeneração mais efetiva da fertilidade do solo com espécies mais eficientes; os requerimentos de insumos externos são menores. Este sistema pode constituir-se como uma opção para aumentar a fertilidade do solo com a redução ou a eliminação do uso de insumos externos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a disponibilidade e a eficiência do uso de N e K na cultura do milho em um sistema de plantio direto na palha de leguminosas arbóreas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Agricultura Itinerante

A agricultura itinerante ou agricultura de derrubada e queima é um sistema comum de uso da terra que alterna períodos de pousio com curtos períodos de cultivo intensivo. O termo “itinerante” indica movimento de uma área para outra, a determinação derrubada e queima refere-se à forma de preparo da área de floresta para o plantio. Esse sistema tradicional de cultivo do solo, predominante no trópico úmido, ocupa aproximadamente 30% das terras aráveis, sustentando as populações mais pobres do mundo (FERRAZ JR, 2006). Segundo Leite (2002), as fases envolvidas na agricultura itinerante são: corte da cobertura vegetal, secagem, queima da biomassa, abandono da área (pousio), novo desmatamento e assim sucessivamente.

A agricultura itinerante está baseada na reciclagem de nutrientes. A queima da biomassa seca promove a liberação rápida dos nutrientes em forma de cinza, como consequência ocorre melhoria na fertilidade do solo nas condições para o cultivo, devido à limpeza da área e redução das ervas daninhas pela morte de sementes em função das altas temperaturas alcançadas (FERRAZ JR, 2006). A melhoria da fertilidade do solo está relacionada principalmente com a quantidade de cinzas, que por sua vez depende mais da quantidade de biomassa queimada do que da idade da vegetação secundária (GHUMAN & LAL, 1991).

Após a queima, as culturas implantadas no primeiro ano, produzem relativamente bem, podendo alcançar níveis de produtividade superiores àqueles obtidos em áreas sem queima e sem adição de fertilizante (VAN REULER et al, 1993) Porém, a partir do segundo ano de cultivo se inicia uma fase de declínio de produtividade que pode ser atribuída aos nutrientes removidos através da colheita, além das perdas decorrentes da lixiviação e dos

processos erosivos do solo, resultam na diminuição da fertilidade do solo. Neste caso, as deficiências de nutrientes e o aumento significativo das plantas invasoras inviabilizam novos cultivos, sendo as áreas abandonadas ou deixadas em pousio para o surgimento da vegetação secundária (capoeira) (COSTA, 2007).

Embora persistam controvérsias, essa forma de cultivo frequentemente está em desacordo com os princípios de sustentabilidade, principalmente nas áreas de solos de baixa fertilidade natural e alta precipitação, podendo levar a perda de nutrientes, degradação química dos ecossistemas e degradação dos mananciais hídricos (HOLSCHER, 1997; KAMIMURA et al, 1998), além da simplificação da biodiversidade, agravamento do efeito estufa e altos níveis de perdas de solo (RODER et al, 1995; MATSON et al., 1997; ALTIERI, 1999). Segundo YARED (1990), a agricultura itinerante é responsável pelo desmatamento de 300 mil ha.ano⁻¹ no trópico úmido brasileiro devido ao seu caráter migratório.

Várias alternativas à agricultura itinerante vêm sendo testadas nas estações experimentais e nas áreas de produtores como: uso de leguminosas de ciclo curto, adaptadas a solos ácidos para regenerar a fertilidade do solo; o uso de fertilizantes em pequenas doses para garantir a produtividade estável; o desmatamento mecânico sem uso de queimada com e sem leguminosas anuais; a trituração da biomassa vegetal e aplicação na área; o pousio enriquecido com leguminosas arbóreas; a combinação de culturas perenes e anuais em sistemas agroflorestais (FERRAZ JR, 2006).

Os sistemas agroflorestais entre os quais se destaca o “alley cropping” ou sistema de cultivo em aléias são indicados como uma alternativa viável e de baixo custo para a agricultura itinerante praticada em países em desenvolvimento (ALEGRE & RAO, 1996).

2.2 Sistema agroflorestal: cultivo em aléias

A atividade agrícola, aliada a outras atividades econômicas, tem sido responsável pelo surgimento de extensas áreas alteradas na região amazônica. Uma alternativa para recuperação dessas áreas é a implementação de sistemas agroflorestais (SAF), os quais apresentam inúmeras vantagens do ponto de vista ecológico e socioeconômico, quando comparados aos monocultivos, pois diversificam produção, melhoram a conservação do solo e, ao mesmo tempo, reduzem a pressão sobre os recursos naturais.

O sistema agroflorestal (SAF) é um sistema sustentável de manejo de solo e de plantas que procura aumentar a produção de forma contínua, combinando produção de árvores (incluindo frutíferas e outras) com espécies agrícolas e animais, simultaneamente ou sequencialmente, na mesma área, utilizando práticas de manejo compatíveis com a cultura da população local (ALTIERI, 2002). Dubois (1996) e Macedo (2000) conceituam os sistemas agroflorestais como formas de uso e manejo dos recursos naturais nos quais espécies perenes de porte arbóreo são utilizadas em associação com cultivos agrícolas e/ou animais, em uma mesma área, durante um mesmo período ou em uma sequência temporal.

Para Kageyama (1999), o conceito mais tradicional de SAF apontava que o simples fato de juntar uma espécie agrícola com uma florestal já caracterizava esse tipo de sistema, levantando-se a vantagem de maximizar a utilização do espaço aéreo e radicular. Isto representou, de fato, o início de um movimento em favor do plantio consorciado que hoje tem culminado num sistema multi-espécies, imitando a alta diversidade natural, principalmente nos ecossistemas tropicais.

O clima nos trópicos apresenta como características principais as altas temperaturas e estações com chuvas muito fortes e intensas. Além disso, observa-se em algumas regiões, uma dinâmica de ventos fortes em determinadas épocas do ano. Percebe-se que existem

estratégias de acúmulo de biomassa na parte aérea da vegetação para impedir a perda de nutrientes pela lixiviação dos solos, e árvores em alta densidade e diversidade que crescem graças às condições favoráveis à diversidade e abundância de vida (MACEDO, 2000).

Os princípios agroflorestais buscam se basear nessas estratégias, com o uso de árvores em sistemas agrícolas com o papel de: (i) reduzir a insolação direta sobre o solo, promovendo maior diversidade de vida no solo, (ii) reduzir o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, reduzindo a compactação e a erosão e aumentando a infiltração, (iii) capturar nutrientes de camadas profundas do solo e bombeá-los para a superfície, (iv) reduzir o efeito erosivo do vento que contribui também para reduzir a umidade, (v) promover matéria orgânica no solo, condição básica para a agricultura tropical, (vi) adicionar nitrogênio por fixação biológica, e (vii) promover biodiversidade, vida (AMADOR, 2011). Dessa forma, os sistemas agroflorestais são considerados promissores por requererem menor uso de insumo externo que as monoculturas, por serem similares aos ecossistemas naturais (ALTIERI, 2002).

Sistemas agroflorestais têm algumas desvantagens sobre os sistemas convencionais:

1) incremento da competitividade, já que as árvores competem com as culturas anuais por nutrientes, espaço para desenvolver-se, captação de energia solar e umidade do solo e podem reduzir significativamente a produção das culturas alimentícias; 2) danos mecânicos causados pelo cultivo e colheita; 4) alelopatia; 5) as árvores podem proporcionar um refúgio para todo tipo de pragas quando próximas de uma cultura (FRANCO et al, 2002).

Os sistemas agroflorestais podem ser utilizados na recuperação de áreas que foram degradadas pelas atividades agropecuárias na região, principalmente aquelas cujos fatores de produção são ineficientes para recomposição natural de seu potencial produtivo. Nestas situações, torna-se necessário oferecer condições para que os produtores rurais possam adotar tecnologias simples e de baixo custo, apropriadas para o uso e a conservação do solo, e que

possam, ao mesmo tempo, garantir um nível de renda compatível ao investimento requerido para recuperação de terras degradadas (FRANCO et al, 2002)

A necessidade de racionalizar o uso dos recursos naturais exige um melhor aproveitamento dos agroecossistemas. Neste caso, a identificação de espécies de usos múltiplos, que cumpram objetivos socioeconômicos e ecológicos é fator de suma importância para a sustentabilidade dos sistemas de produção (GLIESSMAN, 2001; ALTIERI, 2002).

O sistema de cultivo em aléias ou “alley cropping” é um dos sistemas agroflorestais. Consiste na combinação em uma mesma área de espécies arbóreas, principalmente leguminosas e culturas anuais ou perenes de interesse econômico. As leguminosas são plantadas em linhas simples ou duplas, cujos ramos podem ser periodicamente cortados à altura de 0,5m e adicionadas às entrelinhas das culturas para utilização da biomassa podada como adubação verde, com o objetivo principal de melhorar a fertilidade do solo, e/ou como forragem de alta qualidade (KANG et al, 1990; FERRAZ JR et al, 1997), além de reduzir as perdas por erosão, uma vez que promove maior cobertura do solo, diminuindo o impacto direto da chuva no solo (LAL, 1989).

Este sistema foi inspirado nas práticas dirigidas à recuperação de áreas em pousio melhorado mediante o uso de adubos verdes. O cultivo em aléias baseia-se no princípio de que é possível obter um uso produtivo e sustentável da terra, com diversificação de fontes de renda para o pequeno produtor, quando os métodos de conservação e reabilitação são introduzidos antes que ocorra degradação séria dos recursos (BERTALOT et al, 2004).

A preferência por leguminosas arbóreas está relacionada com as vantagens que estas apresentam em relação as demais espécies. De acordo com Ferraz Jr et al, (1997) as leguminosas apresentam melhor intensidade de acumulação, ou seja, de absorção e metabolização dos nutrientes nas raízes, caules e folhas que outras espécies potencialmente

usáveis no sistema e devido à baixa relação C/N dos resíduos de leguminosa há uma boa mineralização dos nutrientes da matéria orgânica.

As leguminosas arbóreas podem fornecer nutrientes para a cultura consorciada através de três fontes principais: os nutrientes exsudados pelas raízes; a morte e decomposição dos nódulos e raízes (“turnover” das raízes); os nutrientes presentes nas folhas senescentes (liteira) e os nutrientes mineralizados a partir dos ramos podados e adicionados ao solo (BLAIR et al, 1990; KANG et al, 1990).

Resultados promissores com o cultivo em aléias vêm sendo obtidos em regiões de solos férteis na Nigéria, Quênia, Etiópia e Austrália. Entretanto, em solos ácidos os resultados são contraditórios. De acordo com Szott et al (1991), esse sistema quando testado em solo ácido apresenta baixo potencial de ciclagem de nutrientes e não permite a sustentabilidade de produção da cultura consorciada. Portanto, o insucesso de experimentos com o sistema de cultivo em aléias resulta em grande parte da utilização de espécies arbóreas inadequadas para solos com características adversas (FERRAZ JR et al, 2006).

Kang (1997) relata que, biologicamente, o sucesso do sistema de cultivo em aléias depende dos seguintes fatores: escolha correta das espécies arbóreas; pleno estabelecimento das aléias; 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 N₂.

As leguminosas arbóreas interagem com a cultura consorciada via sistema radicular e via dossel. Como esse sistema de cultivo visa tirar o máximo proveito dos atributos de espécies arbóreas, convém que as espécies selecionadas apresentem características favoráveis em ambos os extratos (FERRAZ JR et al, 1997). Em relação ao

sistema radicular, as árvores devem apresentar alto potencial de nodulação e fixação biológica de N_2 , com arquitetura que resulte em baixa competição com a cultura consorciada (AKINNIFESI et al, 1999). Quanto à parte aérea, espera-se elevada produção de fitomassa e velocidade de rebrota, associada a elevados teores de nutrientes nos ramos e maior qualidade dos resíduos orgânicos (baixos teores de polifenóis e ligninas e baixa relação C/N) (SANGINGA et al, 1995; VANLAUWE et al, 1996). Esta seleção deve envolver genótipos comprovadamente eficientes e adaptados às condições edafo-climáticas locais (FERRAZ JR et al, 2006).

Entre as principais limitações desse sistema diversos autores apontam a competição entre as árvores e a cultura consorciada, por água, luz e nutrientes (KANG et al, 1990; SZOTT et al, 1991). Segundo Sato & Dalmacio (1991), a competição por luz pode ser minimizada através da poda frequente dos ramos, o uso balanceado da energia solar pela árvore e cultura consorciada é fundamental para o sucesso desse sistema agroflorestal. A competição por água e nutriente pode ser minimizada através da seleção de espécies arbóreas portadoras de uma arquitetura radicular compatível e mais eficiente na partição de matéria seca e nutriente para parte aérea (SANGINGA et al, 1995; AKINNIFESI et al, 1999). Resultados obtidos por Jones et al (1998) demonstram que a poda dos ramos também pode reduzir a competição por água entre determinadas espécies arbóreas e a cultura consorciada em sistemas agroflorestais.

O sistema de cultivo em aléias é suficientemente flexível para ser usado tanto por pequenos agricultores com pouca tecnologia como nas propriedades mecanizadas (KANG et al, 1989). Este sistema tem o potencial de servir de elo entre as práticas tradicionais extensivas e a agricultura intensiva, permitindo: obter maior número de colheitas e intensificar o uso da terra; acelerar a regeneração dos solos e recuperar sua fertilidade mediante a inclusão de árvores de uso múltiplo; reduzir o requerimento de inputs externos (FERRAZ JR, 2000).

2.3 Ciclagem de nutrientes em sistema de cultivo em aléias

A ciclagem mineral em um ecossistema compreende, de um lado, os processos de transferência de nutrientes entre o meio externo e o solo e, de outro, os processos internos entre vegetação e solo. O primeiro constitui o ciclo geoquímico: envolvem ganhos a partir do intemperismo das rochas, da deposição de partículas em suspensão na atmosfera e perdas por lixiviação, escoamento superficial e volatilização. O segundo constitui o ciclo biogeoquímico: caracteriza-se por ganhos a partir da decomposição da matéria orgânica, atividade da fauna, lavagem da copa das árvores, uso de fertilizantes e perdas através da absorção pelos organismos e remoção pela colheita (LANDSBERG, 1998). O conhecimento da relação entre planta e solo quanto à dinâmica dos nutrientes auxilia na compreensão do funcionamento dos sistemas.

Segundo Silva (2006), o ciclo de nutriente solo-planta ocorre pelo processo de absorção dos nutrientes pelas plantas, a incorporação e acúmulo dos elementos na biomassa vegetal, assim como em organismos consumidores e decompositores e, por fim, a decomposição da matéria orgânica e mineralização dos elementos que retornam para o solo, hidrosfera e atmosfera tornando-se disponíveis para serem removidos e incorporados numa nova fixação biológica.

A matéria orgânica do solo contribui de forma benéfica para o estabelecimento vegetal afetando propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (STEVENSON, 1982). Em relação à estrutura do solo, a matéria orgânica contribui para o aumento da estabilidade de agregados do solo, conseqüentemente melhorando a aeração, a drenagem e a capacidade de retenção da solução do solo. Entre os atributos químicos do solo, a matéria orgânica representa um estoque de nutrientes disponíveis para mineralização, além de aumentar a capacidade de troca catiônica do solo. A matéria orgânica do solo sustenta a comunidade

microbiana e da fauna do solo, que promovem o processo de mineralização da matéria orgânica, a formação de agregados e a incorporação da matéria orgânica no solo (LAVELLE, 1997).

No cerrado, onde os solos são pobres em nutrientes as plantas regulam os processos de transferência ou ciclagem de nutrientes no solo. Sua adaptação em absorver e armazenar os minerais, condicionando um ciclo biogeoquímico praticamente fechado, determina sua capacidade de prosperar nesse meio (POMPÉIA, 1989). A substituição dessa vegetação nos agrossistemas em extensas áreas, sem levar em conta os processos de reciclagem biológica, ocasiona sistematicamente a perda acentuada do capital orgânico e mineral do solo, revertendo no declínio do seu potencial produtivo (PEREIRA & PERES, 1985).

Em ecossistemas naturais, a matéria orgânica do solo está em equilíbrio dinâmico entre as taxas de entrada de serapilheira e as taxas de decomposição, promovendo liberação constante de todos os nutrientes, oriundos de resíduos em diferentes estágios de decomposição. O sincronismo entre o ciclo nutricional e o crescimento vegetal é quebrado na agricultura convencional, pois a separação no tempo da oferta e demanda de nutrientes no solo leva à redução na eficiência nutricional na cultura. O nitrogênio é o nutriente perdido com mais intensidade na suspensão do sincronismo, visto que seu excesso no solo é perdido por lixiviação, desnitrificação e ou volatilização da amônia. Plantas anuais têm menor capacidade de recuperar nutrientes do solo do que plantas perenes, que possuem sistema radicular mais desenvolvido. Os sistemas agroflorestais evitam a interrupção do sincronismo mantendo culturas perenes chamadas de renovadoras de fertilidade, que recuperam os nutrientes de horizontes profundos e sofrem podas antes do próximo plantio agrícola, disponibilizando matéria orgânica para mineralização e beneficiando a cultura agrícola anual (MYERS et al 1996).

A presença do componente arbóreo e da biodiversidade constituinte desses sistemas produtivos contribui significativamente no aporte de serapilheira e nutrientes no solo. As árvores especialmente influenciam na quantidade e disponibilidade de nutrientes na zona de absorção radicular das culturas associadas, pois suas raízes profundas podem interceptar os nutrientes lixiviados acumulados no subsolo, geralmente distantes da zona de absorção radicular das culturas, e retorná-los a superfície na forma de serapilheira (PENNEREIRO, 1999). No caso do sistema de aléia, a biomassa que formará a serapilheira é oriunda, além dos fatores genéticos e ambientais, sobretudo da poda direcionada das árvores e outras espécies.

A reserva de matéria orgânica e nutriente nos solos tropicais sob a vegetação de floresta natural tem sido variável (FASBENDER, 1985). Segundo este autor e, considerando profundidades de até 100 cm, normalmente são estocados 100 a 350 t ha⁻¹ de matéria orgânica. As quantidades de nitrogênio, na mesma profundidade, são ainda mais variáveis: entre 1000 e 12000 kg ha⁻¹. Para o P, tem-se de 100 a 300 kg ha⁻¹ e para o K, os valores são de 50 a 400 kg ha⁻¹. No caso dos sistemas agroflorestais, Kang et al. (1981), ao estudar o potencial do cultivo em aléias em modificar a fertilidade do solo, mostram em experimento com leucena, desenvolvido num entissolo arenoso em Ibadan, Nigéria, um aumento significativo na reserva de N no solo (camada de 0-15 cm de profundidade), após 4 anos de implantação, em comparação ao monocultivo. Mais tarde, Atta-Krah (1990), trabalhando em condições similares (cultivo em aléias com leucena), relata incrementos significativos no teor de matéria orgânica e nitrogênio em relação ao monocultivo de milho e feijão miúdo. Na região amazônica verificou-se igualmente, após três anos da implantação de um cultivo em aléias, um aumento significativo no teor de matéria orgânica e N na camada de 0-10 cm de profundidade (BRASIL, 1992).

As leguminosas arbóreas apresentam vantagens em relação a outras espécies, com relação à intensidade de acumulação, ou seja, o primeiro processo envolvido na ciclagem de nutrientes que consiste na absorção e metabolização dos nutrientes nas raízes, caule e folhas. Considerando que os resíduos de leguminosas apresentam baixa relação C/N, pode-se afirmar que as leguminosas têm uma vantagem adicional no processo inverso: a mineralização dos nutrientes da matéria orgânica (FERRAZ JR et al, 1997).

Mafrá et al. (1998), relatam que o cultivo em aléias, após 9 anos da sua implantação em Botucatu, proporcionou incrementos significativos nas concentrações de matéria orgânica na camada superficial do solo (0-20 cm), em relação à condição original de cerrado. Esse incremento pode ser explicado pela reciclagem contínua de carbono a partir da fitomassa podada da leucena, da serapilheira e dos restos culturais. O aumento da reserva de carbono no solo advinda da implantação do sistema agroflorestal é um dos fatores mais positivos dessa prática em relação ao cultivo convencional, onde sistematicamente há um empobrecimento das reservas orgânicas do solo.

O impacto do sistema de aléias na ciclagem de nutrientes e na modificação dos seus teores no solo depende basicamente da capacidade do sistema radicular das árvores de interceptar os nutrientes, liberando-os posteriormente na superfície do solo (RUHIGWA et al, 1993). Esses efeitos são influenciados ainda pela quantidade de nutrientes extraídos pelas colheitas, pela intensidade das perdas por erosão e lixiviação e pelo potencial de fixação biológica de nitrogênio das árvores. Tais modificações variam com as condições edafoclimáticas, espécies de árvores e culturas envolvidas e tipo de manejo adotado (SANCHEZ, 1995).

Andrade (1997) estudando a liberação de N, P, K, Ca e Mg durante a decomposição de resíduos vegetais de espécies leguminosas e determinou o valor k para cada elemento e observou a seguinte ordem de liberação dos nutrientes: $K > Mg > P > N > Ca$.

Mafra et al. (1998), concluíram que a colheita de grãos no sistema agroflorestal foi um importante componente responsável pela exportação de nutrientes do solo, principalmente N, K e P. Dentre estes, o K e P foram os mais limitantes ao rendimento das culturas (milho e feijão), sugerindo-se estudos de forma a repor as quantidades extraídas via adubações complementares. Segundo estes autores, a adição de fitomassa no cultivo em aléias resultou num aporte anual (kg ha^{-1}) de 126 N, 6 P, 64 K, 74 Ca e 30 Mg. Esse aumento na concentração de nutrientes no solo sob esse sistema relaciona-se com sua eficiência na ciclagem pela fitomassa e pelas baixas perdas por erosão hídrica, semelhantes à vegetação natural, representando uma economia no uso de fertilizantes.

Heinrichs et al. (2005) avaliaram as espécies: mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), guandu anão (*Cajanus cajan*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) em cultivo consorciado com o milho. O feijão-de-porco apresentou maior produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Além de o feijão-de-porco apresentar melhor desenvolvimento e adaptação ao sistema proposto em relação aos demais tratamentos, constatou-se redução na ocorrência de plantas daninhas, causando possivelmente, um efeito supressor alelopático a estas plantas. Estes autores destacam a necessidade do desenvolvimento de máquinas agrícolas apropriadas à semeadura dessa cultura, dificultada pelo uso de máquinas convencionais, em virtude do acentuado tamanho de suas sementes.

Queiroz (2006) avaliando, nos anos de 2003 a 2005, a produtividade de fitomassa da parte aérea de sete espécies de leguminosas (*Albizia lebeck*, *Peltophorum dubium*, *Leucaena leucocephala*, *Cajanus cajan*, *Sesbania virgata*, *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Gliricidia sepium*) e o acúmulo de N, P e K nestas leguminosas arbóreas em sistemas agroflorestais de aléias, bem como o efeito da adição de fósforo sobre as leguminosas, verificou tanto em experimento com adição de P, quanto sem aplicação de P, que a maior

produtividade de fitomassa seca da parte aérea foi obtida pelo guandu, respectivamente 5.371 kg ha⁻¹ e 6.017 kg ha⁻¹. O autor afirma que o guandu é menos exigente em P que as demais leguminosas avaliadas, e que, possivelmente, possua associação com micorrizas bastante eficiente, uma vez que conseguiu manter elevada produtividade de fitomassa seca, em baixo conteúdo de P no solo, em comparação com as demais espécies.

O guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) tem se mostrado uma excelente leguminosa para inclusão em sistema de cultivo em aléia, que pode produzir até 11 t ha⁻¹ de fitomassa seca, o que pode incorporar ao sistema até 283 kg ha⁻¹ de N e 23 kg ha⁻¹ de P (ALVES et al, 2004). Juo et al. (1995) observaram, em estudo de longa duração, que a produção de milho foi sustentável quando cultivado em aléias de leucena ou guandu. O guandu teve um alto valor de N (2,6%) nos resíduos que foram aplicados ao solo.

No experimento em solo de baixa fertilidade natural no Estado do Maranhão, quatro espécies de leguminosas (*Leucaena leucocephala*, *Cajanus cajan*, *Inga edulis*, *Clitoria fairchildiana*) foram avaliadas, concluindo que a *Clitoria fairchildiana* mostrou-se a mais apropriada ao sistema de cultivo em aléias, por apresentar rápido estabelecimento, baixa competição do sistema radicular com raízes de culturas anuais e alto aporte de fitomassa e nitrogênio. Por outro lado, a *Inga edulis* seria a menos indicada, por apresentar baixa produção de fitomassa e baixa adição de N e P. Portanto, em solo de baixa fertilidade natural as leguminosas contribuem principalmente com aporte de N ao sistema, com apenas pequena quantidade de P ciclado (FERRAZ JR et al, 2006).

2.4 Eficiência do uso de nutrientes na cultura do milho no plantio direto na palha em sistema de aléias

O milho apresenta períodos diferentes de intensa absorção, com o primeiro ocorrendo durante a fase de desenvolvimento vegetativo, quando o número potencial de grãos está sendo definido e o segundo, durante a fase reprodutiva ou formação da espiga, quando o potencial produtivo é atingido. Isso enfatiza que, para altas produções, mínimas condições de estresses devem ocorrer durante todos os estádios de desenvolvimento da planta. O milho remove grandes quantidades de nitrogênio e usualmente requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando se desejam produtividades elevadas.

A absorção de potássio apresenta um padrão diferente quando comparado do nitrogênio e ao fósforo. A máxima absorção do potássio ocorre no estágio vegetativo (30 a 40 dias de desenvolvimento), com taxa de absorção superior ao do nitrogênio e do fósforo, sugerindo maior necessidade de potássio na fase inicial, como um elemento de "arranque". Para o nitrogênio e o fósforo, o milho apresenta dois períodos de máxima absorção, durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação da espiga, e menores taxas de absorção no período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga (COELHO, 2011).

Do ponto de vista econômico e ambiental, a dose de N aplicada é, para muitos, a mais importante decisão no manejo do fertilizante. A crescente adoção do sistema de plantio direto, no Brasil, e a necessidade de utilizar culturas de cobertura e rotação de culturas, visando à sustentabilidade desse sistema, são aspectos que devem ser considerados na otimização da adubação nitrogenada.

No sistema de aléias com leguminosas o suprimento das exigências nutricionais da cultura principal não é dependente apenas das quantidades adicionadas a partir dos ramos, mas também da eficiência de transferência dos nutrientes do solo para as plantas, processo estreitamente relacionado à qualidade da matéria orgânica adicionada, aos organismos presentes no sistema e à eficiência de absorção de nutrientes pela planta. Com algumas práticas de manejo associadas ao uso de híbridos e de cultivares mais eficazes pode-se também aumentar a eficiência do uso de nutrientes (HUANG et al., 1996).

O uso de leguminosas, combinado com maior diversidade de espécies em sucessão ou rotação de culturas, aumenta de forma significativa a retenção de carbono e nitrogênio no solo, com implicações importantes para o balanço destes elementos em escala regional e global e para a produção sustentável e a qualidade ambiental (AMADO et al., 2001). O emprego de adubos verdes e/ou plantas de cobertura está entre as práticas que visam à sustentabilidade do solo agrícola, podendo ser incorporados ou não ao solo, em rotação, sucessão ou consorciação com as culturas, com o objetivo de reduzir a erosão e recuperar características físicas, químicas e biológicas do solo (NASCIMENTO et al., 2005). Os efeitos sobre as propriedades do solo variam com a espécie utilizada, manejo da biomassa, época de plantio e corte, tempo de permanência dos resíduos no solo, condições locais e interação entre esses fatores (ALCÂNTARA et al., 2000).

As plantas de adubos verdes ou de culturas de cobertura, utilizadas para formar palhada para o sistema de semeadura direta (SSD), desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes, tanto daqueles adicionados por meio dos fertilizantes minerais e não aproveitados pelas culturas comerciais, quanto daqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica do solo (MOS). Os estoques de MOS são determinados pela razão entre o aporte e perda do sistema (TORRES et al., 2008).

As plantas, pela ação do seu sistema radicular, e as hifas de fungos potencializam as interações na formação de agregados estáveis, principalmente pela aproximação de partículas, exsudações bem distribuídas na matriz do solo e união física de agregados de diferentes tamanhos. As interações com os minerais e a formação de agregados diminuem a ação dos microrganismos decompositores, contribuindo para o acúmulo de compostos orgânicos no solo. O processo de proteção física da matéria orgânica é mais intenso em solos não revolvidos (SIX et al., 1999)

REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25 p. 189-197, 2001.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. DE; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.2, p.277-288, 2000.

ALEGRE, J. C.; RAO, M. R. Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru. **Agriculture Ecosystems Environment**, Amsterdam, v. 57, p.17-25, 1996.

ALTIERI, M. A. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 93, p. 1-24, 2002.

ALTERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, n. 74, p. 19-31, 1999.

ALTIERI, M. A. **Sustainability and the rural poor: A Latin American perspective**, In Food for the future: conditions and contradictions of Sustainability, Edited by Allen, P., pp193-233, John Wiley & Sons, New York, 328p. 1993.

ALVES, S.M.C.; ABBOUD, A.C. de S.; RIBEIRO, R. de L.D.; ALMEIDA, D.L. de. Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1111-1117, 2004.

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

AMADOR, D. B. **Restauração de Ecossistemas com Sistemas Agroflorestais**. Disponível em *: <<http://saf.cnpq.br/publicacoes/14.pdf>>. Acesso em 5 de Setembro de 2011.

ANDRADE, A. G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. Tese (Doutorado), Seropédica, UFRRJ. 197p, 1997.

ATTA-KRAH, A. N. Alley farming with leucaena: effect of short grazed fallows on soil fertility and crop yields. **Experimental Agriculture**. v.26, p.1-10, 1990.

BERTALOT, M. J. A. B.; GUERRINI, I. A.; MENDOZA, E. Cultura do milho (*Zea mays* L.) em sucessão com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) em áreas sob manejo agroflorestal em aléias com *Leucaena diversifolia*. Resumo expandido. Curitiba. **V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais**, 2004.

BLAIR, G. CATCHPOOLE, D. & HORNE, P. Forage tree legumes: their management and contribution to the nitrogen economy of wet and humid tropical environments. **Advances in Agronomy**. Washington, v. 44, p. 155-223, 1990.

BRASIL, E. C. **Sistema de cultivo em faixas como alternativa ao sistema tradicional de agricultura (Shifting cultivation): primeiras experiências no Nordeste Paraense**. Documentos EMBRAPA/CPATU, n.67, p.9-26, 1992.

COSTA, N. de L. **Agricultura Itinerante**. Idem * < <http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=44>>. Acesso em 05 de Setembro de 2011.

COELHO, A. M. **Nutrição e Adubação do Milho**. Idem * < http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/feraduba.htm>. Acesso 09 de outubro de 2011.

DUBOIS, J. C. L.; VIANA, V. M.; ANDERSON A. B. **Manual agroflorestal para a Amazônia**. Rio de Janeiro: REBRAF, 1996. v. 1. 228p.

FERRAZ JR, A. S. L. O cultivo em aléias como alternativa para a produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: MOURA, E.G. (Ed.). **Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão. 2ª Ed. vol. 1. p. 73-92. 2006.

FERRAZ JR, A. S. L; SOUZA, S. R, & FERNANDES, M. S. **Ciclagem de nutrientes em sistema de cultivo em aléias**. Pesquisa em Foco. São Luís, v. 16, n. 2, 1997.

FRANCO, F. S; COUTO, L; CARVALHO, A. F. de; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E; MEIRA NETO, J. A. A. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na zona da mata de minas gerais. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.751-760, 2002.

GHUMAN, B. S. & LAL, R. Land clearing and use in the nigerian tropics. II Soil chemical properties. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, n. 55, p.184-188, 1991.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2001.

HEINRICHS, R., VITTI, G. C., MOREIRA, A., FIGUEIREDO, P. A., FANCELLI, A. L., CORAZZA, E. J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 29: 71-79. 2005.

HOLSHER, D. Shifting cultivation in easter Amazonia: A case estudy on the water and nutrient balance. **Plant Research and Development**, Tubingen, n. 46, p. 68-87, 1997.

HUANG, W. Y.; SHNK, D.; HEWITT, T. I. On-farm costs of reducing residual nitrogen on cropland vulnerable to nitrate leaching. **Review Agriculture Economy**, New York, v.3, n.18, p.325-339, 1996.

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

JUO, A. S. R., FRANZLUEBBERS, K., DABIRI, A., IKHILE, B. Changes in soil properties during long-term fallow and continuous cultivation after first clearing in Nigeria. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, 56: 8-9, 1995.

KAGEYAMA, A. Pluriatividade na agricultura paulista. **Revista de economia e sociologia rural**. v. 37, n. 1, p. 35-56, jan./mar. 1999.

KAMIMURA, K & RINNY, M. Spatial and temporal characteristics of shifting cultivation patches in Kotopanjang dam watershed. **Journal Agriculture Research Quarterly**, n. 32, p. 47-53, 1998.

KANG, B. T.; WILSON, G. F.; SIPKENS, L. Alley cropping maize and leucaena in Southern Nigeria. **Plant and soil**, v. 63, p.165-179, 1981.

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

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

LANDSBERG, J. J. Physiological ecology of forest production. In: MAFRA, Á. L.; MIKLÓS, A. A. de W.; VOCURCA, H. L.; HARKALY, A. H.; MENDOZA, E. Adição de nutrientes ao solo em sistema agroflorestal do tipo "cultivo em aléias" e em cerrado na região de Botucatu, SP. **Scientia Forestalis**, IPEF (ESALQ), USP. n. 54, p. 41-54, dez. 1998.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, v. 27, p. 93-132, 1997.

LAL, R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: 2- water runoff, soil erosion and nutrient loss. **Agroforestry Systems**, v. 8, p.97-111, 1989.

LEITE, A. A. L. **Cultivo de milho em aléias de leguminosas como alternativa à agricultura de corte-queima**. Dissertação (Mestrado), UEMA. p. 15-39, 2001.

MACEDO, R. L. G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000.

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

MATSON, P. A; PARTON, W. J, POWER, A. G. & SWIFT, M. J. G. Agricultural intensification and ecosystem properties. **Science**, Washington, n. 277, p. 504-509, 1997.

MYERS, R. K. J.; PALM, C. A; CUEVAS, E.; GUNATILEKE, I. U. N. & BROSSARD, M. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: SILVA, M. S.

C. da. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ.** Dissertação (Mestrado). UFRRJ, RJ, p. 3-8, 2006.

PEREIRA, J.; PERES, J. R. R. Manejo da matéria orgânica. In: MAFRA, Á. L.; MIKLÓS, A. A. de W.; VOCURCA, H. L.; HARKALY, A. H.; MENDOZA, E. Adição de nutrientes ao solo em sistema agroflorestal do tipo “cultivo em aléias” e em cerrado na região de Botucatu, SP. **Scientia Forestalis**, IPEF (ESALQ), USP. n. 54, p. 41-54, dez. 1998.

PENEIREIRO, F. M. Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso. In: SILVEIRA, N. D.; PEREIRA, M. G.; POLIDORO, J. C.; TAVARES, S. R. de L.; MELLO, R. B. Aporte de nutrientes e biomassa via serrapilheira em sistemas agroflorestais em Paraty (RJ). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 129-136, abr-jun, 2007.

POMPÉIA, S. L. Aspectos da dinâmica dos nutrientes minerais em solo sob vegetação de campo-cerrado. In: MAFRA, Á. L.; MIKLÓS, A. A. de W.; VOCURCA, H. L.; HARKALY, A. H.; MENDOZA, E. Adição de nutrientes ao solo em sistema agroflorestal do tipo “cultivo em aléias” e em cerrado na região de Botucatu, SP. **Scientia Forestalis**, IPEF (ESALQ), USP. n. 54, p. 41-54, dez. 1998.

QUEIROZ, L. R. **Leguminosas como fonte de nitrogênio para a cultura do milho, em Campos dos Goytacazes – RJ.** Tese de doutorado – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 72p, 2006.

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

RUHIGWA, B.A. ; GICHURU, M.P. ; TAPIAH, H.M. ; ISIRIMAH, N.O.; DOUGLAS, D.C. Spatial variability in soil chemical properties under *Dactyloctenium aegyptium*, *Alchornea cordifolia*, *Senna siamea* and *Gmelina arborea* hedgerow on an acid ultisol. **Experimental agriculture**, v.29, p.365-372, 1993.

SAMPAIO, CA; KATO, O.R & SILVA, D.N. Sistema de corte e trituração da capoeira sem queima como alternativa de uso da terra, rumo à sustentabilidade florestal no nordeste Paraense. **Revista: Gestão Social Ambiental**, 2:41-53, 2008.

SANGINGA, N.; VANLAUWE, B.; DANSO, S. K. A. Management of biological N₂ fixation in alley cropping systems: estimation and contribution to N balance. **Plant and Soil**, v. 174, p. 119-141, 1995.

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

SILVA, M. S. C. da. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ.** Dissertação (Mestrado). UFRRJ, RJ, Instituto de Agronomia. p. 3-8, 2006

SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. *Agroforestry systems*, v.30, p.5-55, 1995
 STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reaction.** New York: John Wiley, 443p, 1982.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.1350-1358, 1999.

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

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, p.421-428, 2008.

VANLAUWE, B.; NWOKE, O. C.; SANGINGA, N.; MERCKX, R. Impact of residue quality on the C and N mineralization of leaf and root residues of three agroforestry species. **Plant and Soil**, v. 182, p. 221-231, 1996.

VAN REULER, H. & JANSSEN, B. H. Nutrient fluxes in shifting cultivation system of south-west Côte d'Ivoire. I Dry matter production, nutrient content and nutrient release after slash and burn for two vegetation. **Plant and Soil**. Amsterdam, n. 154, p. 169-177, 1993.

YARED, J.A.G. **A atividade florestal na Amazônia: Diagnóstico e perspectivas**. Palestra apresentada no Seminário "Futuro econômico da Amazônia: Agricultura". Brasília. 24p, 1990.

Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery

CAPÍTULO II

Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery¹

Sheilla Silva Serpa · Emanuel Gomes de Moura · José Geraldo Donizetti dos Santos · João Reis Salgado Costa Sobrinho · Alana das Chagas Ferreira Aguiar

E.G. Moura (✉) · S.S. Serpa · J.G.D. Santos · J.R.S.Costa Sobrinho
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, Caixa Postal 3004, 65000-000, São Luís, Maranhão, Brazil. Phone (Fax): +55 98 32310775. E-mail: egmoura@elo.com.br

A.C.F. Aguiar

Centro de Ciências Agrárias e Ambientais – Universidade Federal do Maranhão, BR 222, Km 04, 65500-000, Chapadinha, Maranhão, Brazil.

Received: 22 July 2009 / Accepted: 5 May 2010

Abstract

In the SE periphery of Brazilian Amazonia, low-input agriculture systems on sandy loam soils have very low nutrient use efficiency. In a low-input alley cropping system, we measured residue decomposition dynamics and the yield and nutrient uptake of a maize crop associated with the following treatments: Clitoria+Pigeon pea; Acacia+Pigeon pea; Leucaena+Clitoria; Leucaena+Acacia, Leucaena+Pigeon pea and no residue input (control). The acacia treatments provided better soil coverage throughout the whole corn cycle. Potassium was released faster than nitrogen from the residues; N concentration in corn leaves in the residue treatments were below critical levels. The Leucaena+Acacia treatment was the most effective in increasing post-tasseling N and K assimilation and K use efficiency. This resulted in corn productivity 3.5 times greater (7.3 Mg ha^{-1}) than the control without residue application. In the Amazonian sandy loam soils, which are susceptible to hardsetting and nutrient leaching, efficient N and K use should be priorities for soil management. Although no-till alley cropping of leguminous trees constitutes an important option for low-input farming, its efficiency depends on using a mixture of residues that keeps soil covered and have high rates of both N and K release during the entire crop cycle.

Keywords Alley cropping · Nutrient use efficiency · Soil coverage

¹ Article published. **Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery.** Serpa, SS, Moura, EG, Santos, JGD, Costa Sobrinho, JRS, Aguiar, ACF. *Plant Soil*. 335:363-371.

1. Introduction

In the periphery of Brazilian Amazonia, agricultural researchers find it extremely difficult to establish low-input agricultural systems that are suitable for smallholders without resorting to the environmentally harmful practice of slash and burn. Challenges arise from a combination of factors that reduce crop nutrient use efficiency (Aguiar et al. 2010). The first factor is hardsetting, caused by repeated cycles of wetting and drying in soils with low free-iron and organic-carbon levels; this reduces rootable soil volume, as described by Mullins (1999) and impairs nutrient uptake. The second factor is the high rate of nutrient removal from the profile, due to leaching and the low cation-retention capacity of these weathered soils (Dechert et al. 2005).

To reduce cohesion of soils susceptible to hardsetting, some authors such as Becher et al. (1997) recommend applying surface residues as a mulch to provide soil cover. This delays the loss of moisture and improves air capacity and infiltration (Moura et al 2009a). Nutrient retention in the root zone can be enhanced where nutrients are added in slow release forms and biologically mediated processes utilised for nutrient release. These approaches may be better at sustaining agrosystems in the humid tropics than the saturation of soil solution with soluble nutrients (Drinkwater and Snapp 2007).

No-till alley cropping systems of leguminous trees must provide adequate levels of residue to provide good soil cover for the soil-crop system between the rows while maintaining or increasing root-zone nutrients for these crops. This tends to be easier in the humid tropics where trees grow quickly, increasing the yield of biomass and nutrient recycling (Moura et al. 2008). A big advantage of alley cropping systems is that smallholders can produce their crops and regenerate soil fertility in one place and at the same time; this is not possible with green manures, or in other systems such as slash-burn-fallow agriculture (Atta-Krah 1989). However, success depends upon several factors such as the ability of

pruned materials to maintain soil cover through the crop growing season, the total nutrient release during decomposition and the synchronicity between nutrient release and the crop's needs (Mendonça and Stott 2003). Moura et al. (2009b) have shown that application of plant residues in alley cropping systems in the Amazonian periphery altered soil conditions, increased rootable soil volume and water retention in the uppermost soil layer and significantly increased maize yield. Several authors have confirmed that using leguminous trees together with small inputs of phosphorus fertilizers makes nutrient recycling more efficient and allows farmers to use fewer inputs (Aguiar et al. 2010; Leite et al. 2008; Vanlauwe et al. 2005). Ensuring that nutrient demand and release are in synchrony means paying close attention to the application period, location, residue quality, and addition of inorganic nutrients (Myers et al. 1997). More information is needed with regard to nutrient use efficiency in alley cropping systems in tropical regions with well defined wet and dry seasons.

The aim of this study is to assess whether no-till alley cropping affects the availability and the efficiency of use of nitrogen (N) and potassium (K) by the corn crop where combinations of low and high quality residues are used in a no-till alley cropping system of leguminous trees.

2. Material and Methods

2.1 Experimental site and treatments

The experiment was carried out at Maranhão State University, 2°30'S, 44°18'W. The region has a hot and semi-humid equatorial climate with a mean precipitation of 2,100 mm year⁻¹ and two well-defined seasons: a rainy season that extends from January to June, and a dry season with a marked water deficit from July to December. The soil was classified as Arenic Hapludult, with 260 g kg⁻¹ coarse sand, 560 g kg⁻¹ fine sand, 80 g kg⁻¹ silt, and 100 g

kg⁻¹ clay. Liming of the area took place in January 2002, with a surface application of 1 Mg ha⁻¹ hydrated calcium, corresponding to 279 and 78 kg ha⁻¹ of Ca and Mg, respectively. The alley cropping system was initiated six months after liming.

Full details of the experiment design are given in Aguiar et al (2010) and Moura et al (2009b). The alley cropping systems experiment comprises six treatments and four replicates in randomized blocks. We tested four leguminous species, two of which have high quality residue - *Leucaena leucocephala* (leucaena) and *Cajanus cajan* (pigeon pea), and two with low quality residue - *Clitoria fairchildiana* (clitoria) and *Acacia mangium* (acacia). The species were planted with a 0.5 m spacing in 10 x 4 m parcels and in mixed rows so that each parcel received both types of residue (Fig. 1). This design resulted in a combination of two legumes forming the following treatments: Clitoria + Pigeon pea (C+PP); Acacia + Pigeon pea (A+PP); Leucaena + Clitoria (L+C); Leucaena + Acacia (L+A), Leucaena + Pigeon pea (L+PP) and Control (no residues). Corn (cultivar AG 1051) was sown every January between 2002 and 2007, with a 90 cm inter-row space and 20 cm inter-plant space, and fertilized with 250 kg ha⁻¹ of the following formula: N-P-K 10-25-15 + 0.05% Zn. In addition, 30 kg ha⁻¹ of N was applied in the form of ammonium sulphate, when the fourth pair of corn leaves emerged. Results of chemical analysis of soil before and one year after application of lime can be found in Moura et al. (2009b).

2.2 Soil and plant analysis

Soil samples were collected in April 2007, after the harvest of corn, using a heavy-duty auger. The samples were composed of five sub-samples, at three depth-increments (0-5, 5-10 and 10-15 cm) for chemical and organic matter analysis. Soil samples were analyzed for organic carbon (Walkley-Black), P and exchangeable K, Ca, Mg, H and Al (resin), according to the standard methods of the Agronomic Institute of Campinas (IAC, 2001). Cation exchange capacity (CEC) was calculated as follows: K + Ca + Mg + (H + Al), BS = K + Ca +

Mg and percent base saturation (PBS) = $BS/CEC \times 100$. P, Ca, Mg and K measurements were made using ICP Optical Emission Spectrometer Varion 720ES. Measurements of physical properties were also made and are described in Moura et al. (2009b).

The dynamics of decomposition and the nitrogen (N) and potassium (K) release from mixed residues (C+PP, A+PP, L+C, L+A, L+PP) were assessed in litter bags in the field (Fosu et al. 2007). Air-dried plant material was inserted in 0.5 mm mesh nylon-bags (0.2 by 0.2 m), in similar proportions as the expected residue inputs in the respective treatments. These litterbags were placed on the soil surface during corn-sowing in a randomized complete block design with four repetitions. We used 50 g of leaves per litterbag. There were 80 litter bags in total. Destructive samples were taken at 30, 60, 90 and 120 days, and each bag was rinsed with purified water to remove soil particles, oven dried at 70 °C for 3 days, and weighed. After recording the dry weight, the remaining dry matter components were measured and subsamples were taken and ground to pass through a 1 mm screen. Corn yield and nutrient content was measured on two occasions: at tasseling (or approximately 1 week before anthesis) and at physiological maturity stage. At each sampling, 10 plants (2 m² area equivalent) from each plot were randomly selected and separated into leaves, stalks and, at the second sampling, reproductive components. All these plant materials were dried at 60°C for 3 to 4 days to obtain constant weight. Subsamples were taken and ground to pass a 1 mm screen. Nutrient concentrations were determined following H₂SO₄-H₂O₂ digestion according to the standard method described by Tedesco et al. (1995) with total N and K concentrations determined for the legume residues and total N, P, K, Ca and Mg concentrations in corn plants. At final harvest, grain yield was separately assessed in a 6 m² area and yields are reported with all values adjusted to a 145 g kg⁻¹ moisture basis.

Residue N and K use efficiency (RNUE or RKUE), and post-tasseling N and K accumulation (PTNA, PTKA) were calculated using the following formulas: RNUE =

$[(\text{NAWPMR} - \text{NAWCPM}) \times 100] / (\text{NAR})$, where NAWPMR stands for N accumulation in whole plant at maturity with residue, NAWCPM stands for N accumulation in whole control plant at maturity and NAR stands for N applied via residues; $\text{RKUE} = [(\text{PAWPMR} - \text{PAWCPM}) \times 100] / \text{PAR}$, where PAWPMR means K accumulation in whole plant at maturity with residue, PAWCPM means K accumulation in whole control plant at maturity and PAR means K applied via residues; $\text{PTNA} = \text{NAWPM} - \text{NAWPT}$, where NAWPM means N accumulation in whole plant at maturity and NAWPT means N accumulation in whole plant at tasseling; $\text{PTKA} = \text{PAWPM} - \text{PAWPT}$, where PAWPM means K accumulation in whole plant at maturity and PAWPT means K accumulation in whole plant at tasseling.

2.3 Statistical analysis

All results were expressed as means with corresponding standard errors. All statistical analyses were completed using SAEG software (2007). All variables were tested for normality of distribution. We conducted an analysis of variance followed by the Tukey-test at $p < 0.05$. The means were separated by Fisher's Protected Least Significant Difference (LSD) test at $p < 0.05$; index letters are used in tables to indicate statistical differences between the means.

3. Results

3.1 Chemical changes in soil properties through recovery of longer residence time nutrients

The addition of residues from the legumes significantly increased calcium and base saturation in the 0 to 5 cm layer compared with the control treatment without residues (Table 1). All treatments with leucaena significantly increased Ca in the 5 to 10 cm layer. Treatments with residue tended to have higher Mg values than the control, but differences were

significant only for the L+PP treatment. The treatments L+A, A+PP and L+C had higher organic carbon levels in the top 5 cm (Table 1).

3.2 Decomposition of residues, Nitrogen and Potassium release

The acacia treatments provided better soil coverage throughout the whole cycle of corn; by day 90, only 40% of their residues decomposed (Fig. 2), while in the pigeon pea with leucaena or clitoria, only 20% of the biomass remained intact, which resulted in bare soil in the middle of the cropping season. Clitoria residues decomposed at an intermediate speed with about 50% remaining at 90 days. According to Aguiar et al. (2010), who worked with the same residues and at the same study site, these results may be caused by difference in the C/N ratios of residues (12 in leucaena, 18 in pigeon pea, 23 in clitoria and 27 in acacia) (Aguiar et al. 2010).

The N release curves (Fig. 3) did not exactly mirror the patterns of decomposition shown in Figure 2. The N released from the L+C and L+A residues before tasseling (60 d) was 100 kg higher per hectare than from L+PP and A+PP, and more than 150 kg ha⁻¹ higher compared with C+PP. After tasseling, only the L+A treatments continued to release N. The K released from the L+C and L+A residues was greater than the other treatments (Fig. 4). By day 60, almost all the K had been released from residues, except for L+A. The L+A treatment therefore combined both longer soil coverage and extended N and K release.

3.3 Concentration and accumulation of nutrients in corn plants

At tasseling, N concentration in corn leaves in all treatments were below the critical level of 25.9 g kg⁻¹ proposed by Ribeiro et al. (1999). N concentration was not significantly different between the residue treatments which were all significantly higher than the control (Table 2). K levels in leaves were likewise just below the critical level (19.5 g kg⁻¹), but with

significant differences between residue treatments (Table 2). In the control plants, K concentration was more than four times lower than the in L+A, L+C and A+PP treatments. The leaf P, Mg and Ca concentrations were above critical thresholds in all treatments and showed no significant differences between treatments.

Only the corn plants that received leucaena plus acacia or clitoria residues showed marked differences in N levels; they accumulated much larger N amounts up to the tasseling stage (Table 3). The accumulation of N in the best treatments (L+A) was three times higher than the control. Potassium accumulation also changed significantly, and similarly to N, but with larger differences between the best treatments and the control. Likewise, treatments that combined leucaena with clitoria and acacia had a more effective K accumulation. There were also marked differences in Ca content, mainly between the treatments (L+A) and (L+C) compared with control. Differences in P contents were lower than for K and N and basically followed the differences in dry matter weight. Magnesium accumulation did not differ between treatments.

All treatments showed continued nutrient accumulation post-tasseling. The L+A treatment took up very significantly higher amounts of N and K than all other treatments in this period (Table 4). Other treatments with residue application did not have significantly different amounts of N assimilation, but all were significantly larger than the control. Residue mixtures with acacia had higher post-tasseling K assimilation than those with clitoria (Table 4).

Grain yield was significantly different between treatments; the highest yield was obtained with the L+A residue mixture and L+C also increased yield significantly above that of the control (Table 4). N use efficiency from residues was between 15 and 19% except in the L+PP treatment, which had a significantly lower N use efficiency (8%). K use efficiency

was about twice that of N (31-38%) except in the L+A treatment which was significantly more efficient (46%, Table 4).

4. Discussion

P, Ca and Mg were non-limiting for corn growth in this experiment suggesting that the impacts of fertilization and liming at planting were prolonged by recycling within the alley cropping system. This confirms the findings of Aguiar et al. (2010) and Moura et al. (2009b) who have shown in this experiment that incorporation of legume residues maintained enhanced soil chemical conditions for at least five years. The legume combinations provide different quantities of residues and have distinct decomposition patterns. In this alley cropping system all treatments which included acacia had the largest amount and longest permanence of the residual litter layer. This mulch layer also improves soil physical conditions for rooting. Soil-penetration resistance and water stress days in the 0-10 cm soil layers decreased with the amount of litter added and these changes in physical properties are also an important factor in driving increased maize productivity (Aguiar et al. 2010; Moura et al. 2009b).

To increase nutrient supply to the growing crop, high rates of residue decomposition and consequent nutrient release are needed during the rapid periods of crop growth and nutrient assimilation. At tasseling, N levels in the leaves of all treatments were lower than the critical band required for good corn growth as established by several authors such as Ribeiro et al. (1999), despite the application of substantial amounts of inorganic nitrogen fertilizer in all treatments (applied at planting). N was higher in all treatments where residues had been applied showing the additional N supply due to residue decomposition. However, N uptake in the maize crop did not exactly mirror the N release measured from the residues in litterbags; by the end of the growing season the litter bag experiment predicted that 84-96% of the N in

residues would have been released but less than 20% of the N released from residues had been recovered by the maize crop. According to Buresh and Tian (1998), this falls within the typical use efficiency of N (usually around 20%) derived from alley cropping residues under normal rootability conditions. Slow decomposition overall of the residue mixture is not necessarily an indicator of poorly matched nutrient release for crop growth – the L+A mixture maintained good cover and also released the largest amounts of N and K throughout the growing season and significantly increased N and K assimilation and crop yield compared to all other treatments

Fertilizer application supplied the recommended quantities of K to meet yield requirements at planting (van Raij et al. 1996). However, the response of leaf K content at tasseling to improved K supply suggests that soil conditions restrict K uptake and reduced fertiliser use efficiency in this soil/climate. Such wide range of variation was also found by Berchtold et al. (1993) in the tissues of potato, and implies that K accumulation was a limiting factor for productivity of the crop. Moreover, there is substantial evidence that K deficiency in leaves affects N utilization because it reduces the photosynthetic rate due to lower stomatal conductance and lower activity of ribulose diphosphate carboxylase (Yang et al. 2004). Potassium deficiencies in corn leaves without residue application were observed in the field with greatest intensity during the grain-filling stage. Crop response to K supply from legume residues suggests that K availability must be carefully considered in order to increase the productivity and sustainability of cropping systems under humid tropical conditions. The low N use efficiency in all treatments and higher K use efficiency in L+A suggest that a good balance of low and high quality residues, is one way to extend N and K release time and to increase their use efficiency.

Apart from availability, the uptake of N and K by crops is closely related to the rootability conditions within the profile and these are also affected by the use of residues in

alley cropping systems (Aguilar et al. 2010; Moura et al. 2009b). According to Sawyer and Mallarino (2002), K absorption is highly dependent on the root activity and requires a root system with vigorous growth to intercept and absorb the available K. In the L+A treatment it is likely that the interaction between higher release of N and K after 60 days, and improved soil physical properties as a result of better soil coverage in L+A led to the marked differences in post-tasseling K and N accumulation between L+A and L+C treatments. Since there was no difference of accumulation at tasseling between these treatments, the higher grain weight (42%) of L+A results from better conditions at the grain-filling stage (Spiertz 1983).

5. Conclusions

Nitrogen and potassium use efficiency are major factors for successful management of low input agrosystems in sandy loam soils in the periphery of Amazonia, which are susceptible to cohesion and subject to high nutrient leaching. Unlike other regions of Brazil, the sole use of inorganic K and N fertilizers is not recommended, as this will not allow the crop to reach its potential productivity. Furthermore, a steady release of N and K during the crop cycle, including the post-tasseling stage, is more important than rapid early availability to achieve of high crop productivity under leaching conditions. Therefore, the slow release N and K supply from residue decomposition coupled with residue mediated improvement in soil physical conditions are keys to meeting crop nutrient demand in such low input systems of the humid tropics.

No-till farming with the residues of leguminous trees is an important alternative for smallholder farmers in the humid tropics as this can increase crop productivity. However, this practice will only be successful if a combination of species that provide low and high quality residues is used. This technique will assure an adequate release rate of N and K and maintain soil cover during the entire crop cycle.

Acknowledgements

This work was supported by the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA) and the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). The authors would like to thank Christoph Gehring for correction of English language.

6. References

- Aguiar ACF, Bicudo SJ, Costa Sobrinho JRS, Martins ALS, Coelho KP, Moura EG (2010) Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the Pre-Amazon region of Brazil. *Nutr Cycl Agroecosyst* 86:189-198
- Atta-Krah AN (1989) Alley farming with leucaena: effects of short grazed fallows on soil fertility and crop yields. *Expl Agric* 1:1-10.
- Becher HH, Breuer J, Klingler B (1997) An index value for characterizing hardsetting soils by fall-cone penetration. *Soil Tech* 10:47-56.
- Berchtold A, Besson JM, Feller U (1993) Effects of fertilization levels in two farming systems on senescence and nutrient contents in potato leaves. *Plant Soil* 154:81-88.
- Buresh RJ, Tian G (1998) Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforest Syst* 38:51-76
- Dechert G, Veldkamp E, Brumme R (2005) Are partial nutrient balances suitable to evaluate nutrient sustainability of land use systems? Results from a case study in Central Sulawesi, Indonesia. *Nutr Cycl Agroecosyst* 72:201-212.
- Drinkwater LE, Snapp SS (2007) Nutrients in Agroecosystems: Rethinking the Management Paradigm. *Adv Agron* 92:163-186.
- Fosu M, Kühne RF, Vlek PLG (2007) Mineralization and microbial biomass dynamics during decomposition of four leguminous residues. *J Biol Sci* 7:632-637.

- IAC (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. IAC, Campinas.
- Leite AAL, Ferraz Júnior ASL, Moura EG, Aguiar ACF (2008) Comportamento de dois genótipos de milho cultivados em sistema de aléias pré-estabelecidos com diferentes leguminosas arbóreas. *Bragantia*, 67:817-825.
- Mendonça ES, Stott DE (2003) Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. *Agroforest. Syst* 57:117-125.
- Moura EG, Albuquerque JM, Aguiar ACF (2008) Growth and productivity of corn as affected by mulching and tillage in alley cropping systems. *Sci. Agric.* 65:204-208.
- Moura EG, Coelho KP, Freitas IC, Aguiar ACF (2009a) Chemical and physical fertility indicators of a weakly-structured tropical soil after liming and mulching. *Sci. Agric.* 66:800-805.
- Moura EG, Moura NG, Marques ES, Pinheiro KM, Costa Sobrinho JRS, Aguiar ACF (2009b) Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. *Soil Use Manage.* 25:368-375.
- Mullins CE (1999) Hardsetting soils. In: Summer ME (ed) *Handbook of soil science*, CRC Press, New York, pp. G65-G87
- Myers RJK, Van Noordwijk M, Vityakon P (1997) Synchrony of nutrient release and plant demand: plant litter quality, soil environment and farmer management options. In: Cadisch G, Giller KE (eds). *Driven by Nature: plant litter quality and decomposition*. CAB International, United King
- Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VHV (1999) *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação*. UFV: Viçosa
- SAEG (2007) *Sistema para análises estatísticas. Versão 9.1*. Viçosa, MG, Fundação Arthur Bernardes/Universidade Federal de Viçosa

- Sawyer JE, Mallarino AP (2002) Corn leaf potassium deficiency symptoms. In: The Integrated Crop Management Newsletter. IC-488(15). Iowa State Univ. Extension
- Spiertz JHJ (1983) Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation of cereals. *Plant Soil* 75:379–391
- Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ (1995) Análise de solos, plantas e outros materiais. UFRGS, Porto Alegre
- Vanlauwe B, Diels J, Sanginga N, Merckx R (2005) Long-term integrated soil fertility management in South-western Nigeria: crop performance and impact on the soil fertility status. *Plant Soil* 273:337-354.
- Van Raij B, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (1996) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC. 285p.
- Yang XE, Liu JX, Wang WM, Yez Q, Luo AC (2004) Potassium internal use efficiency relative to growth vigor, potassium distribution, and carbohydrate allocation in rice genotypes. *J Plant Nutr* 27(5):837-852.

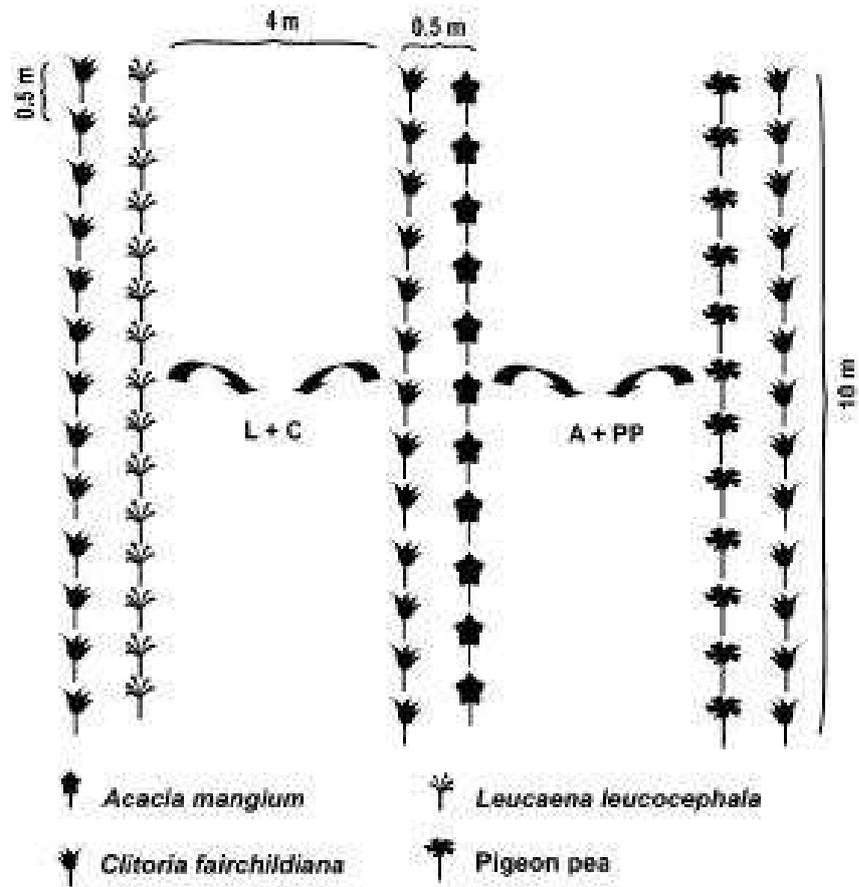


Figure 1 Diagram of the experimental plot

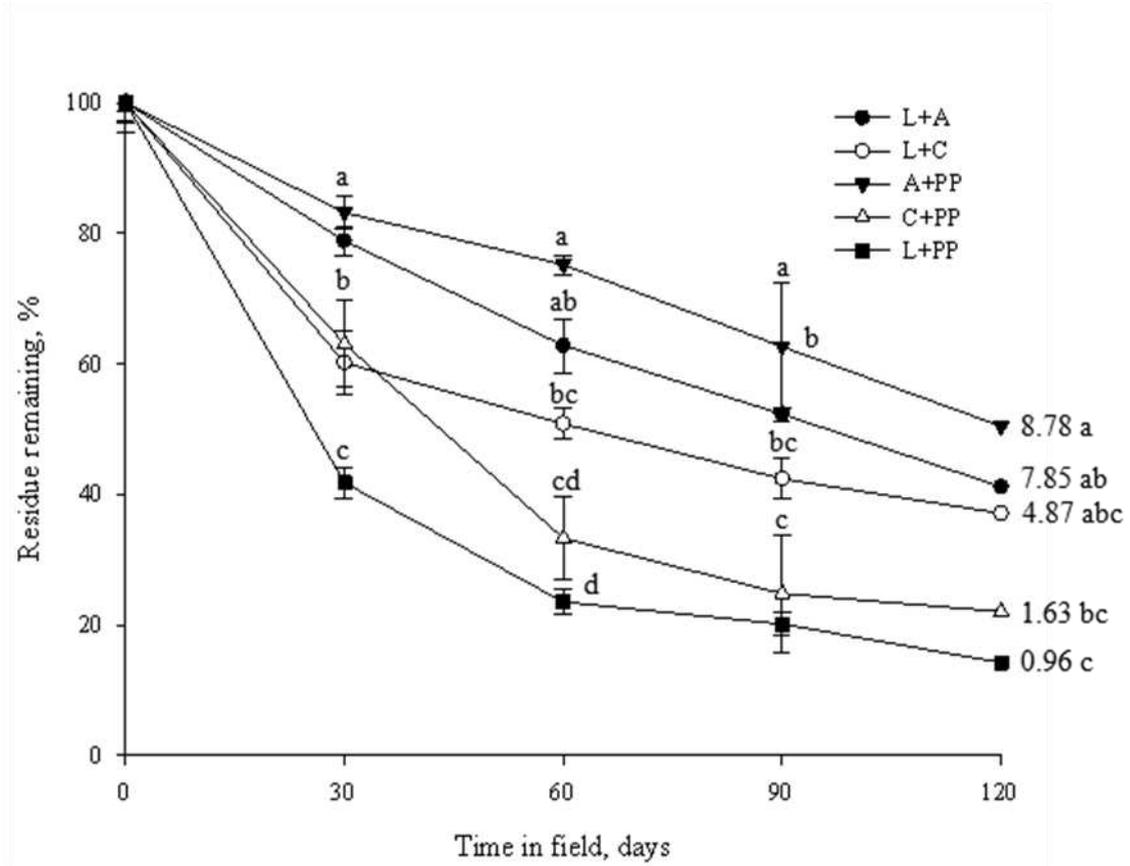


Figure 2 Percentage of leguminous residue mixture remaining in the litter bags. Quantity (Mg ha^{-1}) of residue remaining at day 120 is indicated with each line. Different letters indicate significant difference at the 5% level by Tukey test. Bar represents standard errors

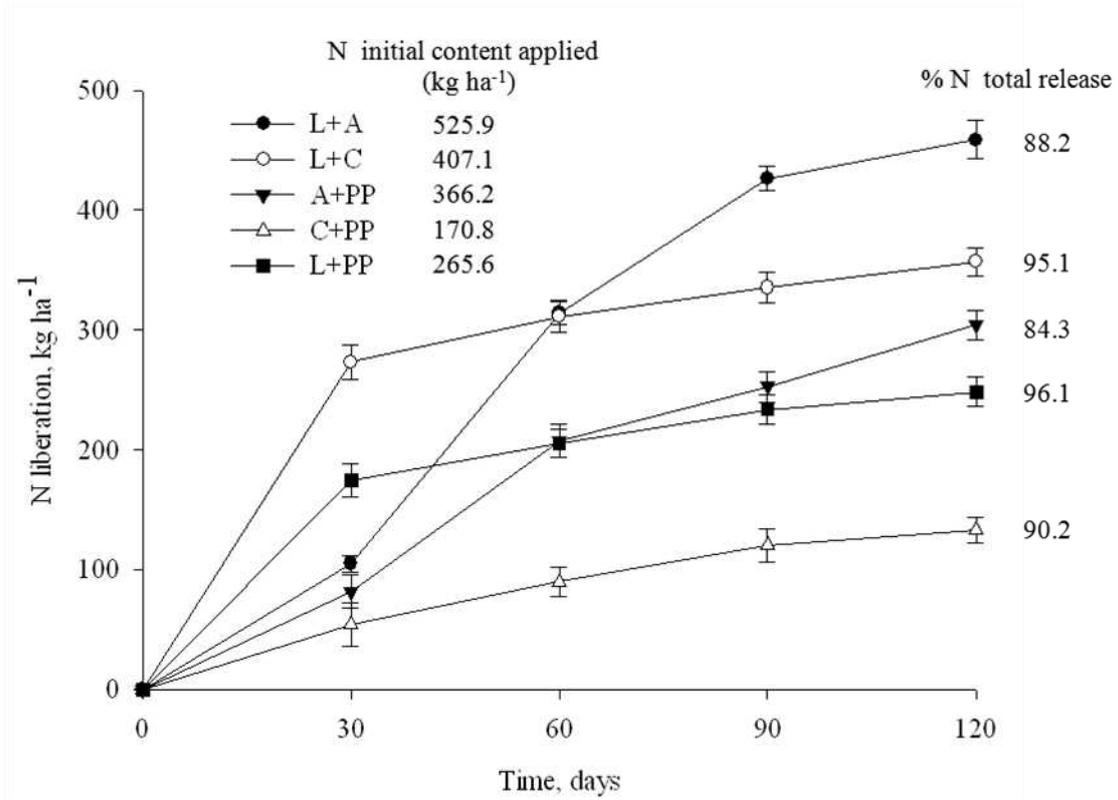


Figure 3 Quantity of nitrogen released from the leguminous mixture estimated through litter bags decomposition

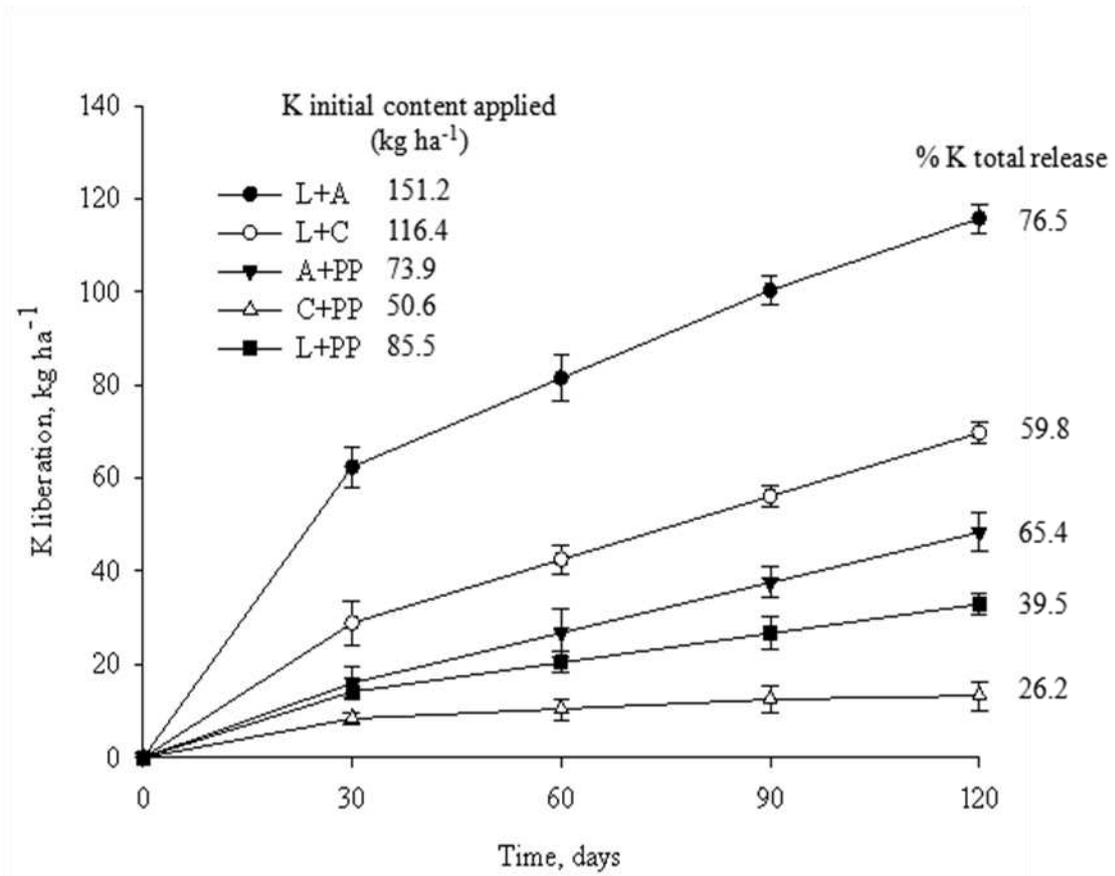


Figure 4 Quantity of potassium released from the leguminous mixture estimated through litter bags decomposition.

Table 1 Soil chemical analyses at corn harvest in 2007

Treatments	C+PP	L+PP	A+PP	L+C	L+A	Control
0-5 cm depth						
Organic carbon (%)	1.3ab	1.4ab	1.6a	1.5a	1.8a	1.1b
Phosphorus (mg dm ⁻³)	15	18	19	18	18	21
Potassium (mmol _c dm ⁻³)	1.4	1.2	1.2	1.3	1.4	1.2
Calcium (mmol _c dm ⁻³)	19.5a	19.2a	15.5ab	22.0a	21.2a	8.0b
Magnesium (mmol _c dm ⁻³)	3.5	5.7	4.0	5.2	5.7	3.7
Base saturation percentage (%)	43.6ab	43.4ab	39.1b	49.5a	43.6ab	31.1c
5-10 cm depth						
Organic carbon (%)	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8
Phosphorus (mg dm ⁻³)	11.0	12.0	15.0	11.0	13.0	17.0
Potassium (mmol _c dm ⁻³)	1.1	1.1	1.2	1.3	1.2	1.0
Calcium (mmol _c dm ⁻³)	10.2ab	13.7a	9.7b	14.0a	12.0a	9.2b
Magnesium (mmol _c dm ⁻³)	1.5b	2.7a	1.7ab	2.0ab	2.0ab	1.0b
Base saturation percentage (%)	32.1ab	37.6a	31.0b	38.1a	31.5b	27.1b
10-15 cm depth						
Organic carbon (%)	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.6
Phosphorus (mg dm ⁻³)	16.7	12.2	13.7	12.7	15.0	16.7
Potassium (mmol _c dm ⁻³)	1.0	1.0	1.1	1.2	1.1	1.0
Calcium (mmol _c dm ⁻³)	6.0	8.7	6.0	9.7	6.0	7.5
Magnesium (mmol _c dm ⁻³)	1.0	1.5	1.0	1.7	1.7	1.0
Base saturation percentage (%)	23.5	28.0	21.4	32.2	22.5	22.0

Different letters in the same row indicate significant difference at the 5% level by Tukey test.

Table 2 Nutrient content in the leaves of maize at tasseling stage

	L+A	L+C	L+PP	A+PP	C+PP	Control	LSD
Nitrogen (g kg ⁻¹)	17.3a	16.8a	17.9a	17.3a	17.7a	11.0b	3.8
Phosphorus (g kg ⁻¹)	7.1	5.5	5.1	5.2	4.5	4.1	ns
Potassium (g kg ⁻¹)	16.7a	16.9a	13.5ab	17.4a	9.5bc	3.7c	7.04
Calcium (g kg ⁻¹)	5.0	4.7	5.1	5.6	4.4	5.4	ns
Magnesium (g kg ⁻¹)	3.5	3.7	3.5	2.9	3.1	2.4	ns

Different letters in the same row indicate significant difference at the 5% level by Tukey test. LSD = least significant difference; ns = no significant

Table 3 Accumulated levels of nutrients in above-ground plant until tasseling

	L+A	L+C	L+PP	A+PP	C+PP	Control	LSD
Nitrogen (kg ha ⁻¹)	60.8a	52.1a	40.4ab	22.2b	18.7b	17.4b	23.1
Phosphorus (kg ha ⁻¹)	25.95a	15.23ab	11.96ab	17.05ab	10.31ab	8.1b	16.2
Potassium (kg ha ⁻¹)	48.4a	46.7a	29.7b	21.8b	20.9b	6.6c	14.2
Calcium (kg ha ⁻¹)	20.9ab	21.8a	13.4abc	11.3bc	14.3abc	4.4c	10.2
Magnesium (kg ha ⁻¹)	3.7	3.8	2.4	1.5	4.5	5.2	ns

Different letters in the same row indicate significant difference at the 5% level by Tukey test. LSD = least significant difference; ns = no significant

Table 4 Post-tasseling nitrogen and potassium accumulation (PTNA, PTKA), weight of grain of maize, residues nitrogen and potassium use efficiency (RNUE, RKUE).

	L+A	L+C	L+PP	A+PP	C+PP	Control	LSD
PTNA (kg ha ⁻¹)	131.14 a	65.70 b	58.80 b	58.03 b	60.80 b	23.37 c	8.8
PTKA (kg ha ⁻¹)	32.49 a	5.66 c	9.22 bc	15.90 b	5.60 c	4.12 c	7.1
Weight of grains (Mg ha ⁻¹)	7.3 a	5.1 b	3.1 c	3.6 bc	3.4 bc	2.1c	1.6
RNUE (%)	17 a	19 a	8 b	15 a	17 a	-	5.8
RKUE (%)	46 a	35 b	38 b	31 b	31 b	-	7.6

Different letters in the same row indicate significant difference at the 5% level by Tukey test.
LSD = least significant difference; ns = no significant

ANNEX

ANNEX 1. Standards for publication of International Journal Plant and Soil

Pre-Submission Review

Plant and Soil requires all manuscripts to be ‘internally reviewed’ prior to submission by a local review panel or by a colleague from another institution. During online submission of their manuscript, the authors will be asked to name their colleague or local review panel. Any manuscript that does not meet this requirement will not be considered for publication and returned to the author.

Covering letter

Authors are requested to submit a covering letter to the Editor-in-Chief with their manuscript, outlining how the submitted manuscript falls within the scope of Plant and Soil. Any other information from the authors to the Editor-in-Chief should also be included in this letter.

Cover Photograph

Upon acceptance of the manuscript, we strongly advise the author to supply the journal with a high-resolution colour photograph to accompany the article title in the online journal contents. The best photograph amongst the papers of each volume will be featured on the cover and in the article of the printed version of Plant and Soil free of charge. Ideally, digital photographs should have a minimum resolution of 300 dpi, an image size of 15 cm x 10 cm, and saved as either tiff or jpeg file.

Manuscript structure

The Abstract should not exceed 200 words and should be divided into the following sections:

- Background and Aims (stating the main purposes and research question)
- Methods
- Results (stating the main findings)
- Conclusions.

For reviews and commentaries, the abstract sections can be amended to: Background, Scope and Conclusions.

The manuscript should be divided into the following sections:

- Keywords
- Abstract
- Abbreviations
- Introduction
- Materials and Methods
- Results
- Discussion
- Acknowledgements
- References

Line numbering

Please use line numbering throughout the manuscript.

Title page

The title page should include:

- The name(s) of the author(s)
- A concise and informative title
- The affiliation(s) and address(es) of the author(s)

- The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 200 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Scientific names, Units and Symbols

- The Latin name(s) as well as authority (and, where appropriate, cultivar preceded by cv.) of investigated species must be mentioned both in the Abstract and in the Materials and Methods. Latin genus and species names should be italicised. Only SI units should be used.
- For mineral contents, the elements (P, N, K, etc.) should be used.
- Isotopes should be indicated as ^{14}C , ^{32}P , etc.
- Ions should be mentioned as H^+ , Mg^{2+} , etc.
- For molar concentration italic M should be used.

Time of publication

The Editor-in-Chief assigns manuscripts to a Section Editor, who makes the final editorial decision based on the advice of at least two independent reviewers. Manuscripts will be reviewed within 2 months of submission and published within 4 months of final acceptance. When papers are accepted subject to revision, usually only a single revised version will be considered, and the revised manuscript must be submitted within 8 weeks of the acceptance in principle.



<http://www.springer.com/journal/11>

Plant and Soil

An International Journal on Plant-Soil Relationships

Editor-in-Chief: H. Lambers

ISSN: 0032-079X (print version)

ISSN: 1573-5036 (electronic version)

Journal no. 11104