

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia
Tropical e Recursos Naturais - PIPG BTRN



**PRODUÇÃO DE FITOMASSA E NUTRIENTES POR PLANTAS
LEGUMINOSAS EM ÁREA DE CAPOEIRA E TAXAS DE
MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM RESPOSTA À
UTILIZAÇÃO DE SEUS RESÍDUOS VEGETAIS NO SOLO.**

JANE MARIA FRANCO DE OLIVEIRA

Tese de Doutorado

Manaus - AM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA

BIBLIOTECA DO INPA

PRODUÇÃO DE FITOMASSA E NUTRIENTES POR PLANTAS LEGUMINOSAS EM
ÁREA DE CAPOEIRA E TAXAS DE MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM
RESPOSTA À UTILIZAÇÃO DE SEUS RESÍDUOS VEGETAIS NO SOLO.

JANE MARIA FRANCO DE OLIVEIRA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas, área de concentração em Botânica Econômica.

Manaus – AM

2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA

BIBLIOTECA DO INPA

PRODUÇÃO DE FITOMASSA E NUTRIENTES POR PLANTAS LEGUMINOSAS EM
ÁREA DE CAPOEIRA E TAXAS DE MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM
RESPOSTA À UTILIZAÇÃO DE SEUS RESÍDUOS VEGETAIS NO SOLO.

JANE MARIA FRANCO DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: Hiroshi Noda

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas, área de concentração em Botânica Econômica.

Manaus – AM

2003

T
583.32
048p
ex 2

Dedico,

Aos meus pais José "*In memoram*" e Virgínia e irmãs
Mana, Jônia e Josane

Ofereço,

À Beatriz e Armando.

OLIVEIRA, Jane Maria Franco de

Produção de fitomassa e nutrientes por plantas leguminosas em área de capoeira e taxas de mineralização do nitrogênio em resposta a utilização de seus resíduos vegetais no solo / Oliveira, Jane Maria Franco de Oliveira – Manaus, 2003.

Manaus: INPA/UFAM

Tese de Doutorado p.

1. Leguminosas 2. adubação fosfatada 3. Área de capoeira 4. Produção de fitomassa e nutrientes 5. Teores de N e P no solo 6. Mineralização do Nitrogênio

CDC

Sinopse

Foram avaliados parâmetros de crescimento, produção de fitomassa e nutrientes de plantas leguminosas, em resposta à adubação fosfatada no plantio dessas espécies, em área de capoeira. No solo procedeu-se avaliações dos teores de N e P, após a deposição de resíduos vegetais das espécies estudadas. A mineralização do nitrogênio foi avaliada, após a incorporação de resíduos vegetais das espécies no solo mantido com cultivo do milho e na ausência desta condição.

Palavras-chave: Leguminosas, Área de capoeira, Argissolo Vermelho Amarelo, Fitomassa, Nutrientes no solo, Mineralização do N, Estado de Roraima.

Key-words: Leguminous, Fallow, Ultisol, Soil nutrients, N mineralization, Roraima State.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Hiroshi Noda pelas valiosas orientação e colaboração na realização deste trabalho;

A Dra. Sônia Sena Alfaia, pesquisadora do INPA, por imprescindíveis colaborações no estudo da mineralização do nitrogênio;

A Rita de Cássia Pompeu de Souza, da Embrapa Roraima pelo auxílio na execução das análises de solo e tecido;

Aos colegas de curso Cristiane, Dayson, Helenires, Keylla, Leitão, Márcio, Plácido, Tânia, Valdeli, Valéria e Wanders pela partilha de idéias, trabalhos e amizades.

LISTA DE TABELAS

Tabela

	Pág.
01 Características químicas e físicas do solo, na camada de 0-20 cm, amostrado antes da implantação do experimento de campo. -----	27
02 Características químicas e físicas do solo, na camada de 0-20 cm, amostrado antes da implantação do experimento em casa de vegetação. -----	40
03 Valores médios para altura de plantas leguminosas, obtidos em função da aplicação de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição no plantio das mudas. -----	44
04 Valores médios para altura de plantas leguminosas obtidos em função do tempo após o plantio das mudas. -----	45
05 Valores médios para altura de plantas leguminosas obtidos, aos seis, oito, dez e doze meses após o plantio das mudas, em função da aplicação de adubação (CP) ou na ausência (SP) desta condição. -----	48
06 Valores médios para o diâmetro do caule de plantas leguminosas obtidos aos doze meses após o plantio das mudas, em função da aplicação de adubação fosfatada (CP) ou na ausência desta condição. -----	50
07 Produção de matéria seca da parte aérea de plantas leguminosas obtida, aos doze meses após o plantio das mudas, em função da aplicação de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição. -----	54
08 Valores médios para as frações dos componentes da matéria seca da parte aérea de plantas leguminosas, obtidos em função da aplicação de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição. -----	57

	Pág.
09 Quantidades de nutrientes nos tecidos da parte aérea de plantas leguminosas obtidas aos doze meses, após o plantio das mudas, com utilização de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição. -----	60
10 Resultado da análise química do solo para teores de N total, em função do tempo de deposição de resíduos vegetais de leguminosas no solo e de diferentes profundidades amostradas. -----	63
11 Resultado da análise química do solo para teores de P, em função da aplicação de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição no plantio de leguminosas em relação a diferentes profundidades amostradas. ----	65
12 Resultado da análise química do solo para teores de P, em relação a diferentes profundidades amostradas e em função do tempo de deposição de resíduos vegetais de leguminosas no solo. -----	66
13 Teores de $N-NH_4^+$ e de $N-NO_3^-$ disponibilizados em relação à presença de resíduos vegetais de diferentes leguminosas em solo cultivado com milho. ----	71
14 Teores de $N-NH_4^+$ disponibilizados em relação à presença de resíduos vegetais de diferentes leguminosas no solo, em função do tempo de incubação. -----	73
15 Teores médios de $N-NO_3^-$ disponibilizados em relação à presença de resíduos vegetais de diferentes espécies leguminosas no solo, em função do tempo de incubação. -----	76
16 Teores de $N-NH_4^+$ e de $N-NO_3^-$ disponibilizados em relação à presença de resíduos vegetais de diferentes leguminosas em solo sem cultivado de milho. -----	79

	Pág.
17 Teores de $N-NH_4^+$ e de $N-NO_3^-$ ordenados em função do tempo de incubação de resíduos vegetais de diferentes espécies leguminosas em solo cultivado com milho (CM) e na ausência desta condição. -----	80
18 Teores de $N-NO_3^-:N-NH_4^+$ e relação $NO_3^-:NH_4^+$ definidos no solo cultivado com milho (CM) ou na ausência (SM) desta condição. -----	82
19 Relação $N-NO_3^-:N-NH_4^+$ definida em função do tempo de incubação de resíduos vegetais de diferentes espécies leguminosas no solo. -----	83

LISTA DE FIGURAS

Figura

	Pág.
01 Mapa do estado de Roraima com indicações dos locais de estudo.-----	28
02 Distribuição da chuva, no período de Junho/2000 a agosto/2001, no Campo Experimental Confiança, Cantá, RR. (Fonte: Embrapa Roraima). -----	29
03 Altura de plantas de plantas leguminosas obtidas aos seis (E1), oito (E2), dez (E3) e doze (E4) meses, após o plantio das mudas, com utilização de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição. -----	47
04 Diâmetro do caule de plantas leguminosas obtido aos doze meses, após o plantio das mudas, com utilização de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição. -----	52
05 Produção de matéria seca de plantas leguminosas determinada aos doze meses após o plantio, obtida com utilização de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição. -----	55
06 Produção de matéria seca e quantidade de N absorvido por plantas de milho cultivado em solo com resíduos vegetais de diferentes espécies de leguminosas. -----	69

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE TABELAS -----	iv
LISTA DE FIGURAS -----	vii
RESUMO -----	xii
ABSTRACT -----	xiv
1. INTRODUÇÃO -----	1
2. OBJETIVOS -----	4
2.1. Geral -----	4
2.2. Específico -----	4
3. REVISÃO DE LITERATURA -----	5
3.1. Roraima e sua inserção no espaço Amazônico -----	5
3.1.1. Características da ocupação geográfica do Estado -----	5
3.1.2. Principais atividades agrícolas do Estado -----	6
3.2. A Amazônia no contexto do desenvolvimento sustentável -----	7
3.2.1. Fatores relacionados com sistemas de uso da terra e suas implicações ambientais -----	7
3.2.2. Fertilidade dos solos -----	11
3.3. Leguminosas e fatores relacionados com a recuperação de solos -----	14
3.3.1. Produção de fitomassa e nutrientes -----	14
3.3.2. Nitrogênio no solo -----	17

	Pág.
3.3.2.1. Processos de aquisição e transformação -----	17
3.3.2.2. Mineralização a partir da utilização de resíduos vegetais de plantas leguminosas -----	19
3.3.3. O fósforo no solo de regiões tropicais.-----	24
4. MATERIAL E MÉTODOS -----	26
4.1. Experimento de campo -----	26
4.1.1. Localização e caracterização da área de estudo -----	26
4.1.2. Fatores em estudo -----	26
4.1.2.1. Espécies leguminosas -----	26
4.1.2.2. Adubação fosfatada -----	30
4.1.3. Tratamentos -----	31
4.1.4. Delineamento experimental -----	31
4.1.5. Condução do experimento -----	32
4.1.6. Unidade experimental -----	32
4.1.6.1. Formação de mudas e transplântio -----	332
4.1.6.2. Adubação fosfatada -----	32
4.1.7. Avaliação dos efeitos -----	32
4.1.7.1. Altura da planta -----	32
4.1.7.2. Diâmetro do caule. -----	33
4.1.7.3. Produção de matéria seca -----	34
4.1.7.4. Teores de nutrientes no tecido vegetal -----	34
4.1.7.5. Teores de elementos no solo -----	34

	Pág.
5.1.4. Teores de nutrientes na parte aérea -----	58
5.1.5. Teores de elementos no solo -----	62
5.2. Experimento em casa de vegetação -----	68
5.2.1. Produção de matéria seca e absorção de N pelo milho -----	68
5.2.2. Teores de N-NH_4^+ e de N-NO_3^- no solo cultivado com milho -----	70
5.2.3. Teores de N-NH_4^+ e de N-NO_3^- no solo sem cultivo do milho -----	78
6. CONCLUSÕES -----	86
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	87
8. APÊNDICE -----	98

PRODUÇÃO DE FITOMASSA E NUTRIENTES POR PLANTAS LEGUMINOSAS EM ÁREA DE CAPOEIRA E TAXAS DE MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM RESPOSTA À UTILIZAÇÃO DE SEUS RESÍDUOS VEGETAIS NO SOLO.

RESUMO - O objetivo deste estudo foi avaliar sete espécies leguminosas quanto aos seus aspectos botânicos e agrônômicos em área de capoeira no estado de Roraima, e a mineralização e disponibilidade de nitrogênio, em condições controladas, após a incorporação de resíduos vegetais destas espécies ao solo, tendo o milho como planta indicadora. O experimento em condições de campo, foi conduzido no Campo Experimental Confiança, pertencente a Embrapa Roraima, no Município do Cantá, em Roraima. As espécies estudadas foram *Inga edulis*, *Flemingia macrophylla*, *Desmodium tortuosum*, *Gliricidia sepium*, *Acacia auriculiformis*, *Acacia holosericea* e *Tephrosia candida*. O plantio das mudas ocorreu em junho de 2000 e os tratamentos foram constituídos por espécies e aplicação ou não de adubação fosfatada (0 e 20 kg de P ha⁻¹), no plantio das mudas, configurados num delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial de 7 X 2. Foram feitas avaliações de altura da planta, diâmetro do caule, produção de fitomassa, teores de nutrientes na parte aérea das plantas e análises químicas do solo, para N e P, antes e aos 15, 30 e 60 dias, após a deposição dos materiais vegetais na superfície do solo. Em condições controladas de casa de vegetação, resíduos vegetais (8 g de matéria seca.kg⁻¹ de solo) das leguminosas, foram incorporados ao solo, sendo os tratamentos estudados sob duas condições: uma sem planta e outra com cultivo do milho. Nos tratamentos com cultivo, foi mantida uma planta de milho, em vaso com capacidade para 5 kg, semeado 30 dias, após a incorporação dos resíduos no solo. O solo foi amostrado antes e aos 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias após a incubação dos resíduos, para a determinação dos teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻. Após o corte das plantas, ocorrido aos 60 dias após a semeadura do milho, determinou-se a produção de matéria seca e a

quantidade de N absorvida e acumulada na parte aérea de plantas do milho. Os resultados revelaram que a aplicação de P no plantio, influenciou nas variações da altura da planta, diâmetro do caule e produção de matéria seca. A produção de matéria seca pelas leguminosas, não se refletiu na quantidade de nutrientes, acumulados por uma mesma espécie. A *G.sepium* destacou-se quanto ao acúmulo de nutrientes estocados na parte aérea e, as folhas, responderam por 55% do material formador da biomassa. Os níveis de N total, variaram em função das épocas e profundidades e para o P, o efeito foi para a adição de P no plantio, profundidades e épocas. As maiores concentrações destes elementos foram determinadas na camada de 0-10 cm do solo. Resultados para as taxas de mineralização do N mostraram que, independente da presença do milho, até aos 30 dias após a incubação dos resíduos, a forma predominante do N mineralizado foi a amoniacal, estabelecendo-se após este período, predominantemente a forma nítrica. Maior acúmulo de matéria seca do milho foi verificado com a incorporação de resíduos das espécies *A.auriculiformis* e *G.sepium*, indicando assim maior absorção do N com a utilização dos materiais vegetais dessas espécies.

Palavras-chave: leguminosas, adubação fosfatada, área de capoeira, produção de fitomassa e nutrientes, teores de N e P no solo, mineralização do nitrogênio.

BIOMASS PRODUCTION AND NUTRIENTS OF LEGUMINOUS PLANTS IN FALLOW AREA AND RATES OF NITROGEN MINERALIZATION IN RESPONSE TO THE APPLICATION OF GREEN RESIDUES IN THE SOIL.

ABSTRACT- An experiment was carried out under field conditions with the aim of evaluating the botanic and agronomic growing of seven leguminous species in relation to biomass production and nutrients in fallow area of the state of Roraima and evaluate, under greenhouse conditions, the rates of nitrogen mineralization from incorporation green residues in the soil. The experiment under field conditions was carried at Campo Experimental Confiança in Roraima and were utilized the species *Inga edulis*, *Flemingia macrophylla*, *Desmodium tortuosum*, *Gliricidia sepium*, *Acacia auriculiformis*, *Acacia holosericea*, and *Tephrosia candida*. The experimental design was a randomized block with five replicates and the treatments were formed by species and two phosphorus doses (0 and 20 kg ha⁻¹). Stem diameter, height, and dry matter yield of the plants were evaluated. The treatments to evaluate the nitrogen mineralization were established in pots containing 5 kg of soil and formed by control (soil) and soil+leguminous green materials (leaves and branches). The experiment was conducted under two conditions: one with the green materials (8 g of dry matter.kg⁻¹ of soil) incorporated to the soil and corn was grown and another one without corn. The soil material was originated from a Ultisol located at Roraima State, Brazil. The corn was planted 30 days after the green materials incubation. Evaluations of soil sampling to determinate the soil nitrogen on forms N-NH⁴⁺ e N-NO³⁻ were performed on periods 0, 15, 30, 45, 60, 75 and 90 days after green materials incubation. The maize plants were cut 65 days after planted and was determinated above grown dry matter. The results about plants growth showed the P promoted by variations on height, diameter and dry matter in all studied species. The dry matter

production not reflected on the nutrients accumulated by the same species. *G.sepium* accumulated more nutrients on biomass and the leaves represented 55% on biomass material. Total N and P levels varied in relation to P application, time after handling and depths. Total N and P levels, independently from the time of handling, were highest in the 0-10 cm soil layer. The results about the rates of nitrogen mineralization showed that, independently of the corn presence during 30 days after the incubation the predominant mineralized nitrogen form was $N-NH_4^+$ and after this time $N-NO_3^-$ was established form. The positive effect of these species on maize biomass accumulated was more evident with utilization the residues of *A.auriculiformis* e *G.sepium*.

Key-words: mineralization of nitrogen, leguminous, fallow, corn, phosphorus, green manure, Amazonian soil, Roraima, Brazil.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história recente de colonização da região Amazônica, intensificada a partir de 1970, a utilização dos recursos naturais para finalidades de desenvolvimento, foi a principal via para as mudanças ambientais e culturais estabelecidas neste espaço geográfico. No período de 1960-1991 a Amazônia experimentou profundas alterações demográficas, com um aumento da população de 2,6 milhões para 17 milhões de pessoas (Salati *et al.*, 1998).

Às transformações de ordem econômica e política, associaram-se as de caráter ecológico. Assim, a taxa de incremento anual do desmatamento, que era de 1% em 1970, atingiu 14,07 % em 1994, considerando-se a Amazônia Legal (Kanashiro & Denich, 1998). No biênio 2001-2002, a taxa média anual do desmatamento foi 25.475 km², índice que representa aumento de 40%, em relação ao período anterior (Angelo & Constantino, 2003).

As atividades agrícolas nesta região, fundamentadas num ciclo de derruba e queima da vegetação da floresta primária, aglutina uma série de implicações ecológicas, que representam mudanças na dinâmica natural de suporte deste ecossistema afetando, sobretudo, a disponibilidade da matéria orgânica e, conseqüentemente, de nutrientes (Sánchez, 1981; Szott *et al.*, 1991).

Inserido entre os ciclos dos cultivos o pousio, que é caracterizado pelo estabelecimento da vegetação secundária, a capoeira, desempenha um papel fundamental na recuperação da fertilidade natural do solo. A duração do pousio, por vezes tem esta condição interrompida e, neste caso, prevalecem os fatores exercidos pela densidade demográfica. Assim, à medida que a população aumenta, as capoeiras têm o pousio reduzido e entram em atividade, oportunizando novo ciclo de cultivos e potencializando, desta forma, fatores que levam à degradação do solo (Dubois *et al.*, 1996).

A interrupção das ocorrências naturais, que governam o ciclo dinâmico de manutenção da floresta primária, tem gerado implicações ecológicas, que representam a fragmentação ou alteração deste ambiente.

Os estudos que esta questão desperta, estão direcionados, sobretudo, para as alterações no ciclo hidrológico da região como resultado, da diminuição da evapotranspiração (Fearnside, 1995) e liberação de gases do efeito estufa, dos quais o CO₂ é o mais representativo (Fearnside, 1995; Schroeder & Winjum, 1995; Fearnside, 1996; Higuchi *et al.*, 1998). A partir da manifestação destes fatores, extrai-se os indicadores das perturbações na dinâmica que mantém a funcionalidade da floresta, que se processa, sobretudo, pela ciclagem de nutrientes que garante sua sobrevivência (Schubart *et al.*, 1984).

No contexto da agricultura sustentável, o uso de árvores fixadoras de nitrogênio, tem sido considerado como uma estratégia biológica direcionada para o desenvolvimento de tecnologias que promovam a inserção de áreas ao processo produtivo. Os principais benefícios agregados, com a utilização dessas espécies, estão associados com a capacidade de adaptação a grande variação de clima e solo e pelo aporte de nutrientes, especialmente o nitrogênio. Na região Amazônica, esta possibilidade reveste-se de importância, uma vez que os ciclos de derruba e queima da vegetação afetam, sobretudo os processos de reciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes, concentrados, principalmente, nas camadas superficiais do solo (Szott *et al.*, 1991; Luizão *et al.*, 1999). O fósforo nos solos da Amazônia tem sido associado com fortes limitações ao desenvolvimento das plantas (Correa & Reichardt, 1995; Diez *et al.*, 1991; Ferreira *et al.*, 2001). Parte desta condição deve-se ao grau de intemperismo, que afeta a dinâmica do nutriente no sistema solo-planta e à elevada capacidade de fixação do elemento, que altera a disponibilidade de compostos fosfatados para as culturas (Sánchez, 1981).

O cenário assim estabelecido, em decorrência da retirada de áreas de floresta primária, suscita a busca de alternativas para a ocupação racional das áreas desmatadas. Várias têm sido as vertentes para esta questão e, o ponto comum, tem sido a mensuração dos efeitos causados pela devastação e a busca de alternativas tecnológicas que garantam o aproveitamento racional de áreas abandonadas.

Dentre as linhas de pesquisa que têm sido desenvolvidas, a utilização de plantas leguminosas tem gerado perspectivas favoráveis para esta questão. A função que estas espécies podem desempenhar nestas áreas está associada com a aceleração da produção de biomassa, durante o período de pousio possibilitando, assim, o retorno mais rápido para a área de capoeira. A partir desta possibilidade é esperada a diminuição da pressão de desmatamento sobre as áreas de floresta primária (Brienza Júnior *et al.*, 1998; Silva Júnior *et al.*, 1998; Vielhauer *et al.*, 1998).

A mineralização do nitrogênio, a partir da utilização de materiais vegetais, como adubo verde, tem sido estudada como forma de estimar como e quando estes materiais poderão ser aplicados para o fornecimento de fontes mineralizadas de nitrogênio às culturas associadas. No contexto da região Amazônica o nitrogênio mineral, obtido a partir da decomposição de materiais vegetais, pode representar um fator econômico importante, visto que, no sistema de subsistência, a utilização de adubos minerais é incompatível com o poder aquisitivo dos praticantes deste sistema.

O objetivo deste estudo foi avaliar sete espécies de leguminosas quanto à produção de fitomassa e aporte de N e P ao solo, em área de capoeira no estado de Roraima, e a mineralização de nitrogênio, proveniente da decomposição dos resíduos vegetais destas espécies, tendo o milho como cultura indicadora.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Estudar a viabilidade do uso de plantas leguminosas como uma forma de contribuir para o uso sustentável de áreas de capoeira no estado de Roraima.

2.2. Específicos

2.2.1. Avaliar aspectos do crescimento e desenvolvimento de sete espécies leguminosas em condições de campo;

2.2.2. Avaliar a mineralização do nitrogênio no solo e sua absorção por plantas do milho, proveniente da incorporação no solo de resíduos vegetais de sete espécies leguminosas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Roraima e sua inserção no espaço Amazônico

3.1.1. Características da ocupação geográfica do Estado

O estado de Roraima, constituído de 15 municípios e uma área de 224.131,13 km², é uma das nove unidades que integram a Amazônia legal. Situado no extremo norte do Brasil com área territorial correspondendo a 4% da Amazônia e 2,6% da superfície do Brasil (Embrapa, 2002). Limita-se ao Norte com a Venezuela e República da Guiana, ao Sul com o Estado do Amazonas, a Leste com a República da Guiana e o Estado do Pará e a Oeste com o Estado do Amazonas e Venezuela.

O Estado possui 324.397 mil habitantes e a capital Boa Vista concentra 76,14% do efetivo populacional (IBGE, 2000). Da totalidade da área territorial do estado 78% pertencem à União sob as seguintes jurisdições: 39,40% da Fundação Nacional do Índio – FUNAI; 2,11% do Instituto Nacional do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA; 28,02% do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA; 2,85% do Ministério do Exército e 5,41% correspondem a áreas devolutas (AMBITEC, 1994).

A composição da população reflete um mosaico de origens diversas, como reflexo do fluxo migratório que o estado experimentou, com maior intensidade, nas décadas de 60 e 70 quando o contingente migrante se destinava à criação de gado, produção de grãos e agricultura de subsistência (Freitas, 1996). Entre 1985 e 1990 o fluxo populacional estava direcionado às áreas de garimpo com posterior reversão do processo no período de 1991 a 1996, com o fechamento dessas áreas (Embrapa/BNDES, 1998).

Informações censitárias de 1991 e de 1996 revelam o aprofundamento de algumas tendências e o surgimento de novos padrões na composição e distribuição da população do Estado. Assim enquanto as migrações interestaduais apresentaram tendência decrescente na

década de 80, em Roraima foi consolidado um aumento na proporção de migrantes da ordem de 35,38%, no período de 1980-1991, vindos em sua maioria da Região Nordeste, especificamente do estado do Maranhão. O grau de urbanização tem se mantido num processo contínuo e a contagem da população de 1996, revelou um acréscimo de 23,76% em relação à população urbana de 1991 (IBGE, 1999).

Semelhante à ocupação dos espaços em outras regiões da Amazônia, Roraima tem vivenciado problemas quanto à organização de seu espaço geográfico, à diversidade de sua base de recursos e de sua identidade cultural. Acrescenta-se ainda, como manifestação expressa dessas ocorrências, a inquietude social representada por conflitos entre grupos e categorias sociais, pela ocupação e utilização dos recursos disponibilizados no espaço rural (Embrapa/BNDES, 1998).

A ocupação espacial recente aconteceu ao longo do eixo rodoviário da BR 174, iniciada em 1970, configurando mais um aspecto historicamente consolidado na Amazônia quanto à ocupação do espaço geográfico da região.

3.1.2. Principais atividades agrícolas do Estado

O estado apresenta dois grandes ecossistemas representados por 17% de sua área territorial com cobertura vegetal de lavrados (savanas ou cerrados) e 83% de florestas tropicais úmidas (Embrapa, 2002).

As principais atividades agrícolas do estado são a pecuária extensiva, extração de madeira e culturas do arroz irrigado, banana, feijão, cítricos, mandioca, milho e hortaliças e produção florestal em área de lavrado (Embrapa, 2002).

Nas áreas de floresta tropical as atividades agrícolas, principalmente, são de base familiar fundamentadas no sistema de agricultura de subsistência e itinerante. Estima-se que 3,5 a 4,5% dessas áreas, atualmente, estejam alteradas (Embrapa, 2002).

3.2. A Amazônia no contexto do desenvolvimento sustentável

3.2.1 Fatores relacionados com os sistemas de uso da terra e suas implicações no ambiente

No contexto do desenvolvimento sustentável, a manutenção da produtividade dos agroecossistemas e a conservação dos recursos naturais, têm sido as vertentes focalizadas nas estratégias deste paradigma. Na região Amazônica, esta abordagem está vinculada a uma série de fatores, que ao longo da história da ocupação deste espaço, não tem gerado perspectivas positivas quanto ao estabelecimento de atividades de produção, agrícola, pecuária e florestal, compatíveis com os princípios do desenvolvimento sustentável.

As ações antrópicas relacionadas com a utilização das áreas de floresta primária envolvem aspectos econômicos e sociais da agricultura de derruba e queima da vegetação. As atividades de produção agrícola, incluem uma fase de utilização de uma mesma área por períodos curtos, em geral de 2 a 3 anos, quando então a área é abandonada. Neste período são plantadas culturas anuais e de subsistência e, o período de pousio, que sucede esta fase, é caracterizado pelo estabelecimento da vegetação secundária, conhecida como capoeira, necessária para a recuperação da fertilidade natural do solo.

O período de pousio pode variar de três a quatro anos, podendo se estender por até 20 anos (Brienza Júnior, 1999) e, por vezes tem esta condição interrompida e prevalecem os fatores exercidos pela densidade demográfica. Assim, à medida que a população aumenta as

capoeiras têm o pousio reduzido e entram em atividade, potencializando, desta forma, fatores que levam à degradação do solo (Dubois *et al.*, 1996).

O efeito da diminuição do tempo de pousio foi avaliado quanto à mudança na estrutura da paisagem de uma região na Amazônia Oriental. O resultado deste estudo mostrou que a diminuição do tempo do pousio produziu profundas mudanças na estrutura da paisagem, conduzindo à fragmentação e isolamento das capoeiras, reduzindo a regeneração e produtividade agrícola (Metzger *et al.*, 1998).

A interrupção das ocorrências naturais, que governam o ciclo dinâmico de manutenção da floresta primária, tem gerado implicações ecológicas, que representam a fragmentação deste ambiente.

Estudos das alterações decorrentes do desmatamento da Amazônia têm sido relevantes para avaliações decorrentes da fragmentação deste ecossistema sobre vários aspectos. A manifestação que esta questão tem despertado está direcionada, sobretudo, para as alterações no ciclo hidrológico da região, como resultado da diminuição da evapotranspiração, (Fearnside, 1995) e liberação de gases do efeito estufa, dos quais o CO₂ é o mais representativo (Fearnside, 1995; Schroeder & Winjum, 1995; Fearnside, 1996; Higuchi *et al.*, 1998).

O desmatamento da floresta Amazônica com uma taxa anual de 16,8 mil km² (Fearnside, 1999), tem gerado forte inquietude mundial pelo impacto que este processo pode exercer, sobretudo, nas variações climáticas globais (Fearnside, 1995; Salomão *et al.*, 1996).

Nesta abordagem, o carbono acumulado na biomassa vegetal e no solo e, que é liberado à atmosfera, durante o processo de queima da vegetação, principalmente na forma de CO₂, é o indicador para as mudanças climáticas vinculadas com o sistema de uso da terra por atividades humanas. Dentre as atividades envolvidas neste processo a implantação de

pastagens tem ocasionado as maiores alterações e isto se processa, sobretudo, porque são mais prolongadas, exigindo repetidos ciclos de queima e capina e, por sua extensão, afetam a dispersão das sementes comprometendo a regeneração das espécies (Salomão *et al.*, 1996).

Os estudos para estimativas de biomassa florestal são fundamentais nas questões ligadas ao manejo florestal e ao clima. No primeiro caso está relacionada com os estoques de nutrientes da vegetação e no segundo aspecto é usada para estimar os estoques de carbono que subsidiam os cálculos da quantidade de CO₂ que é liberada durante o processo de queima.

Nestes estudos, diversos métodos são utilizados na avaliação da participação dos projetos de desenvolvimento da região no processo de mudanças climáticas globais (Schroeder & Winjum, 1995; Salomão *et al.*, 1996; Fearnside, 1996; Higuchi *et al.* 1998). Salomão *et al.* (1996), avaliaram que nas florestas tropicais a vegetação tem maior quantidade de carbono do que os solos e o desmatamento no período de 1860 e 1980 causaram uma liberação global líquida de carbono entre 135 e 228 Gt, sendo 1,8 Gt provenientes do sistema de uso das terras nas áreas tropicais.

Esta questão suscita o estabelecimento de estratégias direcionadas, para o que se convencionou chamar seqüestro do carbono, que representa o efeito para compensação da emissão de gases à atmosfera causada por atividades humanas. Neste sentido as capoeiras, durante o período de pousio, têm prestado importante serviço na absorção do CO₂, pela atividade fotossintética da vegetação ali constituída.

Estudo realizado por Brienza Júnior (1999), com leguminosas em área de capoeira na Amazônia Oriental, confirmaram o efeito positivo desta resposta, tendo sido verificado que entre 10 a 30 t ha⁻¹ ano⁻¹ de C podem ser armazenadas pela vegetação do capoeira com essas espécies.

Outro enfoque a respeito do potencial de retirada de carbono da atmosfera, pela biomassa acumulada pelas florestas secundárias com vinte anos, foi estimado ser correspondente à absorção de $2 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Salomão *et al.* 1996). Esta função atribuída à vegetação da capoeira, entretanto, está sendo interrompida pelo estabelecimento de pastagens, estimando-se que na Amazônia já sejam 5 milhões de ha que se encontram em processo de degradação (Salomão *et al.* 1996).

Alterações no teor de carbono do solo relacionado com a implantação de pastagens na Amazônia Central mostrou que a redução na relação C:N verificada na camada mais superficial do perfil do solo deve-se à diminuição do C orgânico em 25% nos primeiro e segundo anos de implantação desta atividade (Luizão & Luizão, 1999).

Enfatizando o aspecto da implantação de pastagem e sua relação com a dinâmica de nutrientes numa área da Amazônia Oriental Correa & Reichardt (1995), relataram que à exceção do potássio houve redução nos teores de bases trocáveis com o aumento do tempo de pastejo, com conseqüente aumento no teores de alumínio.

Outro estudo abordando as alterações na dinâmica das características químicas do solo realizado por Cravo & Smyth (1997) mostrou que o efeito fertilizante e corretivo das cinzas proveniente, da queima da vegetação, manteve-se até 26 meses após a queima, quando então foram observados decréscimos dos nutrientes e aumento do pH. Este é o tempo que, normalmente, os agricultores exploram uma mesma área no sistema roça-pousio.

Um aspecto geral, que se pode extrair da manifestação desses fatores, é que são indicadores das perturbações na dinâmica que mantém a funcionalidade de um ecossistema que se processa, sobretudo, pela ciclagem de nutrientes provenientes da atmosfera e da própria biomassa vegetal (Schubart *et al.*, 1984).

3.2.2. Fertilidade dos solos

Os solos de terra firme da Amazônia representados em 75% por latossolos amarelos e argissolos agregam para si fatores como baixa fertilidade natural, alto grau de intemperismo, elevada acidez e toxicidade pelo alumínio (Sánchez *et al.* 1983; Szott *et al.*, 1991; Boddley *et al.*, 1997), conferindo condições limitantes, de natureza química, para sua exploração agrícola.

Essas características são os principais condicionantes para a baixa produtividade, a partir do segundo ano de cultivo, após a queima da vegetação natural. Neste período os efeitos dos fertilizantes e corretivos provenientes das cinzas asseguram a exploração do solo, quando então é ativado o sistema de derruba e queima para novos cultivos (Cravo & Smyth, 1997).

A manifestação do efeito do sistema de utilização da terra, nos solos da Amazônia, reflete, sobretudo nas propriedades químicas e físicas destes solos. As alterações nos regimes de temperatura e umidade incidem sobre os processos biológicos controladores da decomposição da liteira e, da dinâmica da matéria orgânica. Assim, a base para o mecanismo da ciclagem de nutrientes é interrompida e as alterações se estabelecem suscitando a busca de estratégias que permitam a restauração das propriedades químicas e físicas destes solos.

A matéria orgânica representa para os solos tropicais, como os da Amazônia, altamente modificados pelo tempo, ácidos e de baixa fertilidade natural, fator fundamental tanto para o suprimento de nutrientes, como também influenciando outras características físicas como manutenção de troca de cátions, bloqueio dos sítios de fixação do fósforo e a formação de complexos com micronutrientes que impedem sua lixiviação (Sánchez, 1981; Szott *et al.*, 1991; Boddey *et al.*, 1997).

A matéria orgânica, nos solos tropicais, contribui com a maior parte dos sítios de troca de cátions desses solos. Nesta propriedade reside a importância para sua manutenção nesses solos (Sánchez, 1981).

A relação da matéria orgânica com outras propriedades dos solos sob as condições tropicais, resultando na manutenção da fertilidade desses solos foi avaliada por Boddey *et al.* (1997). Segundo os autores esses solos apresentam baixo conteúdo em argila, e na maioria são do tipo 1:1, que conferem baixas capacidade de troca de cátions, manutenção da umidade e estabilidade de agregados, propriedades derivadas, principalmente, da matéria orgânica existente nestes solos.

Trabalho realizado por Alfaia (1988) em latossolo e argissolo, os chamados solos de terra firme da Amazônia Central, corrobora com esta assertiva uma vez que, alterações nos valores da capacidade de troca de cátions destes solos correlacionaram-se, principalmente, com os teores de matéria orgânica e da mineralogia da fração argila, entre outras características avaliadas.

Ferreira *et al.* (2001), em estudo sobre o efeito da retirada seletiva de árvores nos teores de nutrientes em solo de uma floresta de terra firme, da Amazônia Central, verificaram que o manejo do componente arbóreo não influenciou os teores de P assimiláveis e da matéria orgânica. Foi verificado ainda que as maiores concentrações de P, K, Ca, Mg e Al situaram-se na camada mais superficial do perfil do solo. Esta resposta enfatiza a importância da manutenção de resíduos orgânicos no solo, como fonte para a ciclagem de nutrientes, neste ambiente de reconhecidas limitações de natureza química e física.

Pela importância que o fósforo representa, principalmente, nas funções estruturais e armazenamento de energia (Malavolta, 1980), a adoção de práticas de manejo tem sido proposta como forma de possibilitar o desenvolvimento satisfatório das culturas (Sánchez,

1980). Dentre estas práticas a utilização de fertilizantes como forma de assegurar capacidade de cultivo contínuo desses solos, com perspectivas de diminuição da taxa de desmatamento foi avaliado por Cravo & Smyth (1997). O resultado deste estudo demonstrou que a aplicação de P, K, N, Mg e calcário, nas doses de 33, 75, 9, 0,4 e 500 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, possibilitou a exploração da mesma área, por oito anos consecutivos. As produtividades do milho, arroz e soja, sob este manejo, foram superiores àquelas obtidas, no primeiro ano de cultivo, pelo sistema convencional praticado na região.

Outra abordagem a respeito da dinâmica das alterações químicas do solo submetido a diferentes fases de ciclos de rotação de cultivos foi avaliada na Amazônia Central por Hölscher *et al.* (1997). O resultado deste estudo mostrou que a relação C:N diminuiu de 13,4 a 10,8 nas camadas de 0-10 a 50-100 cm, considerando-se capoeiras de 10 anos e 2 anos, respectivamente. A variação para os teores de P, na camada de 0-10 cm, foi de 42 mg kg⁻¹ a 53 mg kg⁻¹, entre capoeira de 2 anos e uma mantida sob cultivo de mandioca. Para o N, esta variação foi da ordem de 0,8 a 1 g kg⁻¹, entre capoeiras de 2 e 7 anos, respectivamente (Hölscher *et al.*, 1997).

O nitrogênio, a despeito de ser o elemento em maior abundância na atmosfera, contribuindo com cerca de 78% (Malavolta, 1981), é o nutriente que mais limita a produção vegetal nos trópicos (Sánchez, 1981).

A importância do nitrogênio pode se refletir em vários aspectos da vida dos organismos vivos. Primeiro, por ser o constituinte essencial de toda a matéria viva, dos quais os ácidos nucléicos e as proteínas são os principais constituintes. Da funcionalidade dos sistemas agrícolas, pode-se extrair o segundo aspecto importante, deste elemento. Neste enfoque, a produtividade biológica desses sistemas é dependente da disponibilidade do

nitrogênio inorgânico no solo, desde que condições de luminosidade e suprimento hídrico, não estejam limitando o crescimento das culturas (Postgate, 1989).

Em condições de umidade elevada, a exemplo do que ocorre na Amazônia, a decomposição da matéria orgânica é mais acelerada, proporcionando com maior intensidade perdas, por lixiviação, dos fertilizantes aplicados (Döbereiner, 1997).

A contribuição da fixação biológica de nitrogênio em sistemas produtivos e na sustentabilidade dos ecossistemas está configurada em estratégias biológicas projetadas para melhoria da produção de alimentos sem, entretanto se distanciar da proteção do ambiente (Budowshi & Russo, 1997).

O nitrogênio e os eventos que definem sua dinâmica no solo tem sido reportado como um dos elementos mais afetados pelo sistema de uso da terra na Amazônia (Diez *et al.*, 1991; Alfaia, 1997; Luizão *et al.*, 1997; Cravo & Smyth, 1997). O principal fator associado com esta constatação está na perda de matéria orgânica, que representa a matriz para a ciclagem de nutrientes e fornecimento de nutrientes requeridos pelas culturas.

O cenário estabelecido, em decorrência da retirada de áreas de floresta primária, suscita a busca de alternativas para a ocupação racional das áreas desmatadas. Várias têm sido as vertentes para esta questão e, o ponto comum, tem sido a mensuração dos efeitos causados pela devastação e a busca de alternativas tecnológicas que garantam o aproveitamento racional das áreas abandonadas.

3.3. Leguminosas e fatores relacionados com a recuperação de solos

3.3.1. Produção de fitomassa e nutrientes

A capacidade para fixação do nitrogênio atmosférico e a produção de fitomassa de forma abundante, são as principais razões que conferem às espécies leguminosas suas habilidades para recuperação de áreas degradadas (CATIE, 1992).

As funções de uso múltiplo, conferidas às leguminosas em sistemas agroflorestais se referem às diversas utilidades dessas espécies, segundo os arranjos onde estejam integradas, seja nos aspectos de produção ou de serviços na propriedade (Wood & Burley, 1991).

Para as condições de latossolo e argissolo das regiões tropicais, os sistemas agroflorestais têm sido preconizados, como a forma mais apropriada para a exploração sustentável destas áreas. A base para esta conotação recai na reciclagem de nutrientes, manutenção da matéria orgânica e proteção do solo da erosão e da chuva que poderia proporcionar o elemento arbóreo nesses sistemas (Nair, 1989).

Entretanto na avaliação de Szott *et al.* (1991) a contribuição de sistemas agroflorestais para o desenvolvimento sustentável é limitada, sobretudo, pelas características químicas desses solos, como alta saturação do Al no subsolo, baixos níveis de Ca e P, que constituem impedimento para a expansão do sistema radicular, falta de minerais intemperizáveis e limitações nutricionais para a fixação do N₂. Os autores sugerem que a presença de leguminosas na capoeira em associação com os cultivos agrícolas, no que se convencionou chamar de “enriquecimento da capoeira” pode condicionar alterações no solo que conduzam a sustentabilidade do sistema sob aquelas condições.

O mecanismo que agrega a potencialidade dessas espécies na recuperação do solo da capoeira se deve ao processo de simbiose estabelecido com bactérias dos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Azorhizobium* que possibilita a fixação do nitrogênio atmosférico (Fosket, 1994). A partir desta simbiose, essas plantas tornam-se auto-suficientes em nitrogênio, potencializando suas capacidades de absorção de água e nutrientes, principalmente fósforo

(Souza e Silva, 1996), condicionando desta forma a produção de fitomassa (Andrade *et al.*, 2000).

A transferência do nitrogênio fixado, para as culturas associadas não leguminosas, ocorre pelo processo de decomposição dos nódulos, presentes nas raízes, e da matéria orgânica de partes vegetais das plantas. Esta transferência pode ser afetada por vários fatores como taxa de decomposição das diferentes partes da planta leguminosa, demanda por N pelos microrganismos do solo, desnitrificação, lixiviação, volatilização e, ainda, pela habilidade, do componente não leguminosa, em competir pelo nitrogênio liberado (Kass *et al.*, 1997).

O processo de ciclagem de nutrientes, que representa a transferência dos elementos mineralizados no sistema solo-planta, realizado de forma eficaz pelas leguminosas, deve-se à capacidade dessas espécies em absorver nutrientes, das camadas mais profundas do solo, e promover a sua liberação na superfície a partir da decomposição das raízes, serrapilheira e resíduos vegetais provenientes da poda (Alegre *et al.*, 2000; Favero *et al.* 2000).

No estudo das alternativas para o aproveitamento de áreas de capoeira, a partir da utilização de plantas leguminosas, duas vertentes têm sido focalizadas nas funções que estas espécies podem desempenhar durante o período de pousio: aceleração do acúmulo de biomassa e encurtamento da duração do período de pousio da capoeira (Kanashiro & Denich, 1998).

Estudos voltados para esta questão, desenvolvidos nas condições da Amazônia Oriental, têm confirmado esta possibilidade associada com espécies leguminosas quanto à produção de biomassa e redução do tempo de pousio (Silva Júnior, 1998; Vielhauer *et al.*, 1998; Brienza Júnior *et al.*, 1998; Brienza Júnior, 1999).

Andrade *et al.* (2000), em estudo numa região no sudeste do Brasil, para avaliação da produção de fitomassa e nutrientes verificaram que as espécies, *Mimosa caesalpinifolia*,

Acacia mangium e *Acacia holosericea*, apresentaram distintas velocidades de decomposição da serrapilheira que pode funcionar como estratégia na complementação do fornecimento de nutrientes para os cultivos agrícolas, em sistemas agroflorestais ou na recuperação de solos.

Em estudo na Amazônia Peruana desenvolvido por Szott *et al.* (1991) em sistema composto pelas leguminosas *Inga edulis* e *Desmodium ovalifolium* e cultivos de feijão e arroz, foi verificado que o estoque de nutrientes no solo, na biomassa e na liteira, para N, K, Ca e Mg, após 36 meses, apresentou claro declínio, enquanto que para o P este efeito não foi observado. A principal razão para esta resposta foi a ocorrência de precipitação elevada (2200 mm ano⁻¹), que ocasionou perdas dos nutrientes por lixiviação.

A contribuição das espécies fixadoras de nitrogênio, quanto ao acúmulo de biomassa e aporte de nutrientes ao solo é dependente de uma série de fatores, sobretudo com aqueles relacionadas com a composição e quantidade do material a ser depositado no solo (Andrade *et al.*, 2000), com o tipo de solo, espécie e manejo que é dispensado ao conjunto destes fatores (Szott *et al.* 1991).

3.3.2. Nitrogênio no solo

3.3.2.1. Processos de aquisição e transformação.

Os principais processos de aquisição do nitrogênio atmosférico, como mecanismos condicionantes para sua disponibilidade no sistema solo-planta são a fixação biológica, industrial e atmosférica. Dentre esses, a fixação biológica tem maior participação com 60% do insumo global do nitrogênio (Postgate, 1989).

O ciclo do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera envolve uma série de transformações deste elemento entre formas orgânicas e inorgânicas, numa seqüência de

Acacia mangium e *Acacia holosericea*, apresentaram distintas velocidades de decomposição da serrapilheira que pode funcionar como estratégia na complementação do fornecimento de nutrientes para os cultivos agrícolas, em sistemas agroflorestais ou na recuperação de solos.

Em estudo na Amazônia Peruana desenvolvido por Szott *et al.* (1991) em sistema composto pelas leguminosas *Inga edulis* e *Desmodium ovalifolium* e cultivos de feijão e arroz, foi verificado que o estoque de nutrientes no solo, na biomassa e na liteira, para N, K, Ca e Mg, após 36 meses, apresentou claro declínio, enquanto que para o P este efeito não foi observado. A principal razão para esta resposta foi a ocorrência de precipitação elevada (2200 mm ano⁻¹), que ocasionou perdas dos nutrientes por lixiviação.

A contribuição das espécies fixadoras de nitrogênio, quanto ao acúmulo de biomassa e aporte de nutrientes ao solo é dependente de uma série de fatores, sobretudo com aqueles relacionadas com a composição e quantidade do material a ser depositado no solo (Andrade *et al.*, 2000), com o tipo de solo, espécie e manejo que é dispensado ao conjunto destes fatores (Szott *et al.* 1991).

3.3.2. Nitrogênio no solo

3.3.2.1. Processos de aquisição e transformação.

Os principais processos de aquisição do nitrogênio atmosférico, como mecanismos condicionantes para sua disponibilidade no sistema solo-planta são a fixação biológica, industrial e atmosférica. Dentre esses, a fixação biológica tem maior participação com 60% do insumo global do nitrogênio (Postgate, 1989).

O ciclo do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera envolve uma série de transformações deste elemento entre formas orgânicas e inorgânicas, numa seqüência de

processos que implica atividades de organismos vivos e conversões biológicas (Havlin *et al.*, 1999).

As plantas e grande parte dos microrganismos do solo são dependentes de formas inorgânicas ou mineralizadas do N, como nitratos (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e amônio (NH_4^+), para seu crescimento e desenvolvimento (Barrueco *et al.*, 1985). Estas formas representam de 2 a 5% do N total do solo (Havlin *et al.*, 1991).

O balanço do nitrogênio no solo é uma função derivada dos processos de perdas e ganhos deste elemento, estando incluídos neste parâmetro influências do solo, clima e atividades agrícolas. Os principais mecanismos para a entrada ou ganho no ciclo biológico do nitrogênio são a fixação biológica, atmosférica e aplicação de fertilizantes. Nos processos de perda estão incluídos os mecanismos de desnitrificação, lixiviação do nitrato, volatilização do amônio e absorção pelas plantas (Sánchez, 1981; Barrueco *et al.*, 1985).

As plantas contêm 1 a 5% de N e o absorvem na forma de nitrato ou amônio dependendo de suas disponibilidades no solo. Em geral o N- NO_3^- , em condições úmidas, quentes e em solos bem aerados, ocorre em maiores concentrações do que o N- NH_4^+ e as duas formas movem-se em direção às raízes por fluxo de massa e difusão (Havlin *et al.*, 1999).

A mineralização do nitrogênio compreende a conversão das formas inorgânicas do N para NH_4^+ e envolve duas reações, amonificação e nitrificação, que ocorrem por atividades de microrganismos heterotróficos. Estima-se que as plantas absorvam em torno de 40% do nitrogênio mineralizado e os processos de desnitrificação e lixiviação respondem por 72% das perdas do N do solo (Moreira & Siqueira, 2002).

Contraopondo-se a mineralização, a imobilização representa a conversão das formas inorgânicas (N- NH_4^+ ou N- NO_3^-) para N orgânico e depende entre outros fatores da relação C:N do solo. Assim, se a matéria orgânica em decomposição contém menor concentração de

N em relação ao C, haverá imobilização do NH_4^+ ou NO_3^- pelos microrganismos (Havlin *et al.* 1999; Moreira & Siqueira, 2002).

A mineralização e imobilização do N têm ocorrência simultânea no solo e a relação C:N quando resíduos vegetais são adicionados ao solo, define a predominância de um evento sobre o outro. Assim durante a fase inicial da decomposição há rápido aumento no número de organismos heterotróficos acompanhado por produção elevada de CO_2 . Com o prosseguimento do processo de mineralização a relação C:N tende a diminuir com conseqüente redução do suprimento energético para a população de microrganismos. Neste ponto, a mineralização é reiniciada, resultando em níveis de N inorgânico em quantidades maiores do que a condução inicial. O conteúdo de N do resíduo vegetal é usado também na predição entre a ocorrência da mineralização ou imobilização. Concentrações de 2,0 %, sob condições aeróbicas, favorece a mineralização, enquanto que em solos encharcados o requerimento de N para a decomposição dos resíduos é de apenas 0,5% (Havlin *et al.*, 1999).

3.3.2.2. Mineralização do N com utilização de resíduos vegetais de plantas leguminosas no solo.

A utilização de fontes de nutrientes não minerais, como forma de garantir a manutenção da produtividade dos sistemas agrícolas, tem se baseado na utilização da adubação verde (Favero *et al.*, 2000; Franchini *et al.*, 1999; Miyazawa *et al.* 1993; Alfaia, 1997). Esta alternativa, vinculada no ambiente amazônico, reveste-se de importância, uma vez a entrada de fertilizantes químicos nos sistemas adotados, pelos agricultores de base familiar, é escassa ou inexistente.

A mineralização do nitrogênio de resíduos vegetais, utilizados como adubos verdes, tem sido estudada como forma de estimar como e quando estes materiais devem ser aplicados

para satisfazer a necessidade de compostos nitrogenados pelas culturas. Isto porque os eventos controladores do processo são afetados por vários fatores, sendo alguns inerentes ao ambiente, outros se relacionam com as características da espécie utilizada e ainda aqueles relacionados com a interação desses fatores. A principal implicação decorrente da participação desses fatores é de caráter prático. Assim, se a mineralização de processa muito rapidamente pode haver perdas por lixiviação, desnitrificação ou volatilização, diminuindo desta forma a absorção de N pelas plantas (Young, 1989).

As leguminosas têm sido as espécies, preferencialmente, utilizadas para adubação verde. As principais razões, para esta utilização se relacionam com as alterações benéficas nas propriedades químicas, físicas e biológicas promovidas por estas espécies (Wade & Sánchez, 1983; Miyazawa *et al.*, 1993; Alvarez *et al.*, 1995; Alfaia, 1997; Franchini *et al.*, 1999; Favero *et al.*, 2000).

Dentre os mecanismos responsáveis pela melhoria das características químicas do solo, a partir da aplicação de resíduos vegetais, destaca-se o aumento do teor de matéria orgânica, bem como no aporte, reciclagem e mobilização de nutrientes, aumento da capacidade de troca de cátions, condicionamento para produção de ácidos orgânicos, fundamentais para a solubilização de minerais no solo, elevação do pH e conseqüente diminuição da acidez e aumento do potencial de oxidação biológica de ânions orgânicos (Sánchez, 1981; Nair, 1984; Miyazawa *et al.*, 1993; Alvarez *et al.*, 1995; Franchini *et al.*, 1999).

A importância do nitrogênio pode se refletir em vários aspectos da vida dos organismos vivos. Primeiro, por ser o constituinte essencial de todos os seres vivos, dos quais os ácidos nucléicos e as proteínas são os principais constituintes. Da funcionalidade dos sistemas agrícolas, pode-se extrair o segundo aspecto importante, deste elemento. Neste

enfoque, a produtividade biológica desses sistemas é dependente da disponibilidade do nitrogênio inorgânico no solo, desde que condições de luminosidade e suprimento hídrico, não estejam limitando o crescimento das culturas (Postgate, 1989).

Na região Amazônica, sobre este enfoque, estão aglutinados outros fatores relacionados com as implicações decorrentes do sistema de uso da terra, fundamentado em ciclos de derruba e queima, que afetam a sua disponibilidade (Szott *et al.*, 1991; Luizão *et al.*, 1999).

Ainda assim, as fontes orgânicas apresentam maior efeito residual no solo e devido a este fato a liberação de N e P, a partir da matéria orgânica, é mais lenta do que em relação aos fertilizantes inorgânicos (Palm & Sánchez, 1990). O ciclo de nutrientes sob estas condições é mais estável do que aquele verificado na maioria dos sistemas agrícolas, caracterizados pela perda de nutrientes (Nair, 1989).

Em outro estudo com solos da Amazônia, foi constatado que a mineralização do N, variou em função das características químicas dos solos estudados. Após 60 dias de incubação de resíduo vegetal do caupi, a mineralização do N foi de 30 e 40 %, respectivamente, para os latossolo e podzólico (Alfaia, 1997c). Neste estudo foi observado que o resíduo vegetal aumentou em 123% a taxa de mineralização do N orgânico do solo, caracterizando a ocorrência do chamado efeito “priming”, sendo a resposta associada ao maior estoque de carbono e N desses solos. Estudos realizados por Smyth *et al.* (1991), em Latossolo na Amazônia Central, demonstraram que os resíduos do caupi (*Vigna Unguiculata*), forneceram ao milho, como cultura subsequente, o equivalente a 26 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia.

As condições ambientais que predominam nas regiões tropicais, como chuvas fortes e taxas de decomposição mais rápida da matéria orgânica, tornam esta região mais dependente de fertilizantes nitrogenados, em virtude da perda desses insumos, principalmente, pelos

processos de lixiviação e volatilização (Döbereiner, 1997). Em estudo em solo de terra firme da Amazônia Alfaia (1997a), verificou baixa utilização do N de fontes minerais e as perdas desses insumos foram estimadas em 42% para o sulfato de amônio e 36% para a uréia.

O conhecimento do potencial de mineralização e a taxa de liberação do nitrogênio, relaciona-se com a disponibilidade de N às culturas, durante determinado período, e aplicações de cunho prático, derivadas deste conhecimento, estão associadas com a recomendação de adubação nitrogenada para as culturas (Alfaia, 1997b).

Os efeitos, esperados pela utilização de adubos verdes, no solo são dependentes, entretanto, de alguns fatores como a espécie utilizada, o manejo dispensado à biomassa, a época do corte do material vegetal a ser utilizado com esta função, o tempo de permanência dos resíduos, além da interação entre estes condicionantes (Alcântara *et al.*, 2000).

Franchini *et al.* (1999), verificaram que as alterações nas propriedades químicas de solos ácidos, em função da aplicação de resíduos vegetais, são determinadas pelo teor total de cátions e carbono na fração hidrossolúvel presentes no resíduo vegetal utilizado. O intervalo de tempo, para a verificação, do efeito da aplicação de resíduos vegetais no solo estudado por Alcântara *et al.*, (2000) mostrou que até aos 120 dias, após o manejo dos resíduos vegetais, houve efeito positivo nas propriedades químicas do solo estudado.

Outro estudo realizado por Luizão *et al.* (1999), a respeito da dinâmica do nitrogênio em solos da Amazônia, corrobora com esta definição sobre a fração predominante do nitrogênio mineral sob a forma de amônio. Foi constatada a diminuição da taxa de transformação do N, indicando uma maior demanda de nitrogênio, pelas plantas e microrganismos, com conseqüente diminuição no estoque de N orgânico do solo.

Na abordagem dos processos de transformação do nitrogênio no solo, e uma vez que os processos de mineralização e imobilização ocorrem simultaneamente, a mudança em

direção ao depósito orgânico ou inorgânico é uma condição dependente da relação C:N dos materiais em decomposição (Barrueco *et al.*, 1985; Palm & Sánchez, 1990; Oglesby & Fownes, 1992; Fosket, 1994; Mafongoya *et al.*, 1998), afetando especialmente o processo de nitrificação (Moreira & Siqueira, 2002). Assim, a deposição de resíduos orgânicos com alta relação C:N no solo, ativa a população de microrganismos decompositores da matéria orgânica, que multiplica-se rapidamente e produz CO₂ de forma abundante. Nestas condições, o NO₃⁻ e NH₄⁺ praticamente desaparecem do solo, caracterizando uma condição de pouca ou nenhuma disponibilidade de nitrogênio mineral para as plantas.

A mineralização dos compostos nitrogenados de resíduos orgânicos é também afetada pela disponibilidade de N no solo e pela relação C:N (Mary *et al.*, 1996). A adição de resíduos com alta relação C:N, resulta em imobilização do nitrogênio e, o maior conteúdo em lignina e outros compostos recalcitrantes nos resíduos, também diminui a mineralização de N, em virtude da diminuição da taxa de decomposição e de interações físico-químicas da lignina com o N do solo. Isto se processa, sobretudo, porque durante a mineralização do N-orgânico do solo, os seus distintos componentes são transformados em velocidade variável, em N-inorgânico podendo, parte desses serem acumulados em função do seu elevado grau de recalcitrância e resistência ao ataque microbiano (Janssen, 1996).

Este padrão de decomposição dos resíduos e da liberação do N segue aquele descrito por Amado & Mielniczuk (2000), ao verificarem duas fases neste processo: a primeira, caracterizada por uma rápida decomposição de materiais como carboidratos, amido, açúcares e proteínas e uma segunda, mais lenta, representando a decomposição de materiais mais resistentes como celulose, gorduras, ceras, taninos e lignina.

Outro fator relacionado com a dinâmica da decomposição e liberação do nitrogênio, em leguminosas tropicais é a presença de polifenóis nos tecidos destas espécies (Palm &

Sánchez, 1990; Palm & Sánchez, 1991; Oglesby & Fownes, 1992). Neste sentido, a liberação do nitrogênio, a partir de materiais com altas concentrações de polifenóis será menor do que sob baixas concentrações destes compostos. Nestas condições, os polifenóis formam compostos estáveis de N na matéria orgânica do solo. Esta constatação define sérias implicações na reciclagem do nitrogênio e na seleção das espécies para compor sistemas agroflorestais (Palm & Sánchez, 1990).

As condições de umidade do solo também afetam a ocorrência das diferentes formas mineralizadas do nitrogênio. Assim, em condições anaeróbicas a liberação do nitrogênio ocorre na forma amoniacal e prevalecendo a aerobiose o amônio formado converte-se rapidamente, por oxidação, em nitrato.

Resultado obtido Jonh *et al.* (1992) mostra esta variabilidade para a forma de mineralização do N em relação às condições de umidade do solo. Assim, em solo inundado foi observado que aos 30 dias, após a semeadura do arroz, 36% do N mineralizado, a partir da incorporação de resíduo do caupi (*Vigna unguiculata*) estava na forma de amônio. Foi observado ainda que o efeito, da quantidade de N (68 kg ha^{-1}), proveniente da incorporação do resíduo do caupi, foi equivalente à aplicação de 66 kg ha^{-1} de uréia.

3.3.3. Fósforo no solo

A disponibilidade de fósforo nos solos das regiões tropicais, tem sido outro importante fator associado com limitações para a produção agrícola (Malavolta, 1980). As características de origem destes solos, como elevado grau de intemperismo, além da presença de complexos coloidais formados por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, conferem a estes solos uma alta capacidade de fixação de fósforo (Sánchez, 1981; Szott & Kass, 1993), tornando-o indisponível às plantas.

Respostas positivas à aplicação de níveis mínimos do fósforo, têm sido constatadas em diversas regiões da Amazônia (Dias *et al.*, 1991; Correa & Reichardt, 1995; Cravo & Smyth, 1997; Oliveira *et al.*, 1998; Amaral *et al.*, 2000).

Neste contexto, a variabilidade genética das espécies, tem fundamentado os estudos para a seleção de materiais vegetais, quanto à capacidade de obter e utilizar nutrientes minerais, configurando desta forma sua adaptação às condições de solos ácidos e de baixa fertilidade (Rao, 1995).

Estes fatores têm subsidiado as argumentações dos diferentes resultados para a mineralização e liberação do nitrogênio e, correlações decorrentes desta associação, podem ser utilizadas para a seleção de espécies ou para otimizar práticas de manejo.

Ressalta-se que a Amazônia representa uma diversidade de ambientes e os fatores interagem de acordo com esta influência. Assim, a obtenção de resultados para cada região da Amazônia, é importante uma vez que as particularidades da região do estudo podem condicionar a manifestação de outros fatores envolvidos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Experimento de Campo

4.1.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi conduzido em um Argissolo Vermelho-Amarelo (Tabela 1), localizado no Campo Experimental Confiança (Embrapa-Roraima), município do Cantá, distante 90 km de Boa Vista, em Roraima (Figura 1). Nesta região, predomina a formação vegetal “Floresta Tropical Úmida”, com clima do tipo Am, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 27^o C, com precipitação pluviométrica distribuída principalmente entre os meses de maio e agosto (Figura 2).

4.1.2. Fatores em Estudo

4.1.2.1. Espécies Leguminosas

Neste ensaio foram estudadas sete leguminosas que apresentam a capacidade de realizarem a fixação de nitrogênio do ar, em associação com bactérias do gênero *Rhizobium*. Deste fato advêm outras particularidades que conferem a essas espécies funções múltiplas em sistemas onde estejam integradas. Outras características dessas espécies são apresentadas a seguir:

Inga edulis Martius – Espécie do tipo arbórea, pertencente à subfamília Mimosoideae, nativa da região Amazônica. Considerada tolerante a solos ácidos, reúne características importantes para integrar sistemas agroflorestais (Szott *et al.*, 1991), pelas funções múltiplas que pode desempenhar quanto à produção de biomassa, lenha e fruto. Composto sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira, apresentou resultados, quanto à produção anual de 2 t.ha⁻¹ de biomassa aérea (Wandelli *et al.*, 2000).

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo, na camada de 0-20 cm, amostrado antes da implantação do experimento de campo. Boa Vista, RR. 2000.

pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	N	MO	Argila	Silte	Areia
(água)	---- mg dm ⁻³ ----		----- cmol _c dm ⁻³ -----				g kg ⁻¹		----- g kg ⁻¹ -----		
4,98	1,99	47,95	0,32	0,26	0,88	6,31	1,74	34,93	365,54	123,17	511,26

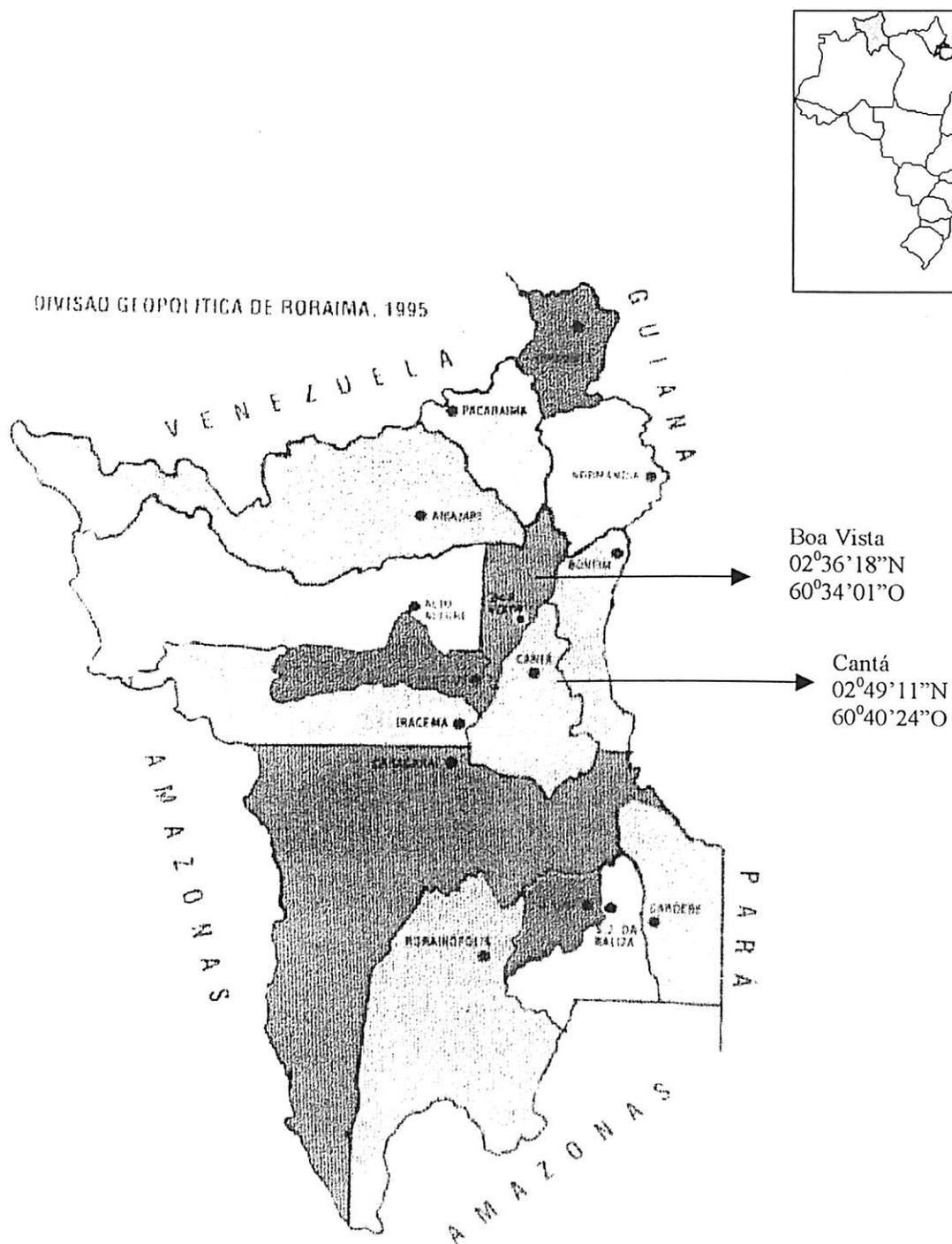


Figura 1. Mapa do Estado de Roraima com indicações dos locais de estudo.

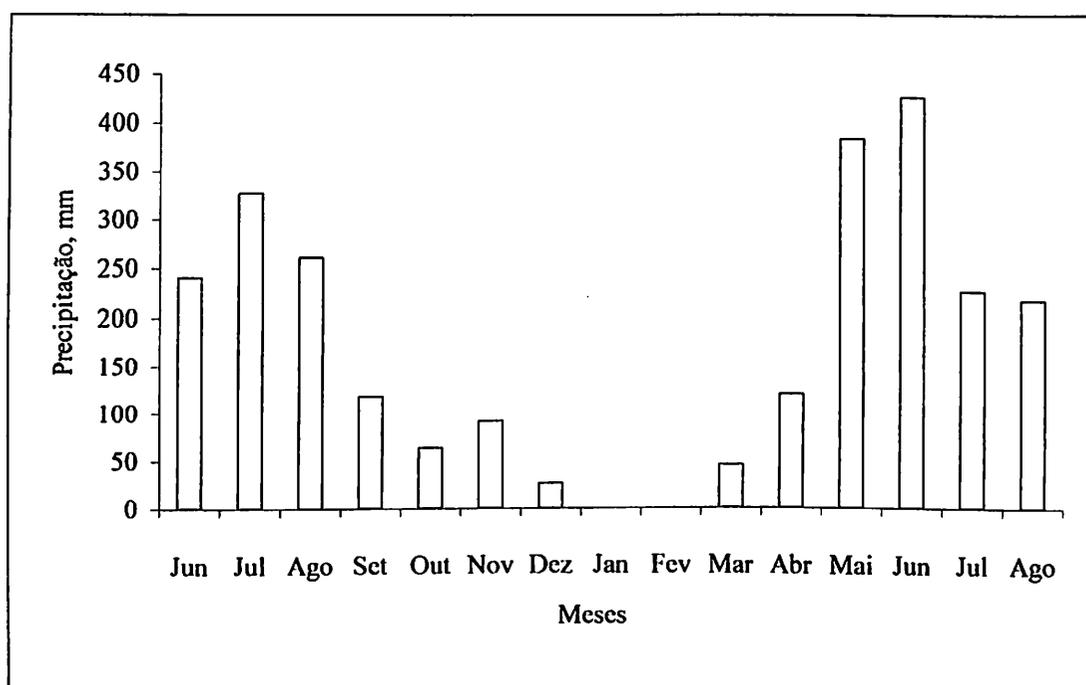


Figura 2. Distribuição da chuva, no período de Junho de 2000 a Agosto de 2001, no campo experimental Confiança, Cantá, RR. (Fonte: Embrapa Roraima).

Acacia auriculiformis Benth – Espécie arbórea, pertencente à subfamília Mimosoideae, com distribuição geográfica na Austrália, África, China, América Central e Ásia. Utilizada como cerca viva, forragem, lenha e sombreamento. Reúne tolerância a solos ácidos e mal drenados e aos trópicos úmido e sub-úmido.

Acacia holosericea G. Don – Espécie arbórea, pertencente à subfamília Mimosoideae, nativa da Austrália. Utilizada como lenha, apresentando tolerância a solos ácidos e facilidade de produção de sementes.

Flemingia macrophylla (Willd.) Merr. - Espécie arbustiva, pertencente à subfamília Papilionoideae, nativa da Ásia. Utilizada como forragem, tolerante a solos ácidos e a longos períodos de secos.

Desmodium tortuosum (Sw.) DC. - Espécie arbustiva, pertencente à subfamília Papilionoideae, com ampla distribuição geográfica nas ilhas do Pacífico e do Índico. Utilizada como forragem.

Gliricida sepium (Jacq.) Walp. - Espécie do tipo arbusto, pertencente à subfamília Papilionoideae, com distribuição na América do Norte, do Sul e Central, África e Ásia. Utilizada como cerca viva, madeira, lenha, sombreamento e forragem.

Tephrosia candida (Roxb.) - Espécie do tipo arbusto, pertencente à subfamília Papilionoideae, com distribuição na América do Sul, Caribe e África.

4.1.2.2. Adubação Fosfatada

Foram estudadas duas condições de adubação fosfatada, a saber:

- a) Sem fósforo (SP)
- b) Com fósforo (CP) – 20 kg.ha⁻¹ de P

4.1.3. Tratamentos

Os tratamentos foram resultantes das combinações possíveis entre os fatores “espécies de leguminosas” e “adubação fosfatada”, conforme apresentados a seguir:

- a) *Inga edulis* SP
- b) *Inga edulis* CP
- c) *Acacia auriculiformis* SP
- d) *Acacia auriculiformis* CP
- e) *Acacia holosericea* SP
- f) *Acacia holosericea* CP
- g) *Gliricidia sepium* SP
- h) *Gliricidia sepium* CP
- i) *Desmodium tortuosum* SP
- j) *Desmodium tortuosum* CP
- k) *Flemingia macrophylla* SP
- l) *Flemingia macrophylla* CP
- m) *Tephrosia candida* SP
- n) *Tephrosia candida* CP

4.1.4. Delineamento Experimental

Adotou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial 7 x 2, com cinco repetições.

4.1.5. Unidade Experimental

A unidade experimental consistiu de uma linha com 12 plantas das diferentes espécies dispostas no espaçamento de 0,5 m. Foi considerada, como área útil, aquela ocupada por 10 plantas centrais de cada parcela.

4.1.6. Condução do Experimento

4.1.6.1. Formação de mudas e transplântio

As sementes para a formação das mudas foram procedentes da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (RJ) e de matrizes do campo experimental da Embrapa Roraima. Para a formação das mudas foram utilizados sacos de polietileno de cor preta, perfurados, sendo o substrato, composto por uma mistura de esterco bovino, solo e areia na proporção de 2:1:1. As mudas permaneceram no viveiro por 3 meses, quando então foram transplantadas para covas com dimensões de 0,4 m x 0,4 m x 0,4 m. Esta operação foi realizada em 16/06/2000 sendo plantada uma muda por cova.

4.1.6.2. Adubação Fosfatada

A adubação fosfatada, realizada nos tratamentos correspondentes, foi feita uma semana antes do transplântio e constou da aplicação de 20 kg.ha⁻¹ de P. Foi utilizado o superfosfato triplo, aplicado na quantidade de 20,35 g.cova⁻¹. O fertilizante foi misturado com parte do solo removido, sendo esta mistura depositada no fundo da cova.

4.1.7. Avaliação dos Efeitos

4.1.7.1. Altura das plantas

Para a avaliação do efeito dos tratamentos sobre a altura das plantas, foram realizadas medições em 4 épocas, que foram consideradas fatores de variação na análise de variância.

Desta forma, a altura das plantas foi avaliada nas seguintes épocas:

- a) E1 – Seis meses após o plantio das mudas
- b) E2 – Oito meses após o plantio das mudas
- c) E3 – Dez meses após o plantio das mudas
- d) E4 – Doze meses após o plantio das mudas

A altura foi mensurada com régua graduada, correspondendo à extensão da interface caule/solo até o ponto de inserção da última folha, do ramo principal.

4.1.7.2. Diâmetro do Caule

O diâmetro do caule foi medido, quando as plantas estavam com 12 meses após o transplante das mudas. Esta determinação foi feita com fita diamétrica, na porção do caule localizada a 50 cm da superfície do solo.

4.1.7.3. Produção de Matéria Seca

A produção de matéria seca foi determinada em material vegetal coletado 13 meses após o plantio. Nesta oportunidade as plantas da área útil das parcelas, foram cortadas a 50 cm do solo. Foram registrados os pesos verdes, separadamente, de todo o material podado para posterior estimativa da matéria seca. Esta determinação foi efetuada em amostras de galho e folha. O material coletado foi acondicionado em sacos de papel e mantido em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C até obtenção de peso constante. O material vegetal excedente, resultante do corte, foi deixado na superfície da parcela para posterior estudo de ciclagem de nutrientes no solo.

4.1.7.4. Teores de Nutrientes no Tecido Vegetal

No material vegetal utilizado para a determinação da matéria seca, foram determinados os teores dos nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. O material vegetal foi submetido a moagem e digestão nitroperclórica para a extração dos elementos mencionados, conforme métodos descritos por Tedesco *et al.* (1985). Estas determinações foram realizadas no Laboratório de Solos e Plantas da Embrapa-Roraima.

4.1.7.5. Teores de Elementos no Solo

Aos 13 meses após o plantio, antes do corte efetuado para a determinação da matéria seca e teores de nutrientes no tecido vegetal, e aos 15, 30 e 60 dias após a adição do material vegetal na superfície do solo, foram feitas amostragens nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm, para a determinação do N-total, P disponível e K, Ca e Mg trocáveis. As amostras de solo foram retiradas das fileiras, entre as plantas, efetuando-se cinco amostragens

por parcela e por profundidade. Estas subamostras foram homogeneizadas, formando uma amostra composta, a qual foi seca ao ar, passada em peneira com malha de 2 mm de diâmetro e conduzida ao Laboratório de Solos e Plantas da Embrapa-Roraima para as análises mencionadas.

O N-total foi obtido por digestão úmida, conforme método micro Kjeldahl, descrito em Embrapa (1997). O P disponível e o K trocável foram obtidos com o extrator Mehlich 1 (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N), sendo determinados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente (Embrapa, 1997). O Ca e Mg trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1N e determinados por espectrofotometria de absorção atômica, conforme Embrapa (1997).

4.1.8. Análises Estatísticas

4.1.8.1. Altura das Plantas

Os dados relativos à altura das plantas foram submetidos a análise de variância de acordo com o esquema apresentado na Tabela a.

Tabela a – Esquema de análise de variância para os dados de altura de plantas

Causa de Variação	Graus de Liberdade (GL)
Espécies Leguminosas (ESP)	6
Adubação Fosfatada (P)	1
Época (EP)	3
ESP X P	6
ESP X EP	18
P X EP	3
Blocos	4
Resíduo	238

4.1.8.2. Diâmetro do Caule, Produção de Matéria Seca e Teores de Nutrientes no Tecido Vegetal.

Para esses parâmetros, a análise de variância foi feita de acordo com o esquema apresentado na Tabela b.

Tabela b – Esquema de Análise de Variância para os dados de diâmetro do caule, produção de matéria seca e teores de nutrientes no tecido vegetal

Causa de Variação	Graus de Liberdade (GL)
Espécies Leguminosas (ESP)	6
Adubação Fosfatada (P)	1
ESP X P	6
Blocos	4
Resíduo	52

4.1.8.3. Teores de Nutrientes no Solo

Os dados relativos a teores de nutrientes no solo foram analisados segundo o esquema exposto na Tabela c.

Tabela c – Esquema de análise de variância para os dados de nutrientes no solo

Causa de Variação	Graus de Liberdade (GL)
Espécies Leguminosas (ESP)	6
Adubação Fosfatada (P)	1
Época (EP)	3
Profundidade (PROF)	1
ESP X P	6
ESP X EP	18
ESP X PROF	6
P X EP	3
P X PROF	1
E P X PROF	3
Blocos	4
Resíduo	507

4.2. Experimentos em Casa de Vegetação

4.2.1. Localização dos Ensaios

Os ensaios foram instalados em abril de 2002, na casa de vegetação na sede da Embrapa-Roraima, localizada na BR 174 km 8, em Boa Vista, Roraima (Figura 1). Os ensaios foram realizados sob duas condições a saber:

4.2.2. Experimento com Planta

4.2.2.1. Delineamento Experimental e Tratamentos

Foi adotado o delineamento experimental de blocos casualizados, com 4 repetições. Os tratamentos testados foram os seguintes:

- a) T1 – Testemunha (solo sem material vegetal)
- b) T2 – Solo com material vegetal de *Inga edulis*
- c) T3 – Solo com material vegetal de *Gliricidia sepium*
- d) T4 – Solo com material vegetal de *Acacia auriculiformis*
- e) T5 – Solo com material vegetal de *Acacia holosericea*
- f) T6 – Solo com material vegetal de *Desmodium tortuosum*
- g) T7 - Solo com material vegetal de *Flemingia macrophylla*
- h) T8 – Solo com material vegetal de *Tephrosia candida*.

4.2.2.2. Unidade Experimental

A unidade experimental consistiu de 5 dm³ de solo com uma planta de milho (*Zea mays* L.). As parcelas foram instaladas em vasos plásticos redondos sem perfuração.

4.2.2.3. Condução do Experimento

Os materiais vegetais utilizados no experimento foram coletados das plantas correspondentes ao experimento de campo, então com 13 meses de idade. Após a coleta, o material de folhas e galhos foi levado a estufa de circulação forçada de ar e mantido em temperatura de 65°C, até peso constante. Após este processo, o material foi fragmentado manualmente em tamanhos de até 2 cm, e então incorporado ao solo dos recipientes, na quantidade de 8 g.kg⁻¹ de matéria seca, 30 dias antes da semeadura do milho.

Para a instalação do experimento, foi utilizado material de solo da camada de 0 a 20 cm de um Argissolo Vermelho-Amarelo (Tabela 2).

Para a montagem das unidades experimentais o solo foi seco ao ar e passada em peneira com malha de 2 mm de diâmetro, sendo então homogeneizado com os materiais vegetais, de acordo com os diversos tratamentos, sendo então transferido para os recipientes.

Após a preparação dos vasos, foram colocadas 3 sementes de milho, cultivar BR 106, em cada unidade. Sete dias após a emergência das plantas, foi realizado o desbaste, deixando-se uma planta por vaso. Durante todo o período de condução do ensaio, a umidade dos vasos foi mantida em 80% da capacidade de campo, controlada diariamente com auxílio de balança e ajustada quando detectada diferença entre aquela condição estabelecida e o peso diário do vaso.

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo, na camada de 0-20 cm, amostrado antes da implantação do experimento de casa de vegetação. Boa Vista, RR. 2002.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	MO	C	N	Argila	Silte	Areia
(água)	--- mg dm ⁻³ ----	----- cmol _c dm ⁻³ ----				----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----		
5,30	3,24	46,19	0,46	0,18	0,65	30,80	30,8	1,54	191,00	110,60	698,50

Por ocasião do plantio, foi feita adubação com fontes de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes, nas seguintes quantidades, respectivamente: 100 mg.kg⁻¹ de P; 80 mg.kg⁻¹ de K; 60 mg.kg⁻¹ de Ca; 20 mg.kg⁻¹ de Mg; 0,5 mg.kg⁻¹ de B; 5 mg.kg⁻¹ de Zn; 2,5 mg.kg⁻¹ de Cu; 5 mg.kg⁻¹ de Mn. Esses elementos foram aplicados na forma de solução, utilizando-se as seguintes fontes: Na₂HPO₄, KCl, CaCO₃, MgSO₄, H₂BO₃, ZnSO₄.7H₂O, CuSO₄.5H₂O e MnSO₄.H₂O.

4.2.2.4. Avaliação dos Efeitos

4.2.2.4.1. Produção de Matéria Seca e N absorvido pelo milho

A produção de matéria seca das plantas de milho foi determinada aos 65 dias após a semeadura. Nesta ocasião, a parte aérea das plantas foi cortada, acondicionada em sacos de papel e colocada para secar em estufa com circulação forçada de ar em temperatura de 65°C, até atingir peso constante.

No material seco na estufa foram feitas determinações dos teores de nitrogênio, obtidos por destilação, após digestão úmida do tecido vegetal, conforme método semi-micro Kjeldahl descrito por Tedesco (1985).

4.2.2.4.2. Teores de N-NH₄⁺ e de N-NO₃⁻

A mineralização do nitrogênio contido nos materiais vegetais foi avaliada por meio da detecção dos teores de amônio (N-NH₄⁺) e nitrato (N-NO₃⁻) em diferentes épocas, a partir da incorporação dos resíduos das leguminosas. Para isto, foram feitas coletas de solo antes da incorporação do material e aos 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias após a incubação dos resíduos. Os teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ foram determinados por extração com KCl 1N e destilação na presença de MgO, para determinação do NH₄⁺ e outra com liga de Devarda, para determinação do NO₃⁻ (Bremner, 1965).

4.2.3. Experimento sem Planta

Visando estudar a mineralização do nitrogênio, sem a participação de raízes no sistema solo, foi instalado experimento em condições idênticas ao descrito anteriormente, com exceção da presença de plantas de milho. Neste caso, foram montadas unidades experimentais menores (recipientes com 200 g de solo), onde foram estudados os mesmos tratamentos e instaladas as mesmas condições de adubação e umidade verificadas no experimento com plantas.

4.3. Análises Estatísticas.

Para o estudo da produção de matéria seca e teores de nutrientes no tecido vegetal de plantas de milho, o experimento com planta foi analisado isoladamente, de acordo com o esquema apresentado na Tabela d.

Tabela d – Esquema de análise de variância referente aos dados de matéria seca e teores de nutrientes no tecido vegetal

Causa de Variação	Graus de Liberdade (GL)
Tratamento	7
Blocos	3
Resíduo	21

Para o estudo da mineralização do nitrogênio, foi feita análise conjunta dos experimentos, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se recursos do SAEG.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Experimento de Campo

5.1.1. Altura da planta

O crescimento das plantas em altura foi estimada por meio das avaliações realizadas aos 6, 8, 10 e 12 meses, após o plantio das mudas. O efeito dos tratamentos e, a interação estabelecida entre os fatores envolvidos foi determinante para as variações nesta característica (Tabela 20 - Apêndice).

Analisando-se o efeito das espécies (Tabela 3), observa-se que a *A.holosericea*, independentemente da adição do P, diferencia-se ($p < 0,01$), com o maior valor para altura (224,05 cm), seguida por *D.tortuosum* (190,75 cm) e *A.auriculiformis* (188,11 cm).

O fósforo afetou de modo significativo o crescimento em altura da maioria das espécies, à exceção das *A.holosericea* e *I.edulis* que não apresentaram crescimento diferenciado em relação à adubação fosfatada por ocasião do plantio das mudas. A falta de resposta à adubação fosfatada no plantio, para estas duas espécies, estabelece um indicativo de adaptação às condições de baixa disponibilidade de fósforo como as prevalentes no solo em estudo (Tabela 1). Resende *et al.* (1999) estudando diferentes espécies florestais, também detectaram ausência de resposta a níveis de P em algumas espécies. Os autores correlacionaram este comportamento com os grupos sucessionais onde elas estejam enquadradas. Assim, espécies consideradas pioneiras são mais responsivas ao fornecimento deste nutriente para os seus adequados desenvolvimentos.

Analisando-se o fator tempo na variação da altura (Tabela 4), observa-se que aos 6 meses a espécie *D.tortuosum* apresentou maior altura, indicando boa capacidade de estabelecimento no campo.

Tabela 3. Valores médios para altura de plantas leguminosas obtidos em função da aplicação de adubação fosfatada ou na ausência desta condição no plantio das mudas. Confiança, Cantá, RR. 2001.

Espécies	Adubação Fosfatada	
	Sem P	Com P
	----- Altura, cm -----	
<i>A.holosericea</i>	216,60 a A	231,50 aA
<i>D.tortuosum</i>	183,00 bB	198,51 bA
<i>F.macrophylla</i>	149,00 cB	177,55 bcA
<i>T.candida</i>	148,73 bB	171,30 bcA
<i>A.auriculiformis</i>	139,91 bB	236,31 aA
<i>G.sepium</i>	125,00 cdB	158,64 bA
<i>I.edulis</i>	108,30 bA	126,14 dA

Nas colunas e nas linhas, valores seguidos por letras minúsculas e maiúsculas, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 4. Valores médios para altura de plantas leguminosas, ordenados em função do tempo, após o plantio das mudas. Confiança, Cantá, RR. 2001.

Espécies	Tempo, meses após o plantio			
	6	8	10	12
	Altura			
	----- cm -----			
<i>D.tortuosum</i>	166,82 bB	190,60 abAB	200,62 abAB	205,00 bcA
<i>T.candida</i>	147,85 abA	159,57 bcdA	159,64 bcdA	173,00 cdA
<i>F.macrophylla</i>	133,52 abcB	164,53 bcAB	172,04 bcA	183,00 bcdA
<i>A.holosericea</i>	124,80 abcC	220,80 aB	238,53 aB	312,10 aA
<i>C.auriculiformis</i>	117,92 bcdB	197,80 abA	217,50 aA	219,10 bA
<i>G.sepium</i>	103,29 cd	139,60 cd	148,10 cd	176,3b cd
<i>I.edulis</i>	80,83 dB	118,30 dAB	119,90 dAB	149,90 dA
Médias	125 C	170,2 B	179,5 B	202,6 A

Nas colunas e nas linhas, valores seguidos por letras minúsculas e maiúsculas, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

Nesta fase, de pleno desenvolvimento radicular, a umidade do solo foi mantida em níveis adequados devido à ocorrência de chuvas regulares na área experimental (Figura 2).

Após esta fase de estabelecimento inicial, observa-se que a *A.holosericea* destaca-se entre as demais espécies, e aos 12 meses expressa um aumento de 164%, em relação à altura inicial. Esta resposta pode ser um indicativo de alta capacidade de adaptação da espécie ao ambiente, uma vez que condições adversas, principalmente quanto à ausência de chuva, foram registradas no período.

Analisando-se o efeito da interação significativa ($p < 0,01$) entre adubação fosfatada e épocas (Tabela 5), sobre a altura de planta, observa-se que em todas as épocas os valores foram sempre superiores com a utilização da adubação fosfatada. O maior incremento, para esta variável foi estabelecido no intervalo entre 10 e 12 meses, período que coincide com aquele de maior precipitação pluviométrica (Figura 2).

Esta resposta pode estar associada com a maior disponibilidade de P a qual entre outros fatores está diretamente relacionado com a umidade do solo. Isto se processa, sobretudo, pelo fato de que sendo de pouca mobilidade, o P é transportado na solução do solo, essencialmente, por difusão (Gahoonia *et al*, 1994). Nesta condição, o teor de água no solo exerce efeito direto no fornecimento do P, influenciando ainda o crescimento das raízes.

Na figura 3, pode-se observar resposta agrupada para o efeito dos tratamentos quanto à altura das plantas. Assim, na presença de fósforo, as espécies *A.auriculiformis* e *A.holosericea*, aglutinam-se num grupo com os maiores índices, enquanto as demais enquadram-se numa condição intermediária, cujos valores variaram de 198,51 cm (*D.tortuosum*) a 126,14 cm (*I.edulis*).

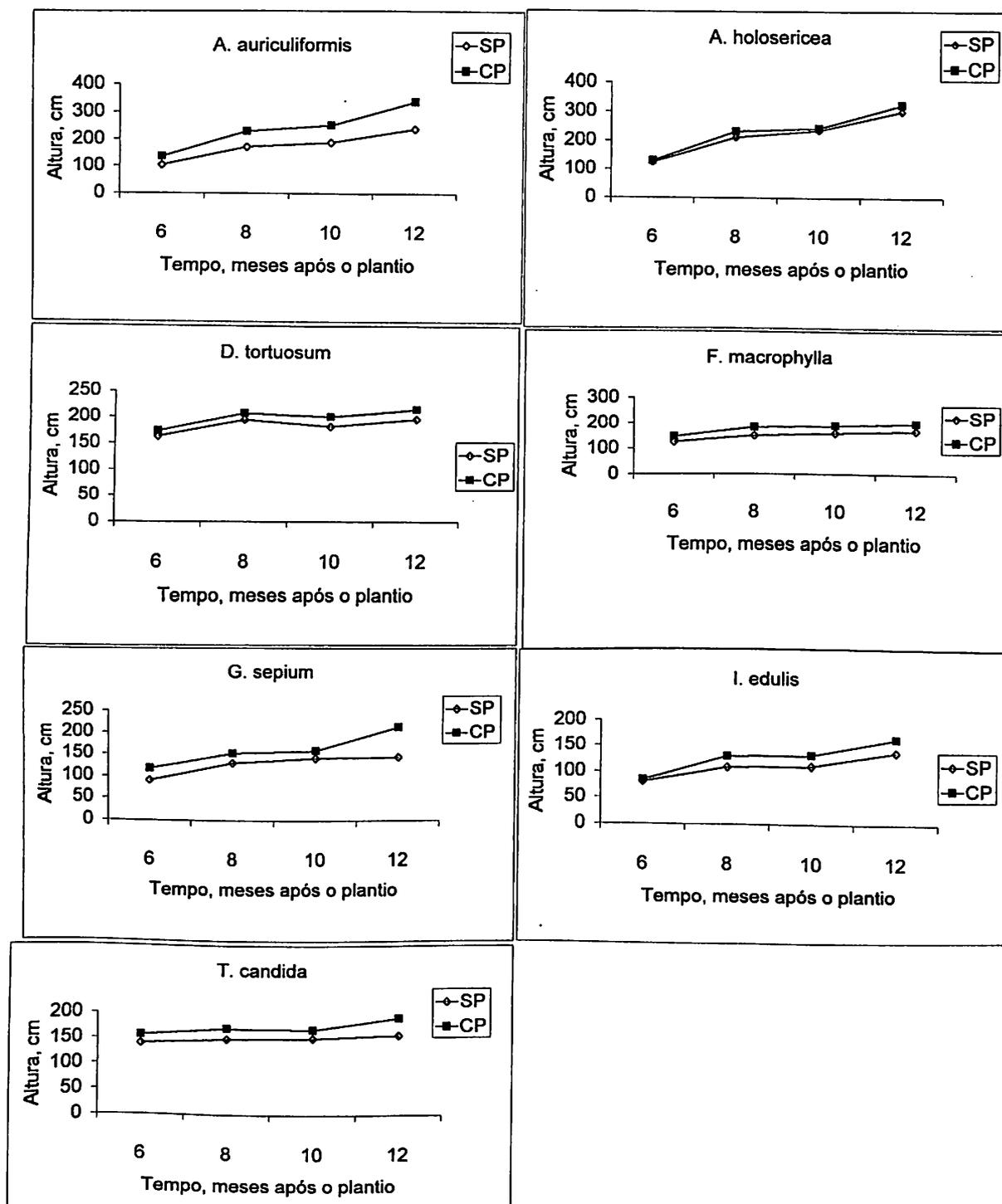


Figura 3. Altura de plantas leguminosas obtidas aos seis, oito, dez e doze meses após o plantio das mudas com utilização da adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição. Confiança, Cantá, RR. 2001.

Tabela 5. Valores médios para altura de plantas leguminosas aos seis, oito, dez e doze meses, após o plantio das mudas obtidos em função da aplicação de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição. Confiança, Cantá, RR. 2001.

Tempo após o plantio (meses)	Altura, cm	
	(SP)	(CP)
6	116,52 bB	133,50 cA
8	156,31 aB	184,05 bA
10	167,34 aB	191,60 bA
12	171,56 aB	233,70 aA

Nas colunas e nas linhas, valores seguidos por letras minúsculas e maiúsculas, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

5.1.2. Diâmetro do caule

A análise para o diâmetro do caule das leguminosas foi realizada por meio da avaliação feita aos 12 meses após o plantio das mudas. O efeito dos tratamentos (Tabela 21-Apêndice) foi determinante para as variações nesta característica e, da forma como observado para altura, a interação entre as espécies e os níveis de P.

Na ausência do fósforo, a *A.holosericea* foi a espécie que apresentou o maior valor (21,68 cm), seguida da *A.auriculiformis* (18,92 cm). Com adição do fósforo, o padrão para esta resposta foi mantido, porém o maior valor foi registrado para *A. auriculiformis* (27,44 cm) (Tabela 6).

O agrupamento das espécies, em resposta ao efeito do fósforo, mostra que a *A.auriculiformis* e *A.holosericea* compõem o grupo com maiores valores, enquanto as demais espécies encontram-se aglutinadas em outro, com os índices mais baixos. A influência exercida, pela presença do fósforo, mostrou que a variação para a *A.auriculiformis* foi de 45% (Figura 4).

O fósforo tem sido relatado como o elemento mais limitante ao desenvolvimento vegetal nas condições do trópico úmido (Sánchez, 1981; Szott *et al.*, 1991) e resposta positiva para a sua aplicação, tem sido relatado para as condições de solos da Amazônia (Dias *et al.*, 1991; Cravo & Smith, 1997; Oliveira *et al.* 1998). Para outras condições ambientais Faria *et al.* (1996), relatam que aplicações no solo de 30 e 60 mg de P.kg⁻¹, proporcionaram os maiores incrementos no crescimento e nodulação da *Acacia mangium*.

A planta, enquanto elemento biologicamente ativo, estabelece interações com o ambiente e a partir desta relação, onde estão envolvidos mecanismos físicos e bioquímicos complexos, manifestações diferenciadas representam a plasticidade da espécie na utilização

Tabela 6. Valores médios para o diâmetro de plantas leguminosas obtidos aos 12 meses após o plantio das mudas, em função da aplicação de adubação fosfatada ou na ausência dessa condição. Confiança, Cantá, RR. 2001.

Espécies	Adubação Fosfatada	
	(Sem P)	(Com P)
	Diâmetro, cm	
<i>A.holosericea</i>	21,67 aA	22,72 aA
<i>A.auriculiformis</i>	18,92 aB	27,44 aA
<i>D.tortuosum</i>	11,91 bA	15,40 bA
<i>I.edulis</i>	10,62 bA	11,56 bcA
<i>T.candida</i>	9,49 bA	11,97 bcA
<i>G.sepium</i>	7,84 bB	13,49 bcA
<i>F.macrophylla</i>	7,73 bA	10,01 cA

Nas colunas e nas linhas, valores seguidos por letras minúsculas e maiúsculas, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

dos recursos disponíveis pelo ambiente considerado. Assim, o crescimento vegetal, baseado em aumento de volume, peso, dimensões lineares de unidades estruturais, como altura e diâmetro, é uma função do que a planta armazena e produz em termos estruturais (Benincasa, 1988).

Os índices para altura e diâmetro, relatados no presente estudo, diferem dos obtidos por Brienza Júnior (1999), em trabalho com leguminosas nas condições da Amazônia Oriental. Nquele sítio, a *Acacia mangium* apresentou, aos 24 meses após o plantio, crescimento em altura de 7,1 m e diâmetro de 5,6 cm com incremento médio mensal de 32 cm para altura. Para o *I.edulis*, estes valores foram de 4,7 m e 3,5 cm, respectivamente, para o mesmo período.

Estas diferenças podem ser devido às condições de umidade, mais elevadas no trópico úmido, em comparação às aqui apresentadas.

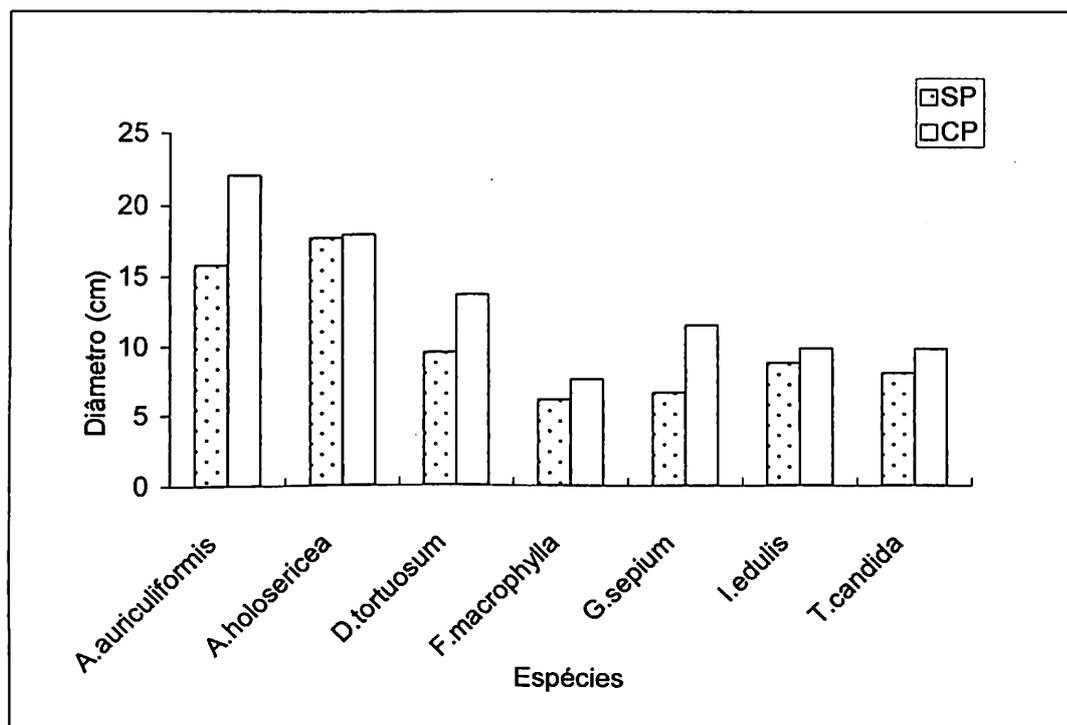


Figura 4. Diâmetro de plantas leguminosas obtido aos doze meses após o plantio das mudas, em função da aplicação de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição. Cantá, Confiança, RR. 2001.

5.1.3. Produção de matéria seca

Todas as espécies manifestaram, de forma expressiva, o efeito da aplicação da adubação fosfatada ($p < 0,01$), no acúmulo de matéria seca da parte aérea das plantas (Tabela 22-Apêndice).

Observa-se (Tabela 7) que com aplicação de fósforo a produção máxima de matéria seca, aos 12 meses após o plantio das mudas, foi obtida pela *A.auriculiformis* (6258,9 g.planta⁻¹).

Na ausência do P as acácias mantiveram o mesmo padrão desta resposta e, de uma análise comparativa entre os valores, considerando-se as duas condições, extrai-se os acréscimos de 66,6 e 52,2%, respectivamente, para a *A.auriculiformis* e *A.holosericea*, verificados na presença do P.

Analisando-se o resultado para produção de matéria seca total, em kg.ha⁻¹, sob a densidade de 5000 plantas ha⁻¹, verificou-se que a *A.auriculiformis* apresentou o maior valor (31294 kg ha⁻¹). Esta resposta define também, o efeito marcante da presença do fósforo ($p < 0,01$), na expressão desta resposta (Figura 5).

Os estudos com leguminosas na Amazônia têm sido abordados sob diversos aspectos, mas, sobretudo, focalizando à produção de fitomassa e nutrientes, oportunizando desta forma as contribuições que estas espécies podem proporcionar aos sistemas agrícolas da pequena propriedade.

Os resultados do presente estudo apresentam semelhanças com outros gerados nas condições da Amazônia (Brienza Júnior, 1999; Silva Júnior *et al.* 1999; Mochiutti *et al.* 2000; Rodrigues *et al.* 2003), resguardando-se as diferenças quanto às espécies e o manejo no qual foram submetidas em cada estudo.

Tabela 7. Produção de Matéria seca da parte aérea de plantas leguminosas, aos 12 meses após o plantio, obtida com aplicação de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição. Confiança, Cantá, RR. 2001.

Espécies	Matéria Seca					
	-----g planta ⁻¹ -----					
	Folha		Galho		Total	
	CP	SP	CP	SP	CP	SP
<i>A.auriculiformis</i>	3356,3 aA	2250,7 aB	2902,6 aA	1506,8 aB	6258,9 aA	3757,5 aB
<i>A.holosericea</i>	2317,9 bA	1618,7aA	2324,5aA	1431,8aB	4642,4bA	3050,5aB
<i>G.sepium</i>	563,0 cA	254,2bA	543,7b	325,1b	1106,8bA	579,3cA
<i>F.macrophylla</i>	543,4cA	326,1bA	489,9bA	236,4bA	1033,3cA	562,5bA
<i>I.edulis</i>	1001,3cA	556,7bA	700,1bA	230,3bB	1701,5cA	787,1bB
<i>T.candida</i>	825,3cA	458,4b	528,7bA	227,4bA	1354,0cA	685,9bA
<i>D.tortuosum</i>	489,5cA	247,3bA	880,0bA	174,7bB	1369,6cA	421,9bB
Médias	1299,6 A	816 B	1195,7 A	590,3 B	2495,2 A	1406,4 B

Nas colunas e nas linhas, valores seguidos por letras minúsculas e maiúsculas, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

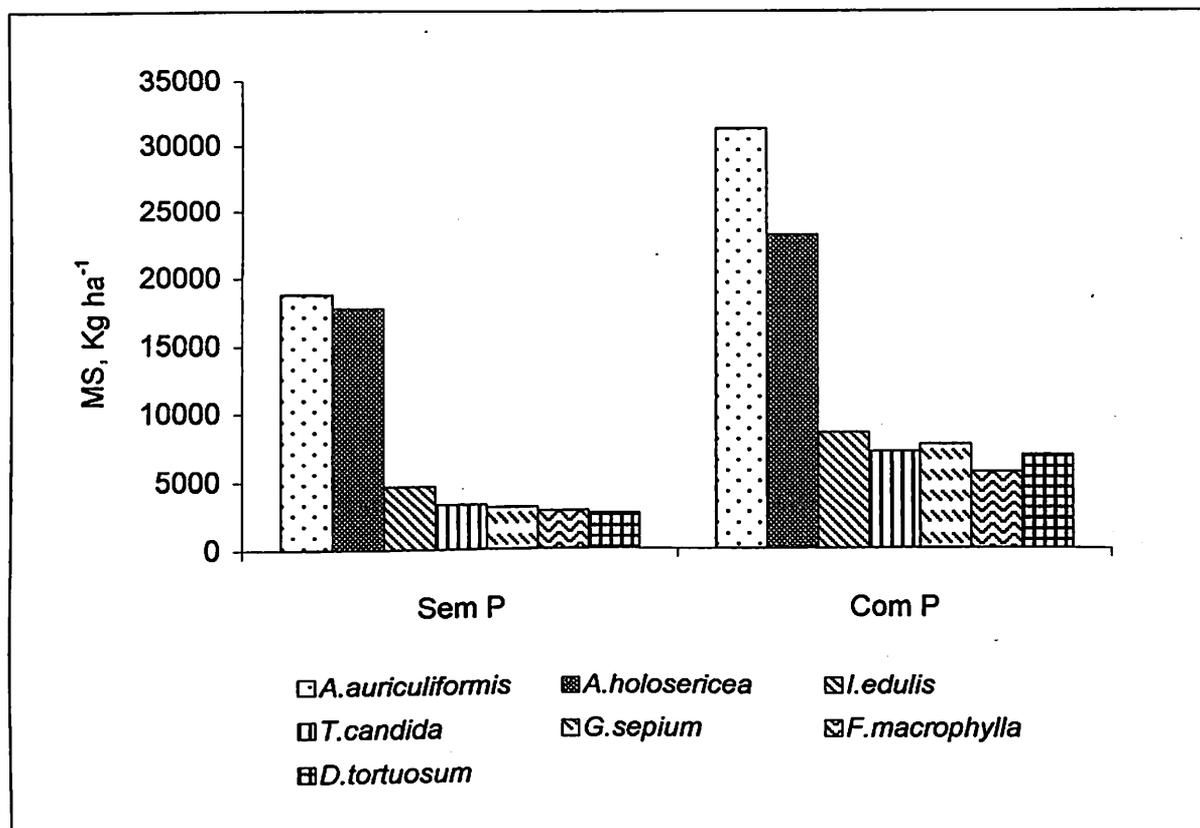


Figura 5. Produção de matéria seca de diferentes espécies leguminosas em relação à aplicação de adubação fosfatada (CP) ou na ausência desta condição no plantio das mudas.

Confiança, Cantá, RR. 2001.

Uma outra abordagem no estudo destas espécies, na Amazônia como elementos de ocupação da capoeira é a possibilidade da diminuição do tempo de pousio destas áreas. Neste aspecto, Silva Júnior *et al.* (1998), verificaram que, aos 21 meses, a *A.auriculiformis* produziu 49 t ha⁻¹ de biomassa aérea, valor muito próximo ao de uma capoeira com vegetação natural com sete anos (53 t ha⁻¹).

Para estas mesmas condições, Brienza Júnior (1999), constatou que a biomassa acumulada pelas espécies *A.mangium* e o *I.edulis* durante dois anos, foi equivalente ao de uma capoeira tradicional com cinco anos, estabelecendo nestas condições, perspectivas de redução de três anos no tempo de pousio.

Os componentes formadores da matéria seca, neste estudo, foram representados por 55,1% de folhas e 44,9% de galhos (Tabela 8). Em estudo sobre a composição da liteira, em diferentes sistemas agroflorestais, na Amazônia Central, Tapia-Coral *et al.* (2000), verificaram que as folhas foram os principais componentes com contribuições entre 62,2 e 67%.

As folhas têm sido os elementos responsáveis pelas maiores deposições, dentre os materiais formadores da biomassa. Este fato reveste-se de importância, uma vez que estas estruturas representando materiais de decomposição mais rápida, em relação aos galhos, (Szott *et al.*, 1991), podem desempenhar importante função na ciclagem dos nutrientes seja na planta ou no sistema solo-planta (Rodrigues *et al.*, 2003). Em trabalho realizado em florestas tropicais, Morellato (1992) relata que a participação dessas estruturas, na composição da serrapilheira, foi de 70% e em povoamento de *Acacia holosericea*, para as condições sudeste do Brasil, este valor foi de 64% (Andrade *et al.*, 2000).

Tabela 8. Valores médios para as frações dos componentes da matéria seca da parte aérea de plantas leguminosas obtidos com aplicação de adubação fosfatada ou na ausência desta condição. Confiança, Cantá, RR. 2001.

	Matéria Seca		
	Componentes Formadores		
	Folha	Galho	Total
Adubação Fosfatada	----- g planta ⁻¹ -----		
(Com adição de P)	1299,60 a	1195,60 a	2495,20 a
(Sem adição de P)	816,00 b	590,30 b	1406,3 b

Nas colunas, valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A produção de biomassa por leguminosas tem sido um indicador, na seleção de espécies, para comporem sistemas integrados com árvores e cultivos agrícolas. Em estudo realizado por Jiménez *et al.* (1997), na Costa Rica, em sistema composto por duas leguminosas arbóreas (*Erythrina fusca* e *Calliandra calothyrsus*) e duas culturas anuais (milho e inhame) foi verificado que a superioridade na produção de biomassa pela *Calliandra calothyrsus* estava associada com menores rendimentos das culturas do milho e inhame. Da relação entre a quantidade de matéria seca e de nutrientes acumulados no material formador da serrapilheira estima-se a eficiência da ciclagem de nutrientes (Vitousek, 1984). Deste fato reside a importância para maior concentração de nutrientes nas folhas.

5.1.4. Teores de Nutrientes na parte aérea

A quantidade de nutrientes determinados na parte aérea (Tabela 9), não correspondeu em termos proporcionais à da biomassa produzida por uma mesma espécie. Desta forma, a *G.sepium* foi a espécie que apresentou as maiores concentrações para todos os nutrientes ($p < 0,01$) sem, entretanto, ter se destacado no acúmulo de matéria seca na biomassa.

Esta resposta pode ser atribuída ao efeito das espécies ($p < 0,01$) que, ao contrário da adubação fosfatada, foi assinalada significativa para todos os nutrientes aqui avaliados, à exceção do Ca. A utilização da adubação fosfatada foi significativa apenas, quando interagiu com as espécies e definiu efeitos nas concentrações de Mg e P. É possível que a disponibilidade de P tenha condicionado a absorção de Mg pelas espécies em estudo.

Uma questão a ser considerada quanto à imobilização de nutrientes na biomassa é que elevadas quantidades não asseguram, necessariamente, disponibilidade imediata de nutrientes para os cultivos associados (Alvarenga *et al.*, 1995). A velocidade de liberação de nutrientes, neste processo, é uma questão governada por fatores como a relação C/N dos materiais em

decomposição. Assim, é esperado que materiais com C/N elevada liberem os nutrientes mais lentamente.

Tabela 9. Quantidades de nutrientes nos tecidos da parte aérea de plantas leguminosas obtidas aos 12 meses, após o plantio, obtidas com aplicação de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição.

Confiança, Cantá, RR. 2001.

Espécies	Quantidade do nutriente, g.kg ⁻¹									
	N		P		K		Ca		Mg	
	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP
<i>G.sepium</i>	62,12 aA	60,66 aA	5,00 aA	3,50 abB	41,20 aA	36,80 aA	10,90 aA	7,50 aA	5,50 aA	2,90 aB
<i>D.tortuosum</i>	48,40 abA	50,50 abcA	3,60 bA	3,30 abA	21,20 bA	21,20 bA	10,70 aA	10,60 aA	0,50 bA	0,62 bA
<i>T.candida</i>	47,10 abA	54,90 abA	3,24 Abc	2,92 abA	14,80 bA	17,20 bA	7,90 aA	7,40 aA	0,60 bA	0,76 bA
<i>I.edulis</i>	48,90 abA	51,40 abcA	3,40 bcA	3,70 aA	18,50 bA	21,90 bA	10,10 aA	9,80 aA	0,68 bB	1,60 abA
<i>F.macrophylla</i>	40,9bA	40,90 bcA	3,10 bcA	3,30 abA	17,40 bA	21,50 bA	9,80 aA	7,50 aA	0,30 bA	0,34 bA
<i>A.auriculiformis</i>	38,40 bA	38,40 bcA	2,30 cA	2,40 bA	18,40 bA	18,50 bA	14,50 aA	14,60 aA	1,14 bA	1,00 bA
<i>A.holosericea</i>	38,80 bA	34,90 cA	2,50 bcA	2,40 abA	14,30 bA	16,20 bA	11,70 aA	11,90 aA	1,1 bA	0,96 bA

Nas colunas e nas linhas, valores seguidos por letras minúsculas e maiúsculas, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

Outro fator envolvido na disponibilidade de nutrientes no solo, a partir da decomposição de materiais vegetais de leguminosas, foi estudado por Palm & Sánchez (1990) e Szott *et al* (1991). Segundo estes autores a mineralização, do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, se processa de forma mais acelerada em material com baixo conteúdo em polifenóis, como da *Erythrina* sp., ao contrário do *I.edulis*, considerada uma espécie com alto conteúdo destes compostos.

A utilização de espécies, com distintos padrões de decomposição têm sido uma estratégia considerada para o estabelecimento da sincronia entre requerimento e disponibilidade de nutrientes para os cultivos agrícolas. No atendimento desta questão, Palm (1995), sugere o plantio de espécies que apresentem distintos padrões de decomposição e mineralização, como *I.edulis* e *G.sepium*.

Ampliando a abordagem para esta questão Szott & Palm (1996), em estudo com leguminosas em capoeira numa região da Amazônia Peruana, verificaram que leguminosas que acumularam grande quantidade de biomassa, possibilitaram incrementos nos teores de N, P e K no solo, mas não exerceram a mesma influência para Ca e Mg. Processos como lixiviação do Ca e Mg, baixa CTC, presente em solos ácidos, e perda de cátion trocável, devido à decomposição da matéria orgânica, foram os fatores envolvidos nesta resposta.

O resultado deste estudo não compartilha com esta afirmação e a resposta apresentada pela *G.sepium* define que a composição dos materiais avaliados, especialmente relacionado com a relação C:N, respondem pelos resultados aqui relatados.

Considerando-se as limitações de P no solo deste estudo e pelas quantidades de N e P, imobilizadas na biomassa, a *G.sepium*, constitui em essência a espécie mais indicada para compor sistemas orientados para a diversificação de cultivos e ciclagem de nutrientes.

5.1.5. Teores de elementos no solo

O efeito dos tratamentos, no solo, foi avaliado pelas análises químicas nas determinações dos teores de N e P, antes e aos 15, 30 e 60 dias, após a poda das plantas e deposição dos resíduos vegetais na superfície do solo.

Para os teores de N os tratamentos exerceram efeito significativo ($p < 0,01$), para as variáveis épocas e profundidades, enquanto que para o P, esta confirmação foi verificada para adubação fosfatada, profundidades ($p < 0,01$) e interação entre épocas e profundidades ($p < 0,05$) (Tabela 23-Apêndice).

Os maiores teores de N Total, ocorreram aos 15 dias, após a deposição dos resíduos no solo (Tabela 10). O acréscimo entre os teores para o solo no tratamento sem resíduo e aos 15 dias, foi de 14,7%. Considerando a condição inicial, antes da implantação do experimento, o teor variou de $1,74 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 1) para $5,35 \text{ g kg}^{-1}$, o que pode ser atribuído ao conteúdo aportado pela fitomassa das leguminosas depositada na superfície do solo.

O resultado obtido neste trabalho é semelhante àquele relatado por Alcântara *et al.* (2000) que, em estudo com leguminosas na recuperação de um Latossolo Vermelho-Escuro na região Sudeste do Brasil, constataram que na camada de 0-10 cm os teores de N foram maiores devido à presença de leguminosas que promoveram a reciclagem e mobilização dos nutrientes.

Tabela 10. Resultado da análise química do solo para teores de N Total, em função do tempo de deposição de resíduos vegetais de leguminosas no solo e de diferentes profundidades amostradas. Confiança, Cantá, RR. 2001.

Tempo	N Total
	g kg ⁻¹
15	5,35 a
0	4,77 ab
30	4,62 ab
60	4,53 b
Profundidades, cm	
0-10	5,22 a
10-20	4,42 b
0-20	4,83 a

Onde: 0 – solo sem resíduos (plantas com 12 meses no campo); 15, 30 e 60 - dias após a poda das plantas e deposição dos resíduos vegetais no solo. Na coluna, valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Para os teores de P, os resultados mostraram que a utilização, por ocasião do plantio, da adubação fosfatada foi determinante para a variação nos teores deste elemento no solo ($p < 0,01$). Da mesma forma, como verificado para o N, os maiores teores de P ($3,82 \text{ mg.kg}^{-1}$), foram determinados na camada mais superficial do perfil do solo (Tabela 11).

Este resultado pode ser atribuído à liberação desse nutriente, proveniente da decomposição da matéria orgânica e dos resíduos vegetais reciclados.

O aumento da disponibilidade do P, promovido pelo aporte orgânico no solo, está relacionado, sobretudo com a redução da capacidade de fixação deste elemento no solo.

Palm (1995), considera que o aumento da disponibilidade do P, não apenas pela liberação do nutriente do material em decomposição, mas, principalmente pela redução da fixação do elemento no solo, pode subsidiar a seleção de espécies para comporem diferentes sistemas de produção, especialmente os agroflorestais.

Quanto ao efeito da interação, entre os fatores tempo de deposição dos resíduos e profundidades (Tabela 12), verificou-se que, independentemente do tempo, as maiores concentrações de P, foram determinadas na camada de 0-10 cm e, aos 30 dias, após a deposição dos resíduos. Neste período, a variação entre as profundidades responde por acréscimo de 58% na concentração do P.

A diminuição nos teores dos elementos em função do aumento da profundidade tem sido verificada em outros estudos, com solos da Amazônia (Ferreira *et al.* 2001; Diez *et al.* 1991; Rodrigues *et al.* 2003). Esta resposta deve estar associada pela maior concentração da matéria orgânica, proporcionada pela deposição dos materiais das leguminosas, na superfície do solo.

Tabela 11. Resultado da análise química de solo para teores de P, em função da aplicação de adubação fosfatada (CP) ou na ausência (SP) desta condição no plantio de espécies leguminosas em relação a diferentes profundidades. Confiança, Cantá, RR. 2001.

Adubação Fosfatada no plantio	Profundidade, cm	Teor do elemento no solo
		P, mg kg ⁻¹
Sem P	0-10	3,28 b
	10-20	2,26 b
Com P	0-10	3,82 a
	10-20	2,81 a

Na coluna valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Tabela 12. Resultado da análise química do solo para teores de P, em diferentes profundidades, em função do tempo de deposição de resíduos vegetais de leguminosas na superfície do solo. Confiança, Cantá, RR. 2001.

Tempo	P, mg kg ⁻¹		
	Profundidade, cm		
	0-10	10-20	0-20
0	3,36 abA	2,32 aB	2,84 aB
15	3,71 abA	2,78 aB	3,24 aB
30	4,06 aA	2,56 aB	3,31 aB
60	3,09 bA	2,46 aA	2,77 aA

Onde: 0 – solo sem resíduos (plantas com 12 meses no campo); 15, 30 e 60 – dias após a poda das plantas e deposição dos resíduos vegetais no solo. Nas colunas e nas linhas, valores seguidos por letras minúsculas e maiúsculas, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

O aumento nos teores de P, proporcionado pelo aporte orgânico de leguminosas em sistemas agroflorestais, tem sido vinculado ainda com a redução do potencial de fixação deste elemento no solo, convertendo-o em formas assimiláveis para as plantas (Alvarez *et al.*, 1995; Mendonça *et al.* 2001).

Os valores médios para os teores de P no solo, determinados neste estudo, situam-se abaixo do nível de 13 mg.dm^{-3} , considerado crítico para o milho e soja, segundo resultado de estudo em Latossolo Amarelo na Amazônia Central (Cravo & Smyth, 1997). Da mesma forma, enquadram-se no limite de teor muito abaixo ($0-6 \text{ mg.dm}^{-3}$), segundo os critérios estabelecidos por (Raij, 1995).

Alterações no teor de P em solo mantido sob diferentes sistemas agroflorestais, em Roraima, demonstraram que os maiores teores ($5,31 \text{ mg.dm}^{-3}$ e $6,20 \text{ mg.dm}^{-3}$), foram determinados dois a três anos, respectivamente, após a implantação dos sistemas. Ao final do quarto ano estes valores diminuíram acentuadamente ($2,55 \text{ mg.dm}^{-3}$ e $2,56 \text{ mg.dm}^{-3}$) devido à absorção das culturas nos sistemas (Arco-Verde *et al.*, 2000).

A variação no teor de P no solo considerando-se a condição inicial ($1,99 \text{ mg kg}^{-1}$) antes do plantio das leguminosas, e o maior valor, determinado um ano após o plantio e 30 dias ($3,31$), após a deposição dos resíduos no solo, representou acréscimos de 66,33%, considerando-se a camada de 0-10 cm .

Esta resposta enfatiza a contribuição das leguminosas, quanto ao aporte de nutrientes ao solo, possibilitando a redução da entrada de insumos no sistema e oportunizando outras práticas de manejo que melhor condicionem os fatores de produção da pequena propriedade.

5.2. Experimento em casa de vegetação

5.2.1. Produção de matéria seca e absorção do N por plantas do milho.

O efeito da aplicação no solo de resíduos vegetais de leguminosas no solo foi avaliado pela produção de matéria seca e pelo N absorvido pelas plantas do milho, determinados 60 dias após a semeadura. Foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 24-Apêndice) e, na presença dos resíduos das espécies *A.auriculiformis* e *G.sepium*, a produção de matéria seca foi significativamente superior ao tratamento testemunha, representando acréscimos de 31,84 e 31,50%, respectivamente. As demais espécies agruparam-se segundo a mesma igualdade estatística, diferenciando-se, entretanto, do tratamento testemunha (Figura 6).

Considerando a absorção de nitrogênio e acumulação na parte aérea do milho, houve diferença significativa entre todas as leguminosas estudadas, destacando-se os tratamentos com a incorporação dos resíduos das espécies *F.macrophylla*, *G.sepium* e *A.auriculiformis*, que proporcionaram acréscimos de 67,34%, 57,23% e 52,19%, respectivamente, em relação ao tratamento testemunha, mantido sem resíduo.

A maior absorção de nitrogênio pelo milho, em função da presença de resíduos de leguminosas, pode ser atribuída a diversos fatores, entre os quais destaca-se a taxa de mineralização dos resíduos, teor de matéria orgânica do solo e relação C/N das espécies. Pode-se afirmar, como também constatado por Stamford *et al* (1994) que o acúmulo de N na cultura associada com as leguminosas, é um indicador de eficiência dessas espécies como fornecedoras de nitrogênio para esses cultivos.

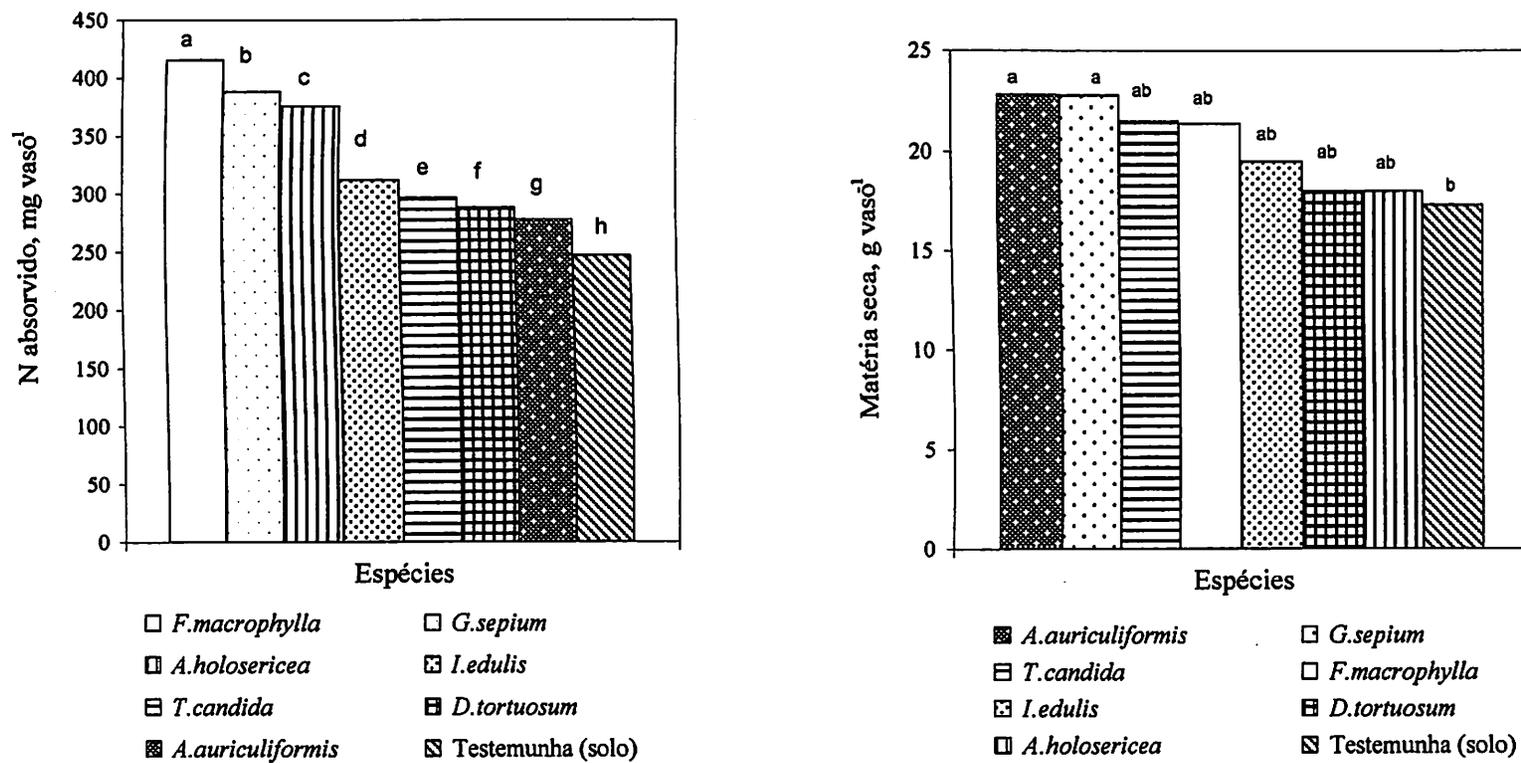


Figura 6. Produção de matéria seca e quantidade de N absorvido por plantas de milho em função da presença de diferentes resíduos de plantas leguminosas no solo. Boa Vista, RR. 2002.

O fornecimento de nutrientes, para o milho, a partir da mineralização de resíduos vegetais de leguminosas, têm sido constatados sob as mais diversas condições de cultivo e manejo das leguminosas. Os focos sobre esta abordagem estão direcionados, sobretudo para aumento da produção e da quantidade de N na fitomassa da parte aérea das plantas (Spagnollo *et al.* 2002; Ernani *et al.* 2002) e no rendimento de grãos (Araújo & Almeida, 1993; Ceretta *et al.* 1994; Heinrichs *et al.* 2002).

De-Polli & Chada (1989) relatam que o fornecimento de N para o milho, por plantas leguminosas, foi superior em comparação à adubação mineral nitrogenada. Nesse estudo, a maior produtividade do milho, foi obtida no tratamento com crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão-deporco (*Canavalia ensiformis*). Resultado semelhante foi verificado por Ceretta *et al.* (1994), ao constatarem que o feijão de porco promoveu rendimento de grãos de milho equivalente ao obtido com a aplicação de 130 kg de N ha⁻¹.

Outro enfoque para esta questão foi relatado por Scivittaro *et al.* (2000). Nessa abordagem, os autores verificaram que o solo foi o maior fornecedor do N para o milho sendo, porém, a melhor resposta obtida com a aplicação conjunta entre fontes industriais (uréia) e orgânica (mucuna preta).

5.2.2. Teores de N-NH₄⁺ e de N-NO₃⁻ em solo cultivado com milho

A definição para os teores de N-NH₄⁺ e de N-NO₃⁻ no solo foi determinada pelo efeito de todos os tratamentos e da interação estabelecida entre os mesmos (Tabela 25-Apêndice).

Para os tratamentos mantidos com milho, os resultados indicam que a mineralização foi favorecida nas presenças dos resíduos da *T.candida* e *G.sepium*, uma vez que os teores médios de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, foram superiores ao tratamento testemunha, mantido sem resíduo (Tabela 13).

Tabela 13. Teores médios de N-NH⁺₄ e de N-NO⁻₃ disponibilizados em relação à presença de resíduos vegetais de diferentes espécies leguminosas em solo mantido com plantas do milho.

Boa Vista, RR. 2002.

Espécies	N-NH ⁺ ₄	N-NO ⁻ ₃
<i>G.sepium</i>	30,98 bc	44,09 a
<i>I.edulis</i>	28,54 bc	40,26 ab
<i>F.macrophylla</i>	26,85 c	29,26 c
<i>D.tortuosum</i>	26,57 c	30,13 c
<i>A.holosericea</i>	25,61 c	18,82 d
<i>T.candida</i>	38,17 a	42,08 ab
<i>A.auriculiformis</i>	33,45 ab	26,88 cd
Testemunha (solo)	27,91 bc	33,14 bc

Nas colunas, valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

As espécies *T.candida* e *G.sepium*, ao contrário do *I.edulis*, apresentam rápida taxa de decomposição, baseada na relação C:N, cujos valores oscilam entre 13 a 20. Ao *I.edulis* são mencionados valores entre 14 a 19 (Mafongoya *et al.*, 1998).

Para os demais resíduos, há indicativo de que a imobilização superou a mineralização, pois os valores foram equivalentes ou inferiores aos da testemunha.

Em estudo com *I.edulis*, *Erythrina* sp. e *Cajanus cajan*, Palm & Sánchez (1990), verificaram que o conteúdo em polifenóis dessas espécies respondeu pela variação da decomposição e mineralização das folhas dessas espécies. O *I.edulis* e *Cajanus cajan* se decompueram sob taxas similares, mesmo apresentando teores de polifenóis similares, porém diferente de lignina.

Analisando-se o efeito da interação entre espécies e tempo de incubação dos resíduos, independentemente da presença do milho (Tabela 14), para os teores de $N-NH_4^+$, observa-se que neste intervalo a mineralização foi favorecida na presença dos resíduos da *G.sepium* e *I.edulis* ($p < 0,01$). Para os demais tratamentos, há evidência da ocorrência da imobilização uma vez que os teores para o N mineralizado foram equivalentes ao da testemunha, mantida sem resíduo. No processo de imobilização, os microrganismos quimiorganotróficos utilizam e acumulam o N para seu crescimento, diminuindo a disponibilidade deste elemento para os vegetais. Os principais fatores envolvidos, nesta ocorrência, têm sido relacionados principalmente com a composição química do material em decomposição, e dentre estes a relação C:N (Barrueco *et al.*, 1985; Moreira & Siqueira, 2002) e conteúdo em polifenóis (Palm & Sánchez, 1990; Palm & Sánchez, 1991).

Tabela 14. Teores médios de N-NH⁴ disponibilizados em relação à presença de resíduos vegetais de diferentes espécies leguminosas no solo, em função do tempo de incubação. Boa Vista, RR. 2002.

Espécies	Tempo de incubação, dia						
	0	15	30	45	60	75	90
	NH ₄ ⁺ -----mg kg ⁻¹ -----						
<i>G.sepium</i>	9,33	74,7 aA	28,3 bBC	16,9 dB	44 bAB	21,6 cdAB	25 cdBC
<i>I.edulis</i>	9,33	59,7 aB	29,1 cBC	40,3 bA	42 bAB	19,9 cB	24,8 cBC
<i>F.macrophylla</i>	9,33	47,8 aC	28,7 bcBC	29,6 bcA	35,9 bBC	19,5 cB	34,3 bAB
<i>D.tortuosum</i>	9,33	53,4 aBC	38,1 bAB	17,8 cB	34,9 bBC	19,8 cB	24,6 cBC
<i>A.holosericca</i>	9,33	58,9 aB	24,4 bcdC	16 dB	30,6 bC	17,7 cdB	26,9 bcBC
<i>T.candida</i>	9,33	55,4 aBC	40,2 bcA	37 cA	49,4 abA	32,4 cdA	22,9 dC
<i>A.auriculiformis</i>	9,33	51aBC	42,4 abA	30 cA	38,2 bcBC	15,6 dB	38,2 bcA
Testemunha	9,33	56,9 aBC	33,2 bABC	18,2 dB	30,1 bcC	17,5 dB	22,2 cdC
Médias	9,33	53,44 a	38,16 b	17,86 c	34,94 b	19,85 c	24,58 c

Nas colunas e nas linhas, valores seguidos por letras minúsculas e maiúsculas, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

Resultado sobre a ocorrência da imobilização do N, proveniente da incorporação de resíduos vegetais de sorgo, foi relatado por Vasconcellos *et al.* (1999). Segundo esses autores, a imobilização do N ocorreu até aos 21 dias de incubação dos resíduos, sendo esta resposta atribuída à qualidade e ao manejo desses resíduos.

Palm & Sánchez (1991), em estudo sobre a mineralização das leguminosas *L.edulis*, *Desmodium ovalifolium* e *Gliricidia sepium*, observaram que os padrões apresentados por estas espécies nas duas primeiras semanas, envolvendo a mineralização e imobilização, foi determinante para o balanço da mineralização líquida ao final da oitava semana. A correlação, estabelecida entre estes padrões, definiu que uma ou duas semanas de incubação seria o tempo suficiente para a disponibilidade do N proveniente da mineralização dos resíduos destas espécies.

A diminuição, do N-NH_4^+ a partir dos 60 dias, indica provável absorção pelo milho, semeado aos 30 dias após a incubação dos resíduos, e em plena fase de utilização dos nutrientes disponibilizados no solo. Ao final do período de incubação os menores valores foram observados com os resíduos da *T.candida* ($22,9 \text{ mg kg}^{-1}$), *G.sepium* (25 mg kg^{-1}) e testemunha ($22,2 \text{ mg kg}^{-1}$) evidenciando, desta forma, maior absorção pelo milho, das frações mineralizadas por estes materiais.

O resultado para a ocorrência de taxas mais rápidas da mineralização, no período inicial da incubação, está relacionado com os eventos que controlam a decomposição, liberação e mineralização do N no solo. Este padrão seguiu àquele relatado por Amado *et al.* (2000), ao verificarem duas fases distintas neste processo: a primeira rápida, caracterizada pela decomposição de materiais solúveis como amido, açúcares e proteínas e uma segunda, mais lenta, representando a decomposição de materiais mais recalcitrantes ou resistentes como celulose, gorduras, ceras, taninos e lignina.

A concentração em polifenóis também responde pela velocidade na taxa de mineralização (Palm & Sánchez, 1990; Palm & Sánchez, 1991). Segundo esses autores resíduos vegetais de leguminosas com baixo conteúdo em polifenóis, fornecem um fluxo rápido de mineralização, sendo espécies com esta característica indicadas para comporem sistemas com culturas anuais. Por outro lado, se o N é mineralizado muito rapidamente, os processos de perda, seja por lixiviação, desnitrificação ou volatilização, podem ocorrer diminuindo, assim sua disponibilidade para os cultivos associados (Young, 1989).

Em relação ao nitrogênio na forma $N-NO_3^-$ (Tabela 15), ao contrário do verificado para a forma amoniacal, os teores mantiveram-se crescentes até 60 dias, após a incorporação dos resíduos, quando então apresentaram acentuadas diminuições no intervalo de 60 e 75 dias, após a incubação dos resíduos.

Este aporte crescente do nitrato no solo, em função do tempo, sinaliza que a imobilização se processou de forma relativamente estável até aos 60 dias, independentemente do tipo de resíduo. A partir dos 45 dias, os tratamentos diferenciaram-se e as maiores taxas da mineralização foram produzidas na presença dos resíduos de *I.edulis* e *T.candida*, com os teores variando de 42,8 a 44,5 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente.

A relação C:N de materiais incorporados ao solo têm influência marcante em todas as transformações do N e, em especial na nitrificação. Assim, relação C:N elevada causa imobilização do N, cessando a nitrificação por falta de substrato amoniacal oxidável (Moreira & Siqueira, 2002).

Franco & Munnus (1982), relatam que a adição de material orgânico com baixa concentração de N (1,3 a 1,5 %), promove a imobilização do N, até que a relação C:N atinja valores entre 20-30 quando, então, a mineralização é reiniciada.

Tabela 15. Teores médios de N-NO₃ disponibilizados em relação à presença de resíduos vegetais de diferentes espécies leguminosas no solo, em função do tempo de incubação. Boa Vista, RR. 2002.

Espécies	Tempo de incubação, dia						
	0	15	30	45	60	75	90
	NO ₃ mg kg ⁻¹						
<i>G.sepium</i>	8,75	17,4 cA	25,5 cA	14,87 cB	82,3 aA	46,4 bA	80,1 aA
<i>I.edulis</i>	8,75	12,5 eA	24,1 deA	42,8 bcA	80,1 aAB	36,4 cdABC	56,9 bBC
<i>F.macrophylla</i>	8,75	15,95bA	26,4 bA	25,9 bB	56,09 aC	26,7 bC	63,5aB
<i>D.tortuosum</i>	8,75	16,4 cA	34,5 bA	16,1 cB	64,9 aBC	35,8 bABC	45,2 bCD
<i>A.holosericea</i>	8,75	14,2 cA	21,8 bcA	14,7 cB	30,9 bD	31,7 bABC	59,7 aBC
<i>T.candida</i>	8,75	13,7 cA	22,9 cA	44,5 bA	77,9 aAB	43 bAB	38,2 bD
<i>A.auriculiformis</i>	8,75	18 cA	33,3 abA	29,5 bcAB	30,2 bcD	30 bcBC	47 aCD
Testemunha	8,75	26,3 bcA	27,7 bcA	24,8 bBc	59,8 aC	24,3 cC	39,7 bD
Médias	8,75	16,45 c	34,46 b	16,14 c	64,98 a	35,77 b	45,25 b

Nas colunas e nas linhas, valores seguidos por letras minúsculas e maiúsculas, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

A diminuição do N mineral a partir dos 60 dias, foi devido provavelmente à absorção pelo milho e possíveis perdas, que neste estudo podem ser atribuídas à desnitrificação, uma vez que os recipientes utilizados não permitiriam que este mecanismo se processasse de outra forma.

Resultados de pesquisas demonstraram que a desnitrificação responde por 20 a 30 % da perda do nitrogênio aplicado às culturas agrícolas (Victoria *et al.*, 1992; Moreira & Siqueira, 2002).

A época de verificação para a maior taxa da mineralização aos 15 dias após a incubação difere daquela obtida por Alfaia (1997c). Segundo este autor, em estudo com solos da Amazônia Central, aos 60 dias após a incubação de resíduos do caupi (*Vigna unguiculata*), foram obtidas as maiores taxas. A contribuição do resíduo da leguminosa foi de 28% no podzólico e 38,8% no latossolo, do N mineralizado na forma amoniacal. No referido estudo a ocorrência da fração nítrica foi verificada no latossolo, após 60 dias, proporcionada pelo aumento da mineralização do N orgânico do solo, pois apenas, 2,6% foram provenientes do resíduo do caupi. Por outro lado, em solos de várzea, a predominância da fração nítrica foi devida às condições no solo, como valores mais elevados de pH, alta capacidade de troca de cátions, alto teor em fósforo e argila do tipo 2:1, favoráveis à presença de microrganismos do gênero *Nitrobacter* que oxidam o NH_4^+ a NO_3^- .

O aumento, em função do tempo, na concentração de NH_4^+ e NO_3^- , para o tratamento testemunha, sinaliza para a ocorrência da mineralização do N orgânico do solo. Esta ocorrência pode ser relacionada, ainda com a diminuição do N mineral, que de modo geral, ocorreu para todos os tratamentos, a partir dos 60 dias de incubação, período correspondente a 30 dias após a semeadura do milho. Extraí-se, ainda, desta resposta inferências sobre a reserva do N do solo, que pode ser relevante no fornecimento de nitrogênio às culturas.

O aumento para a mineralização do N orgânico do solo, conhecido como “priming”, tem sido relatado em resposta à aplicação de fertilizantes nitrogenados, sejam de origem mineral (Rees *et al.*, 1993), orgânica (Azam *et al.*, 1993) ou ainda a partir do uso combinado destas fontes (Scivittaro *et al.*, 2000). Este efeito representa, sobretudo, estímulo à absorção do N do solo, pela adição desses materiais ao solo.

Para as condições dos solos de terra firme da Amazônia Central a ocorrência do efeito “priming” foi associada com os estoques de C e N destes solos e, representou aumentos de 123% e 36% na mineralização do N orgânico em latosso e podzólico, respectivamente (Alfaia, 1994; Alfaia *et al.*, 1995).

5.2.3. Teores de Amônio e Nitrato no solo sem cultivo de milho

Em relação ao nitrogênio na forma $N-NH_4^+$ os teores mais elevados foram verificados na presença das espécies *I.edulis* (43,38 mg kg⁻¹), *T.candida* (40,96 mg kg⁻¹) e *G.sepium* (39,36 mg kg⁻¹). Em relação à forma nítrica, os resíduos das espécies *G.sepium* e *I. edulis* produziram os maiores teores no solo (Tabela 16).

Alterações na disponibilidade do nitrogênio mineralizado no solo, podem ocorrer devido à interação entre os fatores tempo de incubação dos resíduos e presença ou ausência do milho no solo (Tabela 17).

A diminuição nos teores do NH_4^+ no intervalo ente 45 e 75 dias pode ser atribuída à absorção pelo milho. Quanto ao nitrato, nos tratamentos mantidos com planta, a diminuição nos teores a partir dos 60 dias, pode ser devido a perdas por desnitrificação.

Tabela 16. Teores médios de N-NH_4^+ e de N-NO_3^- disponibilizados em relação à presença de resíduos vegetais de diferentes espécies leguminosas em solo sem cultivo milho. Boa Vista, RR. 2002.

Espécies	N-NH_4^+	N-NO_3^-
	mg kg^{-1}	
<i>G.sepium</i>	39,36 ab	44,87 a
<i>I.edulis</i>	43,38 a	44,12 a
<i>F.macrophylla</i>	38,50 abc	42,28 ab
<i>D.tortuosum</i>	36,36 bcd	40,89 ab
<i>A.holosericea</i>	32,54 cd	38,90 ab
<i>T.candida</i>	40,96 ab	38,01 ab
<i>A.auriculiformis</i>	38,39 abc	35,85 ab
Testemunha (solo)	31,47 d	34,39 b

Nas colunas valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Tabela 17. Teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- ordenados em função do tempo de incubação dos resíduos vegetais de diferentes espécies leguminosas em solo cultivado com milho (CM) ou na ausência (SM) desta condição. Boa Vista, RR. 2002.

		Tempo de incubação, dia						
		0	15	30	45	60	75	90
		-----mg.kg ⁻¹ -----						
N-NH ₄ ⁺	CM	9,33	57,22 a	33,06 c	26,43 c	26,73 c	12,07 d	23,05 c
	SM	9,33	57,22 a	33,06 c	25,08 d	49,59 b	28,99 cd	31,68 c
N-NO ₃ ⁻	CM	8,75	16,82 d	27,03 c	39,22 b	72,15 a	14,25 d	28,93 c
	SM	8,75	16,82 d	27,03 c	14,00 d	48,53 b	54,35 b	78,75 a

Nas linhas, médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Observa-se que os teores de $N-NH_4^+$ foram superiores aos do $N-NO_3^-$, até os 30 dias, após a incorporação dos resíduos. Esta resposta pode ser atribuída ao fato de que o amônio é o primeiro íon formado, durante a mineralização. Isto condicionou sua disponibilidade mais rápida que o nitrato, dependente de outra fase, a nitrificação, para sua completa formação.

A manutenção do solo a 80% da capacidade de campo, por todo o tempo de incubação, pode ter estabelecido condição anaeróbica em alguma fase do período da experimentação. Assim, na ausência do oxigênio bactérias anaeróbicas utilizam o nitrato como receptor de elétrons formando N_2 ou N_2O , que se dissipam para a atmosfera pelo mecanismo da desnitrificação (Barrueco, 1985).

Analisando-se o efeito do milho na definição da relação $NO_3^-:NH_4^+$ (Tabela 18), verifica-se que no solo sem cultivo foram produzidas as maiores taxas do N mineralizado ($p < 0,01$) tanto na forma nítrica, quanto amoniacal. O fator estabelecido na relação $NO_3^-:NH_4^+$, entretanto, não apresentou efeito significativo.

Analisando-se o efeito do tempo de incubação dos resíduos e espécies, na definição da forma predominante do N mineralizado (Tabela 19), verificou-se que até 45 dias, após a incorporação dos resíduos, a fração predominante do N mineralizado no solo, proveniente dos resíduos das leguminosas foi a amoniacal. Aos 60 dias, verificou-se que na presença das espécies *G.sepium*, *I.edulis*, *T.candida*, *D.tortuosum* e do tratamento testemunha, a fração nítrica ainda prevaleceu sobre a amoniacal. Esta resposta representa o efeito da extração do $N-NH_4^+$ pelo milho que nesta fase somava 30 dias, após a semeadura, fase que representa grande demanda de nutrientes pelo milho.

Após este período, as variações apresentadas pelas espécies, quanto aos processos de mineralização e imobilização, configuraram alterações que refletiram nas frações que definem este fator. Aos 90 dias, final do período de incubação, à exceção do *I.edulis* e solo testemunha,

Tabela 18. Teores de N-NH_4^+ , N-NO_3^- e relação $\text{N-NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$, definidos no solo cultivado com milho (CM) ou na ausência (SM) desta cultura. Boa Vista, RR. 2002.

	N-NH_4^+	N-NO_3^-	$\text{N-NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$
	mg kg^{-1}		
SM	37,61 a	39,91 a	1,06 a
CM	29,76 b	33,08 b	1,11 a

Nas colunas valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 19. Relação $N-NO_3^-:N-NH_4^+$ definida em relação ao tempo de incubação de resíduos vegetais de plantas leguminosas no solo. Boa Vista, RR. 2002.

Espécies	$N-NO_3^-:N-NH_4^+$						
	Tempo, dias após a incubação						
	0	15	30	45	60	75	90
<i>G.sepium</i>	0,94	0,23 cA	0,92 bA	0,93 bA	2,50 aA	2,16 aA	2,34 aA
<i>A.auriculiformis</i>	0,94	0,35 cA	0,82 bcA	1,00 bA	0,86 bcE	1,68 aAB	1,30 abC
<i>A.holosericea</i>	0,94	0,24 dA	0,93 cA	0,86 cA	1,08 bcDE	1,57 abAB	1,95 aAB
<i>I.edulis</i>	0,94	0,21 eA	0,86 dA	1,25 cdA	2,65 aA	1,85 bcAB	2,01 bAB
<i>T.cândida</i>	0,94	0,25 dA	0,60 cdA	1,07 bcA	1,80 aBC	1,26 abB	1,70 aABC
<i>F.macrophylla</i>	0,94	0,33 cA	0,93 bcA	1,00 bA	1,69 aCD	1,36 abB	1,82 aABC
Testemunha	0,94	0,46 dA	0,82 cdA	1,11 bcA	2,35 aAB	1,45 bB	1,62 bBC
<i>D.tortuosum</i>	0,94	0,31 dA	1,00 cA	1,12 bcA	2,26 aABC	1,70 abAB	1,77 aABC

Nas colunas e nas linhas, valores seguidos por letras minúsculas e maiúsculas, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

todas as demais espécies apresentaram maior parte do N mineralizado na forma nítrica.

A interação de fatores, durante a transformação do nitrogênio no solo, responde pela alteração nas formas do N mineralizado. Isto se processa porque a mineralização e mobilização têm ocorrência simultânea no solo e, a mudança em direção ao depósito orgânico ou inorgânico é dependente, entre outros fatores, da relação C:N dos materiais em decomposição (Barrueco *et al.*, 1985). Isto se deve também à interação de fatores associados com a natureza dos materiais vegetais em decomposição e com algumas características do solo em estudo. Na verdade o principal fator que controla o crescimento e atividade da massa microbiana e a relação C:N. (Victoria *et al.*, 1992; Moreira & Siqueira, 2000). Assim, relações C:N elevadas causam imobilização do N mineral, cessando a nitrificação. Isto ocorre, sobretudo, pela produção elevada de CO₂ pela ação de microrganismos heterotróficos na decomposição da matéria orgânica. Com a continuidade do processo de decomposição, a relação C:N tende a diminuir, uma vez que o C é perdido na forma de CO₂. Nesta condição a produção do nitrato é ativada, com conseqüente diminuição da atividade de decompositores pela carência de C oxidável.

O resultado deste estudo quanto às diferentes formas do N mineralizado proveniente dos resíduos das leguminosas, sugere que o N-NO₃⁻, pelas condições de manejo, principalmente quanto às condições de umidade, mantidas durante o período de incubação, a 80% da capacidade de campo, esteve mais sujeito ao processo de imobilização.

Esta constatação condicionou a absorção do N-NH₄⁺ pelo milho definindo, desta forma, a fração nítrica predominante, sobre a amoniacal, em alguma fase da mineralização. Entretanto o solo em sua condição natural, sem a presença de resíduos vegetais, apresentou a forma amoniacal predominante sobre a nítrica, à semelhança de outros estudos em solos de terra firme da Amazônia (Alfaia *et al.* 1995; Alfaia, 1997c; Luizão *et al.* 1999).

O resultado deste estudo quanto ao aspecto da participação das leguminosas no fornecimento do N para o milho, permite afirmar que o N mineralizado nas condições aqui determinadas foi plenamente utilizado no crescimento e desenvolvimento da planta. Esta resposta deve-se ao baixo conteúdo da reserva orgânica do solo e pela grande demanda do milho por nitrogênio.

6. CONCLUSÕES

Nas condições em que o estudo foi realizado, as seguintes conclusões foram extraídas:

1. a aplicação de P influenciou de modo geral no crescimento em altura e o diâmetro de plantas leguminosas em área de capoeira. As espécies *A.holosericea* e *I.edulis* apresentaram os maiores crescimentos em altura com ou sem adição de fósforo, indicando adaptação ao ambiente estudado;
2. a deposição dos resíduos vegetais de leguminosas no solo promoveu aumento nos teores minerais de N e P no solo;
3. *G.sepium* apresentou maior acúmulo de nutrientes na parte aérea com conseqüente contribuição no aporte desses elementos no solo;
4. as taxas de mineralização do nitrogênio foram mais elevadas aos 15 dias, após a incorporação dos resíduos no solo, e a até aos 45 dias a fração amoniacal foi prevalente em relação à nítrica. Aos 60 dias, *G.sepium*, *I.edulis*, *T.candida* e *D.tortuosum*, representaram as espécies que proporcionaram maior disponibilidade de $N-NH_4^+$ para o milho;
5. as maiores quantidades de N absorvido pelas plantas do milho foram verificadas nas presenças dos resíduos das espécies *F.macrophylla*, *G.sepium* e *A.auriculiformis*.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcântara, F.A. de; Furtini Neto, A.E.; Paula, M.D. de; Mesquita, H.A. de; Muniz, J.A. 2000. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. *Pesq. agropec. bras.*, v.35, n.2, p.277-288.
- Alfaia, S.S. 1988. Correlação entre a capacidade de troca de cátions e outras propriedades de três solos da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, v.18, n. 3-4, p.3-11.
- Alfaia, S.S. 1997a. Destino de fertilizantes nitrogenados (^{15}N) em um Latossolo Amarelo cultivado com feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.). *Acta Amazonica*, v.27, n.2, p.65-72.
- Alfaia, S.S. 1997b. Destino de adubos nitrogenados marcados com ^{15}N em amostras de dois solos da Amazônia Central. *R. Bras. Ci. Solo*, v.1, p.379-385.
- Alfaia, S.S. 1997c. Mineralização do nitrogênio incorporado como material vegetal em três solos da Amazônia Central. *R. Bras. Ci. Solo*, v.21, p.387-392.
- Alfaia, S.S.; Jacquin, F.; Guiraud, G. 1995. Transformations of nitrogen fertilizers in Brazilian Amazonia soils. *ASRR*, v.9, p.335-340.
- Alvarez, M.; Garcia, M.; Treto, E. 1995. Los abonos verdes: una alternativa natural y econômica para la agricultura. *Cultivos tropicales*, v.16, n.3, p.9-24.
- Amado, T.J.C.; Mielniczuk, J. 2000. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.24, p.553-560.
- AMBITEC, 1994. Roraima: *O Brasil no Hemisfério Norte*. Boa Vista: AMBITEC, 218p.
- Amaral, E.F. do; Lima, M.V. de O.; Ludewigs, T.; Andrade, A. do C.; Bardales, N.G.; Menezes, Filho, L.C. de L.; Recco, R.D.; Melo, W.F. de. 2000. Avaliação do efeito da adubação fosfatada na distribuição do sistema radicular da Ingá-de-macaco (*Inga*

- coreacea*), Ingá-mirim (*Inga fagifolia*) e Ingá-de-metro (*Inga edulis*) cultivadas em aléias no estado do Acre. In: *Anais do III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, p.45-47.
- Andrade, A.G.; Costa, G.S.; Faria, S.M. 2000. Deposição e decomposição da serrapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em planossolo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.24, p.777-785.
- Angelo, C.; Constantino, L. 2003. Desmatamento na Amazônia não traz surpresa, afirma Marina Silva. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 27 de Jun. 2003. Caderno Folha Ciência, p. A14.
- Alvarenga, R.C.; Costa, L.M. da; Moura Filho, W.; Regazzi, A.J. 1995. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. *Pesq. agropec. bras.*, v.30, n.2, p.175-185.
- Araujo, A.D.; Almeida, D.L. 1993. Adubação verde associada a fosfato de rocha na cultura do milho. *Pesq. agropec. bras.*, v.28, n.2, p.245-251.
- Arco-Verde, M.F.; Schwengber, D.R.; Xaud, H.A. 2000. Alterações químicas após a implantação de sistemas agroflorestais no estado de Roraima. In: *Anais do III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, p.21-23.
- Azam, F.; Mulvaney, R.L.; Simmons, F.W. 1995. Effects of ammonium and nitrate on mineralization of nitrogen from leguminous residues. *Biol. Fertil. Soils*, v. 20, p.49-52.
- Barrueco, C.R.; Garcia, F.S.; Subramaniam, P. 1985. *La fijación de nitrógeno atmosférico: una biotecnología en la producción agraria*. CSIC, Salamanca, 71p.
- Benincasa, M.M. P. 1988. *Análise de crescimento de plantas*. Jaboticabal: FCAV-UNESP, 41p.

- Boddey, R.M.; Sá, J.C. de M.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S. 1997. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. *Soil Biol. Biochem.*, v.29, n.5/6, p.787-799.
- Borrero, J.G.C. 1998. *Abonos verdes como fuentes de nitrogeno em un agroecosistema tropical de ladera em Colombia*. Dissertação de Mestrado, Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 87p.
- Bremner, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: Black, C.A. (Eds.). *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Wisconsin, p.1179-1237.
- Brienza Júnior, S.; Santos, W.E. de S.; Costa, V. de O.; Pantoja, R. de F.R.; Vielhauer, K.; Denich, M.; Vleck, P.L.G. 1998. Changing the slash-and-burn agriculture in Brazilian Eastern Amazonia by enriching the fallow vegetation. In: *Proceedings of the third SHIFT-Workshop*. Manaus, AM, 1998, p.109-112.
- Brienza Júnior, S. 1999. *Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in the eastern Amazon of Brazil*. Tese de Doutorado, Göttingen. 113p.
- Budowski, G.; Russo, R. 1997. Nitrogen-fixing trees and nitrogen fixation in sustainable agriculture: research challenges. *Soil Biol. Biochem.*, v.29, n.5/6, p.767-770.
- CATIE/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1992. *Mangium, Acacia mangium Will: especie de árbol de uso múltiple en América Central*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 58 p. (Serie técnica. Informe Técnico, 196).
- Ceretta, C.A.; Aita, C.; Braida, J.A.; Pavinato, A.; Salet, R.L. 1994. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, v.18, p.215-220.
- Correa, J.C.; Reichardt, K. 1995. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia Central. *Pesq. agropec. bras.*, v.30, n.1, p.107-114.

- Cravo, M.S.; Smyth, T. 1997. Manejo sustentado da fertilidade de um latossolo da Amazônia Central sob cultivos sucessivos. *R. Bras. Ci. Solo*, v.21, p.607-616.
- De-Polli, H.; Chada, S. de S. 1989. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. *R. Bras. Ci. Solo*, v.13, p.287-293.
- Dias, L.E.; Alvarez V, V.H.; Jucksch, I.; Barros, N.F. de; Brienza Júnior, S. 1991. Formação de mudas de Taxi-Branco (*Sclerolobium paniculatum* Voguel). I. Resposta a calcário e fósforo. *Pesq. agropec. bras.*, v.26, n.1, p.69-76.
- Diez, J.A.; Polo, A.; Cerri, C.C.; Andreux, F. 1991. Influencia do pousio e da pastagem sobre a dinâmica de nutrientes em oxissolos recentemente desflorestados na Amazônia Oriental. *Pesq. agropec. bras.*, v.26, n.1, p.77-83.
- Döbereiner, J. 1997. Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions. *Soil Biol. Biochem.*, v.9, n.5/6, p.771-774.
- Dubois, J.C.L.; Viana, V.M.; Anderson, A.B. 1996. *Manual florestal para a Amazônia*. Rio de Janeiro: Rebraf, 228p.
- EMBRAPA. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. SNLCS/EMBRAPA, Rio de Janeiro, 212p.
- EMBRAPA RORAIMA. 2002. *II Plano Diretor Embrapa Roraima. 2002-2003*. Boa Vista, 2002. 35 p. (Embrapa Roraima. Documentos, 4).
- Ernani, P.R.; Saugoi, L.; Rampazzo, C. 2002. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. *R. Bras. Ci. Solo*, v.26, p.993-1000.
- Faria, M.P.; Siquiera, J.O.; Vale, F.R.; Curi, N. 1996. Crescimento inicial da acácia em resposta a fósforo, nitrogênio, fungo micorrízico e rizóbio. *R. Bras. Ci. Solo*, v.20, p.209-216.

- Favero, C.; Jucksch, I.; Costa, L.M.; Alvarenga, R.C.; Neves, J.C.L. 2000. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. *R. Bras.Ci. Solo*, v.24, p.171-177.
- Fearnside, P.M. 1995. Potencial impacts of climate change on natural forest and forestry in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v.78, p.51-70.
- Fearnside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, v.80, p.21-34.
- Fearnside, P.M.; Barbosa, R.I. 1998. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v.108, p.147-166.
- Ferreira, S.J.F.; Crestana, S.; Luizão, F.J.; Miranda, S.A.F. 2001. Nutrientes no solo em floresta de terra firme cortada seletivamente na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, v.31, n.3, p.381-396.
- Fosket, D.E. 1994. *Plant growth and development: a molecular approach*. San Diego: Academic Press, 579p.
- Franchini, J.C.; Malavolta, E.; Miyazawa, M.; Pavan, M.A. 1999 a. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *R. Bras.Ci. Solo*, v.3, p.533-542.
- Franco, A.A.; Munnus, D.N. 1982. *Plant assimilation and nitrogen cycling*. *Plant and Soil*, v.67, p.1-13.
- Freire, J.R.J. 1992. Fixação do nitrogênio pela simbiose rizóbio/leguminosa. In: Cardoso, E.J.B.N.; Tsai, S.M.; Neves, M.C.P. *Microbiologia do solo*. Campinas: SBCS, 360p.
- Freitas, A. 1996. *Geografia e História de Roraima*. Manaus: Grafima, 154p.
- Gahoonia, T.S.; Raza, S.; Nielsen, N.E. 1994. Phosphorus depletion in the rhizosphere as influenced by soil moisture. *Plant and Soil*, v.159, n.2, p.213-218.

- Havlin, J.L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L.; Nelson, W.L. 1999. Nitrogen: The N cycle. In: _____ *Soil Fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*, New Jersey: Prentice Hall, p.86-153.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, v.28, n.2, p.153-166.
- Heinrichs, R.; Vitti, G.C.; Moreira, A.; Fancelli, A.L. 2002. Produção e estado nutricional do milho em cultivo intercalar com adubos verdes. *R. Bras.Ci. Solo*, v.26, p.225-230.
- Hölscher, D.; Ludwig, B.; Möller, R.F.; Fölster, H. 1997. Dynamic of soil chemical parameters in shifting agriculture in the Eastern Amazon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.66, p.153-163.
- IBGE, 1999. *Tendências Demográficas: uma análise dos censos demográficos e da contagem da população 1996*. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 44p.
- Janssen, B.H. 1996. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposition of organic materials. *Plant and Soil*, v.181, p. 39-45.
- Jiménez, J.M.; Onñoro, P.; Viquez, E. 1997. Producción de Nāmpi (*Colocasia esculenta* var. antiquorum) y maíz (*Zea mays* L.) en asocio con *Erythrina fusca* y *Calliandra calothyrsus*. *Agroforestería en las Américas*, v.4, n.14, p.6-11.
- John, P.S.; Pandey, R.K.; Buresh, R.J.; Prasad, R. 1992. Nitrogen contribution of cowpea green manure and residue to upland rice. *Plant and Soil*, v.142, p.53-61.
- Kanashiro, M.; Denich, M. 1998. Possibilidades de utilização e manejo adequado de áreas alteradas e abandonadas na Amazônia brasileira. Belém: MCT/CNPQ, 157p.

- Kass, D. C. L.; Sylvester-Bradley, R.; Nygren, P. 1997. The role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the Americas. *Soil Bio. Biochem.*, v.29, n.5/6, p.775-785.
- Luizão, R.C.C.; Costa, E.S.; Luizão, F.J. 1999. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio do solo em uma seqüência de idades de pastagens após a derruba e queima da floresta na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, v.29, n.1, p.43-56.
- Malavolta, E. 1980. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 251p.
- Mafongoya, K.E.; Giller, K.E.; Palm, C.A. 1998. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter. *Agroforestry Systems*, v.38, p.77-97.
- Mendonça, E.S.; Leite, L.F.C.; Ferreira Neto, P.S. 2001. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. *R. Árvore*, v.25, n.3, p.375-383.
- Metzger, J.P.; Denich, M.; Vielhauer, K. 1998. Fallow periods and landscape structure in areas of slash-and-burn agriculture (NE Brazilian Amazon). In: *Proceedings of the third SHIFT-Workshop*. Manaus, AM, 1998, p.49-59.
- Miyazawa, M.; Pavan, M.A.; Calegari, A. 1993. Efeito do material vegetal na acidez do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.17, p.411-416.
- Mochiutti, S.; Melém, N.J.; Farias Neto, J.T.; Queiroz, J.A.L. de. 2000. Uso de *Sclerolobium paniculatum* em barbechos mejorados. *Agroforestria em las Américas*, v.7, n.26, p.40-42.
- Morellato, L.P.C. 1992. Nutrient cycling in two south east Brazilian forests. I. Litterfall and litter standing crop. *J. Trop. Ecol.*, v.8, p.205-215.
- Moreira, F.M.S. & Siqueira, J.O. 2002. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, 626p.

- Nair, P.K.R. 1984. *Soil productivity aspects of agroforestry*. Nairobi: ICRAF, 85p.
- Oglesby, K.A.; Fownes, J.H. 1992. Effects of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. *Plant and Soil*, v.143, p.127-132.
- Oliveira, J.M.F. de; Silva, A.J. da; Schwengber, D.R.; Duarte, O.R. 1998. Resposta de mudas de angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke) a nitrogênio e fósforo. *Pesq. agropec. bras.*, v.33, n.9, p.1503-1507.
- Palm, C.A.; Sánchez, P.A. 1990. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.*, v.23, p.83-88.
- Palm, C.A.; Sánchez, P. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica*, v.22, n.4, p.330-338.
- Palm, C.A. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems*, v.30, p.105-124
- Postgate, J. 1989. *Fixação do nitrogênio*. São Paulo: EPU, 84p.
- Raij, B. van. 1995. Conceitos fundamentais na interpretação da análise do solo. In: Ferreira, J.R. & Faria, C.M.B. de. Fertilizantes: insumo básico para agricultura e combate à fome. In: *Anais da 21 Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas*, Embrapa-CPATSA, Petrolina, 1995, p.34-50.
- Rao, I.M. 1995. Atributos de adaptaci3n de plantas forrajeras a suelos inf3rtils. In: CIAT (Eds.). *Informe Bianual 1994-1995*, v.153, p.7-17.
- Rees, R.M.; Yan, L.; Ferguson, M. 1993. The release and plant uptake of nitrogen from some plant and animal manures. *Biol. Fertil. Soils*, v.15, p.285-293.

- Resende, A.V. de; Furtini Neto, A.E.; Muniz, J.A.; Curi, N.; Faquin, V. 1999. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. *Pesq. agropec.bras.*, v.34, n.11, p.2071-2081.
- Richards, P.W. 1996. Secondary and deflected successions. In: _____. *The tropical rain forest: an ecological study*. Cambridge: University Press, p.487-494.
- Rodrigues, M.R.L.; Seixas, R.M.A.; Garcia, T.P.; Höfer, H. 2003. Uso e manejo de leguminosas em agroecossistemas na Amazônia Central. In: *Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, SBCS/UNESP, Ribeirão Preto, SP, 2003. CD-ROM.
- Salati, E. 1998. *Porque salvar a floresta amazônica*. Manaus: INPA/MCT, 108p.
- Sánchez, P.A. 1981. *Suelos Del tropico: características y manejo*. Costa Rica: IICA, 660p.
- Salomão, R.de P.; Nepstad, D.C.; Vieira, I.C.G. 1996. Como a biomassa de floresta tropicais influi no efeito estufa? *Ciência Hoje*, v.21, n.123, p.39-47.
- Schroeder, P.E.; Winjum, J.K. 1995. Assessing Brazil's carbon budget: I. Biotic carbon pools. *Forest Ecology and Management*, v.75, p.77-86.
- Schubart, H.O.R.; Franken, W.; Luizão, F.J. 1984. Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, v.2, p.26-32.
- Scivittaro, W.B.; Muraoka, T.; Boaretto, A.E.; Trivelin, P.C.O. 2000. Utilização de nitrogênio de adubos verdes e mineral pelo milho. *R. Bras. Ci. Solo*, v.24, p.917-926.
- Silva Júnior, M.L. da; Vielhauer, K.; Denich, M.; Vlek, P.L.G. 1998. Can tree enrichment of secondary vegetation and fire-free land preparation by cutting, chopping and mulching improve the following crops? In: *Proceedings of the third SHIFT-Workshop*. Manaus-AM, 1998, p.113-117.
- Smyth, T.J.; Cravo, M.S.; Melgar, R.J. 1991. Nitrogen supplied to corn by legumes in a Central Amazon Oxisol. *Trop. Agric.*, v.68, p.366-372.

- Spagnollo, E.; Bayer, C.; Wildner, L.P.; Ernani, P.R.; Albuquerque, J.A.; Proença, M.M. Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para o milho, no sul do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, v.26, p.417-423.
- Szott, L.T.; Palm, C.A.; Sánchez, P.A. 1991. Agroforestry in acid soils of the humid tropics. *Advances in Agronomy*, v.45, p.275-301.
- Szott, L.T.; Fernandes, E.C.M.; Sánchez, P.A. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, v.45, p. 127-152.
- Szott, L.T.; Palm, C.A. 1996. Nutrients stocks in managed and natural humid tropical fallows. *Plant and Soil*, 186:293-309.
- Szott, L.T.; Kass, D.C.L. 1993. Fertilizers in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v.23, p.157-176.
- Tapia_Coral, S.C.; Luizão, F.J.; Wandelli, E.; Sarrazin, M.; Chaves, E.; Fernandes, E.C.M. 2000. Carbono e nutrientes na camada de liteira em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. In: *Anais do III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, 2000, p.85-87.
- Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S.J. 1995. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p.
- Young, A. 1989. *Agroforestry for soil conservation*. Nairobi: ICRAF, 276p.
- Vasconcellos, C.A.; Campolina, D.C.A.; Santos, F.G.; Exel Pitta, G.V.; Marriel, I.E. 1999. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.23, p.69-77.

- Vergara, N.T. 1987. *Agroforestry: realities, possibilities and potentials*. Dordrecht: ICRAF, 227p.
- Victoria, R.L.; Piccolo, M.C.; Vargas, A.T. 1992. O ciclo do nitrogênio. In: Cardoso, E.J.B.N. (Eds.). *Microbiologia do solo*. Campinas: SBCS, p.105-119.
- Vielhauer, K.; Kanashiro, M.; Abreu Sá, T.D. de; Denich, M.1998. Technology development of slash-and-mulch and fallow enrichment in shifting cultivation systems of the Eastern Amazon. In: *Proceedings of the third SHIFT-Workshop*. Manaus, AM, 1998, p.149-59.
- Wade, M.K.; Sánchez, P.A. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon Basin. *Agronomy Journal*, v.75, p.39-45.
- Wandelli, E.V.; Fernandes, E.C.M.; Perin, R.; Souza, S.G. A. de; Matos, J.C. de S.; Tapia Coral, S.; Gallardo, J. 2000. Aspectos biofísicos da recuperação de áreas de pastagens degradadas através de sistemas agroflorestais. In: *Anais do III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, 2000, p. 32-35.
- Wood, P.J.; Burley, J. 1991. Multipurpose trees: their selection and role in land-use systems. In: _____. *A tree for all reasons: the introduction and evaluation of multipurpose trees for agroforestry*. Nairobi: ICRAF, p.3-8.

8. APÉNDICE

Tabela 20. Análise de variância para o modelo de avaliação para altura de plantas leguminosas em função dos fatores espécies, épocas e adubação fosfatada. Boa Vista, RR. 2001.

Causas da Variação	g.l.	Quadrados Médios
		Altura
Adubação Fosfatada [P]	1	75.174,66 **
Espécies [ESP]	6	49.343,70 **
Época [EP]	3	74.131,65 **
[P]*[ESP]	6	8352,70 **
[P]*[EP]	3	70.519,95**
[ESP]*[EP]	18	5607,28*
Bloco	4	7244,57*
Erro	238	1083,53
CV,%		19,44

Onde: [P]*[ESP]- efeito da interação entre adubação fosfatada e espécies; [EP]*[P]- efeito da interação entre épocas e adubação fosfatada; [EP]*[LEG] – efeito da interação entre épocas e espécies; * - significativo ($p < 0,05$); ** - altamente significativo ($p < 0,01$); n.s. não significativo.

21. Análise de variância do modelo de avaliação para diâmetro de plantas leguminosas em função dos fatores espécies e adubação fosfatada. Tabela Boa Vista, RR. 2001.

Causas da Variação	g.l.	Quadrados Médios
		Diâmetro
Adubação Fosfatada [P]	1	212,70**
Espécies [ESP]	6	345,58**
[P]*[ESP]	6	18,76 ^{ns}
Bloco	4	31,22 ^{ns}
Erro	52	6,67
CV,%		18,01

Onde: [P]*[ESP]- efeito da interação entre adubação fosfatada e espécies; * - significativo ($p < 0,05$); ** - altamente significativo ($p < 0,01$); n.s. não significativo.

Tabela 23. Análise de variância para o modelo de avaliação de teores de N e P no solo em função dos fatores épocas, profundidades e espécies leguminosas. Boa Vista, RR. 2001.

Causas da Variação	g.l.	Quadrados Médios	
		N	P
Adubação fosfatada [P]	1	2,44 n.s.	41,35**
Espécies [ESP]	6	7,95 n.s.	7,51n.s.
Época [EP]	3	19,19 **	10,77 n.s.
Profundidades [PROF]	1	87,85 **	145,71**
[P]*[ESP]	6	2,44n.s.	9,77n.s.
[P]*[EP]	3	0,77 n.s.	5,77n.s.
[P]*[PROF]	1	0,74 n.s.	0,06 n.s.
[ESP]*[EP]	18	9,05 n.s.	4,07 n.s.
[ESP]*[PROF]	6	3,64 n.s.	2,88 n.s.
[EP]*[PROF]	3	18,44 n.s.	4,52*
BLOCO	4	106,89**	86,99**
ERRO	507	7,01	4,08
CV, %		54,93	66,40

Onde: [P]*[ESP] – efeito da interação entre adubação fosfatada e espécies; [P]*[EP] – efeito da interação entre adubação fosfatada e épocas; [P]*[PROF] – efeito da interação entre adubação fosfatada e profundidades; [ESP]*[EP] – efeito da interação entre espécies e épocas; [ESP]*[PROF] – efeito da interação entre espécies e profundidades; [EP]*[PROF] – efeito da interação entre épocas e profundidades; *- significativo ($p < 0,05$); ** - altamente significativo ($p < 0,01$); n.s. - não significante;.

Tabela 24. Análise de variância do modelo de avaliação para matéria seca da parte aérea de plantas do milho (MS) e N absorvido, em função da presença de resíduos vegetais de leguminosas no solo e na ausência desta condição. Boa Vista, RR. 2001.

Causas da Variação	g.l.	Quadrados Médios	
		MS	N absorvido
Espécies [ESP]	7	19,95*	1.4049,89**
Bloco	3	51,10*	0,34 n.s.
Erro	21	5,28	0,50
CV, %		11,41	0,21

Onde: [ESP]- sete espécies de leguminosas e testemunha; * - significativo ($p < 0,05$); ** - altamente significativo ($p < 0,01$); n.s. não significativo.

Tabela 25. Análise de variância para o modelo de avaliação dos teores de $N-NH^4$ e $N-NO_3$ e da relação $N-NO_3:N-NH^4$ no solo, incubado com resíduos vegetais de leguminosas. Boa Vista, RR, 2001.

Quadrados Médios				Causas da Variação g.l.	
	NO_3	NH^4	$NO_3:NH^4$		
Espécies [ESP]	1387,6 **	616,27 **	1,65 **	7	Espécies [ESP]
Épocas [EP]	18528,34 **	10883,4 **	25,39 **	5	Épocas [EP]
Milho [M]	4479,39 **	5909,56 **	0,7 *	1	Milho [M]
[ESP]*[EP]	1113,46 **	368,77 **	0,71 *	35	[ESP]*[EP]
[ESP]*[M]	736,25 **	206,71 *	0,9 *	7	[ESP]*[M]
[EP]*[M]	16026,2 **	1651,64 **	20,75 **	5	[EP]*[M]
BLOCO	458,60 n.s.	405,13 **	0,35 n.s.	3	BLOCO
ERRO	113,25	51,57	0,18	320	ERRO
CV, %	29,15	21,32	33,94		

Onde: [ESP] – sete espécies leguminosas e testemunha; [M] – presença ou ausência do milho; [EP] – tempo de 0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias de incubação dos resíduos; [ESP]*[EP] – efeito da interação entre espécies e épocas; [ESP]*[M] – efeito da interação entre espécies e milho; [EP]*[M] – efeito da interação entre épocas e milho; n.s. – não significativo; * - significativo ($p < 0,05$); ** - altamente significativo ($p < 0,01$).