



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



RODOLFO INACIO NUNES SANTOS

ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DE BIOMASSA DE RESÍDUOS
VEGETAIS DE ADUBOS VERDES, NA RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA NO NORDESTE PARAENSE

BELÉM
2014



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



RODOLFO INACIO NUNES SANTOS

**ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DE BIOMASSA DE RESÍDUOS
VEGETAIS DE ADUBOS VERDES, NA RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA NO NORDESTE PARAENSE**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Pós-graduação em Agronomia: Área de concentração Biogeoquímica, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Steel Silva Vasconcelos
Co-orientador: Dra. Débora Veiga de Aragão

BELÉM
2014



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



RODOLFO INACIO NUNES SANTOS

**ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DE BIOMASSA DE RESÍDUOS VEGETAIS
DE ADUBOS VERDES, NA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA NO
NORDESTE PARAENSE.**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Pós-graduação em Agronomia: Área de concentração Biogeoquímica, para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Steel Silva Vasconcelos
Presidente/Orientador
Embrapa Amazônia Oriental

Dr.^a Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo
Museu Paraense Emílio Goeldi
1º Examinador

Dr. Osvaldo Ryohei Kato
Embrapa Amazônia Oriental
2º Examinador

Prof.^a Dr.^a Livia Gabring Turbay Rangel Vasconcelos
Universidade Federal Rural da Amazônia
3º Examinador

DEDICO

Aos meus pais, Almerio do Couto Santos e Angela Maria Cruz Nunes (*in memorian*), pelos os seus sacrifícios, incentivos e apoio nos momentos mais difíceis para me manter em meus estudos.

Ao meu irmão Rodrigo Nunes dos Santos, por todo amor, carinho e o apoio nas horas mais difíceis.

Aos meus amigos e demais familiares, tão importantes em todos os momentos da minha vida pelo incentivo.

OFEREÇO (*in memorian*)

A minha querida mãe, Angela Maria Cruz Nunes, por todo amor, carinho, força, em todos os momentos. Muito obrigado por acreditar em meu crescimento profissional.

Obrigado por tudo!

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me conceder a vida, saúde e paz. Por toda a força concedida diante das dificuldades e por todas as vitórias alcançadas. Sempre serei muito grato por estar comigo, por iluminar a minha mente e fazer de mim um instrumento em suas mãos.

À Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, pela formação profissional e oportunidade de realizar o curso de Mestrado em Agronomia;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão das bolsas de estudos e financiamento das pesquisas;

À professora e coordenadora do Programa de Pós-graduação em Agronomia Dr.^a Herdjania Veras de Lima pela sua disposição em fazer seu melhor para elevar o nível do curso.

Ao meu orientador, Dr. Steel Silva Vasconcelos, pela orientação, ensinamentos e conhecimentos repassados desde o início desta jornada. Muito obrigado pelas oportunidades e confiança depositadas em mim.

A minha co-orientadora. Dra. Débora Veiga de Aragão, pela orientação, ensinamentos e conhecimentos repassados desde o início desta jornada. Muito obrigado pelas oportunidades e confiança depositadas em mim.

Ao estudante de iniciação científica, em especial, à Raissa Lopes pelo auxílio na condução do experimento.

Aos meus pais, Almerio do Couto Santos e Angela Maria da Cruz Nunes, pelos os seus sacrifícios, incentivos e apoio nos momentos mais difíceis para me manter em meus estudos. Por estarem sempre comigo dando-me muito amor e carinho.

Ao meu irmão, Rodrigo Nunes Santos por todo amor, carinho e o apoio nas horas mais difíceis.

Aos meus amigos do Mestrado, Bruna Sayuri Fujiyama, Renato Alves Teixeira, Edwin Almeida, Nayara Feitosa, Valdir Monteiro que desde os tempos de graduação sempre estiveram comigo me incentivando e me apoiando em minhas decisões. Pelos momentos de alegria e de descontração.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação e para o meu crescimento profissional.

Minhas sinceras considerações e agradecimentos

LISTA DE ABREVIATURAS

C	carbono
N	nitrogênio
P	fósforo
MS	massa seca
C/N	relação carbono / nitrogênio
C/P	relação carbono / fósforo
N/P	relação nitrogênio / fósforo

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Percentagem de massa remanescente e relação C/N, aos 150 dias, do período de decomposição, no material foliar de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....46

Tabela 2 Percentagem de massa remanescente e relação C/N, aos 150 dias, do período de decomposição, do material lenhoso (caule + ramos) de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....48

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Efeito da adubação fosfatada sobre a biomassa foliar (A), lenhosa (B) e total (C) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....38
- Figura 2 Estoque de nitrogênio na biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....39
- Figura 3 Estoque de fósforo biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....40
- Figura 4 Estoque de carbono biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....40
- Figura 5 Concentração de nitrogênio na a biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....42
- Figura 6 Concentração de fósforo na a biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....42
- Figura 7 Concentração de carbono na a biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....43

Figura 8 Relação C:N na biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....44

Figura 9 Relação C:P na biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....44

Figura 10 Relação N:P na biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará.....45

Figura 11 Variação sazonal de material remanescente de folhas de espécies plantadas e regeneração natural, em bolsas de decomposição instaladas em Igarapé-Açu, Pará.....46

Figura 12 Variação sazonal de material remanescente de (galhos + troncos) de espécies plantadas e regeneração natural, em bolsas de decomposição instaladas em Igarapé-Açu, Pará.....47

SUMÁRIO

RESUMO	12
ABSTRACT	13
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	14
1.1. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
1.1.1. Agricultura familiar	16
1.1.2. Pousio melhorado com leguminosas	19
1.1.3. Acúmulo de biomassa e estoque de N e P da vegetação de pousio	21
1.1.4. Fosfato natural.....	22
1.1.5. Decomposição de resíduos vegetais	24
1.1.6. Características do processo de decomposição de resíduos vegetais	25
REFERÊNCIAS.....	Erro! Indicador não definido.
2. ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DE BIOMASSA DE RESÍDUOS VEGETAIS DE ADUBOS VERDES, NA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA NO NORDESTE PARAENSE	32
2.1. INTRODUÇÃO	32
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	Erro! Indicador não definido.3
2.2.1. Área de estudo.....	Erro! Indicador não definido.3
2.2.2. Experimento de campo	Erro! Indicador não definido.4
2.2.3. Quantificação da biomassa e concentração de nutrientes da parte aérea.....	Erro! Indicador não definido
2.2.4. Decomposição dos resíduos vegetais das espécies ...	Erro! Indicador não definido.5
2.2.5. Análise estatística.	Erro! Indicador não definido.6
2.3. RESULTADOS.....	36
2.4. DISCUSSÃO	48
2.5. CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS	54

ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DE BIOMASSA DE RESÍDUOS VEGETAIS DE ADUBOS VERDES NA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA NO NORDESTE PARAENSE

RESUMO

O manejo da vegetação de pousio é importante para a manutenção da produtividade em sistemas agroflorestais no Nordeste Paraense. Durante o período de pousio o sistema acumula nutrientes para as culturas agrícolas subsequentes. A introdução de espécies leguminosas associadas à adubação fosfatada de baixa solubilidade pode promover o acúmulo de biomassa e os estoques de nutrientes, influenciando positivamente na produtividade das culturas agrícolas. Além disso, o processo de decomposição desses resíduos vegetais é importante pois controla a liberação de nutrientes como o N e C, pois as espécies leguminosas possuem uma baixa relação C/N em seu material vegetal, comparado à vegetação espontânea de pousio. Essa dissertação compara estimativas de biomassa, estoque de nutrientes e decomposição de resíduos de adubos verdes em diferentes manejos da vegetação de pousio: 1 pousio espontâneo; 2 pousio melhorado com leguminosas arbóreas (*Racosperma mangium*, *Cajanus cajan* e *Inga edulis*) e 3 pousio enriquecido com leguminosas arbóreas submetidas a adubação fosfatada de baixa solubilidade. O experimento foi conduzido durante 16 meses, para analisar a biomassa e estoque de nutrientes, e 150 dias para analisar o processo de decomposição e liberação de N e C, em uma área degradada submetida ao corte-e-trituração da capoeira, no município de Igarapé-Açu, Amazônia Oriental. A espécie *R. mangium* é mais indicada para melhorar o pousio; o fósforo é limitante no acúmulo de biomassa e de N, P e C da parte aérea da vegetação de pousio enriquecido; os sistemas de pousio enriquecido, submetidos ou não à adubação fosfatada de baixa solubilidade, acumulam mais fitomassa e nutrientes que o sistema com pousio espontâneo; e as leguminosas arbóreas apresentam maior taxa de decomposição foliar e menor relação C/N comparadas ao pousio espontâneo, com destaque para a espécie *C. cajan*, que possui mais baixa relação em seu material foliar.

Palavras chave: leguminosas, pousio, derruba e queima, relação C/N.

ACUMULATION AND DECOMPOSITION OF BIOMASS OF GREEN FERTILIZER VEGETABLE RESIDUES IN THE RECOVERY OF DEGRADED AREA IN NORTHEAST PARAENSE

ABSTRACT

The management of fallow vegetation is important for maintaining productivity in agroforestry systems in Northeast Pará. During the fallow system there is accumulation of nutrients for subsequent crops. The introduction of leguminous species associated with low soluble phosphate fertilizer can improve the accumulation of biomass and nutrient stocks, therefore enhancing crop yield. Moreover, the process of decomposition of plant residues is important for the study of the release of nutrients such as N and C process, because the leaves of legumes species have low C/N ratio, compared to spontaneous fallow vegetation. Here we compare estimates of biomass, nutrient stocks and decomposition of green manures under different managements of fallow vegetation: 1 spontaneous fallow; 2 enriched fallow with leguminous trees (*Racosperma mangium*, *Cajanus cajan* and *Inga edulis*) and 3 enriched fallow with leguminous trees subjected to phosphorus fertilization of low solubility. The experiment was conducted over 16 months, to analyze the biomass and nutrient stocks, and 150 days to evaluate decomposition and nutrient release of decomposition of N and C, in an degraded area under chop-and-mulch management of fallow, in the municipality of Igarapé-Açu, Eastern Amazon. The results showed the *R. mangium* species is most suitable for the enrichment of fallow; phosphorus limits aboveground biomass and N, P and C accumulation of the enriched fallow; the enriched fallow accumulates higher dry mass and nutrient stocks than the spontaneous fallow irrespective of P fertilization; decomposition rates are higher for the enriched fallow species than for the spontaneous fallow species, which may be associated with lower C/N ratio of the enriched fallow species, especially *Cajanus cajan*.

Key words: legumes, fallow, slash and burn, C/N ratio

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A Amazônia concentra uma grande população rural, sendo a maior parte composta de agricultores com estabelecimentos de pequenos e médios portes (agricultura familiar) com até 200 ha. Nessa região existem aproximadamente 380.000 agricultores familiares, dos quais a metade se concentra no Estado do Pará (SCHMITZ, 2007). A produção desses pequenos agricultores é destinada basicamente aos mercados locais, regionais e nacionais, incluindo internacional, como é o caso de produtos como a pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) e o maracujá (*Passiflora edulis*) (HURTIENNE, 2006).

No Nordeste do Estado do Pará, mais especificamente na região Bragantina, a agricultura familiar caracteriza-se por apresentar um sistema de uso da terra chamado de itinerante, também conhecido como sistema de derruba e queima. Este sistema consiste na derruba e queima da vegetação natural em pousio (vegetação secundária) para o preparo da área, seguida do cultivo agrícola geralmente por um a dois anos, principalmente cultivos alimentares (KATO, et al., 2007).

No sistema de derruba e queima, a produtividade agrícola depende diretamente da qualidade e quantidade da vegetação presente no pousio. São necessários cerca de 10 a 15 anos para que a vegetação secundária expresse sua capacidade quanto à manutenção da diversidade florística, à ciclagem de água e nutrientes (SOMMER et al., 2004), e ao acúmulo de carbono e de nutrientes na biomassa (DENICH et al., 1999, TIPPMANN 2000). No entanto, o período de duração do pousio na região Nordeste do Pará tem diminuído consideravelmente, comprometendo a sustentabilidade da produção agrícola. Aliado a redução do tempo de pousio, o uso frequente do fogo tem acentuado a perda da capacidade produtiva dos solos, que originalmente são de baixa fertilidade.

Por esse motivo, alternativas tecnológicas para melhorar as condições do solo e utilizar áreas alteradas para a produção agrícola tem sido objeto de inúmeras pesquisas. Uma alternativa consiste no melhoramento da capoeira (pousio melhorado), que é uma forma de pousio de curta duração visando a restauração da fertilidade do solo com o uso de plantas de crescimento rápido e com alta produção de biomassa (NIANG et al., 2002; RAO et al. 2002). Dentro desse contexto de iniciativa conjunta que o preparo da área para o plantio através de corte e trituração permite o uso da terra sem o uso da queima, sem perda da fertilidade natural do solo e sem a necessidade de aumento da mão de obra para o preparo de grandes áreas (SAMPAIO et al., 2007).

O uso de árvores de leguminosas no pousio tem por objetivo aumentar os acúmulos de biomassa e nutrientes e melhorar os aspectos biofísicos do solo. A árvore plantada beneficia-se dos tratos culturais feitos para as culturas alimentares, permitindo que seu crescimento seja acelerado e, conseqüentemente, possa suportar a competição da vegetação de pousio após o abandono da área (BRIENZA JÚNIOR, 2012). Ao final do pousio, quando a área melhorada é preparada para um novo ciclo agrícola, a biomassa acumulada deve ser triturada, espalhada como cobertura morta sobre o solo, para que finalmente, após a decomposição, libere os nutrientes para as culturas.

O uso de leguminosas no melhoramento de pousio é importante, pois as espécies desta família geralmente são capazes de estabelecer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (N). Dessa forma, as leguminosas apresentam alto potencial de aporte de N para o solo, que consiste em um dos elementos mais importante para a produção agrícola, além disso, tem efeitos positivos na fertilidade do solo como a translocação de nutrientes das camadas mais profundas para a superfície do solo (SILVA et al., 2013). Entre 40 e 66 milhões de toneladas de N₂ é fixado anualmente por leguminosas de importância agrícola, o que representa aproximadamente metade do N utilizado na agricultura (GRAHAM & VANCE, 2003).

No Nordeste Paraense, alternativas para aumento da sustentabilidade do sistema de cultivo têm sido testadas, envolvendo a eliminação da queima no preparo de área e o melhoramento do pousio visando a aceleração do acúmulo de biomassa e nutrientes (TRINDADE et al., 2011). O melhoramento de pousio com leguminosas fixadoras de nitrogênio é de grande interesse pelo potencial de aporte desse elemento, que é um dos mais limitantes em áreas submetidas a repetidos ciclos de derruba e queima (DAVIDSON et al 2007). Entre os benefícios adicionais do uso de leguminosas destacam-se a proteção contra lixiviação e erosão (ESPÍNDOLA et al., 2006).

Além do nitrogênio, o fósforo é um dos elementos mais limitantes à agricultura em solos tropicais, devido a falta de reposição natural e à progressiva escassez das fontes naturais (VANCE et al., 2003). O plantio de leguminosas associado à adubação fosfatada, com fosfato natural, é viável, devido à capacidade dessas plantas de solubilizar e absorver o P de fontes pouco solúveis (ESPÍNDOLA et al., 2006). A adubação fosfatada das espécies utilizadas no enriquecimento de pousio, que é o uso de espécies de leguminosas para acelerar e aumentar o acúmulo de biomassa em níveis superiores ao que a vegetação espontânea conseguiria atingir, quando comparadas a áreas não adubadas, promove maior acúmulo de biomassa e nutrientes no sistema, que é

desejável para a produção agrícola (SANCHEZ, 1999; LAWRENCE e SCHLESINGER, 2001; McGRATH et al., 2001).

A adubação verde, com plantas cultivadas no local ou não, é uma alternativa para recuperação ou conservação do solo, pois promove melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas nas áreas de baixa produtividade ou degradadas (SOUZA, 2012). Em áreas em que a redução do período de pousio é necessária, o uso da adubação verde representa uma alternativa para incorporação de nutrientes no solo, já que o seu principal benefício é a reciclagem de nutrientes, que representa a transferência dos elementos mineralizados no sistema solo-planta, realizado de forma eficaz pelas leguminosas (ALEGRE et al., 2000).

A qualidade e a quantidade do adubo verde é um aspecto importante no manejo visando tanto aporte de nutrientes como proteção do solo contra erosão. Quanto mais rápida for a decomposição do adubo verde, maior será a velocidade de liberação de nutrientes, entretanto menor será o tempo de permanência da cobertura morta, diminuindo a proteção sobre o solo. Por outro lado quanto mais altos forem os teores de lignina e a relação C/N nos resíduos (menor qualidade), tanto mais lenta será sua decomposição (FLOSS, 2000). Como as leguminosas tendem a apresentar baixa relação C/N pressupõem-se uma maior mineralização do nitrogênio por essas espécies (CREWS & PEOPLES, 2005).

A dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais determina o tempo de permanência da cobertura morta na superfície do solo, quanto mais rápido for o processo de decomposição, maior será também a velocidade de liberação dos nutrientes (TEIXEIRA et al., 2010). O equilíbrio entre as taxas de mineralização e imobilização pode ser bastante complexo, e depende bastante da quantidade de carbono no resíduo e da relação entre carbono e nitrogênio (SELLE, 2007). Estudos sobre a dinâmica de decomposição da biomassa vegetal são relevantes a fim de subsidiar informações para o manejo da cobertura do solo visando proteção contra a erosão e sincronia da liberação de nutrientes com a fase de maior exigência da cultura.

1.1 Revisão da literatura

1.1.1 Agricultura familiar

A agricultura familiar no Brasil tem sua importância na absorção de empregos e na produção de alimentos, especialmente voltada para autoconsumo, sendo necessário

destacar que este tipo de produção, além de fator redutor do êxodo rural, é fonte de recursos para famílias com menor renda, além de contribuir para a geração de riquezas, (GUILHOTO et al., 2007). A agricultura familiar tem características diferentes em cada região, e sua diversificação está associada a heranças culturais variadas, a disponibilidade de recursos naturais, a inserção de grupos de agricultores familiares em paisagens diferentes umas das outras e ao acesso ao mercado.

Na região norte do Brasil, o ambiente amazônico influencia diretamente a agricultura familiar, devido à dificuldade de acesso ao mercado, pelas áreas isoladas e a falta de apoio do setor público (GUANZIROLI et al., 2004). O sistema de produção da agricultura familiar da região Norte se dá em torno de produtos para subsistência ou para distribuição no mercado, dentre os quais destacam-se: mandioca, milho, feijão, banana, café, arroz, leite e bovinos de corte (GUANZIROLI et al., 2004).

Na Amazônia, a agricultura familiar pratica principalmente o sistema de agricultura migratória ou itinerante, alterando períodos de cultivo (principalmente de milho e mandioca) e de pousio, ocasião em que a vegetação secundária (capoeira) se desenvolve para, após algum tempo, ser transformada em fertilizante para o próximo período de cultivo por meio da técnica de derruba e queima. Este é o principal sistema de uso da terra na Amazônia (DENICH, 1998).

Quando a agricultura da derruba e queima é praticada em grandes áreas florestadas, com baixa densidade populacional, tecnologia de baixo impacto e longos períodos de pousio, este tipo de sistema pode ser manejado de forma sustentável, sem comprometer drasticamente a fertilidade do solo (KLEINMAN et al., 1995; JOHNSON et al., 2001.) Por outro lado, durante a prática da queima a perda de nutrientes atingem valores altos. Denich et al. (2005) relataram perdas para a atmosfera de 96% de nitrogênio, 47% de fósforo, 48% de potássio, 35% do cálcio, 40% do magnésio e 76% do enxofre, além de 98% do carbono. Após a prática da queima e antes da primeira chuva, 1221 kg.ha⁻¹ de cinzas saem do sistema pela ação dos ventos, o que corresponde, em kg ha⁻¹, a 13,8 de nitrogênio; 4,4 do fósforo; 25,0 de potássio, 43,8 de cálcio; 4,8 de magnésio e 2,1 de enxofre (SAMPAIO et al., 2008).

A prática da queima da vegetação como um modelo para preparar o solo tem sido contestada pelo fato da perda de nutrientes, degradação ambiental, perda gradual da biodiversidade, emissões de gases causadores do efeito estufa na atmosfera, aumento da erosão do solo, mudança no ciclo hidrológico e biogeoquímico, além dos riscos com incêndios acidentais (RUIVO et al., 2007). Portanto quando essas áreas são bem

maneja das a vegetação secundária (capoeira) tem um importante papel ecológico em termos de crescimento florestal, recomposição da paisagem, acúmulo de biomassa, benefícios hidrológicos e manutenção da biodiversidade (KATO et al., 1999; DENICH et al., 2001, 2004, 2005).

Aliado ao uso do fogo, outro fator que contribui para o decréscimo da fertilidade e produtividade agrícola é a diminuição do período de pousio e da recomposição da vegetação, conseqüentemente da restauração dos nutrientes necessários em níveis adequados para o cultivo agrícola (LOPES et al., 2011). As taxas de rotação exigem períodos de pousio longos, de modo que a vegetação recomposta possa contar, pelo menos parcialmente, com a diversidade florística, a ciclagem de água e nutrientes (SOMMER, 2004), proporcionando, ao mesmo tempo, o acúmulo de carbono e nutrientes na biomassa (TIPPMANN et al., 2000).

Uma alternativa ao uso do fogo é a prática da derruba sem queima ou corte e trituração, pois reduz a perda de nutrientes, contribuindo para um balanço positivo de nutrientes no sistema (SOMMER et al., 2004). Enquanto a queima ocasiona grandes perdas de nutrientes, o sistema de corte e trituração proporciona a recuperação gradual do solo por aumentar a adição de nutrientes e carbono no solo (SOMMER, 2004; WICKEL, 2004).

O material vegetal triturado e distribuído na área (cobertura morta) mantém a umidade do solo por um período maior. Além disso, o sistema de corte e trituração reduz os riscos de incêndios acidentais e cria a possibilidade de períodos consecutivos de cultivos, o que aumenta a intensidade de uso da terra e mantém a produtividade no sistema ao longo do tempo (KATO et al., 1999; DENICH et al., 2001). No entanto, para se obter uma produção satisfatória ainda se exige que seja adicionada certa quantidade de fertilizantes na regeneração da biomassa (KATO et al., 1999). A adubação complementar nas áreas preparadas sem queima pode compensar o efeito negativo quando comparado com a produção nas áreas queimadas, garantida pela adição de nutrientes proveniente das cinzas (KATO, 2004). Em relação aos efeitos do fósforo, nitrogênio e potássio Kato et al. (2004) demonstraram que doses crescente de fósforo, nitrogênio e potássio contribuíram para maior produção de milho. Trindade et al. (2011) compararam a disponibilidade de fósforo em área de capoeira triturada com derruba e queima, e constataram a elevação dos teores de fósforo disponível no solo a partir da técnica de corte e trituração da biomassa vegetal.

1.1.2 Pousio melhorado com leguminosas

A redução do período de pousio nas áreas cultivadas com uso do fogo requer práticas alternativas por parte dos agricultores visando manter a sustentabilidade do sistema (MARCOLAN et al., 2009).

O uso de leguminosas arbóreas no melhoramento da capoeira, associado à cobertura do solo por meio da biomassa acumulada triturada, pode promover a melhoria da qualidade do solo e garantir a sustentabilidade do sistema (ARAGÃO et al., 2012). O aumento na qualidade do solo está associado principalmente à: fixação biológica do nitrogênio atmosférico pelas espécies de leguminosas utilizadas no melhoramento do pousio (ARCO-VERDE et al., 2009; LEITE et al., 2008); ciclagem de nutrientes lixiviados para as camadas mais profundas do solo (SOMMER et al., 2004), e aporte da matéria orgânica ao solo pela deposição da biomassa triturada (BAYER et al., 2004; RANGEL-VASCONCELOS et al., 2012). As raízes da vegetação secundária também representam outro ponto positivo, uma vez que desempenham papel relevante na ciclagem de nutrientes das camadas profundas do solo para a superfície (SOMMER, 2004; WICKEL, 2004).

Dessa forma, a combinação de intervenções alternativas e conservacionistas, como o melhoramento do pousio e corte e trituração da vegetação de pousio apresenta grande potencial para agricultura nos trópicos. Do ponto de vista biogeoquímico, o aumento dos estoques de nutrientes no sistema, pelo melhoramento do pousio e substituição do fogo pelo corte e trituração da biomassa, pode promover a sustentabilidade da agricultura em níveis local e global (RANGEL-VASCONCELOS et al., 2012).

O melhoramento de capoeiras com espécies arbóreas pioneiras auxilia na recuperação de áreas degradadas, mesmo em níveis baixos de concentração de nutrientes no solo, devido ao rápido crescimento e estratégias especializadas de acúmulo de nutrientes na biomassa (OLIVEIRA et al., 2005). No sistema de corte e trituração, as vantagens evidenciadas estão relacionadas ao melhor balanço de nutrientes (ARAGÃO et al., 2012), qualidade e regulação térmica do solo, conservação da água (TRINDADE et al., 2012), intensificação do sistema de produção (BORGES et al., 2011), mudança do calendário agrícola (KATO et al., 2003) e ofertas de serviços ambientais como o sequestro de carbono (KATO et al., 2007).

As leguminosas de rápido crescimento utilizadas no melhoramento da capoeira tem um importante papel quanto a sua integração com a vegetação da capoeira. No final do período de pousio, essa integração será refletida na biomassa total produzida. Abaixo estão listadas algumas espécies de leguminosas de crescimento rápido usadas no melhoramento enriquecimento de capoeira.

1.1.2.1 *Racosperma mangium* Willd (Acácia)

Pertencente ao grupo das dicotiledônias, classe *Equisetopsida* C. Agardh, subclasse *Magnoliidae* Novak ex Takht., superordem *Rosanae* Takht. ordem *Fabales* Bromhead, família *Fabaceae* Lindl., gênero *Acacia* Mill., e combinações para *Racosperma mangium* (willd.) Pedley (Autrobaileya). Nome comum *Acacia glaucescens*, *Acacia holosericea*, *Mangium montanum*, *Racosperma mangium*, acácia australiana (INSTITUTO HORUS, 2010).

Dentre as várias espécies de leguminosas fixadoras de nitrogênio introduzidas no Brasil, a *Racosperma mangium* Willd, é uma espécie que tem apresentado significativa capacidade de adaptação a condições edafoclimáticas brasileiras (ANDRADE et al., 2000). Sua ampla capacidade de adaptação advinda de características como o rápido crescimento, baixo requerimento nutricional, tolerância a acidez do solo e compactação e a elevada fixação do N₂, quando em simbiose com bactérias diazotróficas (COLE et al., 1996), resulta em produções elevadas de biomassa e entrada de nutrientes, via serapilheira, em áreas degradadas A associação simbiótica desta espécie com bactérias e micorrizas contribui significativamente na melhoria da fertilidade do solo (VALE JÚNIOR et al., 2011).

É uma espécie florestal perenifólia, podendo atingir 15 m de altura. Apresenta cor do tronco cinza-pardo, folhas simples e alternadas (que são de fato filódios permanentes que não evoluíram para folhas verdadeiras que deveriam ser pinadas). Esta espécie também é utilizada em melhoramento de capoeira, podendo produzir de 50 a 55 Mg ha⁻¹ de biomassa seca acumulada aos 30 meses, em espaçamento 2 m x 2 m com densidade de 2500 árvores/ha (BRIENZA JÚNIOR, 2003).

1.1.2.2 *Inga edulis* Martius (Ingá cipó)

Uma das espécies que vem sendo bastante estudada para enriquecimento de capoeira é a *Inga edulis* Martius (ingá-cipó), que é uma leguminosa arbórea da subfamília Mimosoideae, nativa da América Tropical e amplamente cultivada pela

população local por apresentar rápido crescimento, fornecer fruto comestível e madeira para lenha, servir como árvore e sombra, como componente agroflorestal (FALCÃO & CLEMENT, 2000) e na recuperação de área degradadas (PALHETA & WANDELLI, 2002).

Esta espécie pode atingir até 10 metros de altura, geralmente com tronco múltiplo, revestido por casca externa acinzentada, levemente fissurada. Os ramos jovens são cobertos por densa pilosidade ferrugínea. Apresentam folhas compostas bi ou trijugadas, de tamanho muito variável. As vagens são planas, mais ou menos espessas, arqueadas ou retas, com até 27 cm de comprimento e de 3 a 5 cm de largura, densamente recoberta de pelos ferrugíneos. As sementes apresentam em torno de 1,5 cm e são envoltas pela polpa branca e doce (CAVALCANTE, 1996). Esta espécie é de ocorrência natural no Norte (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia) e Centro-Oeste (Mato Grosso do Sul) (GARCIA; FERNANDES, 2011).

1.1.2.3 *Cajanus cajan* (L.) Millsp. (Feijão guandú)

O feijão guandu é uma planta da família Fabaceae, tendo origem na África tropical ocidental e cultivada na Índia desde a antiguidade. É uma leguminosa arbustiva de porte baixo a alto, de ciclo semi-perene (ESPINDOLA et al., 2004), com folhas alternadas trifolioladas, folíolos largos e ovais, folíolo terminal peciolado, enquanto que os laterais são sésseis, pubescência acentuada em todos os folíolos. É uma espécie difundida em pequenos estabelecimentos rurais, muito usada como adubo verde, quebra-ventos, forragem e na alimentação humana. Tem grande capacidade de fixar o N₂ e adapta-se a diferentes condições edafoclimáticas (ALVES et al., 2004).

Adapta-se bem a variação de precipitação, mostra-se resistente à seca, adapta-se bem aos solos arenosos e argilosos com baixa fertilidade (ESPINDOLA et al., 2004) e baixo valores de pH, desenvolvendo-se melhor em temperaturas mais elevadas; apresenta grande potencial de produção de biomassa, em torno de 9,39 Mg ha⁻¹ (NASCIMENTO; SILVA 2004). Possui sistema radicular com grande capacidade de reciclar nutrientes no solo, principalmente fósforo; a capacidade agressiva de sua raiz permite que penetre em solos compactados e adensados (ALVARENGA et al., 1995).

1.1.3 Acúmulo de biomassa e estoque de N e P da vegetação de pousio

Os solos brasileiros são conhecidos pela sua carência em fósforo, devido principalmente ao material de origem e a forte interação deste elemento com o solo

(RAIJ, 1991). Os solos amazônicos possuem baixa fertilidade natural, que além da elevada acidez, apresenta baixos teores de fósforo na forma disponível pelas plantas (TRINDADE et al., 2011).

Plantas com maior capacidade de extrair fósforo são aquelas que possuem sistema radicular abundante e que produzem exudatos capazes de acidificar a rizosfera, favorecendo a solubilização de fosfatos naturais menos reativos, insolúveis em água, que necessitem de alguma acidez para que alguma dissolução se inicie (SILVA et al., 2011).

Com uso de leguminosas de rápido crescimento para o melhoramento da capoeira, o acúmulo de biomassa se torna superior ao que a vegetação espontânea conseguiria atingir (BRIENZA JÚNIOR, 2012). Com isso é esperado que o rendimento da biomassa proveniente do pousio curto com leguminosas seja maior em relação a regeneração natural, e conseqüentemente haverá um maior estoque de carbono, nitrogênio.

A associação de espécies de leguminosas com a adubação com fosfato natural favorece a solubilização e absorção de P de fonte pouco solúvel, resultando tanto na economia para agricultores com baixo capital de investimento como também possibilitando melhoria da fertilidade do solo (ESPINDOLA et al., 2006). A fixação biológica do N requer grandes quantidades de fósforo, conseqüentemente a adubação fosfatada representa uma estratégia para favorecer o acúmulo de nitrogênio e o crescimento de leguminosas nos solos onde o fósforo disponível é baixo (ESPINDOLA et al., 2006).

Souza et al. (2008), em experimento de casa de vegetação, testaram várias espécies de leguminosas sob diferentes doses de aplicação de fosfato, e constataram que as espécies *Cajanus cajan*, *Pueraria phaseloides* e *Crotalaria juncea* foram as que melhor responderam a adubação fosfatada, acumulando mais biomassa. Em condições edafoclimáticas da região Amazônica, Aragão et al. (2012) testaram espécies de leguminosas submetidas ou não a fontes de adubação fosfatada no sistema de corte e trituração e o guandu com adubação fosfatada foi o que obteve resultado positivo, ou seja, maior conteúdo de matéria orgânica e fósforo disponível no solo.

1.1.4 Fosfato Natural

Dentre os elementos mais limitantes para o crescimento de cultivos agrícolas na Amazônia, o P se destaca, sendo deficiente em 90% dos solos dessa região (MALAVOLTA, 1980). Com o uso do fogo as propriedades, físicas, químicas e

biológicas são modificadas, com isso a deficiência do fósforo se torna mais crítica nessa região (Amazônia) (CERRI et al., 1985).

Dentro desse contexto há a necessidade de buscar alternativas de fertilizantes fosfatados para a agricultura na região Amazônica, pois sua viabilidade econômica depende em grande parte da melhoria da fertilidade do solo. Na agricultura brasileira, os fertilizantes fosfatados mais utilizados são os fosfatos solúveis em água, como o superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato monoamônio e fosfato diamônio, que são insumos caros (RAIJ et al., 1982).

Devido ao alto custo dos fertilizantes fosfatados, o uso alternativo, como os fosfatos de rocha como fonte de P, tem demonstrado grande potencial na melhoria do rendimento das culturas em solos ácidos (ZAHARAH; BAH, 1997) e surge como alternativa tecnicamente viável para os agricultores, uma vez que seu custo de fabricação é baixo e sua eficiência agrônômica aumenta em longo prazo (COSTA et al., 2001).

Os fosfatos naturais, que são insolúveis em água, se dissolvem lentamente na solução do solo e tendem a aumentar a disponibilidade do P para as plantas com o tempo. Apesar de os fosfatos naturais, em curto prazo, geralmente apresentarem menor eficiência que os fosfatos solúveis, em longo prazo, seu efeito residual é geralmente maior (KORNDORFER et al., 1999). A eficiência do fosfato natural baseia-se na sua capacidade de fornecer, ao sistema solo-planta, o P de modo sequencial, refletindo diretamente na produtividade do sistema, que depende, principalmente, de suas características físicas e químicas e, sobretudo, da sua solubilidade (KAMINSKI; PERUZZO, 1997; ZAPATA; ROY, 2004).

No entanto, a eficiência dos fosfatos naturais também está diretamente relacionada à capacidade da planta em absorver P do solo, e utilizá-lo mais eficientemente em seu metabolismo. Em geral, a resposta de diversas espécies depende da velocidade de crescimento, da exigência em P e da capacidade em desenvolver seu sistema radicular, principalmente em condições adversas de solo (KAMINSKI; PERUZZO, 1997; KLIEMANN; LIMA, 2001).

As leguminosas, por serem plantas acidófilas, acidificam a rizosfera através da troca de íons em seu sistema radicular, deixando grande concentração de H^+ na rizosfera, apresentando, assim, maior facilidade em absorver P proveniente de fosfatos naturais (FERNANDES; MURAOKA, 2002). O efeito positivo da associação das leguminosas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) melhora a eficiência dos

fosfatos naturais aplicados ao solo. As hifas externas podem se estender por vários centímetros além da superfície da raiz infectada, aumentando a zona de absorção devido a maior exploração do solo (SATTER et al., 2006).

1.1.5 Decomposição de resíduos vegetais

Um aspecto muito complexo é a decomposição de resíduos vegetais, a formação da matéria orgânica, sustentabilidade dos solos e a manutenção da fertilidade. A proteção do solo com cobertura vegetal, que é uma prática de manejo e conservação, é relevante para a manutenção ou melhoria das características químicas, físicas e biológicas (FONSECA et al., 2007). Em regiões com alta temperatura e umidade, e grande precipitação, a produção e a manutenção da cobertura do solo são fundamentais no sistema de plantio direto (TORRES et al., 2005).

Características como a taxa de decomposição desses resíduos vegetais, que difere de espécie para espécie quanto a sua composição química (CARVALHO, et al., 2009; ESPINDOLA et al., 2006), fatores climáticos (GONÇALVES et al., 2011), e a forma de manejo da cobertura (GONÇALVES et al., 2010) são fundamentais para manutenção da cobertura vegetal sobre o solo. A partir da decomposição destes resíduos forma-se a matéria orgânica (GONÇALVES et al., 2010) e quanto mais rápido por o processo de decomposição, maior será também a velocidade de liberação dos nutrientes (TEIXEIRA et al., 2010).

A disponibilização dos nutrientes pode ser rápida e intensa ou lenta e gradual, conforme a interação entre fatores climáticos, quantidade e qualidade do resíduo vegetal (FREIRE et al., 2010; ROSOLEM et al., 2003). Devido a grande variação das condições edafoclimáticas do território brasileiro, torna-se difícil a recomendação de uma espécie específica a ser utilizada, justificando estudos envolvendo a decomposição de diferentes espécies e em condições específicas e edafoclimáticas.

Dentre esses nutrientes o N quanto a sua imobilização durante o processo da decomposição pode ser influenciado quanto ao seu aumento, por diversos mecanismos como: fixação, a absorção atmosférica, resíduos, insetos, areia, fungos, bactérias, microorganismos no geral (CATTANIO, et al., 2008). Nutrientes tais como o N, são frequentemente limitantes ao crescimento microbiano, quando são imobilizados (O'CONNELL, 1988).

1.1.6 Características do processo de decomposição de resíduos vegetais

Vários fatores influenciam no processo de decomposição, e os resíduos vegetais têm respostas distintas ao ambiente do solo. A velocidade com que os resíduos são decompostos depende principalmente da composição química do material e das condições do ambiente, os quais influenciam na atividade dos microorganismos do solo (TORRES, 2003). A taxa de precipitação é um dos fatores climáticos que mais influencia na decomposição (ESPINDOLA et al., 2006), como também a ação de componentes da macro, mesofauna e de microorganismos, além de processos físicos, que contribuem para a desintegração dos resíduos vegetais (ASSIS et al., 2003).

Outro fator que também influencia no processo de decomposição é a composição química do material vegetal, principalmente os teores de lignina, hemicelulose e celulose (CARVALHO et al., 2010). Em tecidos de vegetais mais maduros, os teores de lignina, hemicelulose e celulose são maiores, logo sua resistência é maior a ação dos microorganismos decompositores (TAUK, 1990).

Um outro fator que condiciona a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais e a liberação dos seus nutrientes é a sua relação C/N, que expressa o grau de recalcitrância do substrato (HEINRICHS et al., 2001). Nesse contexto, pode-se concluir que quanto maior a relação C/N, menor será a liberação de N e P por ação de microorganismos decompositores (RODRIGUES et al., 2007). Amado et al. (2000) citam que quando a relação C/N está entre 20-30, os processos de imobilização e mineralização se igualam, e quando a relação é abaixo de 20, há um predomínio da mineralização com maior disponibilidade dos compostos nitrogenados.

Valores elevados de relação C/N nos resíduos vegetais faz com que os microorganismos decompositores se multipliquem gradativamente, diminuindo bastante o N disponível no solo (FREIRE et al., 2010). A velocidade de decomposição dos resíduos vegetais diminui a medida que a relação C/N aumenta (AITA & GIACOMINI, 2003). Portanto, quando se trata de altos teores de relação C/N (>30) e lignina (>15%), a decomposição dos resíduos vegetais é inibida, favorecendo o estabelecimento de cobertura no solo. Ao contrário, quando os teores são baixos (C/N < 30 e lignina < 15%), a decomposição é mais rápida e, conseqüentemente, haverá uma ciclagem mais acelerada de nutrientes (AITA & GIACOMINI, 2003; CARVALHO et al., 2008; ESPINDOLA et al., 2006).

REFERÊNCIAS

- ALVES, S.M.C.; ABOUD, A.C.S.; RIBEIRO, R.L.D.; ALMEIDA, D.L. Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1111-1117, 2004.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 179-189, 2000.
- ANDRADE, AB, COSTA, G. S., FARIA, S. M. Deposição e decomposição de serapeilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium*, *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planosolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 777-785, 2000.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27; p. 601-612, 2003.
- ARAGÃO, D. V.; CARVALHO, C. J. R. de; KATO, O. R.; ARAÚJO, C. M.; SANTOS, M. T. P.; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 1, p. 11-18, 2012.
- ARCO-VERDE, M. F.; SILVA, I. C.; MOURÃO JÚNIOR, M. Aporte de nutrientes e produtividade de espécies arbóreas e de cultivos agrícolas em sistemas agroflorestais na Amazônia. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 11-22, 2009.
- ASSIS, E. P. M.; CORDEIRO, M. A. S.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 33, n. 2, p. 107-112, 2003.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004
- BORGES, A. C. M. R.; KATO, O. R.; PINHEIRO, H. A.; SHIMIZU, M. K.; RANGEL VASCONCELOS, L. G. T.; OLIVEIRA JÚNIOR, M. C. M. de. Crescimento e produção de fitomassa de variedades de milho em diferentes manejos da capoeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 2, p. 143-151, 2011.
- BRIENZA JÚNIOR, S.. Enriquecimento de florestas secundárias como tecnologia de produção sustentável para a agricultura familiar. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais 7(3): 331-337,2012.
- CATTANIO, J.H.; KUEHNE, R.; VLEK, P.L.G. Organic material decomposition and nutrient dynamics in a mulch system enriched with leguminous trees in the Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1073-1086, 2008.

CAVALCANTE, P. B. Frutas comestíveis da Amazônia. 5.ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1991. 279 p. (Coleção Adolfo Ducke).

COLE, C.V., CERRI, C., MINAMI, K., MOSIER, A., ROSENBERG, N., SAUERBECK, D. et al., (1996) Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions. In: Watson, R., Zinyowera, M. C. and Moss, R (eds) Climate change 1995. Impacts, Adaptions, and Mitigation of Climate Change: Change: Scientific-Thechemical Analyses. IPCC Working Group II. Pp 745-771.

DENICH, M.; VLEK, P. L. G.; SÁ, T. D. de A.; VIELHAUER, K.; LÜCKE, W. A concept for the development of fire-free fallow management in the Eastern Amazon, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 110, p. 43-58, 2005.

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M.; BLOCK, A.; KATO, O. R.; SA, T.; LUCKE, W.; VLEK, P. L. G. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems: The experience from Eastern Amazonia. **Agroforestry Systems**, v.61, n.1, p.91-106, 2004.

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; SÁ, T. D. A.; LÜCKE, W. e VLEK, P. L. G. Alternatives to slash-and-burn agriculture: a research approach for the development if a chop-and-mulch system. In: **Conference on International Agricultural Research For Development. Bonn, Germany**: Center for Development Research (ZEF) University of Bonn/Embrapa Amazônia Oriental/Institute for Agricultural Engineering-University of Göttingen, 2001, p. 1-8.

DENICH,M.; KANASHIRO,M.; VLEK,P.L.G. The potential and dynamics of carbon sequestration in traditional and modified fallow systems of the Eastern Amazon region, Brazil. In: **Global climate change and tropical ecosystems**, Eds. Lal, R.; Kimble, J. M.; Stewart, B. A. Boca Raton, CRC, p. 213-229, 1999.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 321-328, 2006.

FALCÃO, M.A.; CLEMENT, C.R. 2000. Fenologia e produtividade do ingá cipó (*Inga edulis*) na Amazônia Central.*Acta Amazonica*, 30(2):173-180.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 1, p. 22-30, 2007.

FREIRE, J. L.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, M. V. F.; FREITAS, E. V. Decomposição de serrapilheira em bosque de sabiá na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 8, p. 1659-1665, 2010.

GARCIA, F.C.P., FERNANDES, J.M. 2011. *Inga in Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

GONÇALVES, S. L.; SARAIVA, O. F.; TORRES, E. Influência de fatores climáticos na decomposição de resíduos culturais de milho e soja. Londrina: **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, 6 Embrapa Soja, 2011. 26 p.

GONÇALVES, S. L.; SARAIVA, O. F.; FRANCHINI, J. C.; TORRES, E. Decomposição de resíduos de milho e soja em função do tempo e do manejo do solo. Londrina. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, 3 Embrapa Soja, 2010. 20 p 2010.

GRAHAM, P.H. & VANCE, C.P. Legumes: Importance and Constraints to greater use. **Plant Physiol.** 131: 872-877,2003.

GUAZIROLI, C. E.; CARDIM, S. E. C. S. (coord.) Novo retrato da agricultura familiar: o Brasil redescoberto. Brasília: INCRA/FAO, 2004. 76 p. (Projeto de Cooperação Técnica INCRA/FAO).

GUILHOTO, J. J. M.; ICHIHARA, S. M.; SILVEIRA, F. G.; DINIZ, B. P. C.; AZZONI, C. R.; MOREIRA, G. R. C. A importância da agricultura familiar no Brasil e seus estados. In: Encontro Nacional de Economia da Associação Nacional dos Centros de Pós Graduação em Economia, 35, 2007. **Anais...** Recife, PE: ANPEC, 2007.

HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R. ; ORTIZ, F. R.; watanabe, t. s. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. Seminário: **Ciências Agrárias**, v.28, p.39-44, 2007.

HURTIENNE, T. Agricultura familiar e desenvolvimento rural sustentável na Amazônia.; **Novos Cadernos NAEA** v. 8, n. 1 - p. 019-071 jun. 2006.

JOHSON, C. M.; VIEIRA, I. C. G.; ZARIN, J. F.; JOHSON, A. H. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management.** 147. 245-252, 2001.

KATO, M.S.A. et al. Agricultura sem queima: adaptando à realidade de agricultores familiares da comunidade São João – Marapanim, PA. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 49p. (Documentos, 289).

KATO, O.R.; KATO, M. DO S.A.; VIELHAUER, K.; BLOCK, A.; JESUS, C.C. Cultivo do milho em sistemas de corte e trituração da capoeira na região nordeste do Pará – efeito da época do preparo de área. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 18p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 19).

KATO,O.R.; VIELHAUER,K.; DENICH,M.; LUCKE,W. Preparo de área sem queima: aspectos Agrotécnicos para produção de mulch a partir da trituração da capoeira. In: Anais: Seminário sobre Manejo da Vegetação Secundária para a Sustentabilidade da Agricultura Familiar da Amazônia Oriental, Belém - PA, Brazil, Embrapa Amazônia Oriental: Documentos 69, pp. 38-41, 2000.

KATO, M. do S. A.; KATO, O. R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: The role of fertilizers. *Field Crops Research*, 62, p.225-237, 1999.

KLEINMAN, P. J. A.; PEIMENTEL, D.; BRYANT, R. B. The ecological sustainability of slash and burn. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 52: 235-249, 1995.

LEITE, A. A. L.; FERRAZ JUNIOR, A. S. L.; MOURA, E. G.; AGUIAR, A. C. F. Comportamento de dois genótipos de milho cultivados em sistema de aleias preestabelecido com diferentes leguminosas arbóreas. *Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 4, p.875-882, 2008.

MARCOLAN, A. L.; LOCATELLI, M.; FERNANDES, S. R. Atributos químicos e físicos de um Latossolo e rendimento de milho em diferentes sistemas de manejo da capoeira. Porto Velho: Embrapa, 2009. (Comunicado técnico 352).

MCGRATH, D.A., Duryea, M.L., Cropper, W.P., 2001. Soil phosphorus availability and fine root proliferation in Amazonian agroforests 6 years following forest conversion. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83, 271-284.

NIANG, A.I; AMADALO, B.A; WOLF, J & GATHUMBI, S.M. Species screening for short-term planted fallows in the highlands of western Kenya. *Agroforestry Systems*, 56:145-154,2002.

O'CONNELL, A.M. Nutrient dynamics in decomposing litter in karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) forest of SouthWestern Australia. *J. Ecol.*, 76:1186-1203, 1988.

OLIVEIRA, T. K.; FURTADO, S. C.; MACEDO, R. L. G.; AMARAL, E. F.; FRANKE, I. L. Manejo da fertilidade do solo em sistemas agroflorestais. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2005. p. 93-120.

PALHETA RA, WANDELLI EV. Nodulação de *Gliciridia sepium* e *Inga edulis* em sistemas agroflorestais implantados em áreas degradadas por pastagem na Amazônia Central. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 4, Ilhéus. *Sistemas Agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: sustento da vida*. **Anais**. Ilhéus: CEPLAC: UESC 2002.

RAIJ, B.VAN. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: **Agronômica Ceres**, 1991. 343 p.

RANGEL.VASCONCELOS, L. G. T.; KATO, O. R.; VASCONCELOS, S. S. Matéria orgânica leve do solo em sistema agroflorestal de corte e trituração sob manejo de capoeira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.47, n.8, p.1142-1149, ago. 2012.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica de nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.

RUIVO, M.L.P.; MONTEIRO, K.F.G.; SILVA, R.M.; SILVEIRA, I.M.; QUARESMA, H.D.A.B.; SA, L.D.A. & PROST, M.T.C. Gestão florestal e implicações sócio-ambientais na Amazônia Oriental (Estado do Pará). **Ecol. Bras.**, 11:481-492, 2007.

SAMPAIO, C. A.; KATO, O. R.; NASCIMENTO-E-SILVA, D. Sistema de corte e trituração da capoeira sem queima como alternativa de uso da terra, rumo à sustentabilidade florestal no nordeste paraense. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, Salvador, v. 2, n. 1, p. 41-53, 2008.

SCHMITZ, H. A Transição da Agricultura Itinerante na Amazônia para novos sistemas. **Rev.Bras. Agroecologia**, v.2, n.1, fev. 2007.

SOMMER, R.; VLEK, P. L. G.; SÁ, T. D. D.; VIELHAUER, K.; COELHO, R. D. R.; FOLSTER, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon - evidence for subsoil nutrient accumulation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 68, p. 257-271, 2004.

SOUZA, C.M.A. et al. Crescimento de leguminosas submetidas a diferentes níveis de adubação com fosfato de rocha. **Revista de Ciências Agrárias**, v.50, p.77-93. 2008.

SOUZA, L.A.G. de. Leguminosas para adubação verde na terra firme e na várzea da Amazônia Central: um estudo em pequenas propriedades rurais em Manacapuru. Manaus: Editora **INPA**,40p, 2012.

TAUK, S. M. Biodegradação de resíduos orgânicos no solo. **Revista Brasileira de Geociência**, v. 20, n. 4, p. 299-301, 1990.

TEIXEIRA, C. M; CARVALHO, G. J.; SILVA, C. A.; ANDRADE, M. J. B.; PEREIRA, J. M. Liberação de macronutrientes das palhadas de milho solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,v. 34, p. 497-505, 2010.

TIPPMANN, R. **Assessment of Carbon Sequestration in Landscape under the Clean Development Mechanism of the Kyoto Protocol**. Diploma Thesis, University of Bonn, Germany, 2000.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609-618, 2005.

TORRES, J. L. R. **Estudo das plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no cerrado, na região de Uberaba-MG**. 2003. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

TRINDADE, E. F. S.; KATO, O. R.; CARVALHO, E. J. M.; SERAFIM, E. C. S. Disponibilidade de fósforo em solos manejados com e sem queima no nordeste paraense. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 6, n. 12, p. 7-19, 2011.

TRINDADE, E. F. S.; VALENTE, M. A.; MOURÃO JÚNIOR, M. Propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de manejo da capoeira no nordeste paraense. **Revista da Faculdade de Ciências Agrárias de Marabá**, v. 4, n. 1, p. 50-67, 2012.

VALE JÚNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: Etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agro@mbiente**, v.5, p.158-165, 2011.

VIELHAUER, K.; SÁ, T.D.A. Efeito do enriquecimento de capoeiras com árvores leguminosas de rápido crescimento para a produção agrícola no Nordeste Paraense. In: Seminário Sobre Manejo da Vegetação Secundária para a Sustentabilidade da Agricultura Familiar da Amazônia Oriental, 1999, Belém. **Anais**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2000. 221p.

WICKEL, B. **Water and nutrient dynamics of a humid tropical watershed in Eastern Amazonia**. PhD. University of Bonn. 2004. 135p.

2. ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DE BIOMASSA DE RESÍDUOS VEGETAIS DE ADUBOS VERDES, NA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA NO NORDESTE PARAENSE.

2.1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia brasileira a ocupação desordenada da terra tem resultado quase sempre no desenvolvimento de atividade agrícola e/ ou sócio economicamente não sustentável. A agricultura da derruba-e-queima praticada no Nordeste Paraense tem sido considerada um dos agentes causadores da degradação ambiental na Amazônia brasileira devido a sua forma itinerante (Brienza Júnior et al., 2011). O problema é que neste tipo de prática agrícola, as áreas de florestas são derrubadas para o cultivo agrícola visando à subsistência do agricultor.

A vegetação denominada de pousio (capoeira) que surge após os cultivos agrícolas é importante para o acúmulo de biomassa vegetal e restabelecimento do ciclo biogeoquímico de nutrientes (Brienza Júnior et al., 2011). No entanto fatores como o crescimento populacional e a divisão do lote familiar com conseqüentemente intensificação do seu uso, contribuem para o encurtamento do tempo de pousio (Silva et al., 1998). Com isso há a perda de nutrientes devido ao tempo insuficiente para os acúmulos de biomassa e nutrientes na capoeira (Hölscher, 1995). Alternativas aos efeitos negativos da queima e da diminuição do período de pousio visam garantir a sustentabilidade do sistema nas condições atuais de uso da terra no Nordeste Paraense.

O melhoramento da vegetação de pousio com espécies leguminosas arbóreas acelera o acúmulo de biomassa (Barrios; Cobo, 2004; Bansamba et al., 2007; Brienza Júnior, 1999; Szott; Palm, 1996) e promove adições de nutrientes e carbono no sistema, recuperando gradativamente a qualidade do solo (Barrios et al., 2005; Basamba et al., 2007; Koutika et al., 2002). Dessa forma, o melhoramento do pousio tem o potencial de produzir maior biomassa e acelerar o acúmulo de nutrientes em níveis superiores ao que a vegetação espontânea conseguiria atingir (Barrios; Cobo, 2004, Barrios et al., 2005; Basamba et al., 2007; Brienza Júnior, 1999; Szott; Palm, 1996).

A disponibilidade de fósforo no solo limita o acúmulo de biomassa na vegetação de pousio (Davidson et al., 2004; Gehring et al., 2005). A disponibilidade deste nutriente em solos Amazônicos é baixa devido à fixação aos sesquióxidos de ferro e alumínio (Szott et al., 1999) e suas concentrações são baixas na biomassa da vegetação secundária (Denich, 1991; Kato, 1998; Santos Júnior et al., 2006). Neste sentido, a

adubação fosfatada das espécies utilizadas no melhoramento do pousio pode promover o maior acúmulo de biomassa e nutrientes ao sistema, o que é desejável para a produção agrícola (Lawrence; Schlesinger, 2001; Mcgrath et al., 2001).

Além do acúmulo de biomassa e estoque de nutrientes, para uma pesquisa mais completa aplicada a biologia do solo, a sincronização de liberação de nutrientes e material orgânico é um tema de grande interesse nos estudos em que o corte-e-trituração da capoeira substituem a queima da vegetação (Addiscot et al., 1991; Myers et al., 1994).

Estudos sobre a dinâmica da decomposição de biomassa vegetal são relevantes a fim de manter a cobertura do solo e sincronizar a liberação de nutrientes com a fase de maior exigência da cultura seguinte, além disso, os resíduos vegetais da capoeira triturada apresentam relação C/N e teor de lignina mais elevado do que as leguminosas, influenciando na velocidade de decomposição e liberação de nutrientes deste resíduos (Silva, 2013). Além das características dos resíduos, a velocidade de decomposição também é influenciada pelas condições edafoclimáticas e altamente dependente da atividade biológica (Silva, 2013).

A taxa de decomposição e a quantidade de liberação de nutrientes como o N da matéria orgânica, com ênfase nas leguminosas, pode determinar a curto prazo os benefícios que esta espécie pode trazer para a da cultura seguinte (Handayanto et al., 1997). A liberação de N em resíduos de leguminosas com teor de N alto são geralmente elevados (Swift et al., 1979; Ladd et al., 1981; Hunt et al., 1988; Constantinides & Fownes, 1994). Por isso a competição planta – microorganismos por nutrientes como o N deve ser destacada (Kayer & Hart, 1997).

O objetivo do trabalho é quantificar o acúmulo de biomassa da parte aérea e o estoque de C, N e P, além de avaliar a decomposição de três espécies (*Racosperma mangium*, *Inga edulis*, *Cajanus cajan*), e a vegetação natural (capoeira) como referência, na busca por alternativas que substitua a prática da derruba-e-queima no Nordeste Paraense.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em uma propriedade de pequeno agricultor familiar, na comunidade chamada Nova Olinda, localizada no município de Igarapé-açu (1° 07'15,5'' S e 47° 36' 12,7'' W), região Nordeste do Estado Pará.

O clima da região, pela classificação de Köppen, é quente úmido (Am_i), com temperaturas médias entre 25 e 32 °C, umidade relativa do ar entre 80 e 90% e precipitação anual entre 2.000 e 3.000 milímetros. O período de maior precipitação ocorre entre janeiro e abril e, o de menor precipitação, entre agosto e dezembro.

Os solos da região são classificados como Latossolo Amarelo, de acordo com a classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2006). A área possui um histórico em que sua produtividade foi comprometida por uma deficiente recuperação da capoeira, devido a sucessivos pousios curtos e o uso do fogo.

2.2.2 Experimento de campo

Para a instalação do experimento, foi selecionado um fragmento de floresta secundária com aproximadamente “x” ha e 10 anos de idade. O preparo inicial da área foi realizado com o corte e trituração manual da vegetação da capoeira de 10 anos, que produziu cerca de 23 M ha⁻¹ de massa seca. Em março de 2012 foram instaladas parcelas (10 m x 20 m) onde foram plantadas as três espécies da família *Fabaceae*: acácia (*Racosperma mangium* Willd), ingá (*Inga edulis* Martius) e guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh). O plantio foi realizado com mudas (acácia e ingá) e sementes (guandu) em espaçamento 0,5 m x 0,5 m. A testemunha foi representada pelo pousio natural com a regeneração de espécies espontâneas.

Cada parcela foi dividida em duas subparcelas (10 m x 10 m), sendo que em uma foi aplicado adubo fosfatado e na outra não. O fosfato natural, com 33% de P₂O₅ solúvel, foi aplicado a lanço, em dose de 100 kg de P₂O₅/ha.

Para a instalação do experimento a área foi preparada manualmente e 20 dias após o preparo da área as mudas de Acácia e Ingá foram transplantadas e sementes de guandú foram plantadas. Em julho de 2013, a área foi novamente cortada e triturada. O material vegetal de cada subparcela foi depositado sobre o solo, formando uma cobertura morta (*mulch*). Durante o período de pousio a manejo da área foi feito com a capina de plantas invasoras nas entre linhas das espécies usadas para o melhoramento.

2.2.3. Quantificação da biomassa e concentração de nutrientes da parte aérea

Em julho de 2013, 16 meses após o plantio das leguminosas, foi realizada a coleta das amostras para a quantificação da biomassa da parte aérea pelo método direto, consistindo no corte e pesagem do material. Em cada sub-parcela foi demarcada uma área útil de 2 m x 2 m (4 m²), de onde as espécies e a regeneração natural foram cortadas ao nível da superfície do solo e separadas em material foliar e material lenhoso (troncos + galhos), para posterior pesagem em balança tipo relógio de 25kg. Subamostras de aproximadamente 300g (material foliar) e 600g (material lenhoso) do material coletado foram pesadas no campo em balança de digital com precisão de 0,01g, e transportadas para o laboratório para a determinação da massa seca. Em seguida, as subamostras foram moídas, em moinho tipo Willey, para determinação da concentração de carbono e nitrogênio, em analisador elementar Leco CNS 2000, e de fósforo, por colorimetria (MURPHY & RILEY, 1962). Para as estimativas dos estoques de carbono, nitrogênio e fósforo contidos na parte aérea, a concentração de nutrientes foi multiplicada pelos dados de biomassa seca de cada compartimento.

2.2.4. Decomposição dos resíduos vegetais das espécies

Para a avaliação da decomposição e quantidade de nutrientes nos resíduos triturados, foi utilizado o método das bolsas de decomposição – *litter bags* (CARVALHO et al., 2008; DOUGLAS JUNIOR et al., 1980; MORAES, 2001). As bolsas foram confeccionadas com material de náilon, com dimensões de 20 cm x 20 cm, com malha de 1 mm de abertura (BERG e LASKOWSKI, 2006). As bolsas de decomposição foram distintamente preenchidas com dois tipos de materiais, sendo cerca de 50 g de material fresco foliar e cerca de 50 g de material fresco lenhoso (troncos e galhos) da espécie da respectiva parcela, assim como da regeneração natural no tratamento controle. Posteriormente, as bolsas foram dispostas aleatoriamente na superfície do solo de cada subparcela.

No total foram instaladas 1.024 bolsas, sendo que em cada subparcela foram distribuídas 16 bolsas de material foliar e 16 bolsas de material lenhoso. Duas bolsas de cada tipo de material foram aleatoriamente coletadas em cada subparcela nos seguintes períodos: 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 dias após a instalação das bolsas.

Os materiais recolhidos do campo foram acondicionados em sacos de papel kraft devidamente identificados para que não houvesse perda de resíduo durante o transporte para o laboratório. Após limpeza para retirada de terra, raízes, resíduos de animais e

outras impurezas aderidas, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir peso constante. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey, para análise da concentração de carbono e nitrogênio como descrito no item 2.2.3.

2.2.5 Análise estatística

O delineamento experimental foi blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com quatro repetições; parcelas e subparcelas foram representadas pelas espécies e níveis de adubação, respectivamente. Foram testados os efeitos de espécies, adubação e interação espécies x adubação sobre as variáveis estudadas por meio da análise de variância (teste F) de dois fatores no programa Assistat STATISTICA 8.0 (2007).

Quando necessário, os dados foram transformados (raiz quadrada) para atender a pressupostos de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. No entanto os resultados foram apresentados com média e erro padrão originais. Quando constatado efeito significativo ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

2.3. RESULTADOS

A biomassa (foliar, lenhosa, total) foi afetada significativamente por espécies, adubação e interação espécies x adubação. Com adubação fosfatada, a biomassa foliar foi 40% maior no tratamento *R. mangium* do que nos demais tratamentos, porém não diferiu significativamente do tratamento *I. edulis* (Figura 1A). Sem adubação fosfatada, a biomassa foliar foi 6% maior no tratamento *R. mangium* do que nos tratamentos *C. cajan* e *I. edulis* e intermediária na regeneração natural (Figura 1A). Nos tratamentos *R. mangium*, *C. cajan* e *I. edulis*, a biomassa foliar foi significativamente maior nas subparcelas adubadas em relação às não adubadas (Figura 1A). Em relação às subparcelas sem adubação, a biomassa foliar foi 37%, 79% e 60% maior em *R. mangium*, *I. edulis*, e *C. cajan* nas subparcelas adubadas; a biomassa da regeneração natural não variou em relação à adubação.

Os resultados de biomassa lenhosa e biomassa total seguiram o mesmo padrão de variação em relação ao efeito de espécies e de adubação. Sem adubação, a biomassa lenhosa de *R. mangium* foi 89% maior do que a da regeneração natural e com adubação 76%. *R. mangium*, *C. cajan* e *I. edulis* e regeneração natural apresentaram maior

biomassa lenhosa e total com adubação do que sem adubação, 65%, 84%, 91% e 85% respectivamente. Nos tratamentos adubados, o tratamento *R. mangium* apresentou maior (13,40%) biomassa ($32,17\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) lenhosa, sendo significativamente superior as demais espécies melhoradoras e a regeneração natural (Figura 1B). Nos tratamentos não adubados, a espécie *R. mangium* obteve maior (64%) biomassa lenhosa ($11,22\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em relação as demais espécies melhoradoras e a regeneração natural, que não diferiram entre si (Figura 1B). A biomassa lenhosa foi significativamente maior nas subparcelas adubadas em relação às não adubadas nos tratamentos *R. mangium* e *I. edulis* (Figura 1B). Quanto à biomassa total, nos tratamentos adubados, e não adubados seguiram o mesmo padrão de variação que a biomassa lenhosa.

Os valores de estoque de N na biomassa da parte aérea (folha, caule + ramos), estão apresentados na Figura 2. No compartimento folha dentre os tratamentos submetidos à adubação fosfatada, as espécies melhoradoras *R. mangium* e *I. edulis* apresentaram maior estoque de N, 74% e 57% em relação aos demais tratamentos, *C. cajan* e regeneração natural, que apresentaram os menores valores, respectivamente (Figura 2A). Dentre os tratamentos não adubados, a espécie *R. mangium* apresentou maior (67%) estoque de N em relação a regeneração natural (Figura 2A). O estoque de N foi maior com a adubação fosfatada nas espécies melhoradoras, 47% *R. mangium*, 61% em *C. cajan* e 84% em *I. edulis*; em relação aos tratamentos sem adubação (Figura 2A). No compartimento lenhoso, nos tratamentos adubados e não adubados a espécie *R. mangium* apresentou 82% e 87% maior estoque de N respectivamente em relação a regeneração natural (Figura 2B). Houve efeito da adubação em todos os tratamentos adubados, sendo as espécies *R. mangium* 80%, *C. cajan* 85%, *I. edulis* 91%, e a regeneração natural 80% superiores em relação aos tratamentos não submetidos a adubação (Figura 2B).

Quanto ao estoque de P na biomassa foliar, não houve diferença significativa nos tratamentos sem adubação (Figura 3A). Com adubação a espécie *R. mangium* apresentou maior estoque de P sendo 53% superior ao tratamento regeneração natural submetido a adubação (Figura 3A). Houve efeito da adubação fosfatada nas espécies melhoradoras *R. mangium* e *I. edulis*, sendo 71% e 91% superiores aos tratamentos não adubados respectivamente (Figura 3A). O estoque de P na biomassa lenhosa houve efeito da adubação somente nas espécies melhoradoras sendo *R. mangium*, 76%, *C. cajan* 91% e *I. edulis* 96% superiores respectivamente aos tratamentos não adubados (Figura 3B).

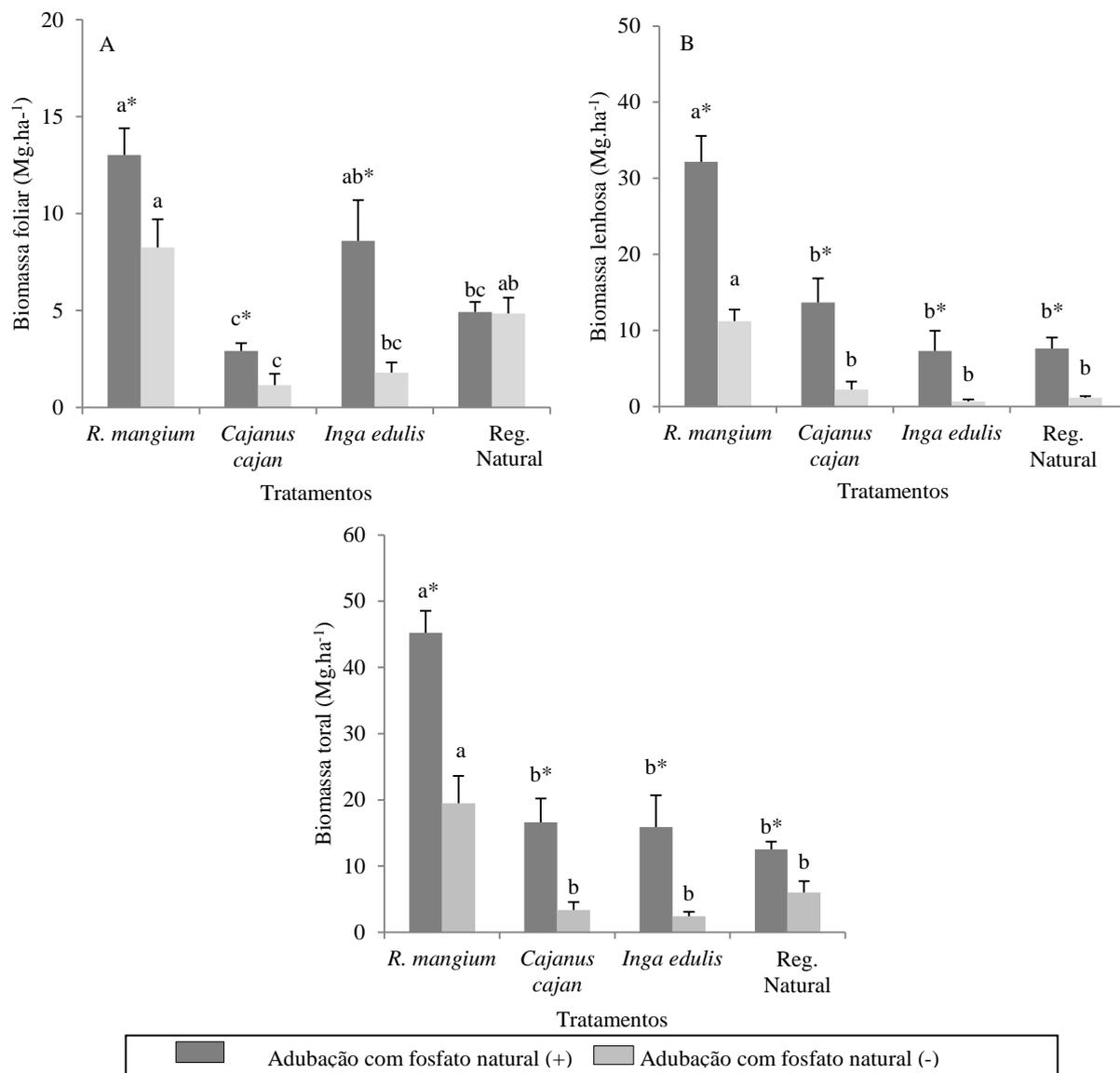


Figura 1. Efeito da adubação fosfatada sobre a biomassa foliar (A), lenhosa (B) e total (C) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. As barras de erro indicam desvio padrão da média (n = 4). O (*) indica diferença significativa entre os subtratamentos e as letras entre as espécies.

Dentre os tratamentos submetidos à adubação fosfatada, *R. mangium* apresentou maior estoque de C na biomassa foliar, sendo 64% superior ao tratamento regeneração natural (Figura 4A). Quanto aos tratamentos que não receberam adubação, a espécie *R. mangium* apresentou maior valor de estoque de carbono, sendo 46% superior em relação a regeneração natural e 87% em relação a *C. cajan* (Figura 4A). *R. mangium* e *I. edulis* apresentaram estoque de carbono maior nas subparcelas adubadas, sendo 35% e 79%

superiores em relação aos tratamentos não adubados (Figura 4A). Na biomassa lenhosa dentre os tratamentos submetidos à adubação, *R. mangium* maior estoque de carbono, sendo 76% superior em relação a regeneração natural (Figura 4B). Comportamento semelhante também foi encontrado nos tratamentos sem adubação, onde *R. mangium* foi 90% superior em relação a regeneração natural (Figura 4B). Houve efeito da adubação em todos os tratamentos submetidos a adubação sendo *R. mangium* 65%, *C. cajan* 84%, *I. edulis* 90%, e a regeneração natural 85% superiores aos tratamentos não adubados (Figura 4B).

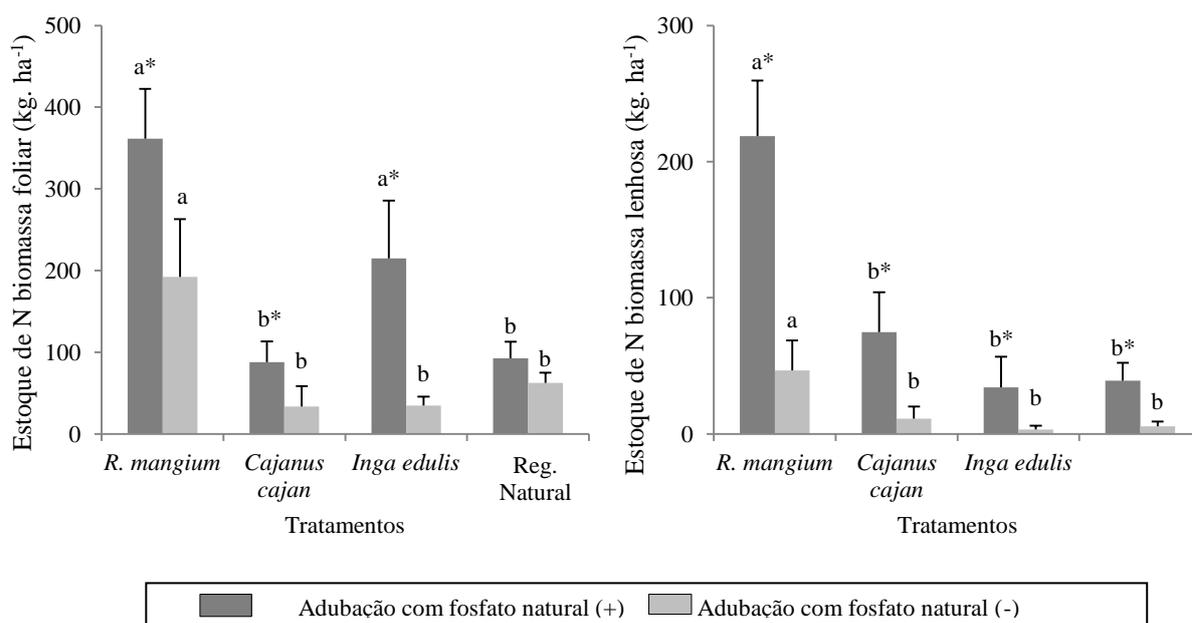


Figura 2. Estoque de nitrogênio na biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. As barras de erro indicam desvio padrão da média (n = 4). O (*) indica diferença significativa entre os subtratamentos e as letras entre as espécies.

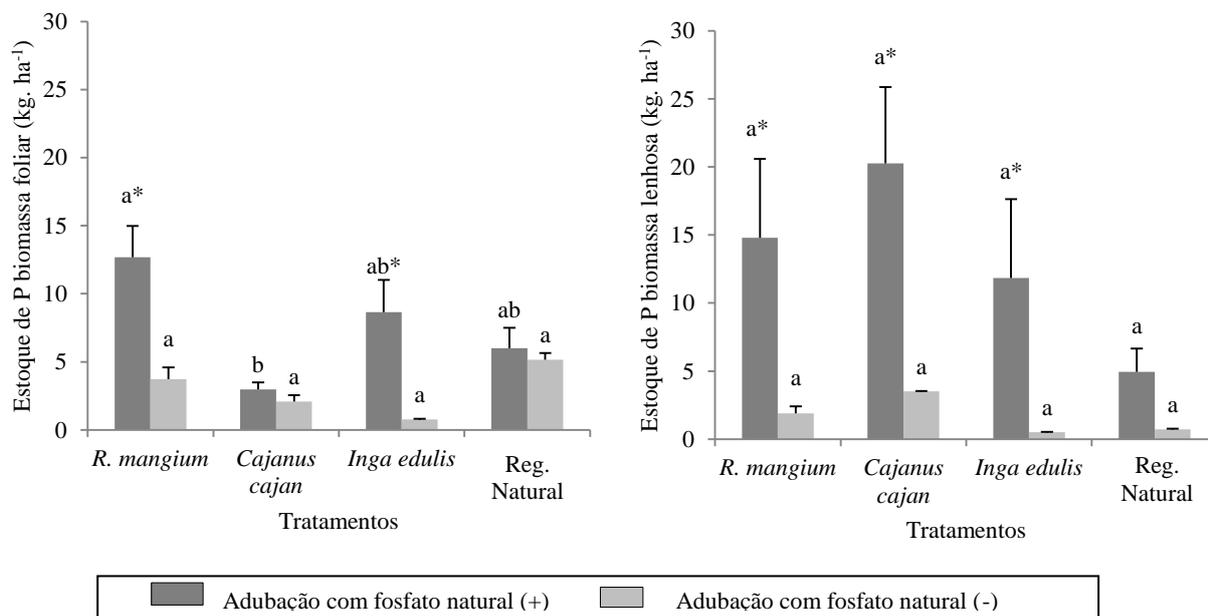


Figura 3. Estoque de fósforo biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. As barras de erro indicam desvio padrão da média (n = 4). O (*) indica diferença significativa entre os subtratamentos e as letras entre as espécies.

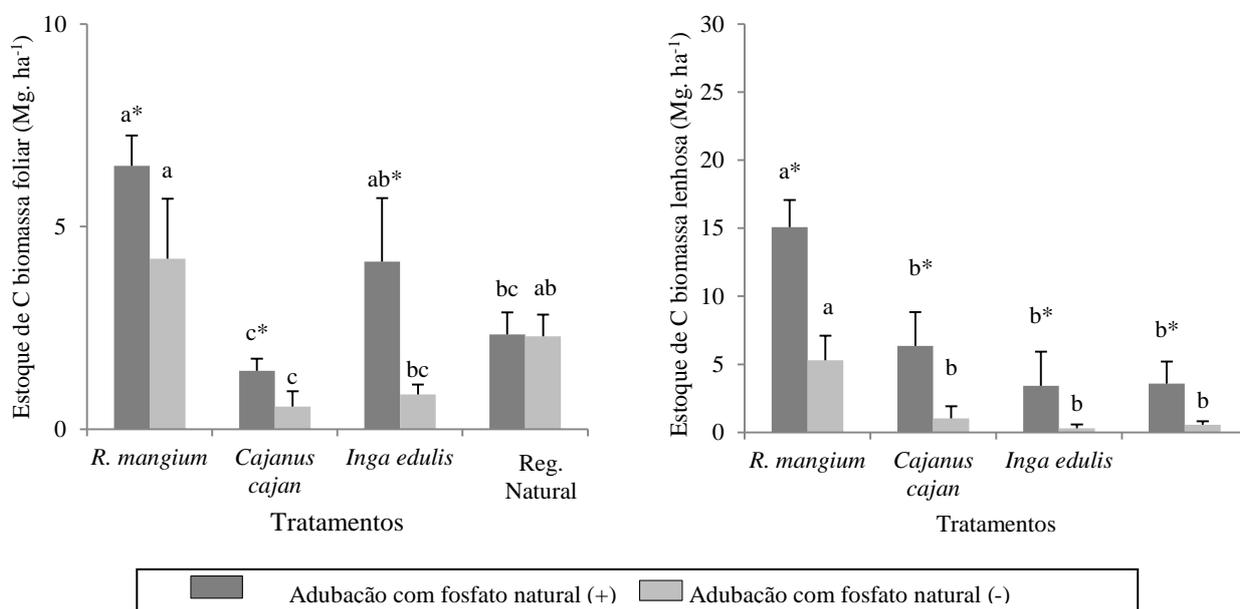


Figura 4. Estoque de carbono biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. As barras de erro indicam desvio padrão da média (n = 4). O (*) indica diferença significativa entre os subtratamentos e as letras entre as espécies.

Nos tratamentos submetidos à adubação fosfatada as maiores concentrações de N foliar foram nas espécies melhoradoras 31% para *R. mangium*, 35,61% para *C. cajan* e

27% para o *I. edulis* em relação a regeneração natural, já o efeito da adubação foi maior nos tratamentos, *R. mangium* 17%, 26% *I. edulis* e na regeneração natural em relação aos tratamentos não adubados (Figura 5A). No compartimento lenhoso, não houve diferença entre os tratamentos não submetidos à adubação, nos tratamentos submetidos a adubação a espécie melhoradora *R. mangium* apresentou 30% maior concentração de nitrogênio em relação a regeneração natural, assim como o efeito da adubação fosfatada foi somente nessa espécie, com concentração 47% superior em relação ao tratamento não adubado (Figura 5B).

Quanto as concentrações de carbono no material foliar, nos tratamentos não submetidos a adubação fosfatada a espécie *R. mangium* foi 7,5% superior, em relação à regeneração natural (Figura 7A). Nos tratamentos submetidos à adubação as espécies melhoradoras foram, superiores, sendo *R. mangium* 5%, *C. cajan* 4% e *I. edulis* 2% superiores em relação a regeneração natural (Figura 7A). O efeito da adubação fosfatada foi somente na espécie *C. cajan*, sendo 4% superior em relação ao tratamento não adubado (Figura 7A). Não houve diferença significativa para os tratamentos não adubados e os tratamentos adubados, quanto ao material lenhoso assim como também não efeito da adubação nos tratamentos não adubados (Figura 7B).

Quanto à relação C:N do material foliar nos tratamentos não adubados a espécie *C. cajan* apresentou 50% menor relação C:N em relação à regeneração natural (Figura 8A). Quando submetidos à adubação a relação C:N foi menor nas espécies melhoradoras, sendo *R. mangium* 30%, *C. cajan* 36% e *I. edulis* 28% em relação a regeneração natural (Figura 8A). O efeito da adubação fosfatada na relação C:N do material foliar foi significativo nas espécies *R. mangium*, *I. edulis* e a regeneração natural sendo, 18%, 25% e 30%, menor em relação aos tratamentos não adubados respectivamente (Figura 8A). No material lenhoso a relação C:N nos tratamentos não adubados não diferiu significativamente (Figura 8B). Nos tratamentos adubados a espécie *R. mangium* apresentou menor relação C:N sendo 31% menor em relação a regeneração natural, assim como houve efeito da adubação fosfatada somente nessa espécie sendo 40% menor em relação ao tratamento sem adubação (Figura 8B).

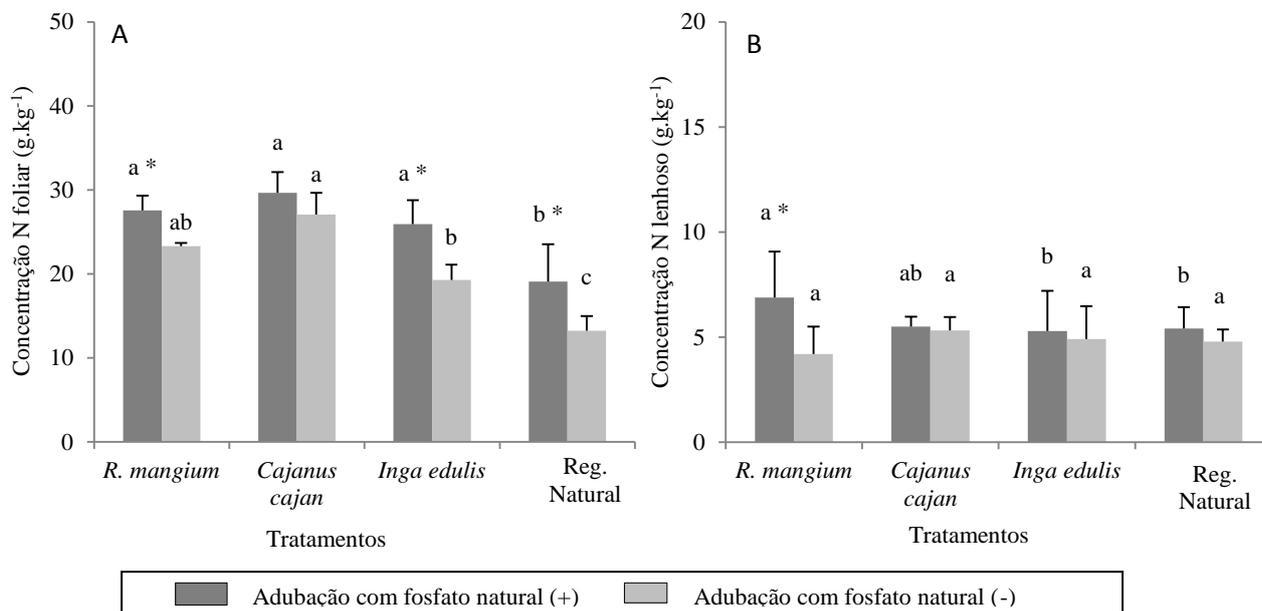


Figura 5. Concentração de nitrogênio na a biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. As barras de erro indicam desvio padrão da média (n = 4). O (*) indica diferença significativa entre os subtratamentos e as letras entre as espécies.

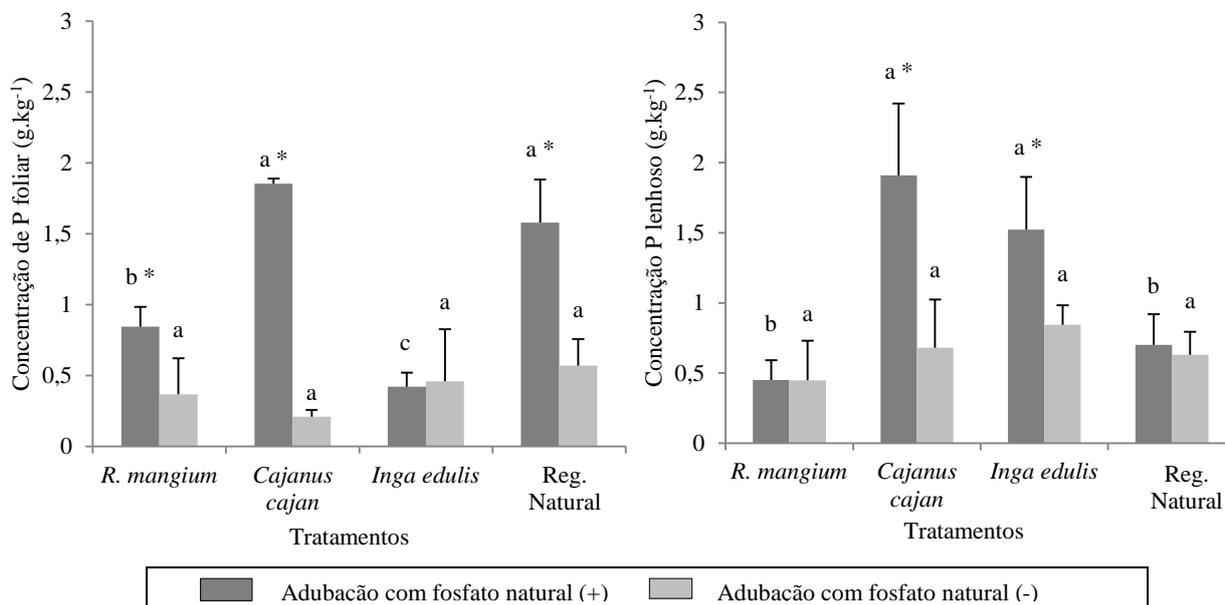


Figura 6. Concentração de fósforo na a biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. As barras de erro indicam desvio padrão da média (n = 4). O (*) indica diferença significativa entre os subtratamentos e as letras entre as espécies.

Quanto a relação C:P do material foliar nos tratamentos sem adubação fosfatada a regeneração natural teve menor relação C:P quando comparado aos demais tratamentos

(Figura 9A). Nos tratamentos submetidos à adubação a relação C:P foi significativamente menor nos tratamentos *R. mangium*, 48%, *C. cajan* 75%, e regeneração natural 71% em relação a espécie *I. edulis* (Figura 9A). Houve efeito da adubação em todos os tratamentos submetidos a adubação, em relação aos tratamentos sem adubação (Figura 9A). No material lenhoso nos tratamentos sem adubação a relação C:P foi menor, 54%, 54% e 35% respectivamente nos tratamentos *C. cajan*, *I. edulis*, e na regeneração natural em relação a espécie *R. mangium* (Figura 9B). Nos tratamentos com adubação as espécies *C. cajan* e *I. edulis* apresentaram menores valores 64% e 55%, respectivamente em relação a regeneração natural, no entanto a espécie *R. mangium* apresentou maior relação C:P em relação a regeneração natural (Figura 9B). Também houve efeito da adubação fosfatada em *C. cajan* e *I. edulis*, sendo 54% e 42% menor em relação aos tratamentos sem adubação respectivamente (Figura 9B).

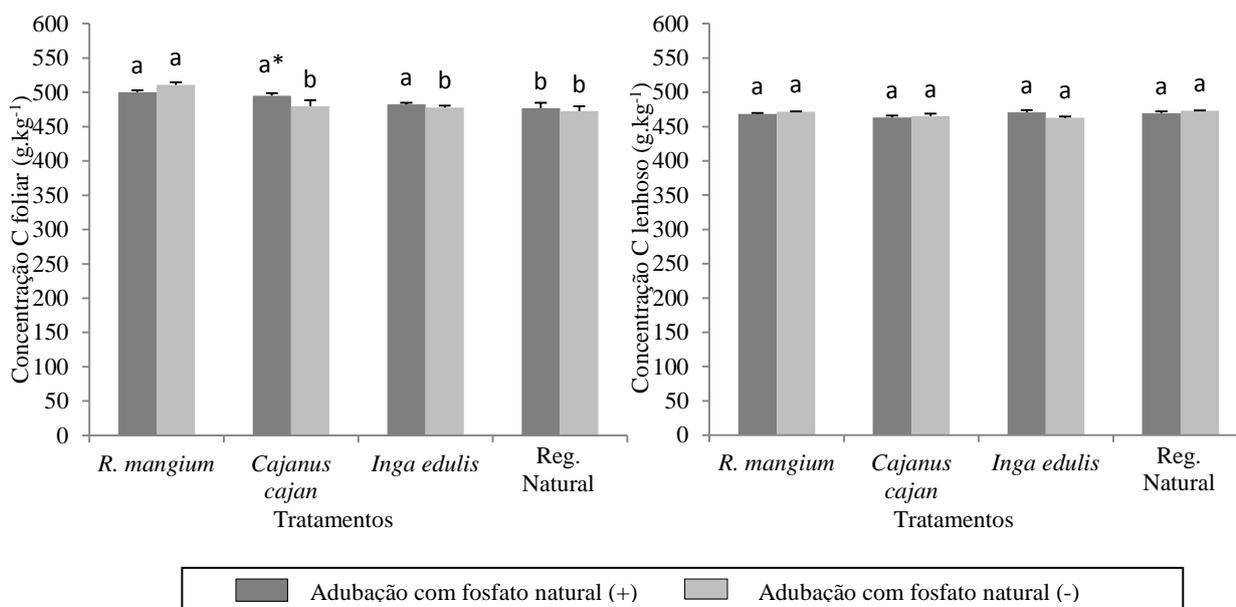


Figura 7. Concentração de carbono na a biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. As barras de erro indicam desvio padrão da média (n = 4). O (*) indica diferença significativa entre os subtratamentos e as letras entre as espécies.

Quanto a relação N:P no material foliar, nos tratamentos sem adubação a maior relação foi na espécie *C. cajan* sendo 34% maior em relação a regeneração natural (Figura 10A). Nos tratamentos submetidos à adubação a espécie *I. edulis* apresentou maior relação N:P sendo 34% em relação a regeneração natural (Figura 10A). Quanto ao efeito da adubação fosfatada os tratamentos *R. mangium*, *C. cajan* e regeneração

natural tiveram menor relação N:P em relação aos tratamentos não adubados (Figura 10A). No material lenhoso nos tratamentos sem adubação não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 10B). Nos tratamentos adubados a espécie *R. mangium* apresentou maior (19%) relação N:P quando comparado a regeneração natural (Figura 10B). O efeito da adubação foi somente nas espécies melhoradoras sendo *R. mangium*, *C. cajan* e *I. edulis*, superiores em relação aos tratamentos não adubados (Figura 10B).

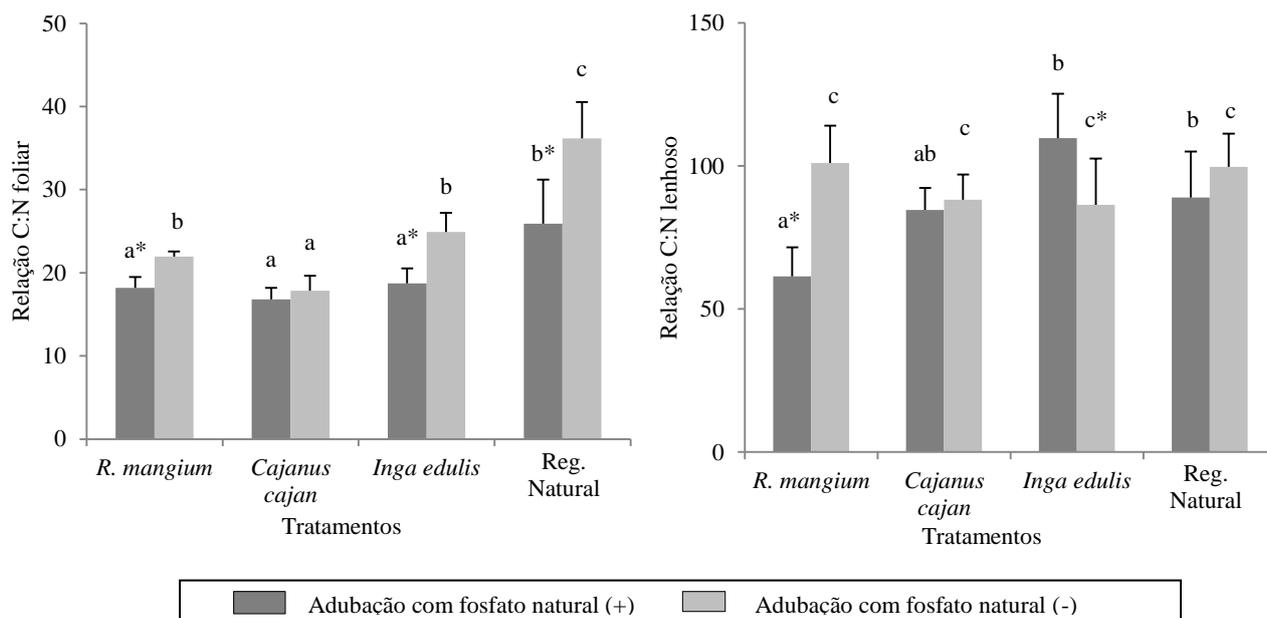


Figura 8. Relação C:N na biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. As barras de erro indicam desvio padrão da média (n = 4). O (*) indica diferença significativa entre os subtratamentos e as letras entre as espécies.

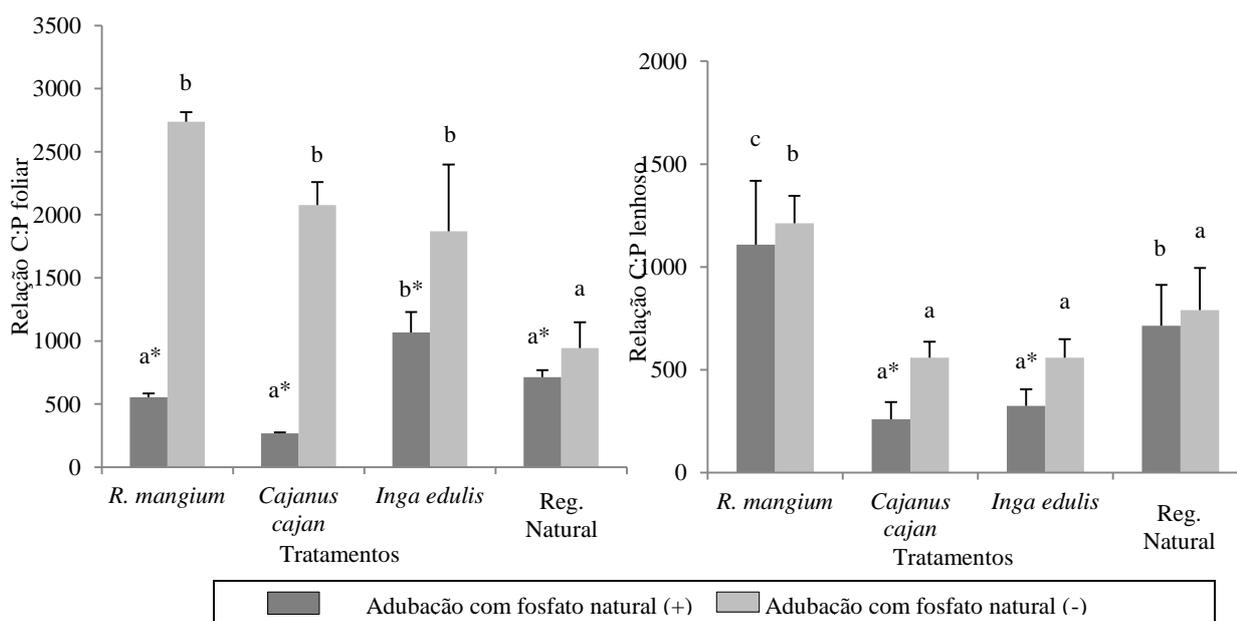


Figura 9. Relação C:P na biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. As barras de erro indicam desvio padrão da média (n = 4). O (*) indica diferença significativa entre os subtratamentos e as letras entre as espécies.

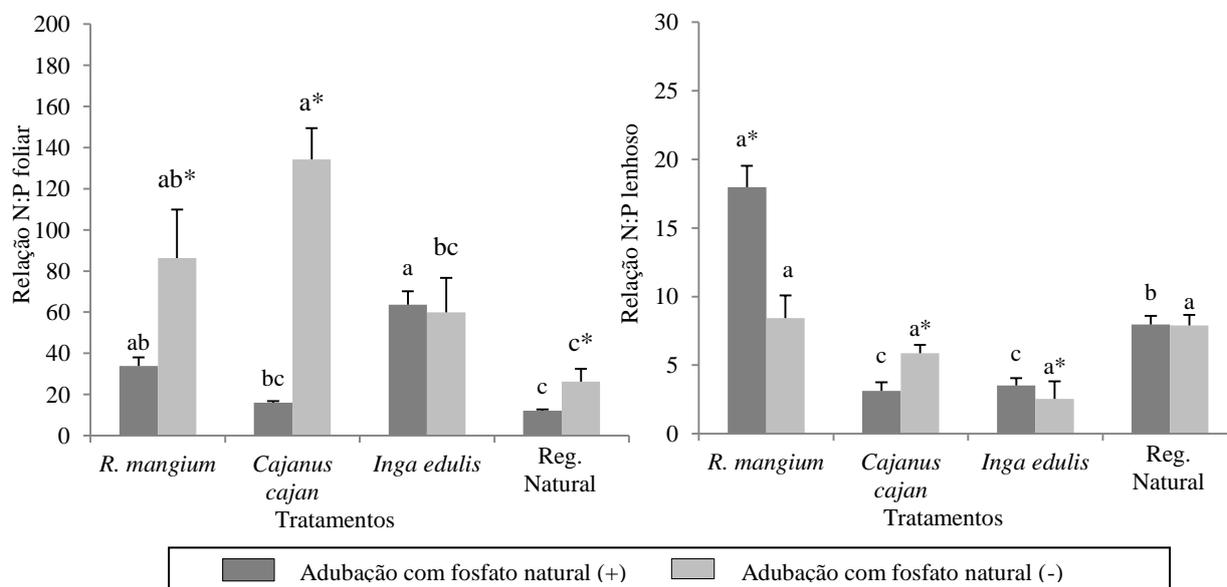


Figura 10. Relação N:P na biomassa foliar (A) e lenhosa (B) da parte aérea de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. As barras de erro indicam desvio padrão da média (n = 4). O (*) indica diferença significativa entre os subtratamentos e as letras entre as espécies.

A percentagem de massa remanescente do material foliar é apresentado na Figura 11. Dentre os tratamentos em que não houve adubação, o tratamento *C. cajan*, obteve a maior perda de massa durante todo o período de estudo (Figura 11), e os demais tratamentos, obtiveram comportamento semelhante. Com a aplicação da adubação, não houve muita diferença, para os tratamentos que não foram submetidos a mesma e o comportamento foi semelhante, com o tratamento *C. cajan* apresentado maior perda de massa e *R. mangium* menor perda (Figura 11).

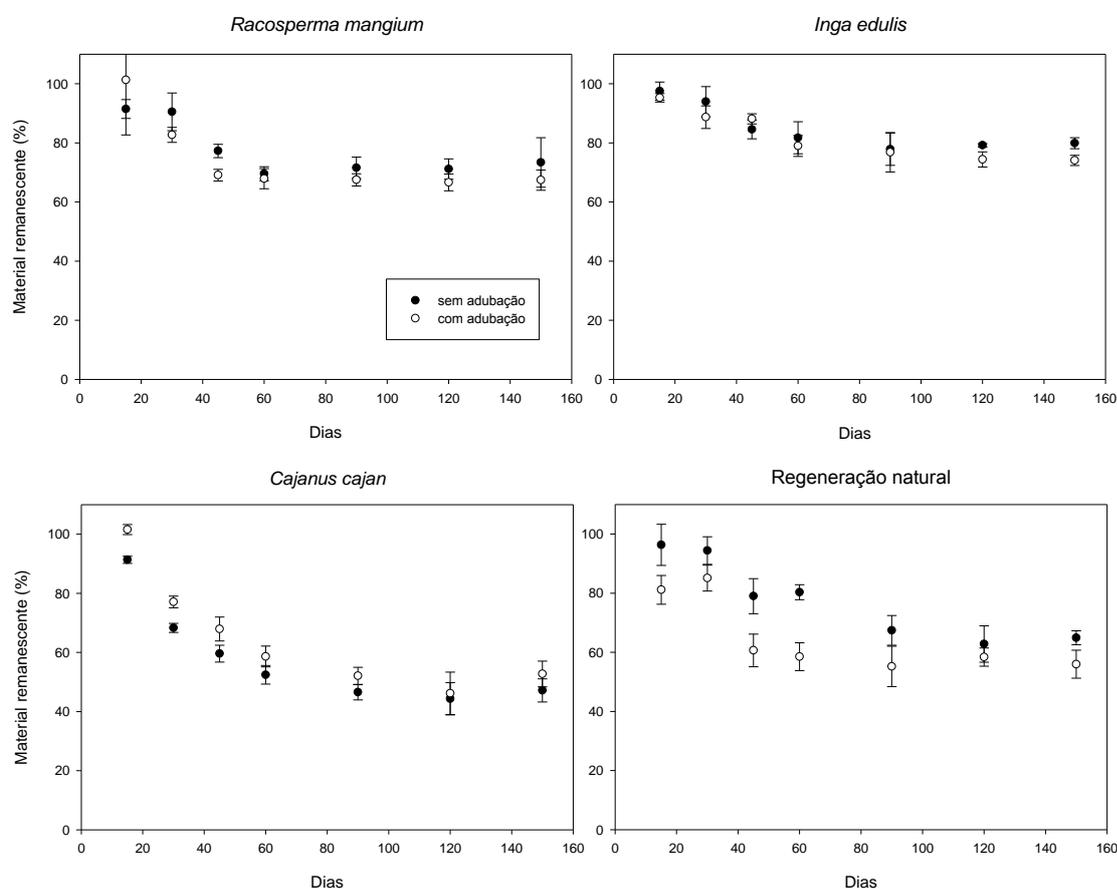


Figura 11. Variação temporal de material remanescente de folhas de espécies plantadas e regeneração natural, em bolsas de decomposição instaladas em Igarapé-Açu, Pará.

Tabela 1. Percentagem de massa remanescente e relação C/N, aos 150 dias, do período de decomposição, no material foliar de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. Letras minúsculas compararam entre coluna e letras maiúsculas entre linhas. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Variáveis	Material Foliar (150 dias)			
	% Massa remanescente		Relação C/N	
	+P	-P	+P	-P
<i>Racosperma mangium</i>	65,79 abA	73,37 aA	15,72 aA	19,24 bcA
<i>Cajanus cajan</i>	52,73 bA	45,35 bA	14,48 aA	15,83 cA
<i>Inga edulis</i>	71,97 aA	79,9 aA	18,47 aB	23,3 bA
Regeneração natural	55,96 abA	63,3 abA	18,68 aB	29,39 aA

Os dados ao final do período de decomposição (150 dias) o percentual de massa remanescente do material foliar são apresentados na tabela 2. Dentre os tratamentos que não foram submetidos à adubação fosfatada houve diferença significativa para o

tratamento *C. cajan*, onde este apresentou maior perda de massa (45,35 %), em relação aos tratamentos *R. mangium*, *I. edulis* e regeneração natural (73,37 %, 79,90% e 63,30) (Tabela 1). Dentre os tratamentos que foram submetidos à adubação, o tratamento *C. cajan*, apresentou maior perda de massa (52,73 %), enquanto que *R. mangium* e regeneração natural apresentaram valores intermediários (65,79% e 55,96%) e *I. edulis*, apresentou maior persistência a decomposição (71,97%) (Tabela 1). Dentre os subtratamentos, não houve diferença significativa, quanto ao efeito da adubação (Tabela 1).

Os gráficos de massa remanescente do material lenhoso (caule + ramos) são apresentados na figura 15 e 16. O tratamento *I. edulis* foi o que obteve a maior perda de massa, enquanto que os tratamentos *R. mangium* e *C. cajan*, durante o processo de decomposição, foram as que mais persistiram na superfície do solo.

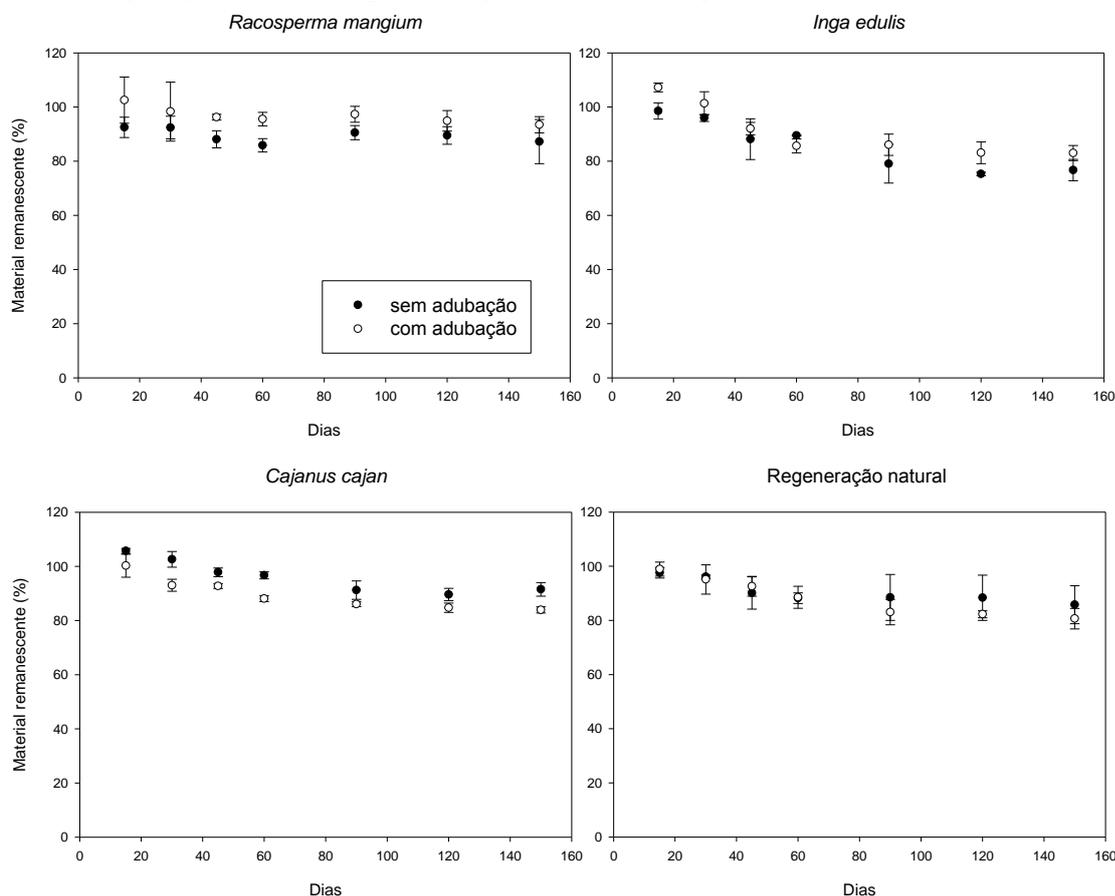


Figura 12. Variação temporal de material remanescente de (galhos + troncos) de espécies plantadas e regeneração natural, em bolsas de decomposição instaladas em Igarapé-Açu, Pará.

Os dados ao final do período de decomposição (150 dias) o percentual de massa remanescente do material lenhoso são apresentados na tabela 3. Dentre os tratamentos que não foram submetidos à adubação a espécie *I. edulis* apresentou menor percentual

de massa remanescente (73, 63%), com os tratamentos regeneração natural e *R. mangium* apresentando valores intermediários (84,47% e 85,12%) respectivamente e *C. cajan* o menor perda de massa (91,80%) (Tabela 3). Dentre os tratamentos que foram submetidos à adubação não houve diferença significativa (Tabela 2). Comparando apenas as subparcelas que foram submetidas ou não adubação, apenas a espécie *I. edulis* apresentou menor percentual de massa remanescente (73,63%), quando esta não foi submetida a adubação(Tabela 2).

Tabela 2. Percentagem de massa remanescente e relação C/N, aos 150 dias, do período de decomposição, do material lenhoso (caule + ramos) de pousios melhorados com *Racosperma mangium*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*, em comparação com a regeneração natural, aos 16 meses de idade, em Igarapé-Açu, Pará. Letras minúsculas compararam entre coluna e letras maiúsculas entre linhas. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Variáveis	Material Lenhoso (150 dias)			
	% Massa remanescente		Relação C/N	
	+P	-P	+P	-P
Tratamentos/Subtratamentos				
<i>Racosperma mangium</i>	87,25 aA	85,12 abA	60,74 aA	79,75 abA
<i>Cajanus cajan</i>	83,91 aA	91,8 aA	62,01 aA	68,56 abA
<i>Inga edulis</i>	82,97 aA	73,63 bB	62,79 aA	60,95 bA
Reg. Natural	79,13 aA	84,47 abA	71,75 aA	90,41 aA

2.4. DISCUSSÃO

Sem adubação, a biomassa total da parte aérea de *R. mangium* (19,47 Mg.ha⁻¹) foi 39,14% superior a das outras espécies melhoradoras e da regeneração natural, confirmando o elevado potencial de crescimento e acúmulo de biomassa dessa espécie na Amazônia, sob mesmas condições, a produção da biomassa acumulada em 24 meses de pousio de cinco espécies de leguminosas variou de 55,6 t/ha a 27,2 t/ha, sendo a espécie *R. mangium* apresentou o maior acúmulo de biomassa (Brienza Júnior et al., 1999). Denich (2000), em estudo realizado em outra localidade no município de Igarapé-Açu, constatou que a produção média de biomassa total de capoeiras de quatro e cinco anos foi de 19,9 t/ha, abaixo da produção quando a capoeira é enriquecida com *R. mangium* como é o caso deste estudo.

Dentre os tratamentos submetidos à adubação fosfatada, a espécie *R. mangium* foi a que apresentou maior acúmulo de biomassa total, quando comparada aos outros tratamentos também submetidos à adubação 63% em relação ao *C. cajan*, 64,85% em relação ao *I. edulis* e 72% em relação a regeneração natural. Catie (1992) observou que

em ensaios com *R. mangium*, houve resposta à aplicação de fósforo, ou seja, de 64% na altura e de 65% na produção de biomassa. A espécie *I. edulis*, quando foi submetida à adubação fosfatada o seu acúmulo de biomassa foi 80% superior em relação ao substrato em que não houve aplicação do fosfato, Rangel-Vasconcelos (2011) em estudos realizados com esta mesma espécie e mesma fonte de fósforo também obteve maior produção de biomassa, quando comparado ao tratamento sem adubação fosfatada. A adubação fosfatada também teve efeito significativo no incremento da biomassa da espécie *C. cajan*, sendo 80% superior em relação ao tratamento não adubado dessa mesma espécie, isso indica uma eficiência dessa espécie no aproveitamento dessa fonte de fósforo, como já foi reportado por Veiga et al., (2012). De forma geral as espécies melhoradoras responderam à adubação fosfatada, o aumento na biomassa foliar era esperado, pois o fósforo é um elemento essencial ao crescimento e reprodução das plantas (Marschner, 1995), além disso, a biomassa da parte aérea é uma característica importante, porque as folhas constituem uma das principais fontes de fotoassimilados e nutrientes, ingredientes vitais para o desenvolvimento da planta (Sarmiento et al., 2002) já o efeito positivo da adubação fosfatada no incremento de biomassa é importante principalmente em casos onde os teores de fósforo no solo são baixos (Souza et al., 2004). Provavelmente esta espécie demandam maiores quantidades de P para suprir a demanda energética envolvida no processo de fixação biológica de N (Szott; Kass, 1993). Isto se deve, pois o fósforo desempenha papel importante nos diversos processos metabólicos e transferência de energia entre as plantas (Marschner, 1995).

Quanto ao estoque de N, o pousio melhorado com espécie de leguminosas arbóreas, maiores entradas de nitrogênio no sistema são esperadas, devido à fixação biológica do nitrogênio atmosférico (Gehring et al., 2005). No entanto, o fósforo pode limitar esse processo (fixação biológica), pois devido sua disponibilidade em solos tropicais ser baixa há a necessidade de grandes quantidades deste elemento no solo. Dessa forma a adubação fosfatada é importante para se alcançar maiores valores de acúmulo de biomassa e nutrientes como o N e o P no sistema.

O melhoramento do pousio com adição de nutrientes como o N é significativa quando comparada a regeneração natural, no presente estudo a espécie *R. mangium* apresentou maior estoque de N tanto em sua biomassa foliar (67%) como lenhosa (87%) com 16 meses de idade. Em capoeiras de 21 meses, melhoradas com *Acacia auriculiformis*, foram observados acúmulos médios de N entre 180 – 220 kg. ha⁻¹ (Sá e Alegre 2001), resultados semelhantes ao observado no presente estudo.

A espécie *R. mangium* apresentou baixa concentração de P tanto em seu material foliar, como no seu material lenhoso. No entanto com a presença da adubação fosfatada seu estoque de P foi maior (53%) em relação à regeneração natural, isso pode ter ocorrido devido a sua produção de biomassa na parte aérea, este fator pode ter influenciado o estoque de P (de Oliveira & de Carvalho., 2009). Assim como o baixo estoque de P em *C. cajan* pode ter sido influenciado também, pelo seu baixo acúmulo de biomassa no material foliar. As espécies melhoradoras apresentaram maior estoque de P em sua biomassa foliar, com exceção do guandu que foi explicado anteriormente, e em sua biomassa lenhosa, Raij (1991) comentou que o P estimula o desenvolvimento radicular, e as leguminosas por sua vez, dependem da simbiose como fonte de N, logo requer um alto teor de P no solo para suprir as demandas de energia nos processos de fixação biológica do N₂.

A espécie *R. mangium* apresentou maior estoque de carbono nos tratamentos não adubados, de acordo com Denich, Kanashiro e Vlek (1999), o pousio melhorado com o plantio de leguminosas de rápido crescimento acumulam carbono, e o pousio melhorado com *Racosperma mangium* são os que apresentam maior sequestro de carbono. O maior estoque de carbono na biomassa da parte aérea nos tratamentos adubados era esperado, as adições de N e/ou P tiveram um efeito significativo e positivo no acúmulo de biomassa (Zarin et al., 2005) conseqüentemente maior estoque de carbono.

De maneira geral o intervalo de resultados encontrado nesse estudo para as concentrações de N e P é comparável ao verificado na literatura para espécies de leguminosas arbóreas (Queiroz et al., 2007 & Rangel-Vasconcelos et al., 2016). Quanto à concentração de N, dentre os tratamentos não adubados a espécie *C. cajan*, apresentou maior concentração em seu material foliar, sendo 52% (27,5 g.kg⁻¹) superior em relação à regeneração natural, resultado semelhante ao encontrado por Cavalcante (2012), onde *C. cajan* apresentou um teor de N de 24,2 g.kg⁻¹ maior em relação a vegetação espontânea. De fato essa maior capacidade de absorção de N pelas leguminosas está associado às raízes dessas espécies com organismos como fungos micorrízicos e a liberação de ácidos orgânicos (Benedetti et al., 2005). A associação aumenta a capacidade de absorção de N por meio de interações quantitativas e qualitativas na população de fungos micorrízicos vesicular-arbusculares nativos do solo, pela liberação de exsudatos radiculares que estimulam a germinação de esporos e o crescimento dos fungos, permitindo um melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados ao solo, principalmente os fosfatados (Clarkson, 1985; Sieverding, 1991; Benedetti et al., 2005).

O fato da espécie *I. edulis* com adubação fosfatada ter apresentado menor concentração de P em seu material foliar vai de acordo com (Rangel-Vasconcelos et al., 2016), onde em estudo realizado na mesma região, essa espécie não apresentou eficiência quanto a concentração de P. Também em estudos realizados na mesma região, observou-se um aumento na concentração de P foliar na regeneração natural (Davidson et al., 2004, Gehring e Vlek., 2004), como mostrado nesse estudo. A espécie *C. cajan* apresentou maior concentração de P, tanto em seu material foliar, como em seu material lenhoso, essa espécie possui um sistema radicular profundo e ramificado que, além de torna-lo capaz em reciclar nutrientes, possibilita-o romper camadas adensadas de solos, como pé de arado, daí chama-lo de “arado biológico” (Solto et al., 2009), essa condição pode ter motivado uma maior concentração de P em seu material foliar e lenhoso. Souza (2008) trabalhando com doses crescentes de adubo fosfatado, encontrou na maior dose uma concentração de P no material foliar de *C. cajan* de $4,2 \text{ g.kg}^{-1}$, superior ao encontrado no presente estudo. A baixa concentração de P no material foliar e lenhoso de *R. mangium* pode-se considerar que está espécie atribui ativamente P as suas parte reprodutivas (Inagaki et al., 2011).

A baixa relação C:N no material foliar de *C.cajan* pode resultar em um assincronismo entre a liberação de nutrientes, como o N, dos seus resíduos vegetais e a demanda pela cultura em sucessão, eleva a taxa de decomposição, contribuindo para diminuição da eficiência em manter a umidade e proteção do solo, contra a erosão (Derpsch et al., 1985). Essa baixa relação C:N, também pode está relacionado ao baixo acúmulo de biomassa foliar, a baixa produção de biomassa nessa espécie pode está associada ao seu lento desenvolvimento, que possibilita o surgimento de plantas daninhas, acarretando em competição por água, luz e nutrientes (Almeida., 2001). O efeito da adubação na relação C:N, no caso uma baixa relação C:N em relação aos tratamentos não adubados, se deve a condições edafoclimáticas, um intenso período chuvoso aumenta a velocidade de incorporação dos fertilizantes no solo, o que contribui para a ação de microorganismos decompositores que aceleram a velocidade de decomposição. O fósforo em contato com esses resíduos pode facilitar ainda mais o processo, além de as leguminosas terem uma relação C:N estreita e ser um material de fácil decomposição, sua natureza nutricional também está contribuindo para acelerar o processo (Santos Collier., et al 2008).

A relação C:P pode ser utilizada para a avaliação de resistência da biomassa a decomposição (Soratto et al., 2012). Sem a presença da adubação fosfatada a reação C:P foi alta nas plantas melhoradoras, entre 2000 e 3000, com a adição do fosfato natural essa relação diminuiu (200 e 1000). As leguminosas já possuem uma relação C:N baixa, e o P em contato com os resíduos vegetais dessa espécie facilita a processo de decomposição, isso pode está relacionado a baixa relação C:P apresentada pelas plantas melhoradoras após a aplicação do fosfato natural (Santos Collier., et al 2008).

Nas espécies melhoradoras houve uma maior relação N:P nos tratamentos não submetidos a adubação fosfatada, plantas da espécie leguminosa possuem uma maior relação N:P (Townsend et al., 2007), e a espécie *C. cajan* apresentou maior relação N:P, esse fato pode ser explicado pois está espécie possui um sistema radicular profundo e ramificado, possibilitando uma maior absorção de nutrientes como já foi explicado anteriormente. Nos tratamentos submetidos a adubação fosfatada as leguminosas no geral responderam bem a adubação, com exceção da espécie *R. mangium* em seu material lenhoso, apresentou uma alta relação N:P, isso pode ser explicado pelo fato dessa espécie não ter apresentado altas concentrações de P em seu material lenhoso, como explicado anteriormente essa espécie atribui ativamente P as suas partes reprodutivas (Inagaki et al., 2011). Essa alta relação N:P apresentada nos tratamentos não submetidos a adubação fosfatada, esse fato pode ser explicado em um estudo realizado por Koerselman e Meuleman (1996) levantaram a hipótese que os índices de N:P podem indicar suas respostas ao fertilizante de forma semelhante a de toda vegetação: plantas com altos índices de N:P seriam reforçadas pela adubação com fósforo, e plantas com baixa relação N:P seriam reforçadas com adubação com N, e a faixa ideal de balanço entre esses dois nutrientes (N e P) pode ser entre 14 – 16.

Ao final do período de decomposição (150 dias), constatou-se que no material foliar o tratamento *C.cajan* foi o que apresentou maior perda de massa, isto pode estar ligado ao seu menor valor quanto à relação C/N, além disso, ao final do período de decomposição seu teor de nitrogênio no material foliar foi maior. O principal fator inerente aos resíduos vegetais para cobertura do solo que condiciona a velocidade de decomposição e de liberação de nutrientes é a relação C/N (Heinrichs et al., 2001).

Nesse estudo, por se tratar do uso de espécies de leguminosas, teoricamente seus resíduos devem ser decompostos em uma porcentagem mais acelerada do que a regeneração natural. Este fato está associado a menor relação C/N no tecido dessas plantas (Ceretta; Basso; Herbes, 2002), que por sua vez está diretamente relacionado

com o menor teor de lignina (Calegari et al., 1993), conferindo as leguminosas uma taxa mais acelerada de decomposição.

O alto teor de nitrogênio do tratamento *C. cajan* aos 150 dias em relação as outras espécies se deve ao fato desta espécie ter apresentado menor relação C/N, com isso a liberação desse nutriente foi maior, é importante destacar que apesar de não haver diferença significativa entre os tratamentos quanto a percentagem de nitrogênio no material lenhoso, os seus valores individuais das espécies leguminosas foram superiores ao tratamento regeneração natural. A relação C/N tem sido o característica mais usada em modelos para prever a disponibilidade de N no solo durante a decomposição de materiais orgânicos (Nicolardot et al., 2001). Para Allison (1966), materiais com valores de C/N entre 25 e 30 apresentam equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização. Tomando por base estes valores, as espécies utilizadas neste estudo podem apresentar uma maior mineralização de nutrientes devido a sua baixa relação C/N.

Quanto ao material lenhoso ter apresentado maiores valores quanto a relação C/N e menor perda de massa durante o processo de decomposição, isso já era esperado, pois por se tratar de um material com elevados teores de lignina, celulose e polifenóis, ação de microorganismos decompositores sofrerá mais resistência. No entanto as espécies de leguminosas continuaram tendo valores mais baixos da relação C/N e menor material decomposto durante a decomposição.

2.5. CONCLUSÕES

1. O acúmulo de biomassa, carbono e nutrientes como N e P das espécies melhoradoras utilizadas no pousio (*Racosperma mangium*, *Cajanus cajan* e *Inga edulis*) é limitado pela disponibilidade de fósforo no solo.

2. A espécie *Racosperma mangium* é mais eficiente quanto ao acúmulo de biomassa, carbono e nutrientes, como o nitrogênio, sob as condições experimentais desse estudo, tanto com adubação fosfatada ou não.

3. A adubação fosfatada afetou positivamente o acúmulo de biomassa e o estoque de carbono e nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo das plantas melhoradoras utilizadas nesse estudo, com destaque para a espécie *Racosperma mangium*.

4. A espécie *Cajanus cajan* foi a que apresentou as maiores concentrações de nutrientes como nitrogênio e fósforo.

5. Quanto ao processo de decomposição, as espécies de leguminosas sofreram maior de perda de massa de foliar e menor relação C/N comparados a regeneração natural, comprovando que as espécies de leguminosas possuem uma maior facilidade na decomposição da biomassa e liberação de nutrientes em relação à regeneração natural.

REFERÊNCIAS

ALLISON, F.E. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agronomy.*, 18:219-258, 1966.

ALMEIDA, V.P. **Sucessão de culturas em preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho sob vegetação de cerrado**. 2001. 71 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

ARAGÃO, D. V.; CARVALHO, C. J. R. de; KATO, O. R.; ARAÚJO, C. M.; SANTOS, M. T. P. dos; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. *Acta Amazonica*, v.42, n.1, p.11-18, 2012.

BARRIOS, E.; COBO, J. Plant growth, biomass production and nutrient accumulation by slash/mulch agroforestry systems in tropical hillsides of Colombia. *Agroforestry Systems*, v. 60, n. 3, p. 255–265, 2004.

BASAMBA, T. A.; BARRIOS, E.; SINGH, B. R.; RAO, I. M. Impact of planted fallows and a crop rotation on nitrogen mineralization and phosphorus and organic matter fractions on a Colombian volcanic-ash soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 77, n. 2, p. 127–141, 2007.

BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. N.; STEFFEN; R. B. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 4, n.1, p.44-51, 2005

BRIENZA Júnior, S. **Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in the Eastern Amazon of Brazil**. PhD. Gottingen University. Gottingen. 1999. 133p.

CALEGARI, A.; MONDANO, A.; BULISANI, E.A.; COSTA, M.B.B. da; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. 1993. **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, p. 1-56.

CATIE. **Acacia mangium Willd. Espécie de uso múltiple en América Central**. 1992.

CAVALCANTE, V. S.; SANTOS, V. R.; NETO, S.; DOS SANTOS, M. A.; DOS SANTOS, C. G.; COSTA, L. C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.16, n.5, 2012.

CLARKSON, N. T. **Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade**. In: ROSAND, P.C. (Ed.). Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos. Ilhéus: CEPLAC/ SBCS, 1985.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R. DE; VIEIRA, I. C. G.; et al. Nitrogen and Phosphorus Limitation of Biomass Growth in a Tropical Secondary Forest. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, p. 150–163, 2004.

DENICH, M.; VLEK, P.; DEABREUSA, T.; VIELHAUER, K.; LUCKE, W. A concept for the development of fire-free fallow management in the Eastern Amazon, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 110, n. 1–2, p. 43–58, 2005.

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M. S. D. A.; et al. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems: The experience from Eastern Amazonia. **Agroforestry Systems**, v. 61–62, n. 1–3, p. 91–106, 2004.

DENICH, M.; KANASHIRO, M.; VLEK, P. L. H. The potencial and dynamics of carbon sequestration in fallow systems of the Eastern Amazon. In: LAL, R.; KIMBLE J. M.; STWART, B. A. **Global Climate change and tropical ecosystems**. CRC Press, 2000. p.213-249.

DENICH, M.; KANASHIRO, M.; VLEK, P. L. G. The potential and dynamics of carbon sequestration in traditional and modified fallow systems of the Eastern Amazon region, Brazil. In: **Global climate change and tropical ecosystems**, Eds. Lal, R.; Kimble, J. M.; Stewart, B. A. Boca Raton, CRC, p. 213-229, 1999.

DE OLIVEIRA, P. C.; & DE CARVALHO, C. J. R. Reabsorção de nutrientes por espécies arbóreas acumuladoras de fósforo na Amazônia: influência na qualidade da serrapilheira. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, n.3, 2009.

DERPSCH, R. N. S., & HEINZMANN, F. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.20, n7, p. 761-773, 1985.

DOS SANTOS, U. M.; DE CARVALHO GONÇALVES, J. F.; FELDPAUSCH, T. R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in

tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 226, n. 1–3, p. 299–309, 2006.

GEHRING, C.; DENICH, M.; KANASHIRO, M.; & VLEK, P. L. Response of secondary vegetation in Eastern Amazonia to relaxed nutrient availability constraints. **Biogeochemistry**, v.45, n.3, p.223-241, 1999.

HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T. J. C.; FANCELLI, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 331-340, 2001.

GEHRING, C.; VLEK, P. L. G. Limitations of the N-15 natural abundance method for estimating biological nitrogen fixation in Amazonian forest legumes. **Basic and Applied Ecology**, v.5, n.6, p.567-580, 2004.

INAGAKI, M.; KAMO, K.; MIYAMOTO, K.; TITIN, J.; JAMALUNG, L.; LAPONGAN, J.; MIURA, S.. Nitrogen and phosphorus retranslocation and N: P ratios of litterfall in three tropical plantations: luxurious N and efficient P use by *Acacia mangium*. **Plant and Soil**, v.341, n.1-2, p. 295-307, 2011.

JÚNIOR, S. B. Enriquecimento de florestas secundárias como tecnologia de produção sustentável para a agricultura familiar. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 7, n. 3, p. 331–337, 2012.

KATO, M. do S. A.; KATO, O. R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: The role of fertilizers. *Field Crops Research*, 62, p.225-237, 1999.

KOERSELMAN, W.; MEULEMAN, A. F. M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. **Journal of Applied Ecology**, v.33, n.6, p.1441-1450, 1996.

LAWRENCE, D.; SCHLESINGER, W. H. Changes in the distribution of soil phosphorus during 200 years of shifting cultivation. **Ecology**, v.82, n.10, p.2769-2780, 2001.

MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: Macronutrients. H. Marschner. **Mineral Nutrition of higher plants**. 1995

MCGRATH, D. A.; DURYEA, M. L.; CROPPER, W. P. Soil phosphorus availability and fine root proliferation in Amazonian agroforests 6 years following forest conversion. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.83, n.3, p.271-284, 2001.

MURPHY J and RILEY JP. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27 31-36. 1962.

NICOLARDOT, B.; RECOUS, S. & MARY, B. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C/N ratio of the residues. **Plant Soil**, 228:83-103, 2001.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; KATO, O. R.; VASCONCELOS, S. S.; OLIVEIRA, F. D. A. Acúmulo De Biomassa E Nutrientes De Duas Leguminosas Arbóreas Introduzidas Em Sistema De Pousio Na Amazônia. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 735, 2016.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Agrônômica Ceres, 1991. p. 343.

RIBEIRO, R, G; ARRUDA, S, R; DA MOTA PEREIRA, C.; BARBOSA, S, P, F; FERNANDES, L, A; ALVARENGA, C, A, I. Crescimento do jatobá e de leguminosas arbóreas em diferentes espaçamentos, em área degradada. **Revista Caatinga**, v.23, n.4, 2010.

SÁ, TD de A.; ALEGRE, J. Práticas agroflorestais visando ao manejo de vegetações secundárias: uma abordagem com ênfase em experiências amazônicas. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 3, 2000, Manaus. Sistemas agroflorestais: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural: palestras. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001., 2000.

SANTOS COLLIER, L.; RIBEIRO CORREIA, M. A., NOGUEIRA RAMOS, L.; DE MELLO PRADO, R.; ALVES FLORES, R. (2008). Adubação fosfatada no sulco e em faixas sob palhada de leguminosa e produtividade de milho em plantio direto no Tocantins. *Revista Ceres*, v.55, n.2, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. H. M. D.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 1462-1470. 2012.

SOUSA, S. DE; NAZARÉ, D.; BASTOS, C.; et al. & Ely Simone Cajueiro Gurgel This study deals with the taxonomic treatment of *Inga Mill* . from Urucu Petroleum Province , Coari-AM . The genus is represented by nine taxa , distributed in five sections : *Pseudinga Benth* ., composed by *Inga nobilis* . , v. 62, n. 2, p. 283–297, 2011.

SOUTO, J. S.; DE OLIVEIRA, F. T.; GOMES, M. M. S.; DO NASCIMENTO, J. P.; SOUTO, P. C. (2009). Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L) millsp). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.4, n.1, p.135-140, 2009.

SOUZA, C. M. DE A.; CARVALHO, C. J. R. DE; VASCONCELOS, S. S.; SERRÃO, B. DE O. Fosfato De a Rocha a Diferentes Rocha De Adubação Com Fosfato De Rocha. **Revista de Ciências Agrárias Belém**, , n. 50, p. 77–93, 2008.

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

SZOTT, L. T.; KASS, D. C. L. Fertilizers in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v.23, p.157-176, 1993.

TOWNSEND, A. R.; CLEVELAND, C. C.; ASNER, G. P.; BUSTAMANTE, M. Controls over foliar N: P ratios in tropical rain forests. **Ecology**, v.88, n.1, p.107-118, 2007.

VIEIRA, I. C. G.; DE ALMEIDA, A. S.; DAVIDSON, E. A.; et al. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 4, p. 470–481, 2003.

ZARIN, D. J.; DAVIDSON, E. A.; BRONDIZIO, E.; VIEIRA, I. C.; SÁ, T.; FELDPAUSCH, T. & DUCEY, M. J. Legacy of fire slows carbon accumulation in Amazonian forest regrowth. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.3, n.7, p. 365-369, 2005.

