

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO –
PPG-ATU

**FORMAÇÃO DE MUDAS DE INGÁ-CIPÓ (*Inga edulis*) E MULUNGU (*Erythrina
fusca*) EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO COM OMISSÃO DE
MACRONUTRIENTES**

JONISMAR SOUZA DA SILVA

Manaus, Amazonas

2014

JONISMAR SOUZA DA SILVA

FORMAÇÃO DE MUDAS DE INGÁ-CIPÓ (*Inga edulis*) E MULUNGU (*Erythrina fusca*) EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO COM OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES

ORIENTADOR: DR. LUIZ AUGUSTO GOMES DE SOUZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agricultura no Trópico Úmido - PPG-ATU como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura no Trópico Úmido.

Manaus, Amazonas

2014

Folha de aprovação


A Banca Julgadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**TÍTULO: "FORMAÇÃO DE MUDAS DE INGÁ (*Inga edulis*) E
MULUNGU (*Erythrina fusca*) EM SOLO ARGISSOLO VERMELHO
AMARELO COM OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES"**

AUTOR:

JONISMAR SOUZA DA SILVA

BANCA JULGADORA:



FRANCISCO ADILSON DOS SANTOS HARA, Dr. (UFAM)
(Membro)



MARCO ANTONIO DE FREITAS MENDONÇA, Dr. (UFAM)
(Membro)



MARIA DO ROSÁRIO LOBATO RODRIGUES, Dra.
(EMBRAPA)

(Membro)

Manaus, 12 de Dezembro de 2014.

S586 Silva, Jonismar Souza da
Formação de mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*) e mulungu (*Erythrina fusca*) em Argissolo Vermelho Amarelo com omissão de macronutrientes / Jonismar Souza da Silva. --- Manaus: [s.n.], 2014. v, 66 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) --- INPA, Manaus, 2014.
Orientador : Luiz Augusto Gomes de Souza.
Área de concentração : Agricultura no Trópico úmido.

1. Fertilidade do solo. 2. Adubação mineral. 3. Nutrição de plantas. I. Título.

CDD 631.87

Sinopse:

Foi estudado o efeito da omissão de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na formação de mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*) e mulungu (*Erythrina fusca*) em Argissolo Vermelho Amarelo. O estudo foi conduzido e viveiro na cidade de Manaus, no campus III – INPA-V8.

Palavras-chave: Fertilidade do Solo, Leguminosas arbóreas, Adubação mineral.

*À minha pequena Sofia, pelo título
que anos de estudos não poderiam dar-me.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Luiz Augusto Gomes de Souza, pela orientação, disposição, incentivo, e por me ensinar a fazer pesquisa.

A todos os docentes do curso de Pós Graduação em Agricultura no Tropicó Úmido.

Aos técnicos do Laboratório de Microbiologia, Manoel Cursino, Adilson Rodrigues Dantas e Paulino, pela amizade e parceria no desenvolvimento da pesquisa.

Aos técnicos do Laboratório Temáticos de Solos e Plantas, Edivaldo, Jonas, Laura e Roberta, por toda a ajuda nas análises químicas.

A Marcos Bolson, pela amizade e pronta disposição em ajudar no processo final de análises.

Aos discentes do Programa de Pós Graduação em Agricultura no Tropicó Úmido (Anna, Alessandra, Camila, Osmar e Jefferson) pela amizade, ajuda e conversas frutíferas.

À minha esposa Danielle, pelo incentivo, confiança e companheirismo ao longo desses anos juntos e em especial nos anos do mestrado, meu eterno agradecimento.

À minha mãe, que desde sempre acreditou que a educação era a principal herança a seus filhos.

Ao meu pai, irmão e amigos que sempre torceram para que eu avançasse em meus estudos.

A Dra. Hillândia Brandão e Alex Krusche, por me orientarem em meus primeiros passos no meio científico.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, pela formação oferecida através do curso de Pós-Graduação em Agricultura no Tropicó Úmido.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo que proporcionou a realização de todas as etapas da pesquisa e formação profissional.

Meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Características químicas dos solos da Amazônia e influência dos macronutrientes sobre o desenvolvimento vegetal.....	4
3.2. Simbiose fixadora de N ₂ rizóbios x leguminosas em solo ácido.....	8
3.3. Informações sobre as leguminosas arbóreas selecionadas para estudo	11
3.3.1. Inga-cipó (<i>Inga edulis</i> Mart).....	11
3.3.2. Mulungu (<i>Erythrina fusca</i> Loureiro)	12
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
CAPÍTULO 1: FORMAÇÃO DE MUDAS DE INGÁ-CIPÓ (<i>Inga edulis</i> MART.) EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO COM OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES.....	22
Resumo.....	23
Abstract	24
INTRODUÇÃO	25
MATERIAL E MÉTODOS	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

CAPÍTULO 2: FORMAÇÃO DE MUDAS DE MULUNGU (<i>Erythrina fusca</i> LOUR.) EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO COM OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES.....	45
Resumo.....	46
Abstract	47
INTRODUÇÃO	48
MATERIAL E MÉTODOS	49
RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Formação de mudas de ingá-cipó (*Inga edulis* Mart.) em Argissolo Vermelho Amarelo com omissão de macronutrientes. Página

Tabela 1. Características químicas do Argissolo Vermelho Amarelo coletado em Quintal Agroflorestal da Estação Experimental de Hortaliças do INPA, AM 010, Km 14, Manaus, AM..... 27

Tabela 2. Efeito da omissão de macronutrientes nas medidas do comprimento do caule, diâmetro do colo e incremento mensal de crescimento do caule das mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*), em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento..... 30

Tabela 3. Efeito da omissão de macronutrientes na biomassa seca do caule, raiz, relação raiz/parte aérea e biomassa total das mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*), em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento..... 33

Tabela 4. Efeito da omissão de macronutrientes no número, biomassa seca, peso específico dos nódulos e concentração de nitrogênio das mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*), em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento..... 35

Capítulo 2

Tabela 1. Efeito da omissão de macronutrientes nas medidas do comprimento do caule, incremento mensal de crescimento do caule e diâmetro do colo das mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento..... 53

Tabela 2. Efeito da omissão de macronutrientes na biomassa seca do caule, folhas, parte aérea e total das mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento..... 54

Tabela 3. Efeito da omissão de macronutrientes no número, biomassa seca, peso específico dos nódulos e concentração de fósforo nas mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento..... 57

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. Efeito da omissão de macronutrientes na biomassa das folhas (a) e da parte aérea seca (b) nas mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento..... 32

Figura 2. Correlação entre biomassa dos nódulos secos e biomassa total seca (a) e entre o peso específico dos nódulos e o nitrogênio foliar (b) em mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento..... 37

Figura 3. Efeito da omissão de macronutrientes nas concentrações de cálcio (a) e magnésio (b) na biomassa foliar de mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento..... 38

Figura 4. Efeito da omissão de macronutrientes nas concentrações de fósforo (a) e potássio (b) na biomassa foliar de mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento..... 40

Capítulo 2

Figura 1. Efeito da omissão de macronutrientes na biomassa das raízes secas (a) e relação raiz/parte aérea (b) das mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento..... 56

Figura 2. Correlação entre o número de nódulos e a biomassa das folhas secas (a) e entre o peso dos nódulos secos e a biomassa total seca (b) em mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento..... 58

Figura 3. Efeito da omissão de macronutrientes nas concentrações de nitrogênio (a) e potássio (b) nas mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento..... 60

Figura 4. Efeito da omissão de macronutrientes nas concentrações de cálcio (a) e magnésio (b) nas mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento..... 62

FORMAÇÃO DE MUDAS DE INGÁ-CIPÓ (*Inga edulis*) E MULUNGU (*Erythrina fusca*) EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO COM OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES

RESUMO

As condições ambientais tropicais podem restringir a fixação de N_2 , e demandam pesquisas voltadas para o efeito dos nutrientes essenciais na nodulação em leguminosas arbóreas. O objetivo dessa pesquisa foi verificar o efeito da omissão dos macronutrientes selecionados no desenvolvimento, nodulação e fixação de N_2 , no ingá-cipó (*Inga edulis*) e mulungu (*Erythrina fusca*) em Argissolo Vermelho Amarelo da Amazônia Central, sob enviveiramento. O experimento foi conduzido em Manaus, empregando a técnica de elemento faltante. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com sete tratamentos e dez repetições, sendo o completo (N, P, K, Ca, Mg) e omissão individual de N, P, K, Ca, Mg, além de um solo sem adução. A formação de mudas de *Inga edulis* foi pouco influenciada pela omissão de macronutrientes em Argissolo Vermelho Amarelo, evidenciando uma alta capacidade desta espécie em prosperar em solos de baixa fertilidade natural. O cálcio foi o elemento com maior influência no diâmetro do colo e juntamente com o potássio, no estabelecimento de nódulos das mudas, que responderam eficientemente à inoculação com rizóbios. A absorção de cálcio foi influenciada pela disponibilidade de nitrogênio e fósforo. A absorção de fósforo e magnésio foram co-dependentes já que a omissão de um afetou negativamente a absorção do outro nutriente. Nas mudas de *Erythrina fusca* também houve pouca influência da omissão de macronutrientes na formação de mudas, aos 75 dias de enviveiramento. Sobre a nodulação, a omissão de potássio e o magnésio tiveram efeitos negativos, reduzindo consideravelmente o número de nódulos, que ainda assim se mostrou eficiente à inoculação com rizóbios selecionados. A interação entre o potássio, cálcio e magnésio, foi a que se mostrou mais evidente quando analisada as concentrações destes nas folhas das plantas, confirmando o antagonismo entre os mesmos. As concentrações de cálcio e magnésio foram as mais afetadas pelas omissões dos demais macronutrientes nas folhas de mulungu.

Palavras-chave: Fertilidade do Solo, Leguminosas arbóreas, Adubação mineral.

GROWTH SEEDLINGS OF INGÁ-CIPÓ (*Inga edulis*) AND MULUNGU (*Erythrina fusca*) IN RED-YELLOW ULTISOLS SUBMITTED TO ABSENCE OF CERTAIN MACRONUTRIENTS

ABSTRACT

Tropical environmental conditions may restrict the N₂ fixation, and demand researches on the effect of essential nutrients in nodulation in legume trees. The objective of this research was to determine which / whom the selected macronutrients influence growth, development, nodulation and N₂ fixation in ingá-cipó (*Inga edulis*) and mulungu (*Erythrina fusca*) in Red-Yellow Ultisol of Central Amazonia under nursery. The experiment was conducted in Manaus, AM using the missing element technique. The experimental design was completely randomized, with seven treatments and ten replicates, the complete (N, P, K, Ca, Mg) and the omission of N, P, K, Ca, Mg, and a soil without adduction. The formation of *Inga edulis* seedlings was little influenced by the absence of macronutrients, showing a high capacity of this species to thrive in low fertility soils. Calcium was the element with the greatest influence on stem diameter and along with potassium, the establishment of nodes of seedlings, which effectively responded to inoculation with rhizobia. Calcium absorption was influenced by the availability of nitrogen and phosphorus. The absorption of phosphorus and magnesium were co-dependent since the omission of a negatively affect the absorption of other nutrients. In *Erythrina fusca* seedlings also there was little influences the absence of macronutrients. On nodulation, potassium and magnesium were most likely have negative effects, considerably reducing the number of nodules, which still showed efficiently to inoculation with selected rhizobia. The interaction being potassium, calcium and magnesium, which was more evident when analyzing the concentrations in the leaves of plants, confirming the antagonism between them. Calcium and magnesium concentrations were the ones that were most affected by the omissions of other macronutrients.

Key-Words: Soil Fertility, Leguminosae trees, mineral fertilization.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nas pesquisas sobre a nutrição mineral de plantas, o conceito de essencialidade de nutrientes refere-se àqueles que são indispensáveis e condicionantes do desenvolvimento vegetal, por serem elementos estruturais de metabólitos primários e secundários, por exercerem funções metabólicas e/ou por serem insubstituíveis (Maschner *et al.* 1990). Na Amazônia, para as espécies florestais nativas, exceto as de maior valor econômico, como pau-rosa (*Aniba rosaeodora*), castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) e mogno (*Swietenia macrophylla*) (Camargos *et al.* 2002; Souza *et al.* 2010; Valencia *et al.* 2010), pouco se sabe sobre às exigências nutricionais, o que pode ser estratégico para a expansão dos cultivos das espécies florestais.

O desenvolvimento vegetal das espécies Amazônicas é dependente de práticas adequadas de manejo que permitam o fornecimento contínuo dos nutrientes essenciais às plantas, especialmente em áreas agrícolas. Na ausência de um nutriente essencial a planta manifesta sintomas de deficiência sendo que o nitrogênio, o fósforo e o cálcio são aqueles mais limitantes às plantas cultivadas nos solos tropicais de terra firme, pedogeneticamente classificado nos grupos dos Latossolos e dos Argissolos.

Na bacia amazônica, os solos das áreas de terra firme apresentam baixa fertilidade natural, com acidez elevada, capacidade de troca catiônica reduzida e altos teores de alumínio trocável. A acidez do solo constatada predominantemente em solos não hidromórficos nos trópicos, torna o ambiente hostil para muitos grupos de microrganismos e plantas não adaptadas a estas condições devido aos fatores adversos relacionados. No ambiente ácido, muitas vezes há níveis tóxicos de manganês e alumínio, e baixas concentrações de nutrientes essenciais como o fósforo e o molibdênio (Giller 1994). Um fato importante que colabora com o rápido esgotamento dos nutrientes e acidificação do solo é o manejo agrícola inadequado que leva ao esgotamento dos estoques de matéria orgânica que, nos trópicos, combinado aos elevados níveis de precipitação pluviométrica e temperatura afetam de inúmeras formas a quantidade e disponibilidade de nutrientes.

Dentre as inúmeras famílias botânicas na Amazônia destacam-se a família Fabaceae (Leguminosae), que é uma das mais importantes representadas na flora brasileira (Nelson e Oliveira 2001). Nos trópicos, o cultivo mais intensivo de espécies de Fabaceae é feito principalmente para a produção de madeira (Souza 2012), consorciamento de espécies em

sistemas agroflorestais, produção de compostos bioativos, como óleos e resinas, e também no fornecimento de serviços aos sistemas de produção especialmente pela disponibilização de uma biomassa com baixa relação C/N.

A maior concentração de nitrogênio da biomassa de muitas espécies de Fabaceae deve-se a propriedade da fixação simbiótica de N₂ com bactérias do solo do grupo dos rizóbios. A relação simbiótica ocorre nas raízes das plantas hospedeiras, resultando na formação de nódulos, que são o sítio adequado para as reações bioquímicas e enzimáticas que permitem a fixação de N₂, suprimindo a necessidade da planta desse elemento e contribuindo para o balanço de N nos ambientes naturais e nos agrossistemas (Ekeleme *et al.* 2004). Considerando que o nitrogênio e o fósforo são os principais nutrientes limitantes à produção agrícola nos solos tropicais, a suficiência em nitrogênio favorece a presença de leguminosas nos diferentes modelos de produção. Adicionalmente, a alta plasticidade e hábitos de crescimento existentes entre as Fabaceae permitem estratégias de escolha da espécie mais adequada, e em sistemas agroflorestais as leguminosas arbóreas nodulíferas podem ser mais bem aproveitadas.

As pesquisas experimentais sobre fatores nutricionais que interferem na fixação simbiótica de N₂, especialmente em leguminosas arbóreas nodulíferas, podem contribuir para identificar germoplasma de rizóbio e de plantas, mais adaptados aos fatores que prejudicam a eficiência do processo e amenizar a necessidade de correção química do solo (Halliday 1984). Adicionalmente, a identificação das principais exigências nutricionais das culturas, pode contribuir para a geração de sistemas de produção que favoreçam o desempenho dos simbioses, especialmente quando introduzidos fora de sua área de ocorrência natural (Bala *et al.* 2003).

As condições ambientais tropicais podem restringir a fixação de N₂, e demandam pesquisas voltadas para o efeito dos nutrientes essenciais na nodulação em leguminosas arbóreas, dentre eles os macronutrientes. Nesse contexto, essa pesquisa teve como objetivo verificar qual/quais dos macronutrientes selecionados interferem no crescimento, desenvolvimento, nodulação e fixação de N₂, no ingá-cipó (*Inga edulis*) e mulungu (*Erythrina fusca*) em Argissolo Vermelho Amarelo da Amazônia Central.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da omissão de macronutrientes: N, P, K, Ca e Mg, no desenvolvimento, nodulação e fixação de N₂ em mudas de leguminosas arbóreas conduzidas sob enviveiramento em Argissolo Vermelho Amarelo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Comparar o efeito da omissão dos macronutrientes no desenvolvimento de leguminosas arbóreas em Argissolo Vermelho Amarelo da Amazônia Central.
2. Verificar como a omissão dos elementos N, P, K, Ca e Mg afeta a simbiose rizóbios x leguminosas arbóreas em Argissolo Vermelho Amarelo.
3. Verificar possíveis correlações entre as variáveis analisadas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Características químicas dos solos da Amazônia e influência dos macronutrientes sobre o desenvolvimento vegetal.

Os solos de terra firme da Amazônia Central têm como principais limitações a acidez elevada, baixa capacidade de troca de cátions, deficiência de nutrientes essenciais e também altas taxas de fixação do P (Sanchez e Cochrane 1980). A ação dos fatores climáticos, a predominância de argilas de baixa atividade como a caulinita em adição às suas limitações mineralógicas, acelera os processos biológicos sobre a matéria orgânica morta depositada na serapilheira contribuindo para um rápido empobrecimento dos solos. Adicionalmente, na forma iônica os nutrientes são perdidos facilmente por lixiviação, volatilização, erosão laminar decorrente do manejo inadequado, aumentando a acidez e o efeito prejudicial do alumínio trocável no solo, reduzindo a disponibilidade dos nutrientes ainda remanescentes.

Na Bacia Amazônica predominam duas classes de solos: os Latossolos e os Argissolos. Os Latossolos são os solos que recobrem a maior superfície, cobrindo cerca 220 milhões de ha ou 45,5 % de sua área total (Fearnside e Leal Filho 2002). O Latossolo Amarelo compreende uma classe de solos não hidromórficos, de perfis profundos, bem drenados, posicionados geralmente em área de platô, que possuem textura muito argilosa, transições difusas entre horizontes, acidez elevada, alto conteúdo de alumínio e baixa capacidade de troca catiônica (CTC) (Chauvel 1982). A segunda classe de solos mais representativa é a dos Argissolos Vermelho-Amarelos, que são também não hidromórficos, possuem horizonte A arenoso, com diferenças texturais entre horizontes e transições abruptas, ocupando 142 milhões de ha ou 29,4 % da área (Cochrane e Sánchez 1982). No relevo irregular da região Amazônica, os Argissolos posicionam-se geralmente nas áreas de encostas. Em relação às propriedades químicas destes solos, a matéria orgânica contribui para 90 % da CTC, condicionando a disponibilidade de nutrientes para as culturas (Alcântara *et al.* 2000). Tal fato sugere que uma estratégia para exploração agrícola permanente nestes solos é fortemente dependente do manejo de seus estoques de matéria orgânica. Em decorrência, os diferentes modelos de Sistemas Agroflorestais têm sido avaliados e preconizados como alternativas sustentáveis de fixação do homem à região (Dubois *et al.* 1996).

Considerando-se a pobreza mineralógica já descrita para as classes de solo Latossolo e Argissolo, o estoque de nutrientes essenciais aos cultivos ou para o ecossistema, está abrigado em sua maior parte na biomassa vegetal que o recobre. Desse modo, desconsiderando-se a

correção da fertilidade do solo com fertilizantes minerais, a principal fonte de nutrientes essenciais às plantas vem da adição de matéria orgânica. Entre as pesquisas conduzidas para quantificar o aporte de liteira fina produzida a cada ano, Luizão (1989) estimou uma entrada de 151 kg de nitrogênio, 3 kg de fósforo, 15 kg de potássio, 37 kg de cálcio, dentre outros elementos, para o solo em uma floresta estabelecida sobre Latossolo Amarelo.

Um nutriente mineral é considerado essencial ao desenvolvimento vegetal quando participa de algum composto ou de alguma reação sem a qual a planta não sobrevive. Na ausência do elemento a planta não completa o seu ciclo de vida e este não pode ser substituído por nenhum outro (Malavolta *et al.* 1989). Dependendo da quantidade demandada pela planta, os nutrientes essenciais são agrupados como macronutrientes e micronutrientes. Desse modo, N, P, K, Ca, Mg e S são classificados como macronutrientes, por outro lado, Fe, Zn, Cu, B, Mo, Mn e Cl são definidos como micronutrientes. Por conta de seu papel essencial para o desenvolvimento vegetal, a deficiência de um determinado nutriente ocasiona sintomas de deficiências, que por ser relacionada à função exercida pelo nutriente adquire características de especificidade. Na presença de níveis tóxicos de minerais não essenciais, ou mesmo essenciais, a planta também manifesta sintomas de toxidez. Em algumas partes da Amazônia, como a região do alto Rio Negro, onde a vegetação se estabelece em solos arenosos distróficos, observam-se comumente sintomas de deficiência nutricional em cultivos agrícolas, ou mesmo com a perturbação da vegetação.

Entre os macronutrientes, o nitrogênio é o de maior requerimento pelos diferentes sistemas produtivos e por isso domina o mercado de fertilizantes no Brasil (Yamada e Lopes 1999) e no mundo (FAO 1998). Na Amazônia, o N é um dos principais nutrientes que limitam a produtividade nos sistemas agrícolas e atividades agropecuárias (Luizão *et al.* 1999). O nitrogênio é um nutriente construtor dos aminoácidos, que juntos, constituem as proteínas, que já foram definidas, por sua importância, como a fase física da vida. É também um elemento estrutural de ácidos nucleicos e da clorofila. Quando há falta de N no solo, diretamente relacionada com o declínio dos níveis de matéria orgânica, e os adubos não fornecem suficientemente, as plantas interrompem seu crescimento e produção, e suas folhas ficam cloróticas e ocorre a paralização do desenvolvimento e comprometimento da produção. (Malavolta *et al.* 2000). Sendo que esses efeitos foram observados por diversos estudos em espécies florestais (Viegas *et al.* 2004; Barroso *et al.* 2005; Vieira *et al.* 2008).

O aumento da disponibilidade de N no solo pelo suprimento de fertilizantes como uma alternativa causa efeitos adversos sobre a simbiose rizóbios x leguminosas, no processo de infecção de raízes, no número e peso de nódulos formados e na eficiência da fixação biológica de N (Franco e Neves 1992; Balieiro *et al.* 2001; Sarcinelli *et al.* 2004). A FBN não é um processo realizado permanentemente pelos organismos fixadores, mas é impulsionada pela condição de deficiência deste elemento no solo, e estabelecida em solos aerados, já que a baixa concentração de O₂ em solos compactados pode inativar a nitrogenase, que é a enzima indispensável ao processo (Hoffmann 2007). Quando os nódulos já estão estabelecidos, a presença de N mineral reduz a quantidade de N fixado por meio do tecido nodular (Dobereiner *et al.* 1966).

O principal papel do fósforo na planta está relacionado com a transferência de energia que supre os processos metabólicos. O fósforo é um elemento construtor do trifosfato de adenosina (ATP), envolvido em várias etapas da respiração e na fotossíntese, e em condições de deficiência compromete esses processos vitais. As características hereditárias que uma planta transmite para seus descendentes, numa semente ou numa gema, estão escritas no DNA, que também contém P. Esse nutriente é importante ainda no estágio de floração e na frutificação, além de ajudar no desenvolvimento do sistema radicular (Malavolta *et al.* 2000). Na ausência de P, as folhas adquirem coloração verde azulada e depois apresentam tonalidades roxas, seguindo-se, mais tarde do amarelecimento (Barroso *et al.* 2005; Gonçalves *et al.* 2006; Maia *et al.* 2011).

Em geral o P dos solos da Amazônia concentra-se na superfície, tornando-se um dos grandes fatores limitantes a produção agrícola, sendo associada a sua baixa mobilidade, a natureza ácida dos solos e a pobreza química do material de origem, uma vez que parte do P encontra-se na biomassa vegetal (Vale Júnior *et al.* 2011). Em solos muito ácidos, como os Latossolos, onde há elevada presença de óxidos de ferro e alumínio, a fixação do fósforo forma compostos minerais estáveis tornando-o indisponível para as plantas. O fósforo, além de pouco disponível na maioria dos solos tropicais, e de ter a sua disponibilidade associada à matéria orgânica e à atividade biológica do solo, é o principal nutriente limitante a produção de biomassa nos sistemas naturais e da FBN nos trópicos (Peoples e Craswell 1992). Esse nutriente pode aumentar a tolerância das leguminosas à acidez, e geralmente aumenta o número e peso nodular (Carvalho *et al.* 1980). Como estratégia evolutiva, algumas bactérias do grupo dos rizóbios conseguem armazenar fósforo no interior das células, na região do vacúolo. Este armazenamento de P está relacionado com a habilidade da estirpe multiplicar-se posteriormente em locais com baixas concentrações desse elemento como a rizosfera (Cassman *et al.* 1981).

Sabe-se que o que diferencia as células vegetais das células animais é a presença de parede celular. Desse modo, assim como o cálcio é indispensável para a formação óssea dos organismos animais, nos vegetais ele constitui as paredes celulares, apresentando baixa mobilidade na planta. O estabelecimento de paredes celulares dá forma à célula vegetal e permite maior resistência à penetração de bactérias e fungos. Juntamente com o P, o cálcio é necessário ao desenvolvimento e ao funcionamento das raízes e está envolvido nas etapas de floração. A resposta da planta a estímulos do meio em que vive tem o Ca como intermediário. Na falta de Ca, pode haver colapso do pecíolo, murchamento das folhas mais novas e amarelecimento de suas margens (Malavolta *et al.* 2000).

Nos solos Amazônicos a disponibilidade de Ca é muito baixa nos mais diversos agrossistemas, estando presente principalmente na camada mais superficial do solo (Araújo *et al.* 2004). Nas leguminosas tropicais são verificadas diferenças na tolerância entre espécies para a habilidade de estabelecimento e crescimento satisfatório em condições de deficiência de Ca (Loneragan *et al.* 1968; Dias *et al.* 1994; Sarcinelli *et al.* 2004; Gonçalves *et al.* 2010). No entanto, Sarcinelli *et al.* (2004), observaram pequena redução na produção de matéria seca vegetal, além de dobras e deformações dos filódios mais novos e gemas, com necrose das bordas em *Acacia holosericea* em condições de deficiência desse nutriente. O aparecimento de sintomas de deficiência em folhas novas e gemas reflete a baixa mobilidade deste nutriente na planta. A adequada disponibilidade desse elemento para as leguminosas pode aumentar a concentração de N nas plantas (Franco e Dobereiner 1968).

Em contraposição aos elementos essenciais que desempenham sua principal função na estruturação de compostos, o potássio tem papel quase exclusivo em processos metabólicos como a abertura e fechamento de estômatos, transporte de substâncias entre células, etc. Esse elemento é necessário para os processos fotossintéticos e para o transporte de fotossintatos para outras partes das plantas (Malavolta *et al.* 2000). E, ao contrário de muitos elementos, circula na seiva bruta e na seiva elaborada. O K presente no citoplasma e nos cloroplastos, é responsável pela manutenção do pH das células e tecidos entre 7 e 8, assim como do seu turgor. Em plantas deficientes de K, se o pH no interior da célula vegetal cai abaixo de 7, muitos processos poderão ser paralisados (Meurer 2006).

Nos solos Amazônicos, há baixa disponibilidade de K e este elemento está mais concentrado no horizonte superficial do solo (Araújo *et al.* 2004), e como parte de seu ciclo biogeoquímico, algumas vezes este elemento fica retido entre camadas de argilas expansivas, tornando-se indisponível, ou é lixiviado para camadas mais profundas do solo especialmente

quando associado ao NO_3 . Adicionalmente, as plantas bem providas de K resistem mais a seca, ao frio, e a pragas e doenças (Malavolta *et al.* 2000).

O magnésio ocupa posição central na molécula da clorofila e funciona como ativador de muitas enzimas. Serve como catalizador entre o ATP e compostos orgânicos, como açúcares, que serão transformados por enzimas, contribuindo também na absorção do P (Malavolta *et al.* 2000). Contrariamente ao cálcio, o magnésio é muito móvel no floema e, portanto, redistribui-se facilmente das folhas e tecidos mais velhos para regiões de maiores exigências, como os meristemas e órgãos de reserva (Epstein 1975). Desse modo o sintoma de deficiência de magnésio manifesta-se inicialmente em folhas velhas, pela presença de clorose entre as nervuras do limbo foliar. Em um estudo realizado com *Acacia holosericea* observou-se que os sintomas de deficiência de Mg foram relacionados com a drástica redução na produção de matéria seca vegetal além do aparecimento de pontos arroxeados internervais evoluindo para clorose, seguida de necrose (Sarcinelli *et al.* 2004). Esse nutriente juntamente com o Ca e K, também se encontra em baixas concentrações nos solos Amazônicos, acumulando-se principalmente na camada superficial, o que evidencia que boa parte do seu suprimento natural para os cultivos deve-se a eficiente ciclagem da matéria orgânica existente (Araújo *et al.* 2004).

3.2. Simbiose fixadora de N_2 rizóbios x leguminosas em solo ácido.

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é a conversão de nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3), catalisada por organismos vivos. Todos os organismos fixadores de nitrogênio, chamados de organismos diazotróficos, são procariotos e utilizam para a fixação a enzima conhecida como nitrogenase (Hoffmann 2007). A nitrogenase é um complexo enzimático redox-ativo que hidrolisa ATP's para efetuar a redução do N_2 (Reis *et al.* 2006). Diferentes grupos de microrganismos fazem a FBN, o que inclui organismos de vida livre, associações mutualísticas ou rizocenoses e as simbioses. Os fenômenos físicos atmosféricos, como raios, relâmpagos, erupções vulcânicas, radiação ultravioleta, etc., também produzem a fixação do N_2 , porém sua contribuição é muito pequena para o sistema solo-planta-animal (Barruenco *et al.* 1985).

No processo de nodulação das raízes pelas bactérias fixadoras de nitrogênio estão envolvidos vários genes específicos. No estágio inicial da nodulação, ocorre liberação de uma variedade de compostos químicos (flavonóides e isoflavonóides) das células radiculares para o solo, influenciando a multiplicação da bactéria no seu estado de vida livre e a formação de nódulos. A nodulação ocorre após a bactéria secretar fatores *nod*, que estimulam a curvatura dos pêlos radiculares e a invasão da raiz, que após uma semana já possui um nódulo visível, sendo que cada nódulo representa um pacote de milhões de células vivas de rizóbios, que após a entrada na planta sofre modificações morfológicas assumindo a forma de bacteroides (Reis *et al.* 2006). O início da fixação de N₂ ocorre em torno de 15 dias após a etapa de infecção.

Vários genes específicos controlam diferentes aspectos do processo de nodulação. Uma estirpe de rizóbios pode infectar somente uma espécie de leguminosa, o que é chamado de especificidade hospedeira (Reis *et al.* 2006), o que tem sido muito evidenciado dentro do grupo das Mimosoideae. Por outro lado algumas espécies possuem padrão de nodulação promíscuo, o que revela baixa especificidade, podendo nodular com gêneros diferentes de rizóbios sem comprometer a eficiência do processo simbiótico. Por exemplo, as estirpes que nodulam o feijoeiro são classificadas como do tipo I e do tipo II. As do tipo I são estirpes isoladas de nódulos em feijoeiro e que têm especificidade relativamente restrita a essa hospedeira, são mais sensíveis à acidez que estirpes do tipo II, estirpes isoladas de nódulos de outras hospedeiras, como leucena, e que nodulam o feijoeiro e não apresentam uma relação de especificidade tão restrita entre a bactéria e a planta hospedeira (Mercante *et al.* 1998).

A taxonomia de Rhizobia tem evoluído nos anos recentes favorecidos por novas técnicas de biologia molecular, que permitiram classificar esse grupo de microrganismos em várias famílias de bactérias. Segundo Moreira (2008), a classificação filogenética de bactérias fixadoras de N₂ que nodulam Fabaceae são: na Família Rhizobiaceae os gêneros *Rhizobium*, *Sinorhizobium* e *Allorhizobium*; na família Bradyrhizobiaceae, os gêneros *Bradyrhizobium* e *Blastobacter*; na família Xanthobacteraceae o gênero *Azorhizobium*; na família Hyphomicrobiaceae o gênero *Devosia*, na família Phyllobacteriaceae os gêneros *Phyllobacterium* e *Mezorhizobium*; na família Methylobacteriaceae, o gênero *Methylobacterium*; na família Brucellaceae o gênero *Ochrobactrum* e, finalmente, na família Burkholderiaceae os gêneros *Burkholderia* e *Ralstonia*. A existência de 13 gêneros de bactérias fixadoras de N₂, reconhecida em anos recentes sugere que este número ainda está em elevação, o que será comprovado por novas descrições originais. Assim, anualmente novas

estirpes têm sido descobertas e novos gêneros e espécies estão sendo definidas, causando mudanças na taxonomia desses microrganismos (Vieira 2007).

A tolerância à acidez é uma importante característica das estirpes de rizóbios, o que serve como parâmetro classificatório das estirpes nas coleções de culturas da região tropical. Embora a acidez do solo seja considerada, em muitas situações, um fator de estresse, a diversidade de rizóbios nem sempre diminui nessas condições. A diferença chave na comunidade de bactérias entre solos de baixo e alto pH está nos tipos predominantes de rizóbios (Anyango *et al.* 1995). A etapa mais sensível à acidez do solo em relação à nodulação do rizóbio é a fase inicial, incluindo a fase de liberação química dos flavonóides pela leguminosa e a síntese dos fatores *nod* pela bactéria, ou seja, a fase de comunicação entre os parceiros (Hungria e Vargas 2000). Segundo Graham *et al.* (1994), a tolerância ao pH ácido em rizóbio depende da habilidade em manter o pH intracelular entre 7,2 e 7,5 quando o pH externo é ácido. No entanto, algumas estirpes podem desenvolver mecanismos de tolerância a esses fatores estressantes (Kawai *et al.* 2000; Watkin *et al.* 2000).

A capacidade de fixar nitrogênio é um processo chave para o manejo agrícola sustentável na Amazônia, por conta da redução da disponibilidade desse nutriente no solo, especialmente pelo declínio dos estoques orgânicos, e tanto o pH ácido quanto as altas concentrações de alumínio tóxico, podem diminuir a população desses microrganismos (Hungria e Vargas 2000). Diversos estudos têm mostrado os efeitos benéficos da calagem sobre a nodulação, absorção de nutrientes e a produção de matéria seca da parte aérea, em várias espécies vegetais de solos ácidos (Poolpitana e Hue 1994; Philip *et al.* 1995; Reid 1996; Hara e Oliveira 2005). Entretanto, nos solos tropicais, o tamponamento do pH é uma propriedade consistente e pequenas modificações no pH exigem grandes quantidades de calcário, que experimentalmente tem sido demonstrado, superam 10 t de calcário ha⁻¹, além do desbalanceamento nutricional que o fornecimento de um só nutriente provoca. Em decorrência, estratégias de seleção de germoplasma de rizóbios e plantas tolerantes a acidez do solo são mais recomendáveis para estas condições.

A seleção adequada de estirpes de rizóbio para a inoculação em leguminosas arbóreas em solos ácidos é necessária, como comprovado no estudo realizado em mudas de sábia (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), que demonstrou eficiente acumulação de N total e crescimento satisfatório da mesma quando inoculada com a estirpe adequada (Stamford e Silva 2000).

Em regiões tropicais fica cada vez mais evidente que espécies arbóreas são necessárias para melhorar a produção, a qualidade e a sustentabilidade de áreas degradadas (Alonzo 2000), para assim acumular quantidades maiores de matéria orgânica, aumentar a biodiversidade, além do benefício principalmente das leguminosas arbóreas que fixam N₂.

Dos 210 gêneros de leguminosas registrados para os biomas brasileiros, foi verificado, após atualização do conhecimento existente até então, que 160 deles estão representados na Amazônia (Lima 2010). Refletindo a cobertura vegetal da Amazônia que é predominantemente composta por matas. A maioria dos gêneros de Fabaceae da Amazônia é composta por espécies lenhosas ou arbóreas com 98 gêneros (61,2 % do total) e inúmeras leguminosas arbóreas podem apresentar nódulos radiculares e fixar N₂.

As leguminosas nodulíferas presentes na Amazônia competem com outras espécies com vantagem no aproveitamento do ciclo de nutrientes, sendo a FBN um processo econômico e biologicamente compensador, contribuindo para o aumento da produtividade agrícola. Considerado o número, a biodiversidade de espécies, e o endemismo dentro da família Fabaceae, acrescidos ao fato de que pouco se conhece da diversidade da flora amazônica, muitas espécies cuja capacidade de nodular e fixar N₂ nem sejam conhecidas (Souza 2012).

3.3. Informações sobre as leguminosas arbóreas selecionadas para este estudo.

3.3.1. Inga-cipó (*Inga edulis* Mart).

É uma das espécies economicamente mais importante deste gênero, porque cresce bem em solos ácidos, produz frutos comestíveis, e a madeira é comumente utilizada como combustível em fazendas da América Latina (Hands 1998). Uma das mais conhecidas leguminosas arbóreas da Amazônia, o ingá-cipó classifica-se botanicamente na família Fabaceae, subfamília Mimosoideae. É uma espécie nativa da região Amazônica, conhecida popularmente também como ingá-de-metro ou ingá-de-macaco. É comumente cultivada por semeadura direta, dada à alta germinabilidade de suas sementes, nos quintais agroflorestais e áreas de produção, como planta para alimentação e sombreamento (Souza *et al.* 2009).

A árvore adulta de ingá-cipó alcança até 25 m, com copa ampla e baixa e tronco claro de 30-60 cm de diâmetro. É uma planta semidecídua, pioneira, tolerante a solos

alagados, no período chuvoso. Sua madeira é moderadamente pesada, macia, pouco durável e moderadamente resistente mecanicamente, tendo emprego em caixotaria, carvão e para lenha. Seus frutos são consumidos e comercializados pelas populações da região Amazônica (Lorenzi 2002).

A nodulação em ingá-cipó é marcada por nódulos esféricos quando jovens e em forma de bastão ou ramificados quando desenvolvidos. As folhas são ricas em N, com concentrações de 5% do material vegetal, podendo ser aproveitadas em solos agrícolas como adubação verde, alimentação para gado entre outras utilidades.

O aporte de biomassa da planta é de lenta decomposição (Arco-Verde 2008), protegendo a superfície do solo e raízes de outras plantas, mantendo os nutrientes no solo e controlando o aparecimento de plantas pioneiras indesejáveis ao sistema de produção, mais recentemente o ingá-cipó vem sendo utilizado como componente agroflorestal (Salazar *et al.* 1993). A forragem do ingá-cipó é também muito apreciada pelos ruminantes, sugerindo que a espécie pode ampliar suas funções e serviços dentro da propriedade agrícola.

O potencial agroflorestal dessa espécie é notável, dada sua longevidade e boa produção de biomassa em solos ácidos, auxiliando na fertilidade do solo, principalmente com o aporte de N, Ca e Mg. Há uma demanda por espécies arbóreas de rápido crescimento adaptadas ao solo Latossolo Amarelo da terra firme da Amazônia. O ingá-cipó preenche adequadamente todas as exigências e pré-requisitos para este fim. Riley e Smyth (1993) verificaram um crescimento maior em culturas de milho (altura) e feijão (biomassa), em cultivos próximos a fileiras de ingás, em relação a cultivos isolados. Esta planta apresenta potencial para reabilitação de áreas degradadas, mostrando-se apta para manejo em sistemas de produção sustentáveis e de baixo aporte de insumos (Mendes 2004), embora tenha um tempo de vida relativamente curto estimado em 10 anos. Entretanto, suporta bem o regime de podas, e dessa forma, renovando a folhagem pode prolongar seu ciclo natural por mais anos.

3.3.2. Mulungu (*Erythrina fusca* Loureiro)

O gênero *Erythrina* (Família Fabaceae) é largamente conhecido, com ocorrência nas regiões tropicais e sub-tropicais do mundo. Possui cerca de 110 espécies, das quais 70 são nativas da América (Vasconcelos *et al.* 2003). As plantas do gênero *Erythrina* são conhecidas por produzirem alcalóides, flavonóides, isoflavonóides e outras substâncias. Segundo Amer *et*

al. (1991), essas plantas representam a principal fonte de alcalóides tetracíclicos, possuindo atividade semelhante ao curare (um poderoso veneno) que causa paralisia muscular (Decker *et al.* 1995).

Erythrina fusca é uma árvore decídua de 20 a 30 m de altura que possui ampla distribuição nas Regiões Paleotropical e Neotropical (Krukoff e Barneby 1974; Lorenzi 2002). No Neotrópico, tem ocorrência em vários países Amazônicos, sendo uma planta típica de matas ciliares e pântanos. Floresce durante os meses de maio a setembro, permanecendo a planta enfolhada, ao contrário da maioria das espécies do gênero *Erythrina* (Lorenzi 2002). Conforme Cotton (2001), cada árvore floresce por quatro a seis semanas, produzindo entre cinquenta e duas mil flores por dia. Sua polinização é efetuada principalmente por aves (Bruneau 1997; Cotton 2001). Tais florações têm sido apontadas como importantes fontes alimentares para as aves em diferentes locais da Região Neotropical (Vitali-Veiga e Machado 2000; Cotton 2001; Ragusa-Netto 2002). Essa espécie está geralmente associada com solos argilosos, com um pH neutro, e com elevada saturação de cátions, mas, em algumas áreas cresce muito bem em Argissolo, com um pH ácido.

A maior parte das espécies de *Erythrina* são facilmente disseminadas por meio de sementes e por estacas. O tegumento suave facilita a germinação e, se as sementes são submersas durante 24 horas em água à temperatura ambiente, a germinação é acelerado. Testes em canteiros mostraram taxas de germinação de 95% para *E. fusca* usando sementes armazenadas por um ano em uma câmara fria a 5 ° C com uma umidade relativa de 30 a 40% (Viguez e Camacho 1993) ou para sementes frescas plantadas num meio constituído de 50% solo e 50% de areia (Sánchez *et al.* 1993).

São utilizadas como plantas ornamentais na Costa Rica, México, Venezuela e Brasil. Na Colômbia e na Costa Rica a árvore é usada como sombreira em plantações de café e de cacau além do uso na formação de cercas vivas. Também é utilizado em sistemas agroflorestais, especialmente nas áreas com climas extremos e solos difíceis. Como muitas outras espécies do gênero *Erythrina*, mulungu contém alcalóides tóxicos que têm sido utilizados para o valor medicina como antipirético (Innok *et al.* 2009).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcântara, F.A.; Neto, A.E.F.; Paula, M.B.; Mesquita, H.A.; Muniz, J.A. 2000. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo vermelho-escuro degradado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35 (2): 277-288.

Alonzo, Y. M. 2000. *Potential of silvopastoral systems for economic dairy production in Cayo, Belize and constraints for their adoption*. Tesis (M.Sc.) - Universidad de Costa Rica, Turrialba, 81p.

Amer, M. A.; Shamma, M.; Freyer A. J. 1991. The tetracyclic *Erythrina* alkaloids. *J. Nat. Prod.*, 54: 329-363.

Anyango, B., Wilson, K.J., Beynon, J.L., Giller, K.E. 1995. Diversity of rhizobia nodulating *Phaseolus vulgaris* L. in two Kenyan soils with contrasting pHs. *Appl. Environ. Microbiol.*, 61: 4016-4021.

Araújo, E. A.; Lani, J. L.; Amaral, E. F.; Guerra, A. 2004. Uso da Terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo amarelo distrófico na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 307-315.

Arco-verde, M.F. 2008. *Sustentabilidade biofísica e socioeconômica de sistemas agroflorestais na Amazônia Brasileira*. Tese de Doutorado. Ciências Florestais - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 188p.

Bala, A.; Murphy, P. J.; Osunde, A.O. e Giller, K. E. 2003. Nodulation of tree legumes and the ecology of their native rhizobial populations in tropical soils. *Applied Soil Ecology*, 22 (3): 211-223.

Balieiro, F. C.; Oliveira, I. G.; Dias, L. E. 2001. Formação de mudas de *Acacia holosericea* e *Acacia auriculiformis*: resposta à calagem, fósforo, potássio e enxofre. *Revista Árvore*, 25 (2):183-191.

Barroso, D. G.; Figueiredo, F. A. M. M. de A.; Pereira, R. de C.; Mendonça, A. R.; Silva, L. da C. 2005. Diagnóstico de eficiência de macronutrientes em mudas de teca. *R. Árvore*, Viçosa-MG, 29 (5): 671-679.

- Barruenco, C. R.; Garcia, F. S.; Subramanian, P. 1985. *La fijación de nitrogênio atmosférico: una biotecnología en la producción agraria*. Temas monográficos, Centro de Edafología y Biología Aplicada, p. 11-71. Salamanca, Espanha.
- Bruneau, A. 1997. Evolution and homology of birds pollinated syndromes in *Erythrina* (Leguminosae). *American Journal of Botany*, 84:54-71.
- Camargos, S. L.; Muraoka, T.; Fernandes, S. A. P.; Salvador, J. O. 2002. Diagnose nutricional em mudas de castanheira-do-brasil. *Revista Agricultura Tropical*, 6 (1): 81-96.
- Carvalho, M. M.; Andrew, C. S.; Edwards, D. G.; Asher, C. J. 1980. Comparative performance of six *Stylosanthes* species in tree acid soils. *Australian Journal of Agricultural Research*, 31: 61-67.
- Cassman, K. G.; Munns, D. N. e Beck, D. P. 1981. Phosphorus nutrition of *Rhizobium japonicum*: strain differences in phosphate storage and utilization. *Soil Science America Journal*, 45: 517-520.
- Chauvel, A. 1982. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. *Acta Amazonica*, 12(3): 38-47.
- Cotton, P. A. 2001. The behavior and interactions of birds visiting *Erythrina fusca* flowers in the Colombian Amazon. *Biotropica*, 33: 662-669.
- Cochrane, T.T.; P.A. Sánchez. 1982. Land resources, soils and their management in the Amazon region: A state of knowledge report. In: Hecht, S.B (ed.) *Amazonia: Agriculture and Use Research*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colômbia. 137-209.
- Decker, M. W.; Anderson, D. J.; Brioni, D. L.; Donnelly-Roberts, D.L.; Chae, K.H.; O'Neill, A. B.; Piattoni-Kaplan, M.; Swanson, S.; Sullivan, J. P. 1995. Erysodine, a competitive antagonist at neuronal nicotinic acetylcholine receptors. *European J Pharmacol*, 280: 79-89.
- Dias, L.E.; Faria, S.M.; Franco, A. A. 1994. Crescimento de mudas de *Acacia mangium* Willd em resposta à omissão de macronutrientes. *Revista Árvore*, 18: 123-131.
- Dobereiner, J; Arruda, N. B.; Penteadó, A. F. 1966. Avaliação da fixação de nitrogênio em leguminosas, pela regressão do Nitrogênio total das plantas sobre o peso dos nódulos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1: 233-237.

Dubois, J. C. L.; Viana, V. M.; Anderson, A. 1996. *Manual agroflorestal para a Amazônia*. Rebraf, Rio de Janeiro, 228p.

Ekeleme, F.; Chikoye, D. e Akobundu, I. O. 2004. Changes in size and composition of weed communities during planted and natural fallows. *Basic and Applied Ecology*, 5 (1): 25-33.

Epstein, E. *Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas*. 1975. Universidade de São Paulo, São Paulo, 341p.

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

Fearnside, P. M.; Filho, N. L. 2002. *Solos e desenvolvimento na Amazônia: Lições do projeto Dinâmica Biológica de fragmentos florestais*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 51p.

Franco, A. A.; Dobereiner, J. 1968. Interferência do cálcio e nitrogênio na fixação do nitrogênio por duas variedades de *Phaseolus vulgaris* L. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, 3: 223-227.

Franco, A. A.; Neves, M. C. P. 1992. Fatores limitantes à fixação biológica de nitrogênio. In: Cardoso, E. J. B. N.; Tsai, S. M.; Neves, M. C. P., (Eds.) *Microbiologia do solo*, p. 219-230.

Giller, K.E. 1994. *Microbial ecology in tropical soils*. Simpósio Brasileiro sobre microbiologia do solo. Londrina, IAPAR, Resumos No. 20: 78-82.

Gonçalves, E. de O.; Paiva, H. N. de; Neves, J. C. de L.; Gomes, J. M. 2010. Crescimento de mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes. *Sci. For.*, 38 (88): 599-609.

Gonçalves, F. C.; Neves, Orlando, S. C.; Carvalho, J. G. 2006. Deficiência nutricional em mudas de umbuzeiro decorrente da omissão de macronutrientes - Notas Científicas. *Pesquisa de agropecuária Brasileira*, 41 (6): 1053-1057.

Graham, P.H.; Draeger, K. J.; Ferrey, M. L.; Conray, M. J.; Hammer, B. E.; Martinez, E.; Aarons, S. R.; Quintino, C. 1994. Acid pH tolerance in strains of *Rhizobium* and initial studies on the basis for acid tolerance of *Rhizobium tropici* UMR 1899. *Canadian Journal of Microbiology*, 40: 198-207.

- Halliday, J. 1984. Integrated approach to nitrogen fixing tree germoplasm development. *Pesq. Agropec. Brasileira.*: 91-117.
- Hands, R.M., 1998. The use of Inga in the acid soils of the rainforest zone: alley-cropping sustainability and soil-regeneration. In: Pennington, T.D., Fernandez, E.C.M. (Eds.), *The Genus Inga Utilization. The Royal Botanic Gardens, Kew*, 53–86p.
- Hara, F. A. dos S.; Oliveira, L. A. 2005. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbios oriundos de solos ácidos de Iranduba, Amazonas. *Pesq. agropec. Brasileira*, 40 (7): 667-672.
- Hoffmann, L. V. 2007. Biologia Molecular da Fixação Biológica do Nitrogênio. In: Silveira, A. P. D. S.; Freitas, S. S. (ed.). *Microbiota do solo e qualidade ambiental*. Instituto Agronômico, 153-164lp.
- Hungria, M.; Vargas, M. A. T. 2000. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with emphasis on Brazil. *Field Crop Research*, 65: 151-164.
- Innok, P.; Rukachaisirikul, T; Suksamrarn, A. 2009. Flavanoids and Pterocarpanes from the Bark of *Erythrina fusca*. *Chem. Pharm. Bull.* 57(9): 993-996.
- Kawai, F.; Zhang, D.; Sugimoto, M. 2000. Isolation and characterization of acid and Al-tolerant microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, 189: 143-147.
- Krukoff, B. A.; Barneby, R. C. 1974. A conspectus of the genus *Erythrina*. *Lloydia*, 37:332-459.
- Lima, H. C. 2010. Fabaceae. In: Forzza, R. C. *et al.* (Org.). *Catálogo de plantas e fungos do Brasil*, 2: 989-1102.
- Loneragan, J. F.; Gladstones, J. S.; Simmons, W. J. 1968. Mineral elements in temperate crop and pasture plants. II. Calcium. *Australian Journal of Agricultural Research*, 19: 353-364.
- Lorenzi, H. 2002. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, (2): 368 p.
- Luizão, F. J. 1989. Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian forest. *GeoJournal*, 19 (4): 407-417.

- Luizão, R. C. C.; Cosa, E. S.; Luizão, F. J. 1999. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio do solo em uma sequência de idades de pastagens após derruba e queima da floresta na Amazônia Central. *Acta Amazônica*, 29(1): 43-56.
- Maia, J. T. L. S.; Guilherme, D. de O.; Paulino, M. A. O.; Helbert, R. de O. S.; Fernandes, L. A. 2011. Efeito da omissão de macro e micronutrientes no crescimento de pinhão-mansão. *Revista Caatinga*, 24 (2): 174-179.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. 1989. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Associação Brasileira para Pesquisa de Potássio e do Fósforo, Piracicaba, São Paulo, 201p.
- Malavolta, E.; Pimentel-Gomes, F.; Alcarde, J. C. 2000. *Adubos e adubações*. Edição revista e atualizada. São Paulo: Nobel. 200p.
- Marschner, H. 1990. Mineral Nutrition of Higher Plants. *Academic Press*, London, 4^a Ed., 674p.
- Mendes, F.P.F. 2004. *Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano*. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo, 89p.
- Mercante, F. M.; Cunha, C. de O.; Stralio, R.; Ribeiro Júnior, W. Q.; Vanderleyden, J.; Franco, A. A. 1998. *Leucaena leucocephala* as a trap – host for *Rhizobium tropici* strains from the Brazilian “Cerrado” region. *Revista de Microbiologia*, 29: 49-58.
- Meurer, J. E. 2006. Potássio. SBCS, (ed. Fernandes, M. S). *Nutrição Mineral de Plantas*, Viçosa, Minas Gerais, 432p.
- Moreira, F.M.S. 2008. Bactérias fixadoras de nitrogênio que nodulam Leguminosae. In: Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O.; Brussaard, L. (Eds.). *Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros*. UFLA, Lavras, Minas Gerais, 621-680p.
- Nelson, B.W., Oliveira, A.A. 2001. Estado de conhecimento florístico da Amazônia. In: Capobianco, J. P. R.; Veríssimo, A.; Moreira, A.; Sawyer, D.; Santos, I.; Pinto, L. P. (Orgs.). *Biodiversidade da Amazônia Brasileira*. São Paulo, Estação Liberdade, ISA, 132-176p.
- Peoples, M.B., Craswell, E.T. 1992. Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. *Plant and Soil*, 141: 13-39.

- Philip, A.; Joseph, M.; Punnoose, K. I. 1995. Effects of liming on nutrient uptake, biomass production and nodulation in *Pueraria phaseoloides*. *Indian Journal of Natural Rubber Research*, 8: 130-134.
- Poolpitana, S.; Hue, N.V. 1994. Differential acidity tolerance of tropical legumes grown for green manure in acid sulfate soils. *Plant and Soil*, 163 (1): 31-139.
- Ragusa-Netto, J. 2002. Exploitation of *Erythrina dominguezii* Hassl. (Fabaceae) nectar by perching birds in a dry forest in western Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 62:877-883.
- Reid, W.S. 1996. Influence of lime and calcium: magnesium ratio on alfalfa and birds foot trifol yields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 27 (5-8):1885-1900.
- Reis, V. M.; Oliveira, A. L. de M. de; Baldani, V. L. D.; Olivares, F. L.; Baldani, J. I. 2006. VI – Fixação Biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. SBCS, (ed. Ferandes, M. S), *Nutrição Mineral de Plantas*, Viçosa, 432p.
- Riley, J.; Smyth, S. 1993. A study of alley-cropping data from Northern Brazil I. Distributional properties. *Agroforestry Systems*, 22 (3): 241–258.
- Salazar, A.; Szott, L.; Palm, C. 1993. Crop tree: interaction in alley cropping systems on alluvial soils of the Upper Amazon Basin. *Agroforestry Systems*, 22 (1): 67-82.
- Sanchez, P.A.; Cochrane, T.T. 1980. Soil constraints in relation to major farming systems in tropical America. In: *Soil Constraints Conference*, IRRI, Los Banos, Philippines, 107—140p.
- Sánchez, J. F.; Moreno, R. A.; Muñoz, F. 1993. *Erythrina fusca*: um arbol leguminosa de la costa norte de Colombia com potencial agroforestal. In: Westley, S. B.; Powell, M. H. (Ed.). *Erythrina in the new and old worlds. Paia: Nitrogen Fixing Tree Association*, 55-61p.
- Sarcinelli, T. S.; Ribeiro Júnior, E. S.; Dias, L. E.; Lynch, L. de S. 2004. Sintomas de deficiência nutricional em mudas de *Acacia holosericea* em resposta à omissão de macronutrientes. *R. Árvore*, 28 (2): 173-181.
- Souza, C. A. S. de; Tucci, C. A. F; Silva, J. F. da; Ribeiro, W. O. 2010. Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). *Acta Amazônica*, 40 (3) 515-522.
- Souza, L. A. G.; Cortes, A. M.; Aguiar, S.P. 2009. *Contribuição para a check-list das Fabaceae de Pernambuco*. Natal, RN, Opção Gráfica, 172 p.

- Souza, L. A. G. 2012. Biodiversidade e importância madeireira das Fabaceae da Amazônia brasileira. In: Vianez, B. F.; Varejão, M. J. C.; Abreu, R. L. S. & Sales-Campos, C. Editora do INPA. *Potencial tecnológico de madeiras e resíduos florestais da Amazônia Central*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 11-30p.
- Stamford, N.P.; Silva, R.A. 2000. Efeito da calagem e inoculação de sabiá em solo da mata úmida e do semi-árido de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35: 1037-1045.
- Vale Júnior, J. F. de; Souza, M. I. L de; Nascimento, P. P. R. R. do; Cruz, D. L de S. 2011. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. *Revista Agro@ambiente On-line*, 5 (2): 158-165.
- Valencia, W. H.; Sampaio, P. de T. B.; Souza, L. A. G. 2010. Crecimiento inicial de Palo de Rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) en distintos ambientes de fertilidad. *Acta Amazonica*, 40(4): 693-698.
- Vasconcelos, S. M. M; Rebouças, O. G.; Mohana, C. M.; Rodrigues, A. C. P.; Rocha, S. E.; Fonteles, M. F. M.; Florenço, S. F.C.; Barros, V. G.S. 2003. Antinociceptive activities of the hydroalcoholic extracts from *Erythrina velutina* and *Erythrina mulungu* in mice. *Biol Pharm Bull* 26: 946 -949.
- Viégas, I. de J.M. ; Thomaz, M. A. A.; Silva, J. F.da S.; Conceição, H. E. O.; Naiff, A. P. M. 2004. Efeito da omissão de macronutrientes e Boro no crescimento, nos sintomas de deficiência nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. *Rev. Bras. Fruticultura*, 26 (2): 315-319.
- Vieira, R. F. 2007. Diversidade e Taxonomia de Rizóbio. In: Silveira, A. P. D. S.; Freitas, S. S. (ed.). *Microbiota do solo e qualidade ambiental*. Instituto Agrônomo, Campinas, São Paulo, 165-192p.
- Vieira, H.; Chaves, L. H. G.; Viégas. 2008. Produção de matéria seca por mudas de moringa sob omissão de macronutrientes – Comunicação Científica. *Rev. ciênc. Agrárias*. Belém, 50: 189-195.
- Viquez, E.; Camacho, Y. 1993. Establishment. In: Powell, M. H.; Westley, S. B. (Ed.). *Erythrina production and use: a field manual*. Paia: Nitrogen Fixing Tree Association, 7-11p.

Vitali-Veiga, M. J.; Machado, V. L. L. 2000. Visitantes florais de *Erythrina speciosa* Andr. (Leguminosae). *Revista Brasileira de Zoologia*, 17:369-383

Watkin, E. L. J.; O'hara, G. W.; Howieson, J.G.; Glenn, A. R. 2000. Identification of tolerance to soil acidity in inoculant strains of *Rhizobium leguminosarum* bv. trifolii. *Soil Biology & Biochemistry*, 32: 1393-1403.

Yamada, T.; Lopes, A. S. 1999. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. In: *Reunião Brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas*, XXIII, Reunião Brasileira sobre micorrizas, VII, Simpósio brasileiro de microbiologia do solo, V e Reunião Brasileira de Biologia do solo, UFLA II - FertBIO, Caxambú, MG.

Capítulo 1

Silva, J. S; Souza, L.A.G. 2014. Formação de mudas de ingá-cipó (*Inga edulis* Mart.) em Argissolo Vermelho Amarelo com omissão de macronutrientes.

FORMAÇÃO DE MUDAS DE INGÁ-CIPÓ (*Inga edulis* Mart.) EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO COM OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES

Resumo:

A maior restrição ao uso agrícola mais intensivo de solos de terra-firme da Amazônia é por conta de sua baixa fertilidade natural. Para avaliar o efeito da omissão de macronutrientes no desenvolvimento de leguminosas arbóreas nodulíferas em Argissolo Vermelho Amarelo foi conduzido um experimento em viveiro com mudas *Inga edulis*. O experimento foi conduzido em Manaus, AM empregando a técnica de elemento faltante. O solo foi coletado em área agrícola de terra-firme, peneirado e distribuído em sacos para mudas, 1,5 kg por recipiente. Os tratamentos aplicados foram: com e sem adubação completa com N, P, K, Ca e Mg e omissão individual de N, P, K, Ca e Mg. Os fertilizantes foram assim aplicados (g kg^{-1}): 0,22 de N, 0,48 de P_2O_5 , 0,26 de K_2O , 0,87 de Ca e 0,52 de Mg. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com sete tratamentos e dez repetições. Após o transplante as mudas foram acompanhadas por 120 dias e avaliadas em comprimento do caule, diâmetro do colo, biomassa da parte aérea, biomassa das folhas, caule, raízes, biomassa total e dos nódulos após secagem a $65^\circ\text{C}/72$ h, relação raiz/parte aérea, número, peso específico de nódulos e absorção foliar dos macronutrientes. A formação de mudas de *Inga edulis* foi pouco influenciada pela omissão de macronutrientes em Argissolo Vermelho Amarelo, evidenciando uma alta capacidade desta espécie em prosperar em solos de baixa fertilidade natural. O cálcio foi o elemento com maior influência no diâmetro do colo, e juntamente com o potássio, no estabelecimento de nódulos das mudas, que responderam de forma eficiente à inoculação com rizóbios selecionados. A absorção de cálcio foi influenciada pela disponibilidade de nitrogênio e fósforo. A absorção de fósforo e magnésio foi co-dependente já que a omissão de um afetou negativamente a absorção do outro nutriente.

Palavras-chave – Fertilidade do Solo, Leguminosas arbóreas, Amazônia, Adubação mineral.

GROWTH OF INGA-CIPÓ SEEDLINGS (*Inga edulis* MART.) IN RED-YELLOW ULTISOLS SUBMITTED TO ABSENCE OF CERTAIN MACRONUTRIENTS

Abstract:

Low natural fertility is one of the biggest reasons Amazon soils of terra-firme are not intensively used in agriculture. An experiment in Red-Yellow Ultisol was conducted to assess the effect of the absence of certain macronutrients in the growth of *Inga edulis*, an specie of leguminosae family. The experiment was developed at a plant nursery in Manaus, Am. Samples of Red-Yellow Ultisols collected from agricultural areas of terra-firme were strained and put plastic grow-bags with 1,5kg of capacity. These soil samples were treated with nutritional solutions as follows: a pure soil sample, a sample with complete solution of N, P, K, Ca, and Mg, while the other 5 samples were treated with the complete solution except one of the macronutrients (g kg^{-1}): 0,22 of N, 0,48 of P_2O_5 , 0,26 of K_2O , 0,87 of Ca and 0,52 of Mg. The representation of this experiment was entirely random with 7 batches of treatment and 10 replications. After pricking out all the seedlings, the *Inga edulis* were observed during 120 days and evaluated in terms of length and diameter of stems, leaves, and root-nodes. *Inga edulis* samples were dried at 65°C per 72 h for aboveground dry-weight biomass calculation. The relationship roots/aerial parts was assessed, as well as root-nodes number, its specific weight, and absorption of macronutrients by the leaves. The treatment of Red-Yellow Ultisol had little influence in the development of *Inga edulis*, evidencing its great capacity of growth in soils with low natural fertility. Calcium was the element with greater influence in the diameter of stems and along with Potassium in the formation of root-nodes number, which indicates the efficiency of the inoculation with Selected Rhizobia. The absorption of Calcium was influenced by the availability of Nitrogen and Phosphorus. The absorption of Phosphorus and Magnesium was co-dependent since the lack of one macronutrient negatively affected the absorption of another.

Key-Words – Soil Fertility, Leguminosae trees, Amazônia, mineral fertilization.

INTRODUÇÃO

Nos estudos sobre a nutrição mineral de plantas é sabido que os nutrientes essenciais desempenham funções estruturais ou metabólicas indispensáveis para o seu desenvolvimento. Nos solos onde há deficiência de macronutrientes, as baixas concentrações destes pode afetar negativamente a planta, a bactéria ou a interação simbiótica estabelecida entre planta e bactéria limitando os processos de fixação de N₂ em leguminosas. A falta de nitrogênio, por exemplo, que é requerido em quantidade superior aos outros nutrientes minerais, pode limitar a produtividade em sistemas agrícolas (Epstein e Bloom 2005). O fósforo participa de quase todo o metabolismo de energia das plantas, desde as sequências de reações na fotossíntese até a respiração (Furlani 2004). Na sua ausência a planta tem o crescimento retardado e redução de muitos processos metabólicos inclusive a fotossíntese (Marschner 1995). O potássio é necessário para os processos fotossintéticos e para o transporte de fotossintatos para outras partes das plantas (Malavolta *et al.* 2000). Em plantas deficientes de K, se o pH no interior da célula vegetal cai abaixo de 7, muitos processos poderão ser paralisados (Meurer 2006). Já a deficiência de cálcio influencia o desenvolvimento por ser componente estrutural, e a de magnésio afeta os processos fotossintéticos das plantas (Malavolta *et al.* 2000). No caso das simbioses com as bactérias presentes no solo, o nutriente mais importante é o P, que parece ativar o gene para a síntese de nitrogenase (Stock *et al.* 1990).

Dentre a classe de solos Amazônicos, destacam-se os Argissolos Vermelho-Amarelos, não hidromórficos, que possuem horizonte A arenoso, com diferenças texturais entre horizontes e transições abruptas, ocupando 142 milhões de ha ou 29,4 % da área da Bacia Amazônica (Cochrane e Sánchez 1982). No relevo irregular da região, os Argissolos posicionam-se geralmente nas áreas de encostas. Em relação às propriedades químicas destes solos, a matéria orgânica contribui com até 90 % da CTC, condicionando a disponibilidade de nutrientes para as culturas (Alcântara *et al.* 2000). Os solos não hidromórficos da região tropical tem em comum a acidez elevada, baixa capacidade de troca catiônica e baixa disponibilidade de nutrientes essenciais.

As pesquisas sobre o efeito dos macronutrientes em leguminosas arbóreas ainda são incipientes nos solos da Amazônia, e, considerando o papel das espécies fixadoras de N₂, ainda necessitam de maior atenção científica. O ingá-cipó (*Inga edulis* Mart. – Fabaceae, Mimosoideae) é uma das mais conhecidas leguminosas arbóreas da Amazônia. A árvore adulta pode alcançar até 25 m de altura e 60 cm de diâmetro. É uma planta semidecidual,

pioneira, tolerante a solos alagados, no período chuvoso (Lorenzi 2002). Sua nodulação é marcada por nódulos esféricos quando jovens e em forma de bastão ou ramificados quando desenvolvidos. As folhas são ricas em nitrogênio, com concentrações de até 5% do material vegetal (Souza 2007).

Por sua adaptação aos solos da terra firme da Amazônia, o ingá-cipó tem sido recomendado para cultivo em sistemas de produção agroflorestais, para emprego como planta para adubação verde, cobertura do solo, compostagem, sombreamento, cercas-vivas, cultivos alternados, apicultura, cobertura do solo, controle de erosão, recuperação de áreas degradadas, controle de plantas daninhas (Lojka *et al.* 2012), e mais recentemente alguns estudos apontam esta espécie com potencial medicinal (Tchuenmogne *et al.* 2013). O potencial dessa espécie é notável, dada sua boa produção de biomassa em solos ácidos, auxiliando na fertilidade do solo, principalmente com o aporte de N, Ca e Mg, podendo tornar-se uma espécie economicamente importante, com grande potencial agroecológico.

Compreender as necessidades nutricionais das leguminosas arbóreas nodulíferas, especialmente quanto à eficiência dos processos simbióticos, é importante para esclarecer seu desenvolvimento em níveis baixos de nutrientes e o que ocorre quando os nutrientes estão disponíveis em doses adequadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da omissão de macronutrientes no desenvolvimento, nodulação e fixação biológica de N em mudas de ingá-cipó (*I. edulis*) conduzidas sob enviveiramento, em Argissolo Vermelho Amarelo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos nas áreas de sementeira e viveiro de produção de mudas do INPA, no Campus do V-8, em Manaus, AM. O viveiro possui área de 8 x 11 m, sendo constituído por uma estrutura de ferro com 2,5 metros de altura, chão cimentado e cobertura de sombrite 50 % de luz incidente.

Para obtenção de propágulos os frutos de ingá foram obtidos de matrizes cultivadas na Estação Experimental de Fruticultura Tropical, do INPA, na BR 174, Km 45. Após a coleta dos frutos, os mesmos foram beneficiados no Laboratório de Microbiologia do Solo, com embebição em água por 24 horas. A semeadura foi feita em caixas plásticas de 40 x 60 cm, com 15 cm de profundidade, drenadas, preenchidas com areia lavada. O processo germinativo das sementes foi monitorado com fins de obtenção de plântulas uniformes e

sadias. O transplântio para a fase de viveiro foi pelo método de raízes nuas quando as plântulas emitiram o segundo par de folhas definitivas.

As amostras de solo utilizado foram coletadas na Estação Experimental de Hortaliças do INPA, em um quintal agroflorestal no Km 14 da rodovia AM-010, da camada de 0-10 cm de profundidade de um Argissolo Vermelho Amarelo, distrófico, ácido, textura franco-arenosa, do qual foram determinadas as características químicas no Laboratório Temático de Solos e Plantas do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (LTSP-INPA), apresentadas na tabela 1. O solo foi seco a sombra por uma semana e em seguida, peneirado em malha de 1 cm para fins de eliminar restos de raízes e material grosseiro. Em seguida foi distribuído em saco plástico preto de polipropileno para mudas com capacidade de 1,5 kg de solo.

Tabela 1. Características químicas do Argissolo Vermelho Amarelo coletado em Quintal Agroflorestal da Estação Experimental de Hortaliças do INPA, AM 010, Km 14, Manaus, AM.

Solo	pH (H ₂ O)	Al	Mg	K	Ca	P	Fe	Zn	Mn	C	Matéria orgânica
		cmo _c kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			g kg ⁻¹			
Argissolo	4,64	0,3	0,2	0,2	0,9	22,6	77	1,8	1,2	8,5	14,6

Para aplicação dos tratamentos, foi utilizada a técnica do elemento faltante, que é constituída pela aplicação de um tratamento completo, com todos os elementos, omitindo-se um dos elementos, de forma alternada. Como parte integrante da pesquisa, um tratamento controle sem adubação química também foi considerado. Desse modo, as condições de adubação foram as seguintes:

- 1) Testemunha. Solo não adubado.
- 2) Adubação completa (N-P-K-Ca-Mg).
- 3) Adubação completa, exceto N.
- 4) Adubação completa, exceto P.
- 5) Adubação completa, exceto K.
- 6) Adubação completa, exceto Ca.
- 7) Adubação completa, exceto Mg.

As quantidades de cada fertilizante aplicadas foram baseadas nas recomendações de alto insumo, adaptado de Cravo *et al.* (1990) propostas para solos da Amazônia. Como fonte de nitrogênio foi utilizado a ureia (45 % de N) na dosagem de 100 kg ha⁻¹, parcelada em duas aplicações de 50 kg ha⁻¹ a primeira, dois dias antes do transplântio e a segunda 30 dias após o transplântio, incorporando-se o adubo ao solo com o auxílio de um bastão de vidro. Para o

fósforo, foi utilizado o fertilizante superfosfato triplo (42 % de P_2O_5), na recomendação de 200 kg ha⁻¹. Para o potássio foi utilizado o cloreto de potássio (58 % de K_2O) na dosagem de 150 kg ha⁻¹. O cálcio foi fornecido na forma de carbonato de cálcio (produto puro), na recomendação 350 kg ha⁻¹ e o magnésio como carbonato de magnésio 150 kg ha⁻¹. Assim sendo, as quantidades de N, P, K, Ca e Mg utilizadas foram: 0,33 g de ureia; 0,72 g de P_2O_5 ; 0,39 g de K_2O ; 1,31 g de Ca e 0,78 g de Mg por recipiente. Excetuando o nitrogênio, os demais macronutrientes foram aplicados uma única vez dois dias antes do transplântio.

Considerando-se a metodologia proposta por Halliday (1984) para solos ácidos, exceto o tratamento sem adubação, foram aplicados micronutrientes em todos os recipientes. A solução líquida de micronutrientes foi preparada de acordo com Eira *et al.* (1972). No preparo desta solução foram utilizados 3,95 g de sulfato de cobre; 2,23 g de sulfato de zinco; 0,25 g de ácido bórico; 0,50 g de molibdato de sódio; 5,00 g de sulfato de ferro e 5,00 g de ácido cítrico. A distribuição da solução líquida de micronutrientes foi feita com auxílio de uma pipeta automática, sendo distribuído 1 mL/kg de solo.

Para garantir a presença de rizóbios compatíveis nos solos selecionados, todas as mudas de ingá foram inoculadas com estirpes de rizóbios da Coleção de Rizóbios do INPA, a partir de isolados homólogos, com os seguintes códigos: 831, 833, e 843. Com estas estirpes foi preparado um coquetel utilizando proporcionalmente a mesma quantidade de cada estirpe. As estirpes utilizadas foram selecionadas em um estudo prévio como as mais eficientes no processo de simbiose com a espécie, procurando garantir a eficiência do processo de nodulação (Souza 2013).

O inoculante foi preparado no Laboratório de Microbiologia do Solo do INPA, utilizando o meio YMA, sem ágar, para obtenção de uma suspensão líquida de rizóbios (Hungria e Araújo 1994). O inoculante líquido foi distribuído em erlenmeyers de 125 mL, 50 mL por recipiente e incubado com agitação por 15 dias, em agitador mecânico horizontal intermitente para oxigenação do meio de crescimento. A distribuição do inoculante foi feita um dia após o transplântio, 5 mL por planta, aplicado, com o auxílio de pipeta automática na base do colo da muda. Uma semana após a primeira inoculação, uma segunda aplicação do inoculante foi efetuada como uma garantia da presença do elemento simbiote no solo.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, constituído por sete condições de adubação (já descritas), correspondendo aos sete tratamentos com 10 repetições, totalizando 70 mudas.

Durante o desenvolvimento das plantas, foram efetuadas irrigações diárias, limpeza manual de plantas invasoras e de insetos ocasionais. Para o acompanhamento do crescimento

foram feitas avaliações a cada 30 dias do comprimento do caule (cm) e diâmetro do colo (mm) com o auxílio de régua e paquímetro respectivamente, até atingirem qualidade suficiente para o plantio definitivo. Quinzenalmente os sacos foram deslocados para evitar enraizamento no chão do viveiro. Com os dados obtidos do monitoramento do crescimento das plantas foi calculada a taxa de incremento mensal com as medidas de crescimento das mudas, conforme recomenda Benincasa (1988), empregando-se a fórmula $(h_2 - h_1) / (t_2 - t_1) \times 30$, onde h_2 e h_1 correspondem ao comprimento do caule no tempo inicial e final, t_2 e t_1 , respectivamente.

O material foi colhido aos 120 dias e seco em estufa mantida a 65°C por 72 h e posteriormente foram avaliadas a biomassa das folhas, caule, raízes após secagem. Além disso, foram calculadas a biomassa da parte aérea, biomassa seca total, contagem dos números de nódulos, o peso dos nódulos secos e peso específico dos mesmos. O peso específico dos nódulos foi determinado pela razão entre o peso dos nódulos secos e o número de nódulos correspondente. Com base no peso da parte aérea e das raízes secas foi calculada a relação raiz/parte aérea.

As folhas das plantas foram moídas e separadas para determinação da concentração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio. As análises químicas dos tecidos vegetais foram feitas conforme metodologia de Silva (1999). Ca, Mg, K, e P foram determinados por meio de digestão nitro-perclórica. Já o N foi determinado empregando-se o método de Kjeldahl, modificado, utilizando uma solução sulfúrica para digestão, solução de ácido bórico e hidróxido de sódio para destilação e, posteriormente, solução de ácido sulfúrico 0,01N para titulação. Todas as análises foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F, empregando-se o programa estatístico ESTAT, versão UNESP, 2002. As comparações entre tratamentos foram feitas pelo teste de Tukey, a 1 e 5 % de probabilidade, e para cálculo de transformação de números iguais a zero, foi feita a correção pela fórmula $y = \sqrt{x + 0,01}$. Os dados de biomassa de nódulos secos e biomassa total seca e dados de peso específicos dos nódulos, com os de nitrogênio foliar foram utilizados para se verificar as devidas correlações nas mudas de ingá-cipó.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas apresentaram desenvolvimento satisfatório, alcançando aos 120 dias após repicagem a altura adequada para o plantio definitivo, não sendo observados sinais visuais de deficiência nutricional.

A omissão de macronutrientes não afetou significativamente o comprimento do caule das mudas de ingá-cipó no período experimental, não sendo verificadas diferenças entre os tratamentos aplicados ($P < 0,05$). A média para o comprimento do caule foi de 28,8 cm (Tabela 2). Sorreano (2006), avaliando a exigência nutricional em dezesseis espécies florestais, dentre elas seis espécies de Fabaceae (jatobá, embira-de-sapo, manjoleiro, orelha-de-nego, ingá e cabreúva) encontrou variações significativas, sendo que o tratamento com omissão de N, seguido pelo tratamento em omissão de Ca foram os que mais restringiram o comprimento do caule destas espécies. Outros estudos com espécies florestais não pertencentes à Família Fabaceae, submetidos à omissão de macronutrientes, como a gravioleira, teca, umbu, pau-rosa, também obtiveram resultados diferentes deste estudo, sendo o tratamento em omissão de N o que mais afetou o comprimento do caule destas espécies (Batista *et al.* 2003; Barroso *et al.* 2005; Gonçalves *et al.* 2006; Valencia *et al.* 2010). O que difere este estudo dos demais experimentos, excetuando o de Valencia *et al.* (2010) com o pau-rosa, foi o uso de solo natural como substrato, enquanto os outros estudos foram realizados em solução nutritiva, isso pode explicar a não variação desta espécie quanto ao comprimento do colo em omissão de nutrientes.

Tabela 2. Efeito da omissão de macronutrientes nas medidas do comprimento do caule, diâmetro do colo e incremento mensal de crescimento do caule das mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*), em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento.*¹

Tratamentos* ²	Comprimento do caule (cm)	Diâmetro do colo (mm)	Incremento (cm mês ⁻¹)
Testemunha	28,2 a	4,6 ab	3,3 a
Completo	27,2 a	3,9 b	2,6 a
Completo sem N	30,0 a	4,2 ab	2,9 a
Completo sem P	33,4 a	4,9 ab	4,4 a
Completo sem K	26,0 a	4,3 ab	2,4 a
Completo sem Ca	24,8 a	3,9 b	2,2 a
Completo sem Mg	32,3 a	5,3 a	4,6 a
Teste F	2,36ns	3,43*	2,62*
Coef. de var. (%)	16,10	13,89	41,24

*¹ Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 5 % de probabilidade ($P < 0,05$); ns – não significativo.

*² Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg.

A avaliação do diâmetro do colo é importante para avaliar o potencial da muda para sobrevivência e crescimento após o transplântio (Souza *et al.* 2006). Foi observada variação significativa para esta variável nas diferentes condições de adubação ($P < 0,05$), sendo que o tratamento com omissão de Ca foi a que mais afetou o desenvolvimento do diâmetro (Tabela 2). Isso pode ser explicado pela função estrutural deste elemento, e sua omissão pode ter levado a uma redução do diâmetro em relação aos outros tratamentos. Sorreano (2006), em seu estudo com seis espécies de Fabaceae, já mencionadas, encontrou variação significativa, sendo que os tratamentos com omissão de N e Ca, foram os que mais afetaram negativamente o diâmetro do colo destas espécies. Para outras espécies florestais, como a gravioleira e umbu, também houve variação entre os tratamentos com omissão de macronutrientes, entre eles o N, K e Mg, respectivamente, foram que mais reduziram o diâmetro do colo (Batista *et al.* 2003; Gonçalves *et al.* 2006). Diferindo destes estudos Maia *et al.* (2011), não verificaram resultados significativos na omissão de macronutrientes para o diâmetro do colo em mudas de *Jatropha curcas* em Latossolo Vermelho Amarelo.

O incremento mensal do comprimento do caule apresentou variação significativa no teste F, porém não foi possível observar essa variação nas médias apresentadas pelo teste de Tukey a 5%, provavelmente em um estudo mais longo essa variação poderia ser mais bem observada (Tabela 2). Pode-se, contudo observar diferenças numéricas entre os tratamentos, sendo que o tratamento com omissão de Mg apresentou a maior média, e o tratamento com omissão de Ca obteve a menor média para esta variável.

Quanto ao efeito da omissão de macronutrientes na biomassa das folhas de ingá-cipó, houve variação significativa ($P < 0,05$), sendo que o tratamento com omissão de P foi o que se sobressaiu sobre os outros tratamentos apresentando o maior valor (Figura 1-a). A variação encontrada para a biomassa das folhas teve influencia sobre a biomassa da parte aérea seca, que seguiu a mesma tendência (Figura 1-b), obtendo variações significativas similares às encontradas para as folhas de ingá-cipó. Esses resultados podem ser explicados pelas concentrações de P presente no solo (Tabela 1), que são consideradas altas para os solos Amazônicos, resultado esse que difere dos valores geralmente encontrados nos solos da região, pobres em concentrações de P. Portanto, no uso do Argissolo Vermelho Amarelo com concentrações similares às encontradas neste estudo, como substrato para produções de muda de ingá-cipó, pode-se omitir a adubação com P sem prejuízo para as plantas. Diferente do esperado o tratamento com adubação completa, foi o que obteve a menor média para ambas variáveis, que pode ser resultado de competições entre os nutrientes inseridos no solo

causando desbalanceamento nas concentrações dos mesmos. Em outros estudos com espécies florestais, das quais a gravioleira, camu-camu, umbu e moringa, foram encontrados resultados diferentes em relação a biomassa das folhas, sendo que o N, Ca, Mg e K respectivamente, foram os que mais prejudicaram esta variável nestas espécies (Batista *et al.* 2003; Viégas *et al.* 2004; Gonçalves *et al.* 2006; Vieira *et al.* 2008). Para a biomassa da parte aérea Sorreano (2006) encontrou variação significativa em três das seis espécies de Fabaceae estudadas (embira-de-sapo, monjoleiro, orelha-de-nego), sendo que a omissão de nitrogênio foi a que mais restringiu o desenvolvimento da biomassa foliar.

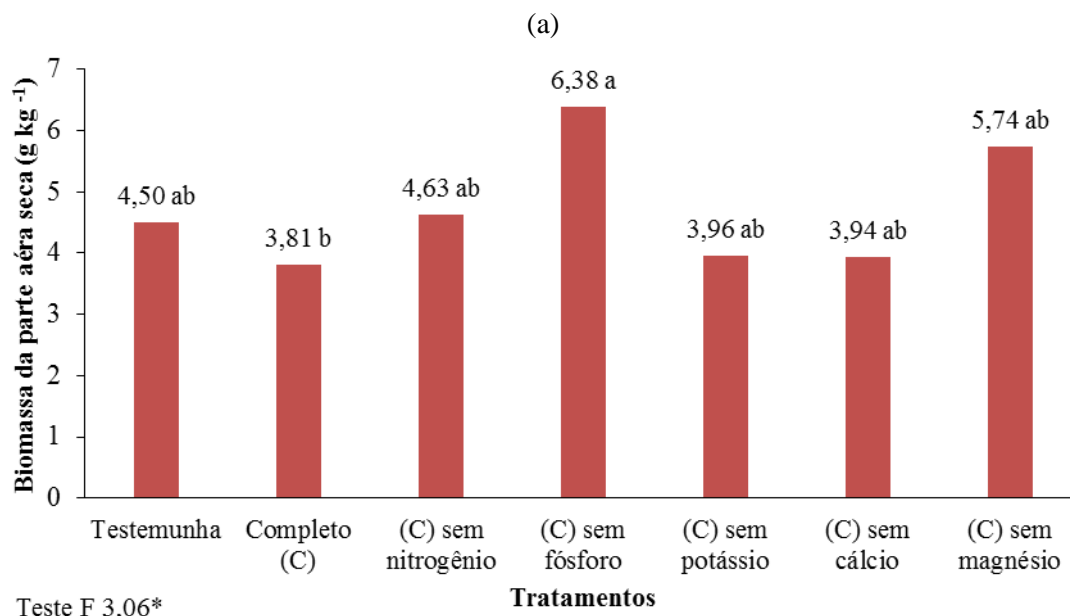
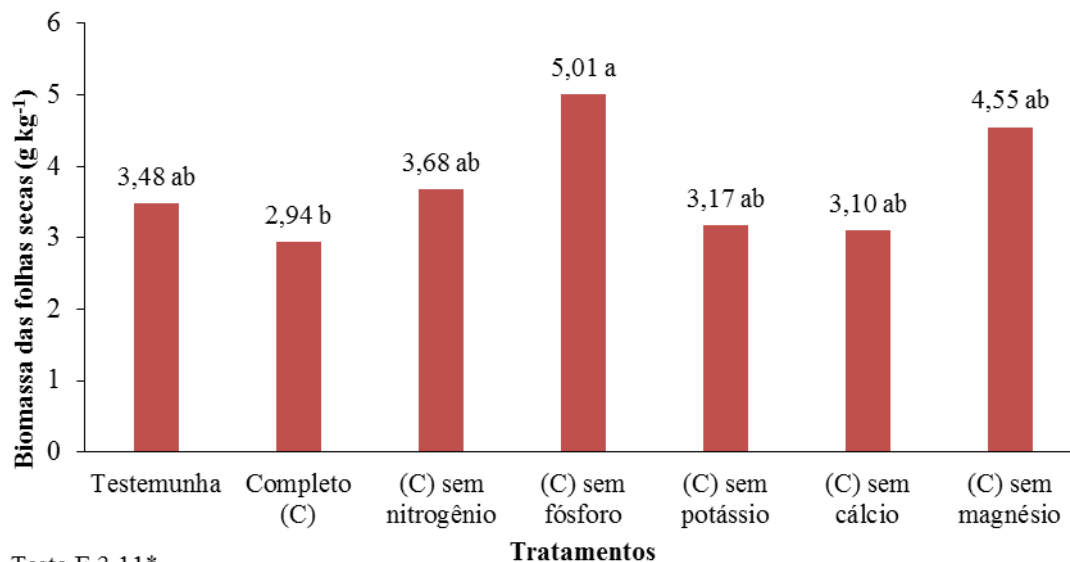


Figura 1. Efeito da omissão de macronutrientes na biomassa das folhas (a) e da parte aérea seca (b) nas mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento. *1 *2

*1 Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 5 % de probabilidade (P<0,05).

*2 Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg.

Diferente da biomassa das folhas e da parte aérea, as biomassas do caule e das raízes não responderam a omissão dos macronutrientes (Tabela 3). As médias dos valores da biomassa do caule e raízes foram de 1,00 e 1,56 g, respectivamente. Em outros estudos, com espécies florestais, em resposta a omissão de macronutrientes (graviroleira, camu-camu, umbu e moringa) foi encontrada variações significativas para todos os macronutrientes, sendo que a omissão de N foi a que mais afetou a biomassa do caule destas espécies (Batista *et al.* 2003; Viégas *et al.* 2004; Gonçalves *et al.* 2006; Vieira *et al.* 2008). Para a biomassa das raízes, Barroso *et al.* (2005), encontraram resultados similares em mudas de *Tectona grandis* em solução nutritiva. Já outras pesquisas com espécies florestais, tais como a graviola, camu-camu, umbu, moringa e pinhão manso, demonstraram que a biomassa da raiz é afetada pela omissão de todos os macronutrientes, com o destaque para o N e K. (Batista *et al.* 2003; Viégas *et al.* 2004; Gonçalves *et al.* 2006; Vieira *et al.* 2008; Maia *et al.* 2011). Sorreano (2006) em seu estudo com espécies florestais, dentre elas seis espécies de Fabaceae, verificou resultados parecidos com os encontrados nesta pesquisa em jatobá, monjoleiro, orelha-de-negro, ingá e cabreúva, já em embira-de-sapo houve menor crescimento da raiz em omissão de nitrogênio.

Tabela 3. Efeito da omissão de macronutrientes na biomassa seca do caule, raiz, relação raiz/parte aérea e biomassa total das mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*), em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento.*1

Tratamentos*2	Caule ----- g -----	Raiz ----- g -----	Relação raiz/parte aérea	Biomassa total (g)
Testemunha	1,02 a	1,77 a	0,39 a	6,26 a
Completo	0,86 a	1,36 a	0,36 a	5,19 a
Completo sem N	0,92 a	1,51 a	0,32 a	6,11 a
Completo sem P	1,37 a	2,39 a	0,36 a	8,77 a
Completo sem K	0,80 a	1,05 a	0,26 a	5,02 a
Completo sem Ca	0,84 a	1,09 a	0,27 a	5,03 a
Completo sem Mg	1,19 a	1,73 a	0,30 a	7,47 a
Teste F	1,89ns	1,92ns	2,69*	2,64*
Coef. de var. (%)	34,41	47,99	20,11	31,11

*1 Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 5 % de probabilidade (P<0,05); ns – não significativo.

*2 Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg.

Os valores observados para a relação raiz/parte aérea das mudas de ingá-cipó estão apresentados na Tabela 3, registrando-se somente uma tendência de resposta evidenciada pelo

teste F. Deve-se ressaltar que as médias encontradas ficaram muito próximas da faixa considerada adequada para estabelecer a qualidade de mudas florestais que varia entre 0,25 e 0,35 segundo Arco-verde e Moreira (1998). As mudas que não apresentaram médias dentro da faixa sugerida foram as que se desenvolveram em solo sem fertilização mineral, com todos os macronutrientes e onde o fósforo foi suprimido. Gonçalves *et al* (2006), também não encontraram variação significativa na relação raiz/parte aérea de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), em resposta a omissão de macronutrientes. Sorreano (2006), em seu estudo que incluiu seis espécies de Fabaceae, encontrou resultados diferentes apenas para *Inga uruguensis*, que apresentou menor valor em omissão de nitrogênio, nas espécies restantes (jatobá, monjoleiro, orelha-de-nego, cabreúva e embira-de-sapo) não encontrou variação significativa para relação raiz/parte aérea em omissão de macronutrientes.

Os mesmos resultados de tendência à significância verificada para a relação raiz/parte aérea das mudas de ingá-cipó também foram encontrados na biomassa total seca das plantas (Tabela 3), avaliados pelo teste F ($P < 0,05$). Considerando-se as médias, o desenvolvimento total das plantas foi menos afetado na ausência de fósforo e mais afetado na ausência de potássio e cálcio, mas esses resultados foram não significativos aos 120 dias de enviveiramento. Em outros estudos com espécies florestais (graviola, camu-camu) a omissão de N entre os macronutrientes aplicados restringiram a biomassa total das plantas (Batista *et al.* 2003; Viégas *et al.* 2004). Sorreano (2006) encontrou resultados similares, não encontrando variação em jatobá, ingá, e cabreúva, sendo que em embira-de-sapo, manjoleiro e orelha-de-nego, o nitrogênio afetou significativamente, reduzindo a biomassa total das mesmas.

Confirmando a capacidade nodulífera das plantas de ingá-cipó, a ocorrência de nódulos foi verificada em todas as condições de adubação após 120 dias de enviveiramento. As características desta nodulação, bem como os valores verificados para a concentração de N-foliar estão apresentadas na Tabela 4. A capacidade infectiva de rizóbios compatíveis com o ingá-cipó no solo pesquisado foi significativamente influenciada pela fertilização com macronutrientes avaliada pelo número de nódulos formados. Assim, tanto a fertilização completa como a omissão de cálcio e potássio reduziram significativamente o número de nódulos formados comparados ao tratamento onde o N-mineral foi omitido. De fato, a presença de N mineral no solo é um dos principais fatores que influenciam o estabelecimento de nódulos (Hungria *et al.* 1994) e desse modo o maior número de nódulos foi verificado na ausência deste elemento. Quando o nitrogênio está disponível em forma de N-mineral para o

crescimento de leguminosas, sua demanda deste elemento é suprida e esta não tem necessidade de beneficiar-se pelos processos biológicos, o que é regulado pelo próprio hospedeiro. Sarcinelli *et al.* (2004) também encontraram nodulação em todos os tratamentos com omissão de N em *Acacia holosericia*.

Tabela 4. Efeito da omissão de macronutrientes no número, biomassa seca, peso específico dos nódulos e concentração de nitrogênio das mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*), em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento.*¹

Tratamentos* ²	Número de nódulos	Pesos dos nódulos secos (g)	Peso específico dos nódulos (mg nódulo ⁻¹)	N (%)
Testemunha	8ab	0,28 a	1,1 a	3,27 a
Completo	5 b	0,23 a	1,0 a	3,04 a
Completo sem N	10 a	0,36 a	1,1 a	3,37 a
Completo sem P	7ab	0,38 a	1,7 a	3,21 a
Completo sem K	5 b	0,22 a	1,0 a	3,38 a
Completo sem Ca	5 b	0,24 a	1,0 a	3,32 a
Completo sem Mg	9ab	0,33 a	0,8 a	3,22 a
Teste F	4,38**	3,09*	1,89ns	0,88ns
Coef. de var (%)	33,76	28,62	39,49	8,40

*¹ Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 e 5 % de probabilidade (P<0,01; P<0,05). ns – não significativo.

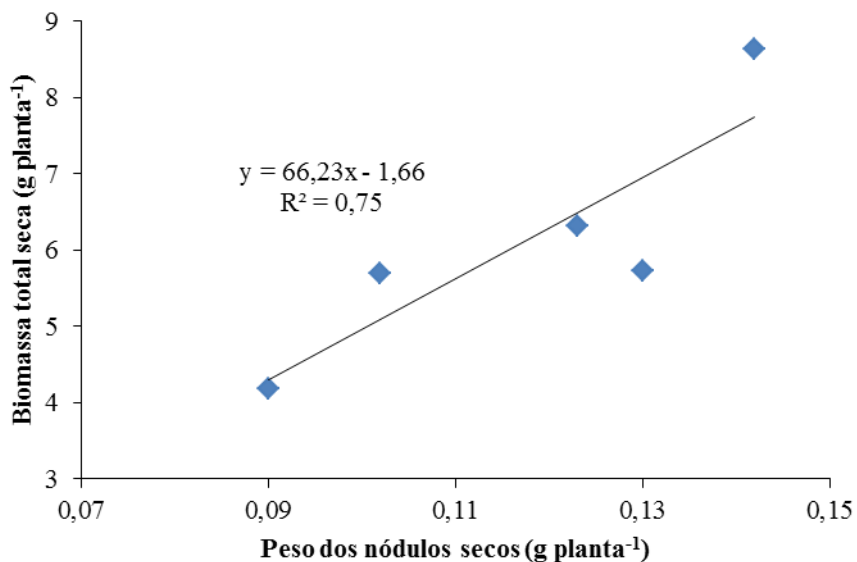
*² Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg.

Se por um lado os processos de iniciação nodular foram afetados pelas condições de adubação, este efeito no desenvolvimento dos nódulos foi menos pronunciado e significativo somente para o teste F, evidenciando apenas tendência de resposta. Assim, as médias apresentadas mostram que a omissão de fósforo, foi a que menos influenciou o desenvolvimento dos nódulos (Tabela 4). O tamanho dos nódulos avaliado pelo peso específico não foi influenciado pelas condições de adubação, verificando-se, porém, comparativamente, a menor média na ausência de magnésio, com valores de 0,8 mg nódulo⁻¹, abaixo da média geral que foi de 1,1 mg nódulo⁻¹.

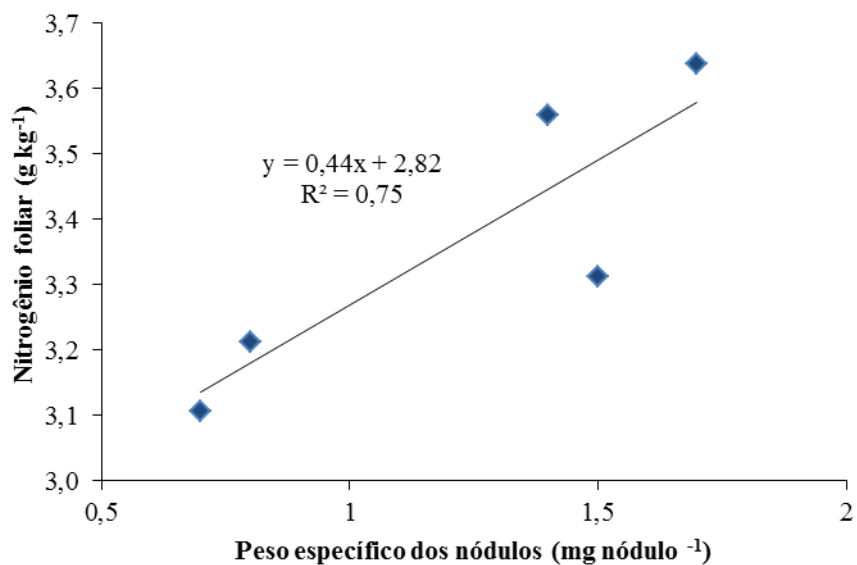
No Argissolo Vermelho Amarelo, a concentração de N foliar nas plantas de ingá-cipó também não foi significativamente afetada pelas condições de adubação com macronutrientes variando entre 3,04 e 3,38 %, com média de 3,26 % (Tabela 4). Os valores na concentração de N das mudas de ingá-cipó aqui pesquisadas concordam com outros registros já efetuados. Moreira (1994), ao revisar informações sobre o potencial fixador de N₂ em leguminosas arbóreas nodulíferas, registrou para o *Inga edulis* valores de 3,18 % de N. Souza

(2013) selecionando estirpes de rizóbios para esta espécie, também não encontrou diferenças significativas na concentração de N que variou entre 2,77 (na presença de N-mineral) e 3,28 % quando a planta foi inoculada. Em um estudo com camu-camu (*Myrciaria dubia*) somente a omissão de N reduziu as concentrações deste nutriente nas folhas da planta (Viégas *et al.* 2004). Valência *et al.* (2010), também verificaram que a omissão de nitrogênio afetou as concentrações deste elemento nas folhas de pau-rosa (*Aniba roseadora*), obtendo o menor valor na ausência do mesmo.

Considerando que o ingá-cipó é uma leguminosa arbórea nodulífera que se beneficia dos processos simbióticos fixadores de N₂, os dados obtidos nas plantas que cresceram em solo sem adição de nitrogênio mineral foram empregados para avaliar o grau de eficiência da inoculação com as estirpes selecionadas. Foi verificado que a relação entre a biomassa total seca da planta e dos nódulos e, também, as concentrações de N-foliar e o peso específico dos nódulos apresentaram coeficientes de correlação significativos, permitindo o estabelecimento de equações de regressão. Para as variáveis independentes da biomassa total seca e a biomassa dos nódulos secos, houve uma correlação linear positiva aos 120 dias de enviveiramento (Figura 2-a). Desse modo, o acúmulo de biomassa total na planta apresentou r² de 0,75 quando associada à biomassa nodular seca, evidenciando a eficiência simbiótica no Argissolo Vermelho Amarelo, já que quanto maior a massa nodular maior era a biomassa total das plantas de ingá-cipó. Em solos da Zona da Mata de Pernambuco, Souza *et al.* (2007) encontraram correlação linear significativa para *Clitoria fairchildiana* entre o nitrogênio total da planta e a biomassa nodular com valor de r² de 0,84, o que foi usado como medida da eficiência do processo simbiótico. Para Vieira & Souza (2011), que pesquisaram o efeito da inoculação de mudas de *Swartzia laevicarpa*, outra leguminosa arbórea nodulífera, a relação encontrada entre o N-total da planta e a biomassa nodular foi de 0,86.



(a)



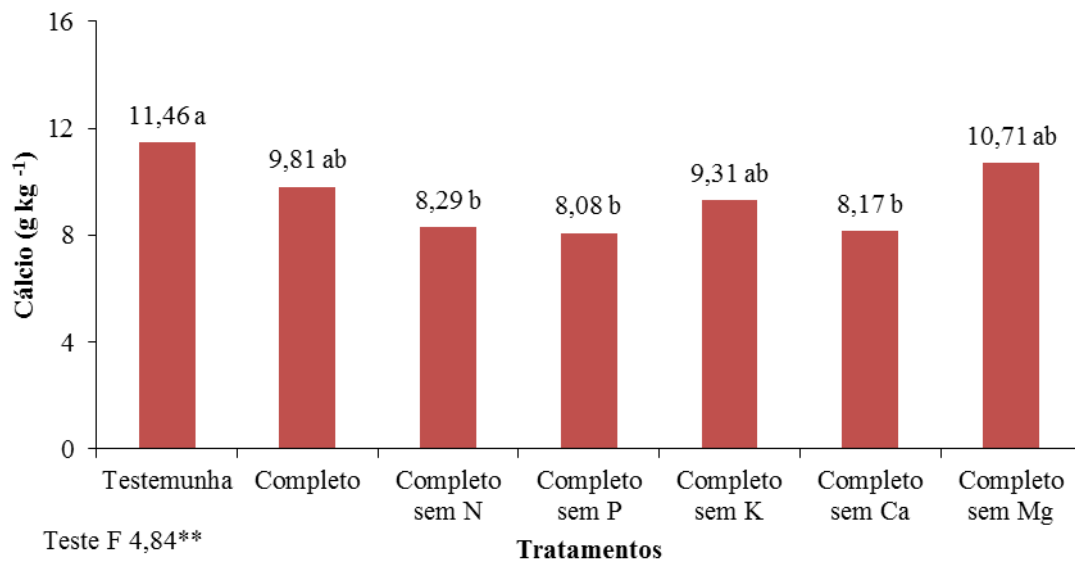
(b)

Figura 2. Correlação entre biomassa dos nódulos secos e biomassa total seca (a) e entre o peso específico dos nódulos e o nitrogênio foliar (b) em mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento.

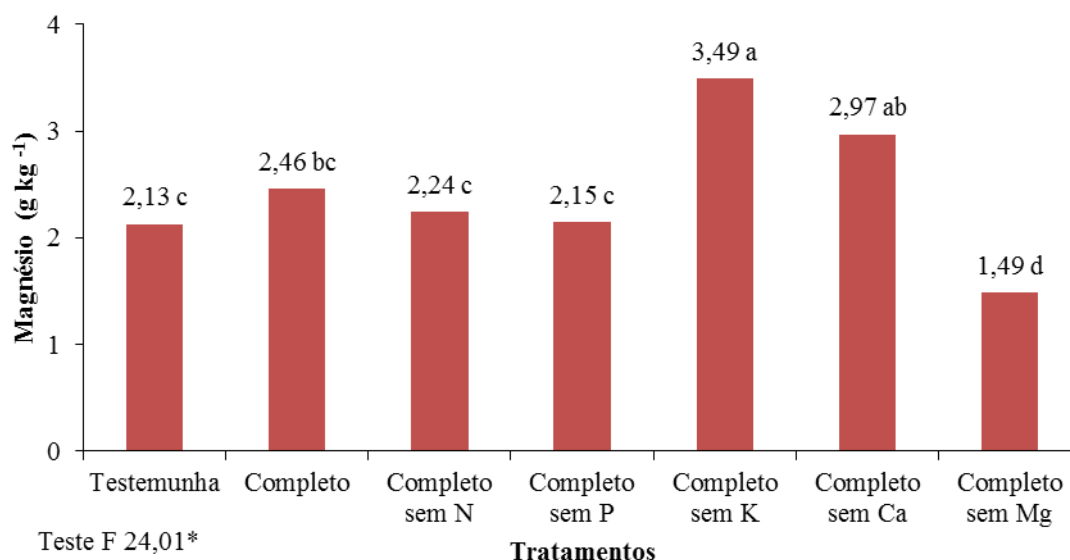
O peso específico dos nódulos formados também apresentou relação significativa para o conteúdo de N-foliar (Figura 2-b). Para estas duas variáveis independentes, o r^2 encontrado foi também de 0,75, estabelecendo uma correlação linear positiva entre o tamanho dos nódulos formados e a concentração de nitrogênio verificada nas folhas da planta, e gerando a equação de regressão apresentada.

As determinações efetuadas para a concentração dos macronutrientes cálcio, magnésio, fósforo e potássio na biomassa foliar das mudas de ingá-cipó, aos 120 dias de

enviveiramento, são um complemento importante para a compreensão do balanço nutricional nas mudas. As concentrações de cálcio na biomassa foliar do ingá-cipó variaram significativamente em resposta as condições de adubação aplicadas (Figura 3-a). Assim, a menor absorção de cálcio foi observada no tratamento onde este elemento foi omitido, e também nos tratamentos sem nitrogênio e sem fósforo, o que foi atribuído ao efeito da ausência destes elementos sobre a absorção do Ca. Entre os tratamentos, o maior acúmulo de cálcio foi verificado no solo testemunha. Malavolta *et al.* (1997) sugerem que geralmente a suficiência em N e P no solo favorece o acúmulo de Ca nas folhas. Por outro lado, as relações cálcio e magnésio já identificado como antagônicas nas pesquisas de nutrição mineral de plantas (Moore *et al.* 1961; Fonseca e Meurer 1997), puderam ser constatados pela acentuada concentração de cálcio absorvida quando o magnésio foi omitido entre os macronutrientes. Valencia *et al.* (2010), encontraram pouca variação para os valores Ca em *Aniba roseadora*, sendo que a única condição de adubação que afetou a concentração deste elemento, foi na qual ele mesmo foi omitido.



(a)



(b)

Figura 3. Efeito da omissão de macronutrientes nas concentrações de cálcio (a) e magnésio (b) na biomassa foliar de mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento. ^{*1*2}

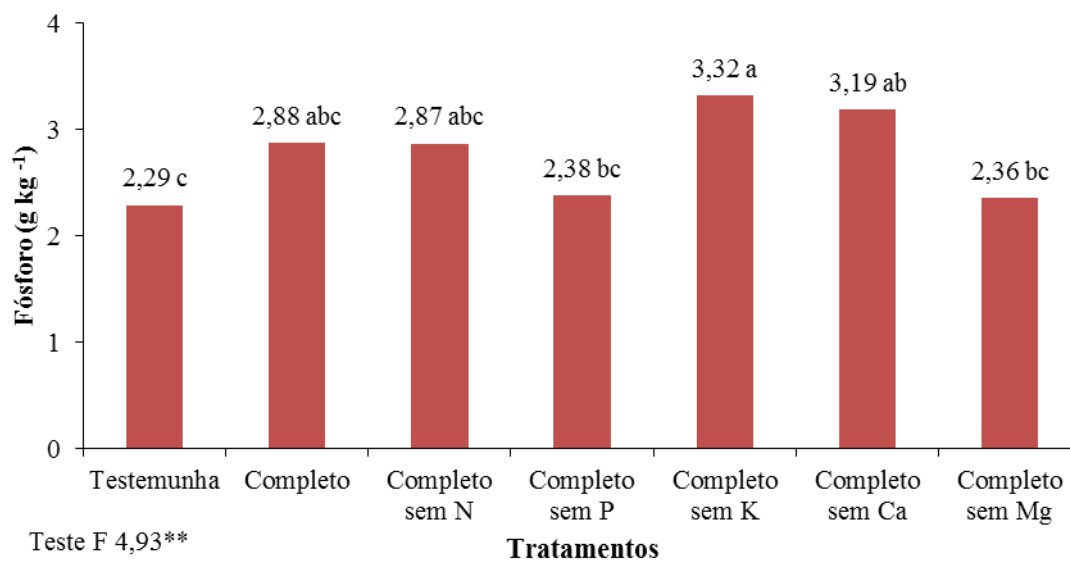
^{*1} Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 e 5% de probabilidade ($P < 0,01$; $P < 0,05$).

^{*2} Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg.

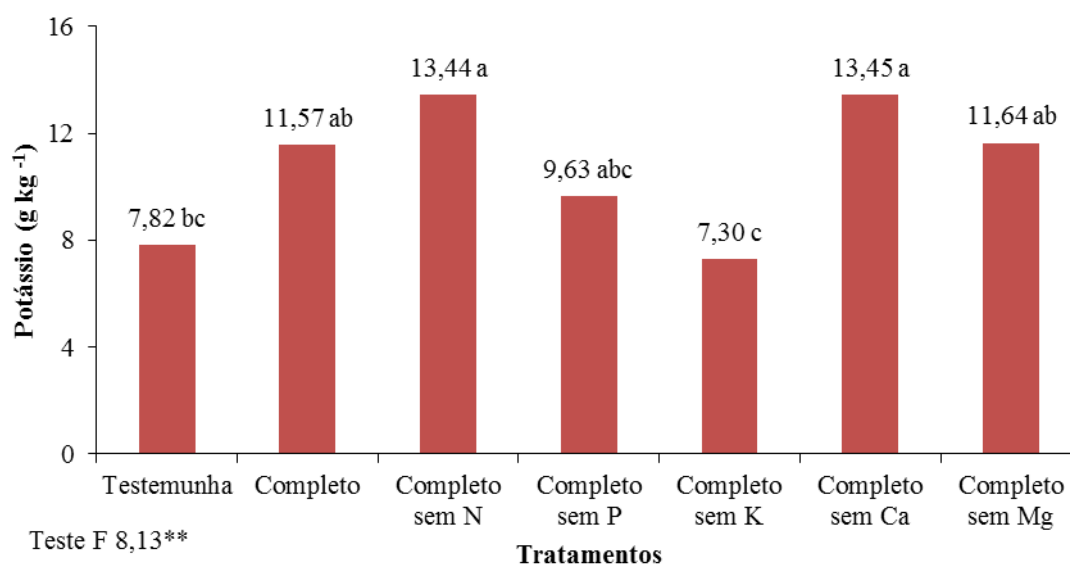
A omissão de magnésio entre os macronutrientes afetou significativamente sua absorção pelas plantas de ingá-cipó (Figura 3-b), influenciando também as concentrações de nitrogênio e fósforo. Para o Mg foi identificada também uma baixa absorção do elemento no solo testemunha e naquele que recebeu todos os macronutrientes. Considerando o antagonismo existente entre os cátions, a absorção de magnésio nas folhas de ingá-cipó foi maior nos tratamentos onde potássio e cálcio foram omitidos, diferindo significativamente da absorção verificada na ausência de Mg. Como o esperado, em estudos realizados com camu-camu, pau-rosa e teca, também foi verificada a menor concentração de Mg em omissão dele mesmo (Viégas *et al.* 2004; Barroso *et al.* 2005; Valencia *et al.* 2010).

A absorção de fósforo pelas mudas de ingá-cipó foi também significativamente afetada pelos tratamentos aplicados (Figura 4-a). Os menores níveis na biomassa foliar das mudas foram verificados no solo sem adubação, sem magnésio e quando se omitiu esse elemento, confirmando sua alta exigência pelas plantas. Por outro lado, a maior absorção de fósforo foi encontrada na ausência de potássio e cálcio. Os baixos níveis de fósforo em plantas que não receberam magnésio sugere uma participação deste elemento significativamente maior ($P < 0,01$) que a do potássio com relação à absorção de fósforo pela planta. Em um estudo com *Tectona grandis* em omissão de macronutrientes em solução nutritiva, apenas a omissão de fósforo reduziu sua concentração na parte aérea da planta.

Valencia *et al.* (2010), também encontraram resultados significativos em *Aniba roseodora*, em omissão de macronutrientes, sendo que as concentrações de fósforo, foram menores quando ele foi omitido, como maiores concentrações em omissão de magnésio.



(a)



(b)

Figura 4. Efeito da omissão de macronutrientes nas concentrações de fósforo (a) e potássio (b) na biomassa foliar de mudas de ingá-cipó (*Inga edulis*) em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento.^{*1 *2}

^{*1}Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 % de probabilidade ($P < 0,01$).

^{*2} Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg.

Os níveis potássio verificados na biomassa foliar das plantas de ingá também variaram significativamente com as condições de adubação aplicadas. A menor absorção

deste elemento foi verificada quando este foi omitido entre os macronutrientes e também no solo Argissolo não adubado. A omissão da adubação com os elementos nitrogênio e cálcio não influenciaram diretamente a absorção de potássio ($P < 0,01$), já que foi nestas condições que o K apresentou as maiores médias na biomassa foliar das mudas. Na condição de adubação onde o magnésio foi omitido e nas plantas que receberam a adubação completa a absorção de potássio foi pouco afetada. Contrariamente, Viégas *et al.* (2004) observaram que na ausência de nitrogênio houve redução da absorção de potássio em plantas de *Myrciaria dubia*. Já Valencia *et al.* (2010) encontraram resultados similares para *Aniba roseadora*, encontrando o menor valor de K, no tratamento onde o mesmo foi omitido.

CONCLUSÕES

A formação de mudas de *Inga edulis* foi pouco influenciada pela omissão de macronutrientes em solo Argissolo Vermelho Amarelo, aos 120 dias de enviveiramento, evidenciando uma alta capacidade desta espécie em prosperar em solos de baixa fertilidade natural. O cálcio foi o elemento com maior influência no diâmetro do colo e junto com o potássio, no estabelecimento de nódulos das mudas, que responderam eficientemente à inoculação com rizóbios selecionados. A absorção de Cálcio foi influenciada pela disponibilidade de nitrogênio e fósforo. A absorção de fósforo e magnésio foi co-dependente já que a omissão de um afetou negativamente a absorção do outro nutriente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcântara, F.A.; Neto, A.E.F.; Paula, M.B.; Mesquita, H.A.; Muniz, J.A. 2000. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo vermelho-escuro degradado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35 (2): 277-288.
- Arco-Verde, M. e Moreira, M.A.B. 1998. Viveiros Florestais. Construção, custos, cuidados e atividades desenvolvidas para a produção de mudas. Embrapa-CPAF, RR, Documentos 3, Boa Vista, 32p.
- Barroso, D. G.; Figueiredo, F. A. M. M. de A.; Pereira, R. de C.; Mendonça, A. R.; Silva, L. da C. 2005. Diagnóstico de eficiência de macronutrientes em mudas de teca. *R. Árvore*, 5: 671-679.
- Batista, M.M. F.; Viégas, I. de J. M.; Frazão, D. A. C.; Thomaz, M. A. A.; Silva, R. de C. L. 2003. Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25 (2): 315-318.
- Benincasa, M.M.P. 1988. *Análise de crescimento de plantas*. FUNEP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. 41pp.
- Cochrane, T.T.; P.A. Sánchez. 1982. Land resources, soils and their management in the Amazon region: A state of knowledge report. In: Hecht, S.B (ed.) *Amazonia: Agriculture and Use Research*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colômbia. p. 137-209.
- Cravo, M.S. 1990. Sistema de cultivo com altos insumos na Amazônia Brasileira. In: Smith, R.J.; Raun, W.R.; Berttsch, E. (Eds.) *Manejo de suelos tropicales en latinoamerica*. North Carolina State University, Raleigh, 144-156p.
- Eira, P.A.; Almeida, F.L.; Silva, W.C. 1972. Fatores nutricionais limitantes do desenvolvimento de três leguminosas forrageiras em um solo Podzólico Vermelho Amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Série Agronomia, 7: 185-192.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. 2 nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400p.
- Fonseca, J. A.; Meurer, E. J. 1997. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 21: 47-50.
- Furlani, A. M. C. 2004. Nutrição Mineral. In: Kerbauy, G. B (Ed.). *Fisiologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 452p.

- Gonçalves, F. C.; Neves, Orlando, S. C.; Carvalho, J. G. 2006. Deficiência nutricional em mudas de umbuzeiro decorrente da omissão de macronutrientes - Notas Científicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41 (6): 1053-1057.
- Halliday, J. 1984. Integrated approach to nitrogen fixing tree germoplasma development. *Pesq. Agropec. Bras.:* 91-117.
- Hungria, M.; Araújo, R.S. 1994. *Manual de Métodos empregados em estudos de Microbiologia Agrícola*. Brasília: EMBRAPA-CNPAP, Documentos n.46, 542p.
- Lojka. B.; Preininger, D.; Damme, P. V.; Rollo, A.; Banout, J. 2012. Use of the Amazonian tree species *Inga Edulis* for soil regeneration and weed control. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(1): 89-101.
- Lorenzi, H. 2002. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum. v. 2 368 p.
- Maia, J. T. L. S.; Guilherme, D. de O.; Paulino, M. A. de O.; Silveira, H. R. de O.; Fernandes, L. A. 2011. Efeito da omissão de macro e micronutrientes no crescimento de pinhão-mansão. *Revista Caatinga*, 24 (2): 174-179.
- Malavolta, E.; Pimentel-Gomes, F.; Alcarde, J. C.2000. *Adubos e adubações*. Edição revista e atualizada. São Paulo: Nobel. 200p.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. 1997. *Avaliação do estudo nutricional das plantas. Princípios e aplicações*. 2 ed. p.319. Piracicaba-SP.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2 nd ed. London: Academic Press. 889p.
- Meurer, J. E. 2006. Potássio. SBCS, (ed. Fernandes, M. S). *Nutrição Mineral de Plantas*, Viçosa, Minas Gerais, 432p.
- Moore, D. P.; Overstreet, R; Jacobson, L. 1961. Uptake of magnesium and its interactions with calcium in excised barley roots. *Plants Physiology*, 36 (3): 290-295.
- Moreira, F.M.S. 1994. Fixação Biológica do nitrogênio em espécies arbóreas. In: Araujo, R.S. e Hungria, M. (Eds.) *Microrganismos de Importância Agrícola*. EMBRAPA-CNPAP, Goiânia, Documentos 44, p. 121-149.
- Sarcinelli, T. S.; Ribeiro Jr, E. S.; Dias, L. E.; Lynch, L. de S. 2004. Sintomas de deficiência em mudas de *Acacia holosericea* em resposta à omissão de macronutrientes. *Revista Árvore*, 28 (2): 173-181.
- Silva, P. T. B. 1999. Extração de elementos químicos do tecido vegetal. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. EMBRAPA. Brasília. 223pp.

- Sorreano, M. C. M. 2006. *Avaliação da exigência nutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas*. Tese de doutorado, 290p.: il. Piracicaba.
- Souza, L. A. G. 2007. *Leguminosa da Amazônia – Ingá- cipó*. Projeto de divulgação científica, tecnológica e de inovação Edital MCT/CNPq nº 03/2007: Práticas agroflorestais para a sustentabilidade de sistemas de produção familiar na Amazônia.
- Souza, N. M. 2013. *Seleção de rizóbios para leguminosas de múltiplo uso em duas classes de solos ácidos da Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado - INPA. Manaus.
- Souza, C. A. M.; Oliveira, R. B.; Filho, S. M.; Lima, J. S. de S. 2006. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. *Ciência Florestal*, 16 (3): 243-249.
- Souza, L. A. G.; Neto, E. B.; Santos, C. E. de R. S.; Stamford, N. P. 2007. Desenvolvimento e nodulação de leguminosas arbóreas em solos de Pernambuco. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, 42 (2): 207-217.
- Stock, J. B.; Stock, A.M.; Mottonem, J. M. 1990. Signal Transduction in Bacteria. *Nature*, 344 (6265): 395-400.
- Tchuenmogne, A. M. T.; Donfack, E. V.; Kongue, M. D. T.; Lenta, B. N.; Ngouela, S.; Tsamo, E.; Sidhu, N.; Dittrich, B.; Laatsch. 2013. Ingcamerounol, A New Flavonol and Other Chemical Constituents from Leaves and Stem Bark of *Inga edulis* Mart. *Bull. Korean Chem. Soc.*, 34 (12): 3859-3862.
- Valencia, W. H.; Sampaio, P. de T. B.; Souza, L. A. G. 2010. Crecimiento inicial de Palo de Rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) en distintos ambientes de fertilidad.. *Acta Amazonica*, 40(4) 693-698.
- Vieira, E.P. e Souza, L.A.G. 2011. Inoculação com rizóbios em mudas de acapu do igapó e saboarana. *Revista de Ciências Agrárias*, 54 (1): 54-62.
- Viégas, I. de J. M.; Thomaz, M. A. A.; Silva, J. F. da; Conceição, H. E. O. da; Naiff, A. P. M. 2004. Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26 (2): 315-319.

Capítulo 2

Silva, J. S; Souza, L.A.G. 2014. Formação de mudas de mulungu (*Erythrina fusca* Lour.) em Argissolo Vermelho Amarelo com omissão de macronutrientes.

FORMAÇÃO DE MUDAS DE MULUNGU (*Erythrina fusca* Lour.) EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO COM OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES

Resumo:

Com o objetivo de avaliar o efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, desenvolvimento, nodulação e composição mineral em plantas de mulungu, conduziu-se o experimento em viveiro, mediante a técnica do elemento faltante, em Argissolo Vermelho Amarelo. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com sete tratamentos e dez repetições, sendo completo (N, P, K, Ca, Mg) e omissão individual de N, P, K, Ca, Mg, além de um solo sem adução. A formação de mudas de *Erythrina fusca* foi pouco influenciada pela omissão de macronutrientes em solo Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento, evidenciando a alta capacidade desta espécie em se adaptar em solos de baixa fertilidade natural como os solos Amazônicos. Sobre a nodulação, o potássio e o magnésio foram os que mais tiveram efeitos negativos, reduzindo consideravelmente o número de nódulos, que ainda assim se mostrou eficientemente à inoculação com rizóbios selecionados. A interação ente o potássio, cálcio e magnésio, foi a que se mostrou mais evidente quando analisada as concentrações destes nas folhas das plantas, confirmando o antagonismo entre os mesmos. As concentrações de cálcio e magnésio foram as que mais foram afetadas pelas omissões dos demais macronutrientes.

Palavras-chave – Fertilidade do Solo, Leguminosas arbóreas, Amazônia, Adubação mineral.

GROWTH OF MULUNGU SEEDLINGS (*Erythrina fusca* Lour.) IN RED-YELLOW ULTISOLS SUBMITTED TO ABSENCE OF CERTAIN MACRONUTRIENTS

Abstract:

Aiming to evaluate the effect of omission of macronutrients on growth, development, nodulation and mineral composition of plants mulungu, experiment was carried out in the nursery, by the missing element technique in Red-Yellow Ultisol. The experimental design was completely randomized design with seven treatments and ten replicates, with full (N, P, K, Ca, Mg) and the omission of N, P, K, Ca, Mg, and a soil without adduction. The formation of seedlings of *Erythrina fusca* was little influenced by the omission of macronutrients in soil Red-Yellow Ultisol after 75 days of nursery, evidencing the high capability of this species to adapt to soils of low fertility soils such as Amazon. On nodulation, potassium and magnesium were most likely have negative effects, greatly reducing the number of nodes, which still proved efficient to inoculation with selected rhizobia. The interaction between the potassium, calcium and magnesium, which was more evident when analyzing the concentrations in the leaves of plants, confirming the antagonism between them. The concentrations of calcium and magnesium were the ones that were most affected by the omission of other macronutrients.

Key-words: Soil Fertility, Leguminosae trees, Amazônia, mineral fertilization

INTRODUÇÃO

Uma das classes de solos Amazônicos, conhecida como a dos Argissolos Vermelho-Amarelos, ocupa 29,4% da área da bacia Amazônica. São caracterizados por serem não hidromórficos, possuir horizonte A arenoso, diferenças texturais entre horizontes e transições abruptas (Cochrane e Sánchez 1982). Quimicamente neste solo, a matéria orgânica representa até 90 % da CTC, condicionando a disponibilidade de nutrientes para as culturas, além da acidez elevada, baixa capacidade de troca catiônica e baixa disponibilidade de nutrientes essenciais (Alcântara *et al.* 2000).

Considerando a baixa fertilidade natural identificada nos solos de terra firme da Amazônia, as leguminosas arbóreas têm sido indicadas como plantas aptas a prosperar em condições edáficas adversas, e têm sido avaliadas em programas de seleção de espécies para recomposição da cobertura florestal de áreas alteradas. O mulungu (*Erythrina fusca* Lour. - Fabaceae) é uma árvore decídua de 20 a 30 m de altura que possui ampla distribuição nas Regiões Paleotropical e Neotropical (Kukoff e Barneby 1974; Lorenzi 2002). No Neotrópico, tem ocorrência em vários países amazônicos, sendo uma planta típica de matas ciliares e pântanos. Geralmente floresce durante os meses de maio a setembro, permanecendo a planta enfolhada, ao contrário da maioria das espécies do gênero *Erythrina* (Lorenzi 2002). São usadas como plantas ornamentais na Costa Rica, México, Venezuela e Brasil. Na Colômbia e na Costa Rica seu aproveitamento é em Sistemas Agroflorestais, usada como planta para sombreamento de café e de cacau e na formação de cercas vivas. Como muitas outras espécies do gênero *Erythrina*, o mulungu contém alcaloides tóxicos que têm sido utilizados no preparo de fitoterápicos, pelo seu valor medicinal como antipirético (Innok *et al.* 2009).

Pouco se sabe sobre as exigências nutricionais de mulungu, como de outras tantas espécies Amazônicas, e este conhecimento pode incrementar o cultivo das espécies fora de sua área de ocorrência natural e em áreas degradadas para o reflorestamento. Nos estudos já realizados com espécies florestais a falta de nutrientes em doses adequadas nos solos afeta negativamente no desenvolvimento da planta, e especificamente nos caso das leguminosas essa deficiência pode afetar também a interação simbiótica que ocorre entre a planta e as bactérias presentes no solo, limitando os processos de fixação de N₂.

Dentre os nutrientes essenciais mais importantes, a falta de nitrogênio, por exemplo, pode limitar a produtividade em sistemas agrícolas na região Amazônica (Epstein e Bloom 2005). O fósforo participa do metabolismo de energia das plantas, e na sua ausência o crescimento é retardado (Marchner 1995; Furlani 2004), além disso, o fósforo parece ativar o

gene para a síntese de nitrogenase, processo fundamental na simbiose (Stock *et al.* 1990), evidenciando uma relação estreita entre esses elementos.

Por outro lado, todos os elementos essenciais tem uma contribuição determinante no metabolismo vegetal. A principal função do potássio na planta, por exemplo, é a de ativador enzimático, sendo que mais de 60 enzimas dependem deste elemento para desempenhar sua atividade normal (Prado 2008) além de seu envolvimento com a maior parte dos processos metabólicos importantes. O cálcio por sua vez, tem um papel construtor e a função-chave de manter a integridade estrutural das várias organelas quando constitui as paredes celulares, e, na falta deste elemento, a compartimentação celular pode ser rompida (Prado 2008). Já o magnésio, ocupa posição central na molécula de clorofila e sua falta afeta os processos fotossintéticos da planta (Malavolta *et al.* 2000), além de outras funções.

A eficiência da simbiose fixadora de N₂ é dependente da espécie hospedeira, do microrganismo simbiote e da interação entre ambos, e todas essas etapas do processo são afetadas pela disponibilidade de nutrientes no solo. As pesquisas sobre os efeitos da deficiência nutricional de macronutrientes em leguminosas arbóreas ainda são incipientes nos solos da Amazônia, e, considerando o papel das espécies fixadoras de N₂ para o agrossistema, ainda necessitam de maior atenção científica. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, desenvolvimento e nodulação de mudas de mulungu (*E. fusca*) sob enviveiramento, em solo Argissolo Vermelho Amarelo da Amazônia Central.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em viveiro de produção de mudas do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Campus do V-8, em Manaus, AM. O viveiro é constituído por uma estrutura de ferro, com cobertura de sombrite com 50 % de luz, com chão cimentado e aberto lateralmente.

O solo utilizado como substrato foi coletado na Estação Experimental de Hortaliças do INPA, no Km 14 da rodovia AM-010, da camada de 0-0,10 m de profundidade de um Argissolo Vermelho Amarelo, distrófico, ácido, textura franco-arenosa, do qual foram determinadas as características químicas no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA (LTSP-INPA), com as seguintes características químicas: pH em água de 4,64; Al, Mg, K e Ca com valores de 0,3; 0,2; 0,2; 0,9 cm_c kg⁻¹ respectivamente; P, Fe, Zn, Mn com 22,6; 77,0; 1,8; 1,2 mg kg⁻¹ respectivamente. Após a coleta, o solo foi seco a sombra, peneirado em

malha de 1 cm com fins de eliminar restos de raízes e material grosseiro, em seguida foi distribuído em saco plástico de polipropileno para mudas com capacidade de 1,5 kg de solo.

As sementes de mulungu (*Erythrina fusca* Lour.), foram provenientes de matrizes cultivadas da Estação Experimental do Ariaú, município de Iranduba, AM. Após o beneficiamento e obtenção de um lote de sementes puras estas foram armazenadas no banco de semente do laboratório de microbiologia do INPA. Antecedendo a semeadura, as sementes de mulungu foram submetidas à escarificação química em ácido sulfúrico por 5 minutos, seguido da embebição em água por 24 h. Posteriormente foi realizada a semeadura em caixas plásticas de 40 x 60 cm, com 15 cm de profundidade, preenchidas com areia lavada. O transplântio de plântulas uniformes e sadias para a fase de viveiro foi pelo método de raízes nuas quando as plântulas emitiram o segundo par de folhas definitivas.

Para avaliar o efeito da omissão de macronutrientes, foi utilizada a técnica do elemento faltante, onde se omite cada um dos elementos, de forma alternada. Como parte integrante da pesquisa, um tratamento controle sem adubação e um tratamento com adubação química também foram considerados. Desse modo, as condições de adubação foram as seguintes:

- 1) Testemunha. Solo não adubado.
- 2) Adubação completa (N-P-K-Ca-Mg).
- 3) Adubação completa, exceto N.
- 4) Adubação completa, exceto P.
- 5) Adubação completa, exceto K.
- 6) Adubação completa, exceto Ca.
- 7) Adubação completa, exceto Mg.

As quantidades de cada fertilizante aplicadas foram baseadas nas recomendações de alto insumo, adaptadas de Cravo *et al.* (1990) propostas para solos da Amazônia que recomenda doses de 100, 200, 150, 350 e 150 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg respectivamente. Como fonte desses nutrientes foram utilizados ureia (45 % de N), superfosfato triplo (42 % de P₂O₅), cloreto de potássio (58 % de K₂O), e carbonatos de cálcio e magnésio (produtos puros). O nitrogênio foi dividido em duas parcelas, a primeira dois dias antes do transplântio e a segunda 30 dias após o transplântio, e os demais macronutrientes foram aplicados uma única vez, dois dias antes do transplântio.

Foi realizada também uma adubação com micronutrientes em todos os recipientes, excetuando o tratamento sem adubação, segundo metodologia proposta por Halliday (1984) para solos ácidos. A solução líquida de micronutrientes foi preparada de acordo com Eira *et*

al. (1972). No preparo desta solução foram utilizados 3,95 g de sulfato de cobre; 2,23 g de sulfato de zinco; 0,25 g de ácido bórico; 0,50 g de molibdato de sódio; 5,00 g de sulfato de ferro e 5,00 g de ácido cítrico, sendo distribuído 1 mL kg⁻¹ de solo com auxílio de pipeta automática.

Todas as mudas de mulungu foram inoculadas com estirpes de rizóbios da Coleção de Rizóbios do INPA, a partir de isolados homólogos, com os seguintes códigos: 880, 887, 890, 894, em coquetel, com quantidades proporcionais de cada estirpe. O preparo do inoculante foi feito no Laboratório de Microbiologia do Solo do INPA, utilizando o meio YMA, sem ágar, para obtenção de uma suspensão líquida de rizóbios (Hungria e Araújo1994). O inoculante líquido foi distribuído em erlenmeyers de 125 mL, 50 mL por recipiente e incubado com agitação por 15 dias, em agitador mecânico horizontal intermitente. A distribuição do inoculante foi feita um dia após o transplântio, 5 mL por planta, aplicado, com o auxílio de pipeta na base do colo da muda. Uma semana após a primeira inoculação, uma segunda aplicação do inoculante foi efetuada.

Durante o desenvolvimento das plantas, foram efetuadas irrigações diárias, limpeza manual de plantas invasoras e de insetos ocasionais. Para o acompanhamento do crescimento foram feitas avaliações a cada 30 dias do comprimento do caule e diâmetro do colo das mudas, com o auxílio de régua e paquímetro. Quinzenalmente os sacos foram deslocados para evitar enraizamento no chão do viveiro. Com os dados do crescimento das plantas foi calculada a taxa de incremento mensal, conforme recomenda Benincasa (1988), empregando-se a fórmula $(h_2 - h_1) / (t_2 - t_1) \times 30$, onde h_2 e h_1 correspondem ao comprimento do caule no t_2 e t_1 , respectivamente.

O material foi colhido aos 75 dias e seco em estufa mantida a 65°C por 72 h e posteriormente foram avaliadas a biomassa da parte aérea, folhas, caule, raízes e nódulos após secagem. Os nódulos foram extraídos e contados, determinando-se posteriormente o seu peso específico. O peso específico dos nódulos foi obtido pela razão entre a biomassa dos nódulos secos e o número de nódulos correspondente. Com base no peso da parte aérea e das raízes secas, foi calculada a matéria seca total e a relação raiz/parte aérea.

A parte aérea das plantas foi moída e separada para determinação da concentração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio. As análises químicas dos tecidos vegetais foram feitas conforme metodologia de Silva (1999). Ca, Mg, K, e P foram determinados por meio de digestão nitro-perclórica. Já o N foi determinado empregando-se o método de Kjeldahl, modificado, utilizando uma solução sulfúrica para digestão, solução de ácido bórico e hidróxido de sódio para destilação e, posteriormente, solução de ácido sulfúrico 0,01 N para titulação. Todas as análises foram realizadas no LTSP-INPA.

O delineamento experimental adotado foi o de inteiramente casualizado, constituído por sete tratamentos e 10 repetições, totalizando 70 mudas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste de F, empregando-se o programa estatístico ESTAT, versão UNESP, 2002. As comparações entre tratamentos foram feitas pelo teste de Tukey, a 1 e 5 % de probabilidade, e, para efeito de análise os dados da nodulação foram transformados para $y = \sqrt{(x + 0,01)}$. Algumas variáveis independentes da nodulação e do desenvolvimento da planta foram correlacionadas para avaliar a eficiência da simbiose fixadora de N₂.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer do ensaio, as plantas apresentaram desenvolvimento satisfatório, sendo verificado apenas o ataque ocasional de insetos, preferencialmente atingindo as folhas das mudas, porém sem causar danos maiores. Não foram verificados sintomas visuais de deficiências nas mudas de mulungu, sendo verificados apenas alguns sintomas pontuais em algumas plantas nas diferentes condições de adubação. Aos 75 dias de enviveiramento as mudas apresentavam qualidades adequadas para o plantio definitivo.

O crescimento das plantas de mulungu, determinadas pelo comprimento do caule, não foram afetadas pela omissão de macronutrientes, demonstrando um rápido crescimento para a espécie em Argissolo Vermelho Amarelo. A média do comprimento do caule foi de 44,6 cm, e apesar de não haver diferença entre as condições de adubação, é possível observar que a maior média foi encontrada em omissão de fósforo (49,1 cm), e a menor em omissão de magnésio (40,1 cm), isso pode sugerir que o fósforo é menos requerido pela espécie, ou que as concentrações desse nutriente disponíveis no solo supriram a necessidade da planta (Tabela 1). Outros estudos já comprovaram o rápido crescimento dessa espécie, o que é desejável principalmente para seu uso em reflorestamento (Medina *et al* 2011). Souza *et al* (2010), encontraram resultados diferentes em *Swietenia macrophylla*, sendo que a omissão de nitrogênio prejudicou o crescimento em altura das plantas. Em outro estudo com cinco espécies florestais sob omissão de macronutrientes, não foram observadas variações significativas para o comprimento do caule em quatro das espécies (cumbaru, cerejeira, aroeira e mogno africano), havendo variação significativa apenas em ipê amarelo, onde o tratamento como omissão de fósforo obteve o menor comprimento do caule (Vieira 2011).

Tabela 1. Efeito da omissão de macronutrientes nas medidas do comprimento do caule, incremento mensal de crescimento do caule e diâmetro do colo das mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em solo Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento.*¹

Tratamentos* ²	Comprimento do caule (cm)	Incremento (cm mês ⁻¹)	Diâmetro do colo (mm)
Testemunha	44,2 a	10,1 a	5,9 a
Completo	47,3 a	11,6 a	6,7 a
Completo sem N	44,1 a	9,5 a	6,8 a
Completo sem P	49,1 a	14,0 a	7,2 a
Completo sem K	46,5 a	11,9 a	6,7 a
Completo sem Ca	41,0 a	10,6 a	5,4 a
Completo sem Mg	40,1 a	9,6 a	4,9 a
Teste F	0,79ns	1,52ns	1,61ns
Coef. de var (%)	18,57	26,31	23,98

*¹ Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 5 % de probabilidade (P<0,05); ns – não significativo.

*² Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg.

O bom crescimento em altura das plantas de mulungu é reflexo do incremento mensal do comprimento do caule, que chegou a crescer mais de 10 cm ao mês, não havendo, porém diferenças significativas entre as diferentes condições de adubação. Essa alta taxa de incremento confirma outros estudos com esta espécie, evidenciando o seu rápido desenvolvimento o caule lenhoso. O diâmetro do colo é importante para que seja considerado o potencial de sobrevivência das mudas após o transplante, e para as mudas de mulungu, não houve variação significativa para diâmetro nas diferentes condições de adubação (Tabela 1). Apesar da não significância entre os tratamentos, as médias de diâmetro seguiram a mesma tendência encontrada para o comprimento do caule, com a maior média sendo encontrada em omissão de fósforo (7,2 mm) e a menor em omissão de magnésio (4,9 mm), como média de 6,2 mm. Maia *et al.* (2011) também não verificaram variação significativa para o diâmetro em *Jatropha curcas* em Latossolo Vermelho Amarelo sob omissão de macro e micronutrientes.

Os resultados das características morfológicas das biomassas de caules, folhas, parte aérea e total seca estão apresentados na tabela 2. O resultado para a biomassa do caule, não mostrou variação significativa entre os tratamentos aplicados, sendo encontrada a menor média em omissão de Mg, porém não diferindo estatisticamente dos outros tratamentos. Em *Moringa oleifera*, foram encontradas diferenças significativas, sendo que as omissões de N e P reduziram a biomassa do caule (Vieira *et al* 2008).

Tabela 2. Efeito da omissão de macronutrientes na biomassa seca do caule, folhas, parte aérea e total das mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em solo Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento. ^{*1}

Tratamentos ^{*2}	Caule	Folhas	Parte aérea	Total
	----- g -----			
Testemunha	1,62 a	1,37 a	3,00 a	4,71 a
Completo	2,00 a	1,83 a	3,82 a	5,22 a
Completo sem N	2,16 a	2,14 a	4,30 a	6,25 a
Completo sem P	2,35 a	2,09 a	4,44 a	6,26 a
Completo sem K	1,83 a	1,73 a	3,56 a	5,12 a
Completo sem Ca	1,43 a	1,88 a	3,31 a	4,35 a
Completo sem Mg	0,78 a	1,04 a	1,82 a	2,37 a
Teste F	2,18ns	1,67ns	1,89ns	2,30ns
Coef. de var (%)	45,83	39,43	41,74	39,89

^{*1} Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 5 % de probabilidade (P<0,05); ns – não significativo.

^{*2} Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg.

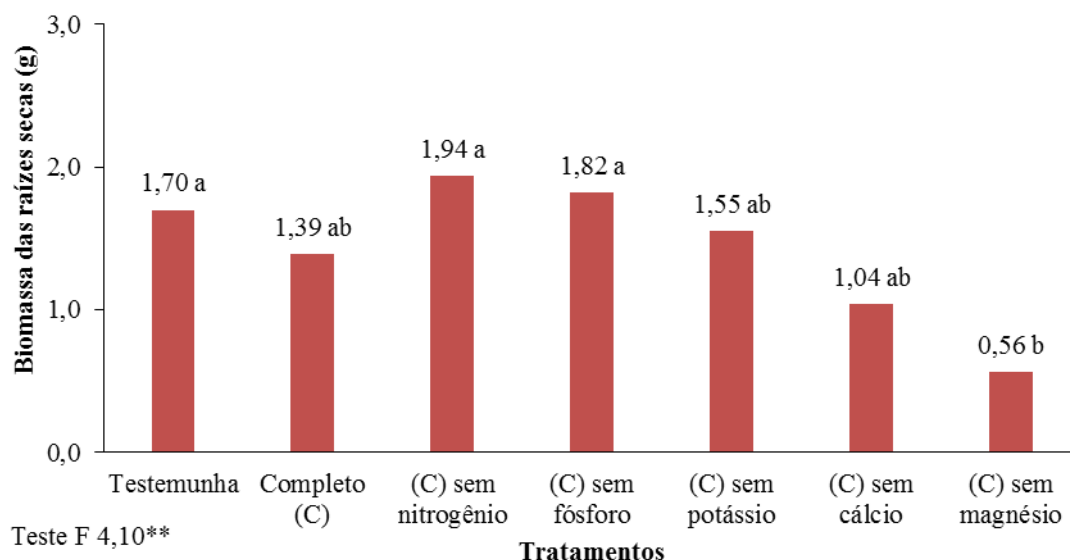
Para a biomassa das folhas secas não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos aplicados e mesmo o solo sem adubação apresentou valores estaticamente iguais aos do tratamento com adubação completa (Tabela 2). Moretti *et al.* (2011) encontraram diferenças estatísticas entre os diferentes tratamentos em omissão de nutrientes em mudas de *Toona ciliata*, sendo que em todos houve redução da biomassa foliar em relação ao tratamento completo.

A biomassa seca da parte aérea é uma característica importante para ser avaliada por ser reflexo do crescimento das mudas de mulungu em altura e em diâmetro, e como ambas, também não diferiu estaticamente, acompanhando a mesma tendência verificada para as duas medidas, com maiores valores encontrados em omissão de fósforo e menor em omissão de magnésio (Tabela 2). Sorreano *et al* (2011) obtiveram resultados similares para biomassa da parte aérea de *Croton urucurana* sob omissão de macronutrientes. Já o diagnóstico de deficiência feito em *Tectona grandis* constatou uma redução da biomassa da parte aérea principalmente na omissão de N e Ca (Barroso *et al.* 2005).

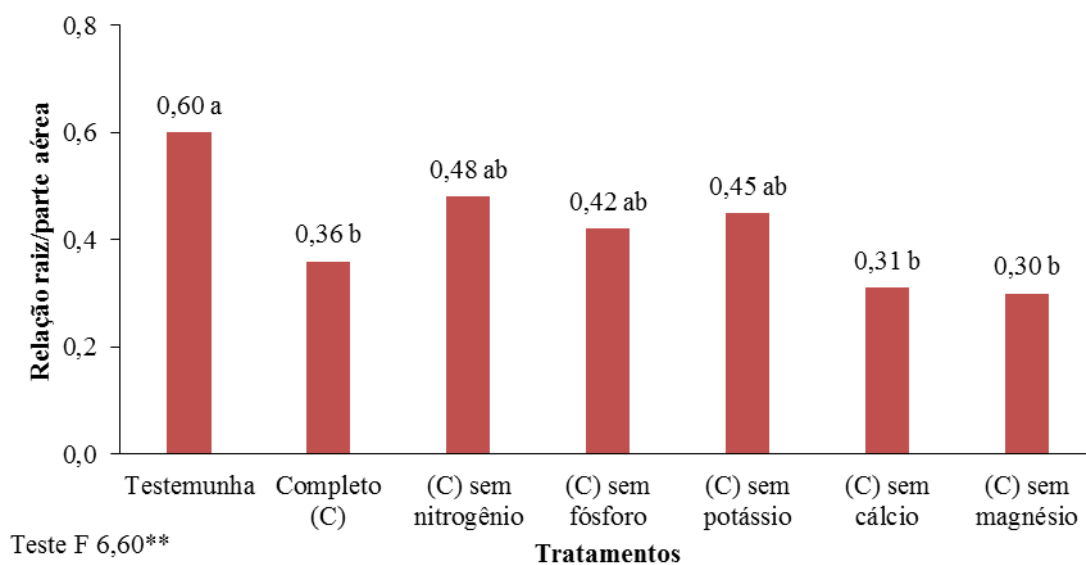
A produção de biomassa total mostrou-se pouco influenciada pela omissão de macronutrientes não apresentando diferenças significativas (Tabela 2). Comportamento semelhante foi observado por Carlos *et al.* (2014) em mudas *Caryocar brasiliense*, onde a produção de biomassa total não apresentou variação estatística em omissão de nutrientes. Já Vieira *et al* (2008), verificaram variações significativas para a biomassa total de mudas de *Moringa oleifera*, sendo mais afetada em omissão de N, P e Mg.

Dentre as medidas biométricas avaliadas apenas a biomassa da raiz de mulungu apresentou respostas altamente significativas à omissão de macronutrientes ($P < 0,01$), sendo que as maiores médias foram encontradas em omissão de nitrogênio e fósforo respectivamente (Figura 1-a). A omissão de magnésio foi a que mais reduziu a biomassa da raiz, sendo verificada uma redução de mais de 50% nos seus desenvolvimentos, em relação aos maiores valores encontrados para a biomassa seca da mesma. Isso pode ser explicado pela menor translocação de carboidratos da parte aérea para a raiz que é uma característica de planta deficiente de magnésio, reduzindo o desenvolvimento das raízes (Prado 2008). Em um estudo com *Acacia holosericea* também foram encontrados os menores valores para biomassa da raiz em omissão de magnésio (Sarcinelli *et al* 2004).

A biomassa da raiz provavelmente teve influência sobre a relação raiz/parte aérea, já que a biomassa da parte aérea não respondeu a omissão de macronutrientes. Os valores observados para a relação raiz/parte aérea das mudas de mulungu tiveram uma variação altamente significativa ($P < 0,01$). Apenas três tratamentos ficaram dentro da faixa estabelecida por Arco-verde e Moreira (1998) para a qualidade de mudas florestais que varia entre 0,25 e 0,35 segundo. Houve alteração na produção de matéria seca da raiz em relação à biomassa da parte aérea, isso pode indicar que as plantas de mulungu desenvolveram o sistema radicular como mecanismo para compensar a ausência de N, P e K no solo (Figura 1-b). Vieira *et al* (2008) também verificaram variações significativas para os valores de relação raiz/parte aérea em mudas de *Moringa oleifera*, encontrando os menores valores nos tratamentos com omissão de K e Ca. Diferindo deste estudo Sorreano *et al* (2011), não encontraram diferenças significativas em mudas de *Croton urucurana* em omissão de macronutrientes para relação raiz/parte.



(a)



(b)

Figura 1. Efeito da omissão de macronutrientes na biomassa das raízes secas (a) e relação raiz/parte aérea (b) das mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em solo Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento. ^{*1 *2}

^{*1} Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 % de probabilidade ($P < 0,01$).

^{*2} Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg

O número, biomassa seca e peso específico de nódulos além de teores de P foliar estão apresentados na tabela 3. A simbiose entre as plantas de mulungu e as bactérias incorporadas ao solo, não foi afetada pela omissão de macronutrientes nos diferentes tratamentos aos 75 dias de enviveiramento, sendo observada nodulação em todos os tratamentos, porém com o número de nódulos variando estatisticamente entre os mesmos. O

maior número de nódulos foi encontrado no tratamento com omissão de nitrogênio, que confirma que o fator determinante para que haja a simbiose entre a planta e o hospedeiro, é a disponibilidade deste nutriente para a planta. Os menores valores foram encontrados quando se omitiu o potássio e o magnésio, com uma redução de mais de 50% na nodulação, com média de 28,5 nódulos.

Tabela 3. Efeito da omissão de macronutrientes no número, biomassa seca, peso específico dos nódulos e concentração de fósforo nas mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em solo Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento.^{*1}

Tratamentos ^{*2}	Número de nódulos	Biomassa dos nódulos secos (g)	Peso específico (mg nódulo ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)
Testemunha	31 ab	0,13 ab	4,7 a	2,16 a
Completo	28 ab	0,18 ab	6,6 a	2,59 a
Completo sem N	50 a	0,21 a	5,9 a	2,75 a
Completo sem P	29 ab	0,13 ab	4,5 a	2,79 a
Completo sem K	13 b	0,09 ab	7,3 a	2,84 a
Completo sem Ca	17 ab	0,07 b	3,5 a	2,75 a
Completo sem Mg	13 b	0,06 b	4,0 a	2,92 a
Teste F	2,57*	3,49*	2,33ns	1,76ns
Coef de var. (%)	70,14	53,98	39,86	15,83

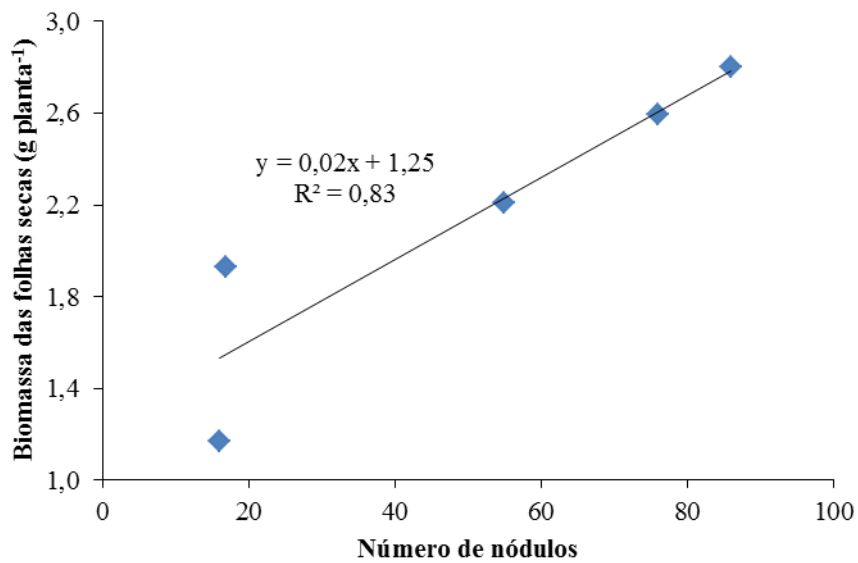
^{*1} Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 5 % de probabilidade (P<0,05); ns – não significativo.

^{*2} Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg

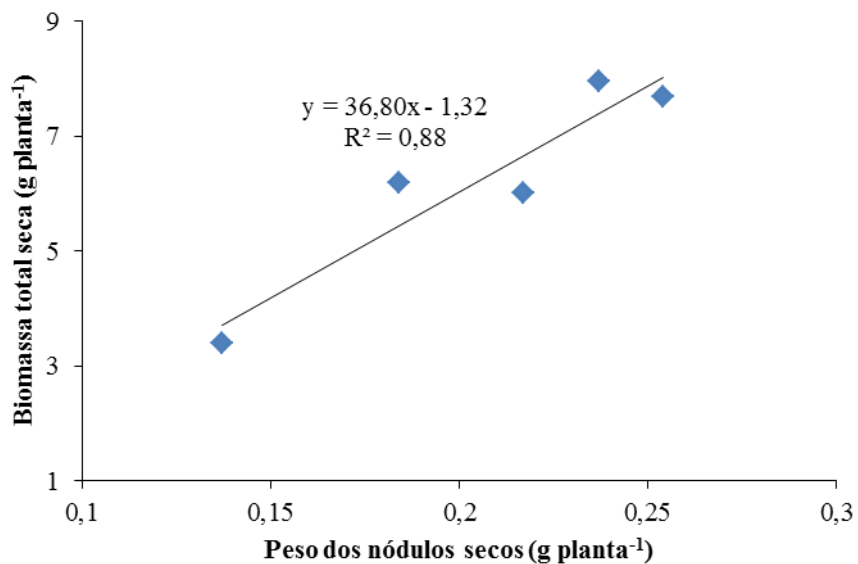
O número de nódulos teve influencia sobre a biomassa dos nódulos secos, acompanhando as diferenças estatísticas, confirmando que a omissão de N teve maior influencia no desenvolvimento dos nódulos (Tabela 3). Já o desenvolvimento em tamanho dos nódulos, avaliado pelo peso específico dos mesmos, não foi significativamente afetado pelos tratamentos empregados, verificando-se apenas comparativamente a maior média em omissão de K, mesmo este tratamento tendo um número pequeno de nódulos.

Considerando que o mulungu é uma leguminosa arbórea nodulífera que se beneficia dos processos simbióticos fixadores de N₂, os dados obtidos nas plantas do tratamento em omissão de N mineral foram empregados para avaliar o grau de eficiência da inoculação com as estirpes selecionadas. Foi verificado que a relação entre a biomassa das folhas secas das plantas e o número de nódulos e, também entre, a biomassa total seca e a biomassa dos nódulos secos apresentaram coeficientes de correlação significativos, permitindo o estabelecimento de equações de regressão. Entre as variáveis independentes da biomassa das folhas secas e o número de nódulos, houve uma correlação linear positiva aos 75 dias de

enviveiramento ($r = 0,83$), evidenciando a que quanto maior o número de nódulos, maior a biomassa das folhas das mudas de mulungu no Argissolo Vermelho Amarelo (Figura 2-a).



(a)



(b)

Figura 2. Correlação entre o número de nódulos e a biomassa das folhas secas (a) e entre o peso dos nódulos secos e a biomassa total seca (b) em mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em solo Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento.

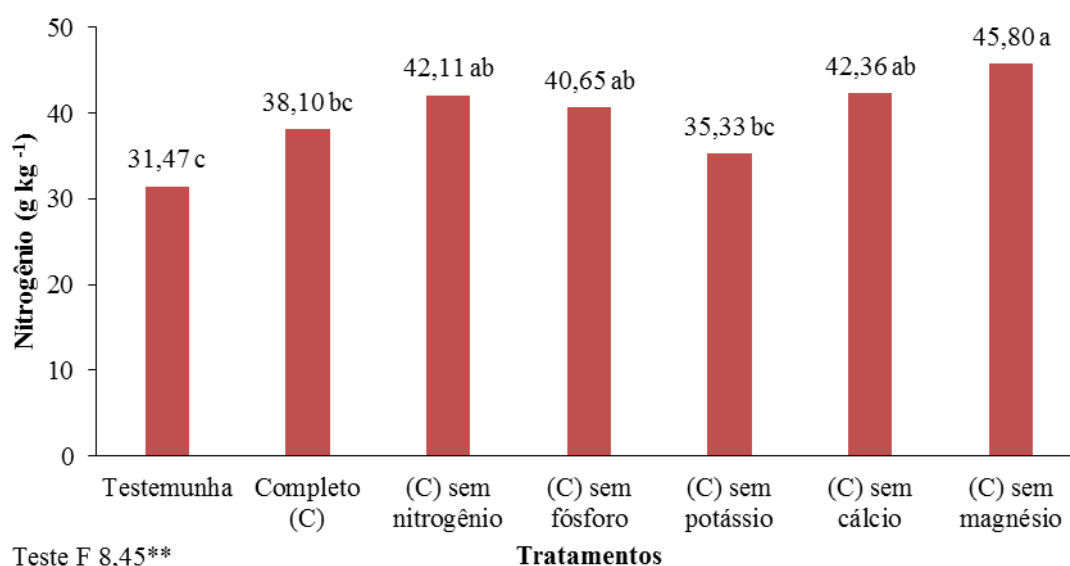
Para a biomassa total seca e a biomassa dos nódulos secos, também houve uma correlação linear altamente positiva aos 75 dias de enviveiramento ($r = 0,88$), evidenciando a eficiência simbiótica no solo Argissolo Vermelho Amarelo, já que quanto maior a biomassa nodular maior a biomassa total das plantas de mulungu (Figura 2-b). Em solos da Zona da

Mata de Pernambuco, Souza *et al.* (2007) encontraram correlação linear significativa para *Clitoria fairchildiana* entre o nitrogênio total da planta e a biomassa nodular ($r = 0,84$), o que foi usado como medida da eficiência do processo simbiótico.

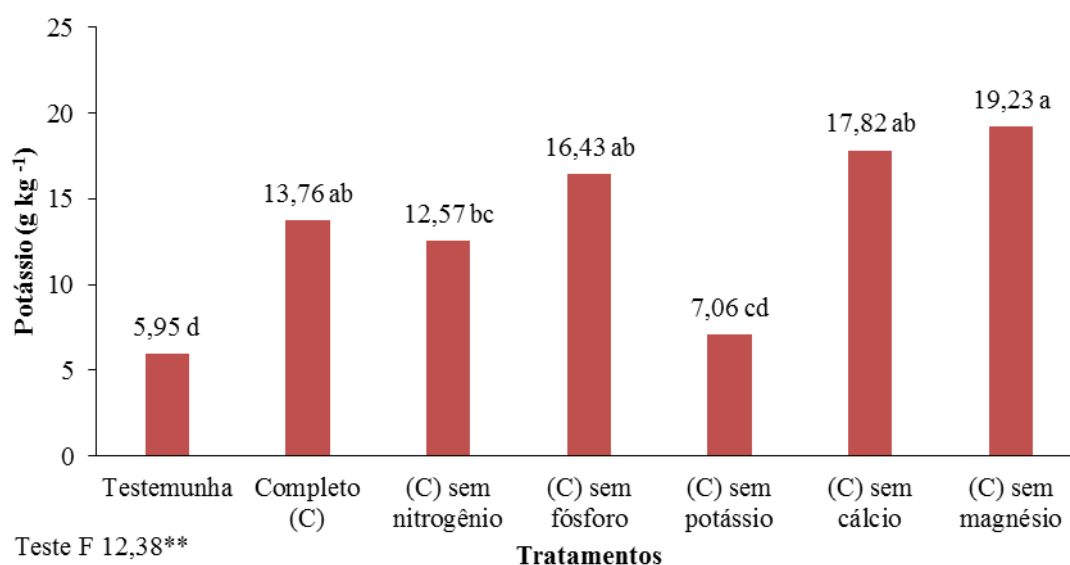
As determinações das concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas folhas, são importantes para se compreender o balanço nutricional de mulungu aos 75 dias de enviveiramento em Argissolo Vermelho Amarelo. As concentrações de fósforo nas folhas não foram significativamente afetadas pelas condições de adubação, sendo encontradas médias muito próximas nos diferentes tratamentos (Tabela 3). Isso pode ser explicado tanto pela baixa necessidade da planta, como pelas concentrações de fósforo presente no solo, que pode ter suprido suas necessidades desse nutriente. Já Barroso *et al.* (2005) e Valencia *et al.* (2010) verificaram a redução de P foliar apenas no tratamento em que ele foi omitido nas mudas de *Tectona grandis* e *Aniba rosaeadora* respectivamente.

A concentração de N foliar variou entre os tratamentos aplicados, sendo que a omissão de potássio foi a que ocasionou a menor concentração de N em mulungu, porém não diferindo do tratamento completo. Como esperado a menor concentração foi encontrada no solo sem adubação e as maiores concentrações, foram encontradas no tratamento com omissão de magnésio (Figura 3-a). Há uma interação entre o nitrogênio e potássio, que podem explicar porque as concentrações de N foliar foram menores em omissão de K. Nessa interação quando as doses adequadas de nitrogênio são aplicadas a produção pode ser limitada pelas baixas concentrações de K, mas benefícios dessa interação já foram descritos por Dibb e Thompson (1985), em produção de milho. Já nas pesquisas de Moretti *et al.* (2011) e Valencia *et al.* (2010), com *Toona ciliata* e *Aniba rosaeadora* respectivamente, as concentrações de N foliar foram menores apenas em omissão deste nutriente.

O potássio por sua vez teve suas concentrações reduzidas em omissão de si mesmo e na omissão de N mineral, com os menores valores absolutos encontrados no solo sem adubação (Figura 3-b). Como já mencionado anteriormente o nitrogênio e potássio são possuem relação de dependência mútua, o que explica que as menores concentrações de K sejam encontradas justamente em omissão de N. As maiores concentrações de K em omissão de Mg, por sua vez pode ser explicado pela inibição competitiva entre esses cátions, quando a presença de um inibe a absorção de outro (Malavolta *et al.*, 1997). Viégas *et al.* (2004) também encontraram a maior concentração de K em omissão de Mg nas folhas de *Myrciaria dubia*. Diferindo deste estudo, Valencia *et al.* (2010), encontraram a maior concentração de K em omissão de Ca em *Aniba rosaeadora*, com o qual também possui relação antagônica.



(a)



(b)

Figura 3. Efeito da omissão de macronutrientes nas concentrações de nitrogênio (a) e potássio (b) nas mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em solo Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento.^{*1 *2}

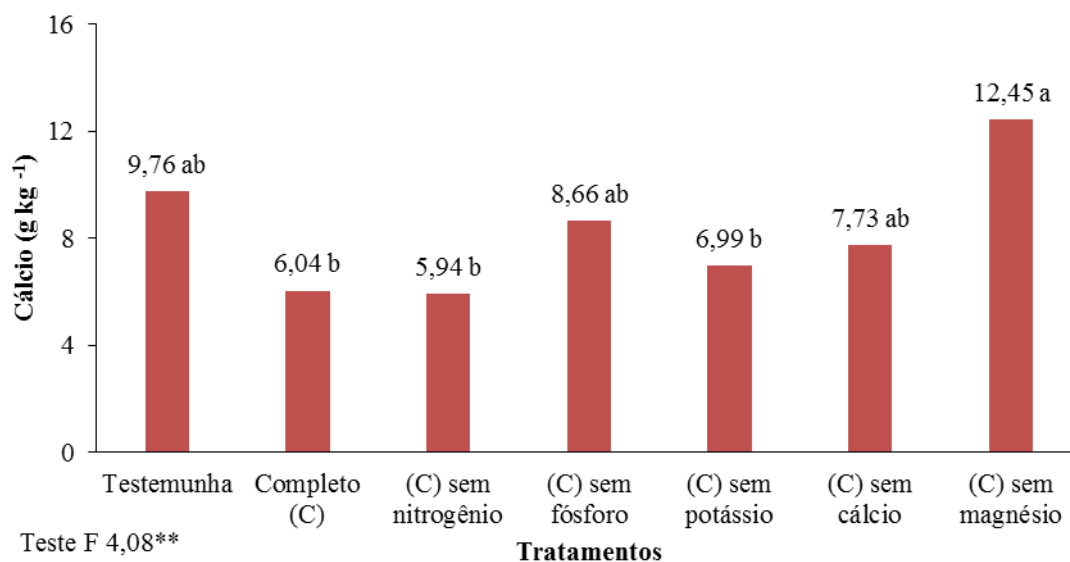
^{*1}Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 % de probabilidade ($P < 0,01$).

^{*2} Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg

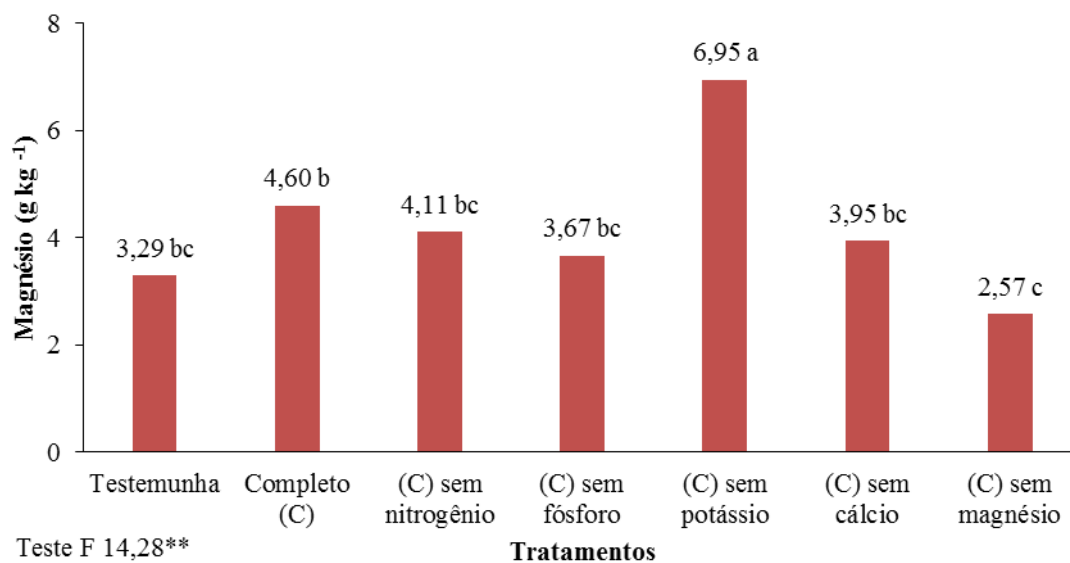
As concentrações de cálcio na biomassa foliar do mulungu variaram significativamente nos tratamentos aplicados (Figura 4-a). As menores concentrações de cálcio foram observadas nos tratamentos sem nitrogênio e sem potássio, o que foi atribuído ao efeito da ausência destes elementos sobre a absorção do Ca. Entre os tratamentos, o maior acúmulo de cálcio foi verificado no tratamento com omissão de Mg. As relações cálcio e

magnésio já identificado como antagônicas nas pesquisas de nutrição mineral de plantas (Moore *et al.* 1961; Fonseca e Meurer 1997), puderam ser constatados pela acentuada concentração de cálcio absorvida quando o magnésio foi omitido entre os macronutrientes. Diferindo deste estudo, Viégas *et al.* (2004) encontraram as menores concentrações de Ca em omissão de Mg nas folhas de *Myrciaria dubia*. Já Valencia *et al.* (2010) encontraram poucas variações nas concentrações de Ca, tendo reduzido sua concentração apenas onde ele foi omitido em mudas de *Aniba rosaeadora*.

As omissões de quase todos os macronutrientes tiveram efeito nas concentrações de magnésio nas folhas das mudas de mulungu aos 75 dias de enviveiramento (Figura 4-b). Apenas a omissão de potássio não teve influencia negativa sobre as concentrações de magnésio, nos demais tratamentos houve redução dos teores deste nutriente nas folhas, com o menor valor encontrado em omissão do próprio nutriente. De fato, como já mencionado o potássio e o magnésio possuem relação antagônicas, o que explica a maior concentração de um em omissão do outro. Essa mesma relação de antagonismo pode explicar as menores concentrações de Mg nos outros tratamentos, visto que estes receberam adubação de K. Venturin *et al.* (1999), avaliando as exigências nutricionais de *Peltophorum dubium*, também encontraram resultados similares, com as maiores concentrações de Mg em omissão de K. Em mudas de *Caryocar brasiliense* além do aumento nas concentrações de Mg em omissão de K, também houve o aumento significativo deste em omissão de P, em relação aos demais tratamento (Carlos *et al.* 2014).



(a)



(b)

Figura 4. Efeito da omissão de macronutrientes nas concentrações de cálcio (a) e magnésio (b) nas mudas de mulungu (*Erythrina fusca*) em solo Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento.^{*1*2}

^{*1}Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 % de probabilidade ($P < 0,01$).

^{*2} Testemunha: sem fertilização; Completo: fertilização com N, P, K, Ca e Mg.

CONCLUSÕES

A formação de mudas de *Erythrina fusca* foi pouco influenciada pela omissão de macronutrientes em Argissolo Vermelho Amarelo, aos 75 dias de enviveiramento, evidenciando a alta capacidade desta espécie em se adaptar em solos de baixa fertilidade natural como os solos Amazônicos. Sobre a nodulação, o potássio e o magnésio foram os que mais tiveram efeitos negativos, reduzindo consideravelmente o número de nódulos, que ainda assim se mostrou eficientemente à inoculação com rizóbios selecionados. A interação ente o potássio, cálcio e magnésio, foi a que se mostrou mais evidente quando analisada as concentrações destes nas folhas das plantas, confirmando o antagonismo entres os mesmos. As concentrações de cálcio e magnésio foram as mais afetadas nas omissões dos demais macronutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcântara, F.A.; Neto, A.E.F.; Paula, M.B.; Mesquita, H.A.; Muniz, J.A. 2000. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo vermelho-escuro degradado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35 (2): 277-288.
- Arco-Verde, M. e Moreira, M.A.B. 1998. Viveiros Florestais. Construção, custos, cuidados e atividades desenvolvidas para a produção de mudas. Embrapa-CPAF, RR, Documentos 3, Boa Vista, 32p.
- Barroso, D. G.; Figueiredo, F. A. M. M. de A.; Pereira, R. de C.; Mendonça, A. R.; Silva, L. da C. 2005. Diagnóstico de eficiência de macronutrientes em mudas de teca. *R. Árvore*, 29 (5): 671-679.
- Benincasa, M.M.P. 1988. *Análise de crescimento de plantas*. FUNEP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. 41pp.
- Cochrane, T.T.; P.A. Sánchez. 1982. Land resources, soils and their management in the Amazon region: A state of knowledge report. In: Hecht, S.B (ed.) *Amazonia: Agriculture and Use Research*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colômbia. p. 137-209.
- Carlos, L.; Venturin, N.; Macedo, R. L. G.; Higashikawa, E. M.; Garcia, M. B.; Farias, E. de S. 2014. Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. *Ciência Florestal*, 24 (1):13-21.
- Cravo, M.S. 1990. Sistema de cultivo com altos insumos na Amazônia Brasileira. In: Smith, R.J.; Raun, W.R.; Berttsch, E. (Eds.) *Manejo de suelos tropicales en latinoamerica*. North Carolina State University, Raleigh, p. 144-156.
- Dibb, D. W.; Thompson Jr, W. R. 1985. Interactions of potassium with other nutrients. In: International Symposium of potassium in Agriculture, Atlanta.
- Eira, P.A.; Almeida, F.L.; Silva, W.C. 1972. Fatores nutricionais limitantes do desenvolvimento de três leguminosas forrageiras em um solo Podzólico Vermelho Amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Série Agronomia, 7: 185-192.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. 2005. *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. 2 nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 400p.
- Fonseca, J. A.; Meurer, E. J. 1997. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 21: 47-50.

- Furlani, A. M. C. 2004. Nutrição Mineral. In: Kerbauy, G. B (Ed.). *Fisiologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 452p.
- Halliday, J. 1984. Integrated approach to nitrogen fixing tree germoplasma development. *Pesq. Agropec. Bras.*: 91-117.
- Hungria, M.; Araújo, R.S. 1994. *Manual de Métodos empregados em estudos de Microbiologia Agrícola*. Brasília: EMBRAPA-CNPAP, Documentos n.46, 542p.
- Innok, P.; Rukachaisirikul, T; Suksamrarn, A. 2009. Flavanoids and Pterocarpanes from the Bark of *Erythrina fusca*. *Chem. Pharm. Bull.* 57(9) 993-996.
- Krukoff, B. A.; Barneby, R. C. 1974. A conspectus of the genus *Erythrina*. *Lloydia* 37:332-459.
- Lorenzi, H. 2002. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum. v. 2, 368 p.
- Maia, J. T. L. S.; Guilherme, D. de O.; Paulino, M. A. de O.; Silveira, H. R. de O.; Fernandes, L. A. 2011. Efeito da omissão de macro e micronutrientes no crescimento de pinhão-mansão. *Revista Caatinga*, 24 (2).
- Malavolta, E.; Pimentel-Gomes, F.; Alcarde, J. C. 2000. *Adubos e adubações*. Edição revista e atualizada. São Paulo: Nobel. 200p.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. 1997. *Avaliação do estudo nutricional das plantas. Princípios e aplicações*. 2 ed. p.319. Piracicaba-SP.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2 nd ed. London: Academic Press. 889p.
- Medina, G. M; García, D. E.; Moratinos, P.; Cova, L. J. 2011. Comparación de três leguminosas arbóreas sembradas em um substrato alcalino durante el período de aviveramiento. II. Patrón de crecimiento y distribución de la biomassa. *Pastos y Forrajes*, 34 (2): 167-178.
- Moore, D. P.; Overstreet, R; Jacobson, L. 1961. Uptake of magnesium and its interactions with calcium in excised barley roots. *Plants Physiology*, 36 (3): 290-295.
- Moretti, B. da S.; Furtini Neto, A. E.; Pinto, S. I. do C.; Furtini, I. V.; Magalhães, C. A. de S. 2011. Crescimento e Nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. *Cerne*, 17 (4): 453-463.
- Prado, R. de M. 2008. Nutrição de Plantas. Editora UNESP, São Paulo, p.407p.

- Sarcinelli, T. S.; Ribeiro Jr, E. S.; Dias, L. E.; Lynch, L. de S. 2004. Sintomas de deficiência em mudas de *Acacia holosericea* em resposta à omissão de macronutrientes. *Revista Árvore*, 28 (2): 173-181.
- Silva, P. T. B. 1999. Extração de elementos químicos do tecido vegetal. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. EMBRAPA. Brasília. 223pp.
- Sorreano, M. C. M.; Malavolta, E.; Silva, D. H. da; Cabral, C. P.; Rodrigues, R. R. 2011. *Cerne*, 17 (3): 347-352.
- Souza, L. A. G.; Neto, E. B.; Santos, C. E. de R. S.; Stamford, N. P. 2007. Desenvolvimento e nodulação de leguminosas arbóreas em solos de Pernambuco. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, 42 (2): 207-217.
- Souza, C. A. S. de; Tucci, C. A. F.; Silva, J. F. da; Ribeiro, W. O. 2010. Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). *Acta Amazonica*, 40: 515-522.
- Stock, J. B.; Stock, A.M.; Mottonem, J. M. 1990. Signal Transduction in Bacteria. *Nature*, London, 344 (6265): 395-400.
- Valencia, W. H.; Sampaio, P. de T. B.; Souza, L. A. G. 2010. Crecimiento inicial de Palo de Rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) en distintos ambientes de fertilidad.. *Acta Amazonica*, 40(4): 693 – 698.
- Venturin, N.; Duboc, E.; Vale, F. R. do; Davide, A. C. 1999. Adubação mineral do Angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (Spreng). Taub.). *Pesquisa Agropecuária brasileira*, 3: 441-448.
- Vieira, H. Chaves, L. H. G.; Viégas, R. A. 2008. Produção de matéria seca por mudas de moringa sob omissão de macronutrientes. *Revista de Ciências Agrárias*, 50:189-195.
- Vieira, C. R. 2011. *Crescimento inicial de espécies florestais na omissão de macronutrientes*. Dissertação de mestrado, Cuiabá, 61p.
- Vieira, E.P. e Souza, L.A.G. 2011. Inoculação com rizóbios em mudas de acapu do igapó e saboarana. *Revista de Ciências Agrárias*, UFRA, 54 (1): 54-62.
- Viégas, I. de J. M.; Thomaz, M. A. A.; Silva, J. F. da; Conceição, H. E. O. da; Naiff, A. P. M. 2004. Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 26 (2): 315-319.