



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - POSAGRO

GABRIELA ALMEIDA OLIVEIRA

EFEITO DA IRRIGAÇÃO E DOSES DE FÓSFORO SOBRE O FEIJÃO-CAUPI
CULTIVADO EM CAMPO E EM CASA-DE-VEGETAÇÃO

BOA VISTA

2010

GABRIELA ALMEIDA OLIVEIRA

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO E DOSES DE FÓSFORO SOBRE O FEIJÃO-CAUPI
CULTIVADO EM CAMPO E EM CASA-DE-VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, em Parceria com a Embrapa Roraima, como pré requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal.

Boa Vista

2010

GABRIELA ALMEIDA OLIVEIRA

Efeito da irrigação e doses de fósforo sobre o feijão-caupi cultivado em campo e em casa de vegetação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, em parceria com a Embrapa Roraima, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

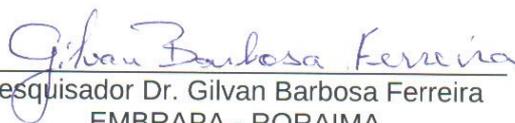
Aprovada: 31 de agosto de 2010.



Prof. Dr. Wellington Farias Araújo
Orientador – UFRR



Pesquisador Dr. Roberto Dantas de Medeiros
EMBRAPA - RORAIMA



Pesquisador Dr. Gilvan Barbosa Ferreira
EMBRAPA - RORAIMA



Prof. Dr. José de Anchieta Alves de Albuquerque
UFRR

DEDICATÓRIA

À minha família, meus queridos pais, José dos Reis (*in memoriam*) e Darcilene,
A meus irmãos: Jocilene, Danielle e George.

Dedico este trabalho

AGRADECIMENTO

A Deus, pelas conquistas concedidas, tornando-me confiante a mais uma etapa superada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal da Universidade Federal de Roraima, pela formação da vida acadêmica.

À Universidade Federal de Roraima e EMBRAPA Roraima.

Ao Prof. Dr. Wellington Farias Araújo, pela amizade e orientação, contribuindo para meu aprendizado e amadurecimento.

Ao Dr. Aloísio Alcântara Vilarinho e Gilvan Barbosa Ferreira, pela orientação.

À minha família, pela educação, carinho, amor e motivação durante toda a minha vida.

Aos meus amigos Ednarde Marques Cirqueira, Deisy Camila Golfetto e Vanuza Xavier da Silva, pelo apoio, incentivo e amizade.

Aos meus estagiários, Pablo Lima de Souza Cruz e Washington Luis Manduca da Silva, que foram mais do que colaboradores, foram amigos e companheiros.

A todos os professores do programa de Mestrado pelo conhecimento passado e grandioso incentivo.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

A todos os meus colegas do mestrado, bolsistas, servidores, ajudantes de campo e alunos do curso de Agronomia, pelo inestimável apoio e convívio.

BIOGRAFIA

GABRIELA ALMEIDA OLIVEIRA, filha de José dos Reis Oliveira e Darcilene Almeida Oliveira, nasceu em 04 de abril de 1985, na cidade de Boa Vista, estado de Roraima. Concluiu o segundo grau no Centro Federal de Educação e Tecnologia, no ano de 2002, nesta cidade. Ingressou no Curso de Agronomia na Universidade Federal de Roraima – UFRR no ano de 2003. Foi bolsista do PICI (Programa de Iniciação Científica Institucional) nos anos de 2004, bolsista de trabalho nos anos de 2005 e do PIBIC/CNPq (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica) no ano de 2006 e 2007, concluiu o curso no ano de 2007. Em março de 2008, iniciou o curso de mestrado em Agronomia, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, na Universidade Federal de Roraima-UFRR. Defendendo a dissertação no dia 31 de Agosto de 2010.

OLIVEIRA, Gabriela Almeida. **Efeito da irrigação e doses de fósforo sobre o feijão-caupi cultivado em campo e em casa-de-vegetação**. 2010. 52f. Dissertação de Mestrado/ Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2010.

RESUMO

A água é um dos fatores de produção que mais limita o rendimento das plantas cultivadas. Em regiões em que a distribuição das chuvas é irregular, podem ocorrer perdas significativas no rendimento das culturas, sendo a irrigação a tecnologia que reduz os riscos de baixa produção, além de propiciar maior número de safras durante o ano. Também a baixa disponibilidade de fósforo, comum na maioria dos solos das regiões tropicais, transforma esse elemento em objeto de freqüentes estudos, para obtenção de bons rendimentos. Esta pesquisa compreendeu dois experimentos realizados no campo e em casa-de-vegetação, envolvendo feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), irrigação e adubação fosfatada. O primeiro experimento, realizado em campo, teve como objetivo estudar o comportamento do feijão-caupi cv. BRS Novaera sob diferentes lâminas de água (187, 241, 257 e 273 mm) e doses de fósforo (0, 70, 140 e 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados na forma de superfosfato triplo) em Boa Vista, Roraima. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas foram constituída pelas lâminas de água e as sub parcelas, pelas doses de fósforo, resultando em 16 tratamentos. A irrigação foi realizada por um sistema convencional de aspersão, montado no campo segundo o sistema de “aspersão em linha”. Foi demonstrada que a massa seca da parte aérea e a massa de 100 grãos são influenciadas pela interação entre lâminas de água e doses de fósforo, enquanto o número de grãos por vagem e o comprimento da vagem são influenciados somente pelas doses de fósforo. A dose de máxima eficiência econômica foi de 89,45 kg de P₂O₅ com produtividade de 1.343 kg ha⁻¹. O segundo experimento, realizado em casa-de-vegetação, em vasos de polipropileno com capacidade de 8 dm³, objetivou estudar o comportamento do feijão-caupi cv. Guariba cultivado sob diferentes lâminas de água (30, 60, 90 e 120% da ECA) e doses de fósforo (0, 70, 140 e 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados na forma superfosfato triplo). O delineamento experimental adotado foi inteiramente ao acaso no esquema fatorial de 4 x 4, com quatro repetições. Demonstrou-se que a massa seca da parte aérea, altura de plantas, número de folhas e teor de P foliar são influenciadas significativamente pelos tratamentos. A lâmina de água influencia na altura de plantas e área foliar, sem apresentar uma interação com as doses de fósforo. O maior acúmulo de massa seca da parte aérea é obtido com 340 mm de água e 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, Amazônia, Cerrado, Roraima,

OLIVEIRA, Gabriela Almeida. **Effect of irrigation and phosphorus levels on cowpea grown in field and greenhouse**. 2010. 52f. Master's Degree Dissertation in Agronomy – Federal University of Roraima, Boa Vista, 2010.

ABSTRACT

The Water is one of the production factors that limit the most the output of cultivated plants. In regions in which the rain distribution is irregular, it may occur significant losses in the output of cultures. In these cases, the irrigation is a technology that can be used to reduce the risks of low production, not to mention to propitiate a greater number of crops during the year. In Savanna areas, the phosphate contents are very low. So, it is necessary to study which strategy results in the highest productivity of cowpea used irrigation and phosphate fertilizer in this areas. This dissertation was developed at Universidade Federal de Roraima, Centro de Ciências Agrárias, situated in Boa Vista, RR. The first work was carried out to evaluate the effect of irrigation depth and phosphate fertilizer (0; 70; 140; 210 kg ha⁻¹ of P₂O₅) on yield and production components of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) cv. Novaera under Savanna of Roraima, Brazil. The experimental design was arranged in a completely randomized block design in split-plot and four replications. Irrigation depths were applied through a sprinkler line source system. The principal treatments were constituted by the depths of irrigation and the secondary treatments by the phosphate fertilizer. Significant effects ($p < 0.05$) of the depth of irrigation and phosphate fertilizer interaction with mass aerial production and mass 100 grains were observed. The number of grains per pods and size of pod were affected by the phosphate fertilizer only. The highest economic yield (1.343 kg ha⁻¹) was obtained by the 89,45 kg of P₂O₅. The second work aimed to verify the behavior of cowpea cv. Guariba subjected different levels of water and phosphorous levels (0, 70, 140, 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅) in greenhouse. The experimental design was in a completely randomized block in a factorial arrangement of 4 X 4, with four replications. The Yellow Latossolo soil was used as a substrate, wrapped in polypropylene containers with 8 dm³. The studied variables were: aerial dry matter production, height of plants, number of leaves, aerial foliar and phosphorous tissue content. There was a marked plant response to phosphorous. The aerial foliar and height of plants were influenced linearly by the water levels without interaction with phosphorous applied. The best results for dry matter were obtained by 340 mm, with 210 kg ha⁻¹ of P₂O₅.

Key-words: *Vigna unguiculata*. Amazonia. Savanna. Roraima.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1	A CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI	3
2.2	REQUERIMENTO HÍDRICO.....	4
2.3	O FÓSFORO NO SOLO E NA PLANTA.....	6
3	ARTIGO A – RESPOSTA DO FEIJÃO-CAUPI A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E A DOSES DE FÓSFORO NO CERRADO DE RORAIMA.....	9
3.1	RESUMO.....	9
3.2	ABSTRACT.....	10
3.3	INTRODUÇÃO.....	11
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
3.6	CONCLUSÕES.....	24
4.	ARTIGO B - CRESCIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI EM RESPOSTA A LÂMINAS DE ÁGUA E DOSES DE FÓSFORO	25
4.1	RESUMO.....	25
4.2	ABSTRACT.....	26
4.3	INTRODUÇÃO.....	27
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	29
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.6	CONCLUSÕES.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	APÊNDICES.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.4.1	Características físicas e químicas do solo na camada de 0-20 cm de profundidade, antes da correção e adubação.....	12
Tabela 3.5.1	Resumo da análise de variância da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da vagem (MSV), massa de 100 grãos (MCG), número de grãos por vagem (NG), comprimento da vagem (CV) e produtividade (PR).....	16
Tabela 4.4.1	Características físicas e químicas do solo na após correção com calcário dolomítico.....	29
Tabela 4.5.1	Tabela 4.5.1 - Resumo da análise de variância da massa seca da parte aérea (MSPA), altura de 30 a 65 DAS (30ALT, 37ALT, 44ALT, 51ALT, 58ALT e 65ALT) de feijão-caupi cv. Guariba submetidas a quatro lâminas de irrigação e quatro doses de adubação fosfatada.....	33
Tabela 4.5.2	Resumo da análise de variância do teor de fósforo foliar (P-foliar) e área foliar de 30 a 58 DAS (30AF, 37AF, 44AF, 51AF e 58AF) de feijão-caupi cv. Guariba submetidas a quatro lâminas de irrigação e quatro doses de adubação fosfatada.....	33
Tabela 4.5.3	- Resumo da análise de variância do número de folhas de 30 a 65 DAS (30NF, 37NF, 44NF, 51NF, 58NF e 65NF) de feijão-caupi cv. Guariba submetidas a quatro lâminas de irrigação e quatro doses de adubação fosfatada.....	34
Tabela 4.5.4	Equações de altura e número de folhas sob influência de % da ECA.....	37
Tabela 4.5.5	Reduções de número de folha em 6 épocas de Dias Após o Semeio (DAS) para os níveis 30; 60 e 90% ECA, quando comparados a 120% ECA.....	38
Tabela 4.5.6	Equações de altura e número de folhas sob influência de doses de P ₂ O ₅	39
Tabela 4.5.7	Equações de área foliar (AF) sob influência de % ECA e doses de P ₂ O ₅	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.4.1	Visão geral do experimento aos 30 DAS (A). Croqui da distribuição das unidades experimentais no campo (B).....	13
Figura 3.4.2	Realização do teste para determinação do coeficiente de uniformidade (A). Distribuição das lâminas e dos pluviômetros no campo (B).....	14
Figura 3.5.1	Efeito das doses de fósforo (70, 140 e 210 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅) aplicadas sob diferentes lâminas de irrigação na massa seca da parte aérea. do feijão-caupi cv, Novaera (A). Efeito das lâminas de água (241, 257 e 273 mm) aplicadas sob diferentes doses de fósforo na massa seca da parte aérea do feijão-caupi cv, Novaera (B).....	17
Figura 3.5.2	Massa seca da vagem (MSV) de feijão-caupi em função doses de fósforo (A) e lâminas de água (B), no cerrado de Roraima, 2009.....	19
Figura 3.5.3	Massa de 100 grãos (g) de feijão-caupi em função de lâminas de água (A) e doses de fósforo (B), no cerrado de Roraima, 2009.....	20
Figura 3.5.4	Equações de regressão para número de grãos por vagem (NG) e comprimento de vagem por planta (CV) de feijão-caupi em função das doses de fósforo.....	21
Figura 3.5.5	Produtividade de grãos em kg ha ⁻¹ (PG) de feijão-caupi em função doses de fósforo (A) e lâminas de água (B), no cerrado de Roraima, 2009.....	22
Figura 4.4.1	Temperatura máxima e mínima do ar dentro do ambiente protegido, durante a condução do experimento.....	29
Figura 4.4.2	Visão geral do experimento realizado.....	30
Figura 4.4.3	Foto ilustrativa da diferença de altura sob diferentes lâminas.....	31
Figura 4.5.1	Massa seca da parte aérea (MSPA) de feijão-caupi cv. BRS Guariba em função das lâminas de água (A) e doses de fósforo (B), na cultura em ambiente protegido.....	34
Figura 4.5.2	Teor de fósforo foliar de feijão-caupi cultivado em ambiente protegido em função das lâminas de água (A) e doses de fósforo (B).....	35
Figura 4.5.3	Altura (A) e número de folhas (B) de 30 DAS ao 65 DAS em função das lâminas de água na cultura de feijão-caupi em ambiente protegido.....	37

Figura 4.5.4	Altura de plantas (A) e número de folhas (B) de 30 DAS aos 65 DAS em função das doses de P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$) na cultura de feijão-caupi em ambiente protegido.....	39
Figura 4.5.5	Área foliar de 30 DAS aos 65 DAS em função das % da ECA (A) e de doses de P_2O_5 (B) na cultura de feijão-caupi em ambiente protegido.....	40

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, principalmente nas Regiões Norte e Nordeste, o feijão-caupi constitui uma das principais alternativas sociais e econômicas de suprimento alimentar e geração de emprego. Dentre os diferentes produtos agrícolas encontrados nas regiões tropicais se destaca pelo alto valor nutritivo, além do baixo custo de produção. É amplamente cultivado pelos pequenos produtores, constituindo um dos principais componentes da dieta alimentar, especialmente na zona rural (FREIRE FILHO, 2005).

O consumo na forma de grãos secos, vagens ou grãos verdes como hortaliça, com 60 a 70% de umidade (OLIVEIRA et al., 2001), tem aumentado nos últimos anos, tornando-se expressiva a participação no meio econômico e alimentar dos produtores. A cultura do feijão-caupi apresenta ciclo curto, baixa exigência hídrica e rusticidade para se desenvolver em solos de baixa fertilidade e, por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, têm a habilidade para fixação de nitrogênio. (FREIRE FILHO, 2005). É uma leguminosa de alto valor protéico que a cada dia conquista maior valor agroeconômico, graças principalmente, à característica de adaptabilidade a condições adversas. Entretanto, de acordo com Cardoso et al. (1996), as baixas produtividades do feijão-caupi são resultantes do uso de sementes não melhoradas, solos de baixa fertilidade e precipitações pluviométricas irregulares.

No estado de Roraima, o feijão-caupi, conhecido como feijão-regional, feijão-branco, feijão-de-moita e feijão-macassar, é o mais consumido pela população. Sua exploração é feita pelo pequeno produtor como cultura de subsistência, sendo consorciado com a mandioca e/ou milho em condições de sequeiro e com baixo nível tecnológico. No Estado, são plantados em torno de 1.500 hectares anuais de feijão-caupi, com produtividade média da ordem de 630 kg ha⁻¹ (MENEZES et al., 2007). Essa produtividade está acima da média nacional, mas é baixa se comparada ao potencial da cultura, estimado em 6.000 kg ha⁻¹ (FREIRE FILHO et al., 2005).

Como forma de elevar a produtividade da cultura no Estado, baixar os custos de produção e elevar a renda do produtor rural é fundamental a adoção de tecnologias, tais como: o manejo adequado da irrigação e da adubação.

A água é fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou seu excesso afeta de maneira decisiva o crescimento das plantas, sendo necessária sua manutenção dentro de limites ótimos.

A disponibilidade hídrica é o fator que mais contribui para a agricultura ser considerada como atividade de risco. A regularidade das chuvas em Roraima, com períodos distintos de precipitação pluviométrica, indica a viabilidade de cultivo nos meses chuvosos. Desta forma, o uso da irrigação nos demais meses do ano, no período seco, para obtenção de bons rendimentos sendo uma prática indispensável, pois permite suprir a quantidade de água necessária para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas.

Em condições experimentais, em Roraima, Medeiros et al. (2005) obtiveram produtividades de 1.853 kg ha^{-1} com feijão-caupi cv. sempre-verde sob irrigação.

O uso da irrigação pressupõe a utilização de outras tecnologias de produção para altas produtividades. Dada a baixa fertilidade natural dos solos do Cerrado, a correção e adubação são práticas indispensáveis.

Dentre os elementos químicos mais utilizados pelo feijão-caupi, o fósforo é um dos macronutrientes essenciais à produção. É um dos principais componentes de diversas moléculas orgânicas, como o ácido fítico, coenzimas, açúcares-fosfato, ácidos nucleicos, nucleotídeos e a adenosina trifosfato, o ATP (COSTA, 2007). Entretanto, na literatura poucos foram os trabalhos encontrados com feijão-caupi e esse elemento (FREIRE FILHO et al., 2005).

No solo, o fósforo é um elemento de baixa solubilidade e mobilidade, encontrando-se principalmente na forma de ortofosfato derivado do ácido fosfórico. Seu suprimento para as raízes é efetuado principalmente pelo processo de difusão, o qual depende principalmente da interação com suas partículas, da umidade do solo e da superfície radicular (COSTA, 2007).

Sob condições limitantes de P, as plantas normalmente apresentam pequeno desenvolvimento de raízes e de brotações e, como resultado, ocorre exploração insuficiente do solo, resultando em acesso restrito e baixa eficiência de uso, tanto de água quanto de nutrientes (STAUFFER; SULEWSKI, 2004)

Este trabalho teve como objetivo de estudar o efeito do manejo da irrigação e da adubação fosfatada sobre o desenvolvimento e a produtividade de grãos do feijão-caupi, em solo de cerrado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma das fontes alimentares mais importantes e estratégicas para as regiões tropicais e subtropicais do mundo. Atualmente, a área colhida de 11,3 milhões de hectares, com produção de 5,4 milhões de toneladas e uma produtividade de 478,33 kg ha⁻¹ (FILGUEIRAS et al., 2009). O continente africano é o principal produtor sendo que há cultivos, também, na América do Sul, América Central, Ásia, Oceania, Sudoeste da Europa e nos Estados Unidos. O Brasil assume papel de destaque nesse contexto, ocupando o terceiro lugar entre os maiores produtores mundiais (RODRIGUES et al., 2004).

Ao contrário do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e de outras leguminosas, o feijão-caupi adapta-se relativamente bem a uma ampla faixa de clima e solo (PINHO et al., 2005). Apresenta ciclo curto, baixa exigência hídrica e rusticidade para se desenvolver em solos de baixa fertilidade e, por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, tem a habilidade para fixar nitrogênio do ar (FREIRE FILHO, 2005).

Estima-se que 70% do feijão produzido no território brasileiro sejam do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e 30% do feijão-caupi. A produção de feijão-caupi corresponde a quase totalidade da área plantada no estado de Roraima com produtividade de 667 kg ha⁻¹. Até pouco tempo, o feijão-caupi era uma cultura explorada em padrões tradicionais e com mercado restrito, porém nos últimos anos vem adquirindo maior expressão econômica. Seu cultivo é feito por pequenos, médios e grandes produtores, que utilizam altas tecnologias e seu mercado vem se expandido (FREIRE FILHO, 2005).

É cultivado, principalmente, nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, sendo que esta última Região entrou recentemente como produtora da cultura. A produção de feijão-caupi no Estado de Roraima se destina principalmente para o autoconsumo, com os excedentes sendo comercializados nas feiras livres e mercados locais. O cultivo é predominantemente itinerante, no qual os produtores utilizam baixa tecnologia para fertilização da terra, levando ao esgotamento das reservas de nutrientes do solo (FILGUEIRAS et al., 2009).

Medeiros et al. (2005) testaram a cultivar Sempre Verde, irrigada por sulcos e por aspersão em solo preparado com arado de aiveca e grade aradora. Apesar de não haver diferença significativa entre os sistemas de irrigação como o preparo do solo nos componentes de produção e na produtividade de grãos, alcançando-se a produtividade média de 1.853 kg ha⁻¹. Isso mostra que a adoção de tecnologia incrementa a produção de feijão-caupi em até 3 vezes, comparada a média local (630 kg ha⁻¹).

2.2 REQUERIMENTO HÍDRICO

A agricultura irrigada é uma alternativa para incrementar a produção de alimentos, com maior produtividade de grãos e número de safras por ano. O rendimento do feijoeiro é bastante afetado pela condição hídrica do solo. Deficiência ou excesso de água nos diferentes estádios da cultura causam redução na produtividade em proporções variadas.

No estado de Roraima, a cultura do feijão-caupi é explorada quase exclusivamente por pequenos produtores, sendo cultivado principalmente durante o período chuvoso. A irrigação, garante a produção de feijão no período seco, além de proporcionar aumento de produtividade, devendo por isso, ser considerada como o complemento das tecnologias aplicadas à cultura.

Muito embora o feijão-caupi constitua uma cultura com ampla adaptação às condições úmidas, não tolera excesso nem escassez de água. Se, por um lado, com o aumento de umidade no solo pode aumentar o suprimento de nutrientes que dependem da difusão, como o P e o K, para a superfície das raízes (BARBER, 1984); por outro, seu excesso, provoca deficiência de oxigênio, que prejudicam seu crescimento e produtividade (DUTRA et al., 1995). A alta umidade provoca não só o apodrecimento das sementes quando plantadas, como prejudica o desenvolvimento vegetativo das plantas, tornando-as mais sujeitas às doenças. Além disso, a qualidade dos grãos é prejudicada por apresentar alterações (tipo manchas, enrugamento), constituindo-se num sério entrave à comercialização.

Os efeitos do déficit hídrico iniciam-se quando a taxa de absorção de água pelas raízes e sua tranlocação para as partes aéreas da planta. O déficit hídrico está associado, portanto, à redução progressiva da água no solo, acompanhando a

profundidade radicular. Quanto maior a redução, em intensidade e tempo de duração, mais severo será o déficit.

Mesmo sendo considerada uma cultura tolerante a seca, na fase de florescimento e enchimento dos grãos a escassez de água pode provocar reduções significativas no número de vagens por planta, comprimento das vagens, número de grãos por vagens e, conseqüentemente na produtividade de grãos, pois a planta tende a produzir vagens precocemente as quais amadurecem antes que a água do solo se esgote.

O déficit hídrico pode determinar reduções no Ψ_w foliar, na área foliar, no número de flores por planta, relação parte aérea/raiz, adiamento do florescimento (COSTA, 1997), matéria seca da parte aérea, matéria seca das raízes (COSTA 1997, LEITE; VIRGENS FILHO 2004), massa das vagens por planta (COSTA 1997, NASCIMENTO et al., 2004), comprimento da haste principal, número de folhas por planta (NASCIMENTO et al., 2004), número de vagens por planta (COSTA 1997; ANDRADE JÚNIOR et al., 2002; NASCIMENTO et al., 2004; BEZERRA et al., 2003), número de grão por vagem (BEZERRA et al., 2003), e produtividade (COSTA, 1997; ANDRADE JÚNIOR et al. 2002; BEZERRA et al., 2003).

Mendes et al. (2007) analisaram as alterações na relação fonte-dreno em feijão-caupi, em diferentes cultivares, por meio de ciclos de deficiência hídrica nas fases vegetativa e reprodutiva. O potencial hídrico foliar, a condutância estomática e a transpiração sofreram reduções aos 29 e 52 dias após a semeadura, quando o estresse hídrico foi aplicado nas fases vegetativa e reprodutiva, respectivamente. As restrições hídricas impostas não influenciaram a capacidade de fonte (número de folhas, área foliar e área foliar específica) e a eficiência reprodutiva, mas reduziu o tamanho do dreno (número de vagens, número e massa de sementes/planta). Quando aplicado na fase vegetativa, o estresse inibiu o processo de abscisão foliar e o potencial de dreno da planta (flores/planta). O cultivar Epace 10 apresentou maiores potencial e capacidade de drenos reprodutivos. O estresse na fase reprodutiva causou grande redução na relação produção de sementes/área foliar em ambos os cultivares.

Carvalho et al. (2000) avaliaram os efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico sobre a produção do caupi, em experimento realizado em casa-de-vegetação. Esses efeitos foram medidos em três diferentes etapas do ciclo fenológico da cultura (crescimento, floração e frutificação), aplicando-se em cada

uma dessas etapas déficits diários de 80%, 60%, 40%, 20% e 0% em relação à evapotranspiração da testemunha (100% de reposição de água). Foram avaliados o número de grãos por vagem, vagens por planta e o rendimento de grãos. Os resultados alcançados mostraram quedas de rendimento variando de 35% a 100% na fase de crescimento, 34% a 81% na fase de floração e de 32% a 73% na frutificação.

2.3 O FÓSFORO NO SOLO E NA PLANTA

Cerca de 25% do território nacional é constituído de cerrado, um sistema solo-planta-atmosfera peculiar, cuja característica principal é a baixa fertilidade do solo. Algumas práticas racionais de agricultura podem ser implantadas para elevar a produtividade a níveis compensadores, tais como: correção do pH do solo (calagem), fertilização adequada e um manejo correto de água. Veranicos podem afetar a produtividade em muitos casos fazendo-se necessária a irrigação suplementar (REICHARDT; TIMM, 2004).

De acordo com Couto, Cordeiro e Alves (1982), os elementos em ordem de importância que mais limitaram os rendimentos de grãos de feijão-caupi em Latossolo de campo cerrado de Roraima foram o fósforo, nitrogênio e potássio. Melo et al. (2003) relatam que a extrema pobreza de P é um dos fatores mais limitantes ao uso desses solos, dos quais 84% possuem teores de P de muito baixo a baixo.

Conhecer o efeito da adubação fosfatada no solo é de grande importância no manejo deste nutriente (SILVA; RESENDE; CINTRA, 2001). As plantas absorvem o P da solução do solo nas formas de íons H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , dependendo do valor do pH, e após a absorção, apresentam grande capacidade em acumular esse fosfato.

O fósforo é um dos principais elementos que compõem a fração mineral das plantas e está associado, praticamente, a todos processos metabólicos e fisiológicos dos vegetais. A maioria das plantas necessita de fósforo durante todo seu ciclo de vida. Na fase inicial de desenvolvimento, as quantidades exigidas e absorvida do solo são reduzidas. No período de frutificação, as necessidades são elevadas e são atendidas, em parte, pela absorção imediata do fósforo presente no solo, e o restante pela utilização das reservas da planta, por meio da redistribuição do nutriente presente, principalmente nas folhas. Apesar de ser um elemento de baixa

mobilidade no solo, na planta ele apresenta elevada mobilidade, acumulando-se nas folhas novas e nas flores, sendo fundamental no processo de maturação das sementes e no desenvolvimento de toda a planta (COSTA, 2007).

O fósforo é um dos principais componentes de diversas moléculas orgânicas, como ácido fítico, coenzimas, açúcares-fosfato, ácidos nucléicos, nucleotídeos e a adenosina trifosfato, o ATP, atuando, também no controle de reações enzimáticas. Imediatamente após sua absorção pelas raízes das plantas, no interior das células, o fósforo é transformado ou mantido como fosfato, ocorrendo principalmente como H_2PO_4^- , na forma orgânica ou inorgânica (COSTA, 2007; GRANT et al., 2001).

O nível crítico teórico de fósforo no solo, para o bom desenvolvimento da planta, está em torno de 10 mg kg^{-1} , embora seja o macronutriente extraído em menor quantidade e o que mais limita a produção do feijão-caupi. Considerando as condições do solo e as propriedades do elemento no meio, as doses recomendadas encontram-se na faixa de 20 a 60 kg de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (FREIRE FILHO et al., 2005).

A deficiência de fósforo é visível nas plantas de feijão-caupi logo no começo da fase vegetativa, com o retardamento do crescimento. Além da redução no porte, as plantas apresentam manchas pardas internevais nos seus folíolos, onde ocorrem pontos de acúmulo de amido no cloroplasto. A falta de fósforo no citossol das células diminui a atividade do translocador de Pi nas membranas externas do cloroplasto, o qual troca o fósforo inorgânico do citossol pela triose fosfato do cloroplasto. Dessa forma, havendo deficiência de P, a triose fosfato fica retida no estroma do cloroplasto e vai ser usada na rota biossintética do açúcar de reserva, o amido, ao invés da sacarose, o qual constitui o açúcar de transporte que é usado, principalmente, nos pontos de crescimento da planta (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Como o fósforo é utilizado na síntese de ATP, as plantas deficientes neste elemento apresentam redução em todos os processos que requerem energia, como absorção e assimilação de nutrientes, fotossíntese, translocação de carboidratos e atividade de enzimas regulatórias do metabolismo (PRADO, 2001), o que colabora para explicar a redução no porte da planta.

As limitações da disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados. Assim, o suprimento de P é essencial desde os estádios iniciais de crescimento da planta (GRANT et al., 2001).

A deficiência de fósforo mostra como resultado, a diminuição na altura da planta, atraso na emergência das folhas e redução na brotação e no desenvolvimento de raízes secundárias, na produção de massa seca e na produção de sementes (GRANT et al., 2001). Estes processos são decorrentes da redução da síntese de ácidos nucléicos e de proteínas, causando a acumulação no tecido de compostos nitrogenados solúveis e promovendo o retardamento e a paralisação do crescimento celular. O ciclo vegetativo é prolongado, retardando o ciclo reprodutivo que fica prejudicado, com o elevado aborto de flores e formação de poucas vagens (COSTA, 2007).

As plantas desenvolvem adaptações fisiológicas visando à produção de algumas sementes viáveis devido à deficiência de fósforo. O estresse causado pela deficiência desse elemento tende a promover uma redução no número total de sementes, com menor efeito no tamanho das mesmas (COSTA, 2007).

A baixa disponibilidade de fósforo no solo afeta o crescimento e produção de plantas de feijão-caupi (PASTORINI et al., 2000). Alguns autores verificaram o efeito positivo da adubação fosfatada na produção de leguminosas como feijão comum e feijão-caupi. Avaliando o efeito das doses de fósforo (0, 35, 70 e 140 kg ha⁻¹) sobre o rendimento de grãos em feijão comum, Silva; Resende e Cintra (2001) obtiveram a máxima produção com a dose 104 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Analisando a resposta do feijão comum a doses de fósforo em solo arenoso, Silva, Resende e Cintra (2001) verificaram que o rendimento dos grãos aumentou com as doses de P₂O₅ aplicadas.

Em outro estudo realizado por Zucareli; Ramos Junior e Barreiro (2006) avaliaram o efeito da adubação fosfatada (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅) na produtividade e nos componentes de produção do feijão, em experimento conduzido em condições de campo, em Latossolo Vermelho. Eles verificaram que a adubação fosfatada com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aumentou o número de vagens por planta e o número de sementes por planta, os demais componentes de produção e a produtividade não responderam significativamente à aplicação de fósforo. No entanto, Silva (2007) avaliou o efeito residual da adubação fosfatada em Latossolo Vermelho Amarelo, em experimento de campo em Areia, PB. Observou efeitos significativos para a produção de grãos de feijão-caupi entre as interações cultivos e doses de P₂O₅. Entretanto, alguns estudos demonstraram ausência de resposta à adubação fosfatada em solos com 15 mg dm⁻³ de P no solo (BARRIOS; RODRIGUEZ; ORTEGA, 1970).

3. ARTIGO A – RESPOSTA DO FEIJÃO-CAUPI A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E A DOSES DE FÓSFORO NO CERRADO DE RORAIMA

3.1. RESUMO - O objetivo do trabalho foi estudar o comportamento do feijão-caupi (*Vigna unguiculada* (L.) Walp.) cv. BRS Novaera sob diferentes lâminas de água (273, 257, 241 e 187 mm) e doses de fósforo (0, 70, 140 e 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados na forma de superfosfato triplo) em Boa Vista, Roraima. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas foram constituída pelas lâminas de água e as subparcelas, pelas doses de fósforo, resultando em 16 tratamentos. A irrigação foi realizada por um sistema convencional de aspersão, montado no campo segundo o sistema de “aspersão em linha”. Quanto à massa seca da parte aérea e a massa de 100 grãos foi observada interação significativa entre lâminas de água e doses de fósforo, enquanto o número de grãos por vagem e o comprimento da vagem são influenciados somente pelas doses de fósforo. A dose de máxima eficiência econômica é de 89,45 kg ha⁻¹ de P₂O₅, como que se obteve uma produtividade de grãos de 1.343 kg ha⁻¹.

Palavras-chave – *Vigna unguiculata*, Amazônia, Manejo da irrigação.

ARTICLE A - RESPONSE OF COWPEA TO WATER LEVELS AND PHOSPHATE FERTILIZER ON SAVANNA OF RORAIMA

3.2. ABSTRACT - This work was carried out to evaluate the effect of irrigation depth (273,4; 257,2; 241,0 e 187,0 mm) and phosphate fertilizer (0; 70; 140; 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅) on yield and production components of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) cv. Novaera under Savanna of Roraima, Brazil. The experimental design was arranged in a completely randomized block design in split-plot and four replications. Irrigation depths were applied through a sprinkler line source system. The principal treatments were constituted by the depths of irrigation and the secondary treatments by the phosphate fertilizer. Significant effects ($p < 0.05$) of the depth of irrigation and phosphate fertilizer interaction with mass aerial production and mass 100 grains were observed. The number of grains per pods and size of pod were affected by the phosphate fertilizer only. The highest economic yield (1.343 kg ha⁻¹) was obtained by the 89,45 kg of P₂O₅.

Key words - *Vigna unguiculata*, Amazonia, irrigation management.

3.3. INTRODUÇÃO

Nas regiões Norte e Nordeste, o feijão-caupi constitui uma das principais alternativas sociais e econômicas de suprimento alimentar e geração de emprego, pelo alto valor nutritivo e baixo custo de produção. É amplamente cultivado pelos pequenos produtores, constituindo um dos principais componentes da dieta alimentar (FREIRE FILHO et al., 2005).

A predominância do cultivo do feijão-caupi na agricultura de subsistência e a falta de um banco de dados próprio, desvinculado do feijão comum, gera dúvidas quanto à precisão do total de área plantada e a produtividade média do feijão-caupi no âmbito nacional. Estima-se que 70% do feijão produzido no território brasileiro seja de feijão comum e 30% do feijão-caupi. Quanto à produtividade a nível nacional, a média foi de 777 kg ha⁻¹, considerando dados entre 2000 e 2007 (FILGUEIRAS et al., 2009). Como forma de elevar a produtividade da cultura, baixar os custos de produção e elevar a renda do produtor rural é fundamental a adoção de tecnologias, tais como o manejo adequado da irrigação e da adubação.

Para um correto manejo de irrigação, deve-se levar em consideração a lâmina de irrigação adequada para um bom suprimento hídrico, evitando estresse à cultura, que possa afetar o crescimento das plantas e, conseqüentemente, a produção (BEZERRA et al., 2003).

Em relação à adubação, a aplicação de P na cultura do feijoeiro promove aumento na produção de matéria seca, parte aérea, número de vagens e massa de grãos, influenciando a produtividade (STAUFFER; SULEWSKI, 2004). Trabalhos com adubação fosfatada na cultura do feijão comum tem apresentado respostas significativas (VALDERRAMA et al., 2009), que com o uso da irrigação pode-se conseguir diferentes combinações de doses de P e lâminas de água para bons rendimentos (MIRANDA et al., 2000). No entanto, os estudos envolvendo tais combinações são limitados ao feijão comum.

O conhecimento mais detalhado do desenvolvimento do feijão-caupi, em diferentes combinações de lâminas de água e níveis de adubação fosfatada, é importante para gerar tecnologia de baixo custo e aumento da produção. Neste trabalho objetivou-se estudar a influência do manejo da irrigação e da adubação fosfatada na produtividade de grãos e seus componentes de produção para a cultura do feijão-caupi, cultivado no cerrado de Roraima.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos meses de fevereiro a abril de 2009, em área de primeiro ano de cultivo, em cerrado, pertencente à Universidade Federal de Roraima, no município de Boa Vista-RR, cujas coordenadas geográficas de referência são: 2°40'11" N de latitude, 60°40'24" W de longitude e 90 m de altitude.

Durante a realização do experimento foi registrado, por meio de estação automática, precipitação de 97 mm, temperatura média 28,3 °C, com mínima de 23,7 °C e máxima de 34 °C. A umidade relativa apresentou média de 69%.

O solo da área é classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média, cujas características físicas e químicas encontram-se na Tabela 3.4.1.

Tabela 3.4.1 - Características físicas e químicas do solo na camada de 0-20 cm de profundidade, antes da correção e adubação.

Determinações	Valores
pH em H ₂ O (1:2,5)	4,21
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,38
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,10
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,40
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,01
P (mg dm ⁻³)	3,89
Areia grossa (%)	43,60
Areia fina (%)	21,30
Silte (%)	13,10
Argila (%)	22,00

Um mês antes da semeadura foram aplicados, a lanço, 2.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, PRNT 100%. A semeadura foi realizada em 27 de fevereiro de 2009, e três dias antes houve a adubação de base, a lanço, onde foram utilizados 40 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio e 50 kg ha⁻¹ de FTE-BR 12.

O preparo do solo constou de uma roçagem, deixando-se o material vegetal retirado sobre o solo. O plantio foi realizado com auxílio de uma matraca, num espaçamento de 0,5 m entre fileiras, com 8 sementes por metro linear, procurando-se obter uma população de 160.000 plantas ha⁻¹. Foi utilizada a cultivar BRS Novaera, de crescimento indeterminado e porte ereto, recomendada para a região (VILARINHO et al, 2006). As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii*, na proporção de 100 g de inoculante, misturado com 30 mL de água, para 50

kg de sementes. Foram realizada 3 colheitas, de forma manual, a partir de 30 de abril de 2009.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas, com área de 54 m² (3 m x 18 m), foram constituída pelas lâminas de água e as sub parcelas, em área de 13,5 m² (3 m x 4,5 m), onde foram casualizadas as doses de fósforo, cuja área útil foi de 7 m² (2 m x 3,5 m). Os tratamentos constaram de quatro lâminas de água (273, 257, 241 e 187 mm) combinadas com quatro doses de fósforo (0, 70, 140 e 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅) na forma de superfosfato triplo, resultando em 16 tratamentos (Figura 3.4.1A, Figura 3.4.1B).

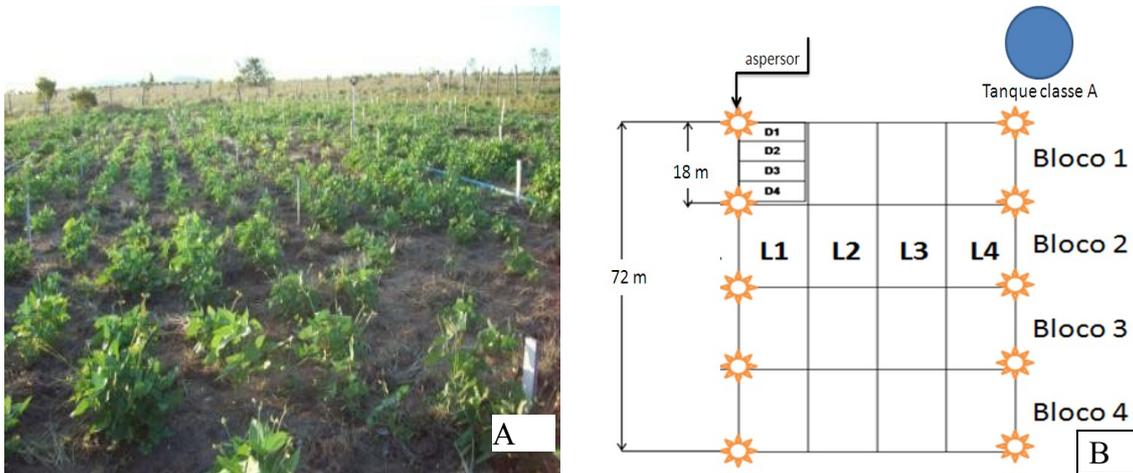


Figura 3.4.1 – Visão geral do experimento aos 30 DAS (A). Croqui da distribuição das unidades experimentais no campo (B).

A irrigação foi realizada por um sistema convencional de aspersão, montado no campo segundo o sistema de “aspersão em linha” (HANKS et al., 1976). As irrigações ocorreram a cada dois dias repondo-se a lâmina de água correspondente à evaporada medida pelo tanque Classe A, instalado junto à área experimental. A irrigação sempre ocorria nas horas de menor velocidade do vento.

Durante o estabelecimento da cultura foram instaladas três linhas de aspersores, de modo a promover uma irrigação uniforme em toda a área experimental. O espaçamento utilizado foi de 12 m entre aspersores e 8 m entre linha de aspersores. Após 30 dias, a irrigação ocorreu somente em uma única linha com o uso de aspersores convencionais do tipo NAAN 5022, funcionando a uma pressão de serviço de 1,9 kPa, resultando numa intensidade de aplicação de 10,8

mm h⁻¹. A medição das lâminas de água aplicadas por irrigação, em cada subparcela experimental, foi feita mediante coletas em pluviômetros, previamente distribuídos em cada bloco experimental, transversal à linha de aspersores (três por sub parcela), sendo a lâmina definida pela média da água coletada nesses pluviômetros (Figura 3.4.2A, Figura 3.4.2B).

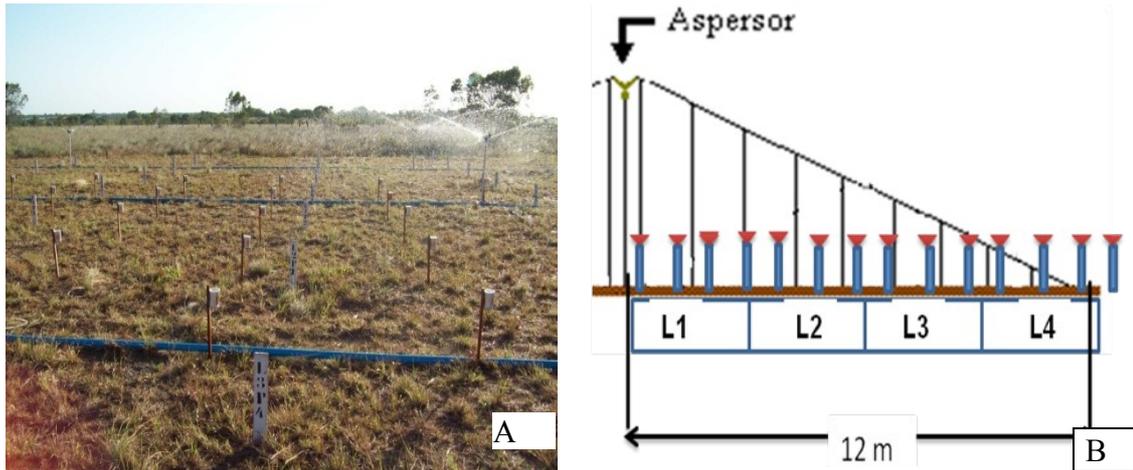


Figura 3.4.2 - Realização do teste para determinação do coeficiente de uniformidade (A). Distribuição das lâminas e dos pluviômetros no campo (B).

Esses dados serviram para estimar a lâmina precipitada em cada tratamento e calcular o coeficiente de uniformidade de distribuição de água, utilizando-se o coeficiente de Christiansen (1942), conforme a fórmula abaixo:

$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}} \quad (1)$$

em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, em decimal;

n - número de observações;

x_i - lâmina de água aplicada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo;

\bar{x} - lâmina média aplicada.

O coeficiente de Christiansen (1942) resultou em 71% para uma média de velocidade de vento observada, durante os testes, de 1,8 ms⁻¹. Segundo Merriam e Keller (1978), para culturas de alto rendimento econômico, com sistema radicular raso, a irrigação por aspersão deve apresentar alta uniformidade de distribuição. O

CUC deve ser acima de 88%. Para cultivos com sistema radicular médio, o CUC pode variar entre 80 e 88%. Em culturas com sistema radicular profundo, o CUC pode variar entre 70 e 80%. Devido a esses resultados, o horário de irrigação foi alterado para o fim da tarde/início da noite, quando há praticamente ausência de vento, propiciando maior uniformidade de distribuição de água e elevação do CUC.

Foram analisadas as seguintes variáveis: massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento de vagem por planta (CV), número de grãos por vagem (NG), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PG). Para obtenção da massa seca da parte aérea as 5 plantas foram embaladas em sacos de papel, identificadas e secadas em estufa com circulação de ar forçada, a 45 °C, até atingirem peso constante e realizado o cálculo de média. Para o comprimento de vagens foram medidos todas as vagens, em cm, de três plantas no final do ciclo. Para o número de grão por vagem foram contados o número de grãos por vagem de três plantas no final do ciclo. Para massa de 100 grãos foram contados e medido a massa de 10^o grãos dos grãos obtidos na área útil. Para produtividade foram obtidos a massa da área útil e depois extrapolado esse valor para kg ha⁻¹.

Também foi estimada a dose de fósforo correspondente a máxima eficiência econômica (DMEE), onde se igualou a derivada da curva de resposta da cultura à adubação fosfatada com a razão entre o preço do insumo (adubo fosfatado) e o preço comercial do produto (feijão-caupi) e calculou-se a dosagem do adubo que satisfaz essa igualdade. Para o cálculo, considerou-se um valor médio comercializado na feira local, durante o período experimental, de R\$ 1,50 por quilo de feijão-caupi, dados obtidos na Secretaria de Agricultura de Roraima para o ano de 2009 e o valor do adubo de R\$ 3,6 por kg de P₂O₅.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade. Realizando-se a análise de regressão das lâminas de água e das doses de fósforo.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o ciclo da cultura, os valores das lâminas de irrigação aplicadas nas parcelas apresentaram um gradiente de variação decrescente a partir da linha central de aspersores, característica inerente ao sistema de aspersão em linha proposto por Hanks et al.(1976).

As lâminas totais de irrigação apresentaram valores abaixo dos encontrados por Andrade Júnior et al. (2002), que em seus estudos de avaliação dos níveis de irrigação na cultura do feijão-caupi no estado do Piauí obtiveram lâminas de água de 449,1 a 194,4 mm.

A interação entre os fatores lâminas de irrigação e doses de fósforo (P) foi significativa apenas nas variáveis massa seca da parte aérea (MSPA) e massa de 100 grãos (MCG) (Tabela 3.5.1). Para as demais fatores em estudo, estudou-se o efeito isolado de cada fator. Verificou-se que os demais fatores em estudo ajustaram-se a regressão para o fator dose de fósforo, sendo que somente as variáveis massa seca da vagem e produtividade ajustaram-se a regressão para lâmina de irrigação (Tabela 3.5.1). A resposta da cultura ao fósforo, já era esperada, em função do baixo teor do elemento no solo e a baixa resposta das variáveis estudadas às lâminas de irrigação pode ser atribuída à baixa amplitude entre os tratamentos (31,6 %).

Tabela 3.5.1 - Resumo da análise de variância da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da vagem (MSV), massa de 100 grãos (MCG), número de grãos por vagem (NG), comprimento da vagem (CV) e produtividade (PR)

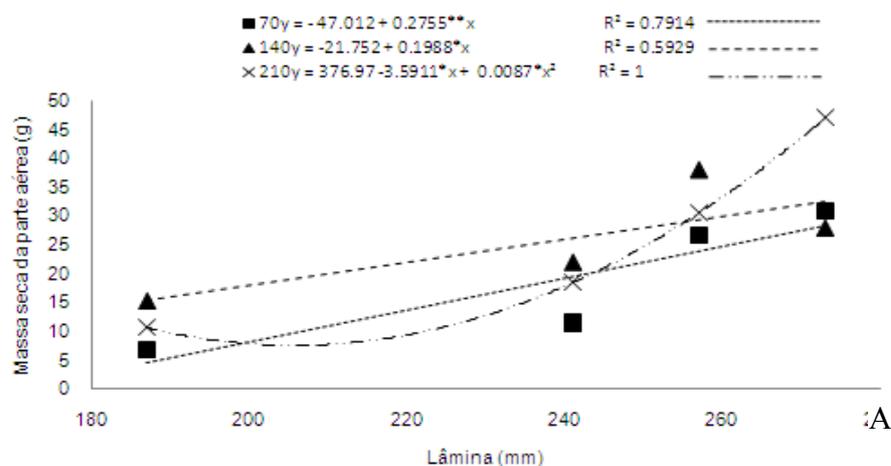
FV	GL	QUADRADO MÉDIO					
		MSPA	MSV	MCG	NG	CV	PR
BLOCO	3	105,95 ^{ns}	56,02	1,69 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1314078,10 ^{ns}
Lâmina (L)	3	1351,11 ^{**}	429,90 ^{**}	15,72 [*]	2,49 ^{ns}	1,57 ^{ns}	2470573,50 [*]
erro a	9						
Fósforo (P)	3	1125,79 ^{**}	270,13 ^{**}	4,54 ^{ns}	8,33 ^{**}	3,92 ^{**}	1677141,00 [*]
L*P	9	202,94 [*]	58,77 ^{ns}	7,51 ^{**}	0,86 ^{ns}	0,56 ^{ns}	361292,90 ^{ns}
erro b	36						
CV 1 (%)		58,68	78,78	7,70	20,41	7,23	67,91
CV 2 (%)		46,50	63,53	6,62	12,74	4,83	65,14

Obs.: ns, *, ** - Não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F.

As plantas apresentaram MSPA que variaram de 6,26 g (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com 257 mm) a 47,06 g (210 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com 273 mm), estando de acordo com os resultados encontrados por Leite e Virgens Filho (2004), obtendo MSPA de até

30,27 g e Mendes et al. (2007), com média de 31,42 g de MSPA por planta na cultura de feijão-caupi. Matteucci e Carvalho (1988), também encontraram valores de 12,1 a 36,6 g de massa seca, estudando quatro doses de P_2O_5 (0, 40, 80 e 160 $kg\ ha^{-1}$) em diferentes densidades de plantio. Sendo que, valores menores foram encontrados por Fonseca (2008), Linhares (2007) e maiores (54,32 g) foram encontrados por Lacerda et al. (2009), utilizando uma lâmina de 326,3 mm. Tais variações podem ser atribuídas às diferenças inerentes as cultivares usadas nas diferentes pesquisas e as condições edafoclimáticas de cada local.

Para MSPA, as doses 70 e 140 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , apresentaram efeitos lineares (Figura 3.5.1), sendo que os maiores valores foram encontrados na maior lâmina de água (273 mm). A equação quadrática apresentou o melhor ajuste para MSPA referente à lâmina com 210 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 com produção máxima de 47,05 g na maior lâmina de água (273,4 mm). Os menores valores observados para esta variável ocorreram com a combinação entre qualquer lâmina com a dose 0 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , devido, possivelmente, aos baixos teores de fósforo observados no solo do experimento. Isto poderia ter ocorrido pela diminuição da disponibilidade do P no solo e/ou pela maior dificuldade da absorção em si no solo com déficit hídrico. A primeira hipótese é corroborada, em princípio, pois os maiores teores de água aumentam a disponibilidade do P, tanto pela maior solubilidade do elemento, quanto pela maior difusão do íon no solo nas maiores lâminas de irrigação. No entanto, Dutra et al. (1995), utilizando feijão comum, não encontraram interação significativa entre doses de P e níveis de umidade no solo para MSPA.



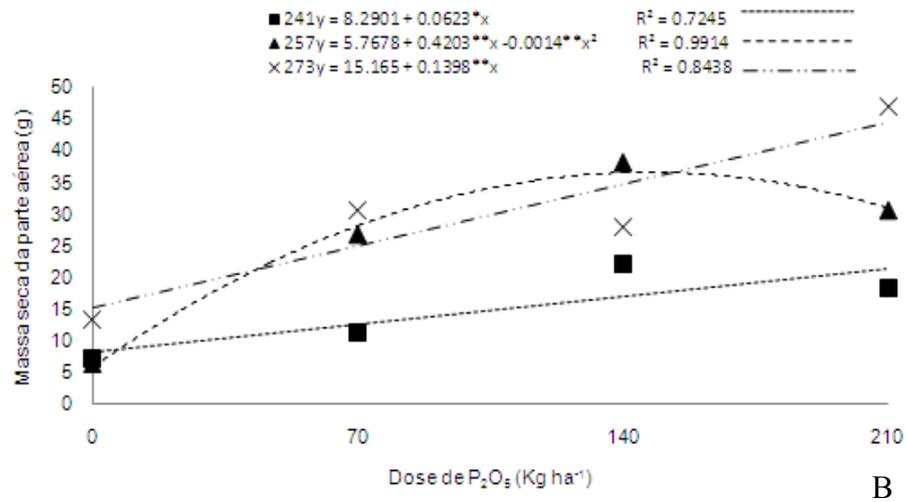


Figura 3.5.1- Efeito das doses de fósforo (70, 140 e 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicadas sob diferentes lâminas de irrigação na massa seca da parte aérea do feijão-caupi cv, Novaera (A). Efeito das lâminas de água (241, 257 e 273 mm) aplicadas sob diferentes doses de fósforo na massa seca da parte aérea do feijão-caupi cv, Novaera (B).

Obs.: *, ** - Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de regressão.

Resultados com feijoeiro comum mostraram que a MSPA é uma das características da planta mais importantes para o aumento da produção, parâmetro que explicam 87% da variabilidade da produção de grãos (STAUFFER; SULEWSKI, 2004).

As limitações da disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo resultam em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados. O suprimento de P é essencial desde os estádios iniciais de crescimento da planta (GRANT et al., 2001).

A massa seca da vagem (MSV) ajustou-se ao efeito linear tanto para o fator dose como para o fator lâmina de irrigação (Figura 3.5.2). A menor lâmina de irrigação aplicada reduziu a MSV, independente das doses de fósforo. Foram observadas reduções de 27,16% de MSV nos tratamentos com 187 mm de água em relação ao tratamento com a maior lâmina de água (273 mm). Costa et al. (1997); Leite e Virgens Filho (2004) encontraram uma redução de 56% e 61,3%, respectivamente, quando o estresse hídrico foi imposto na fase reprodutiva.

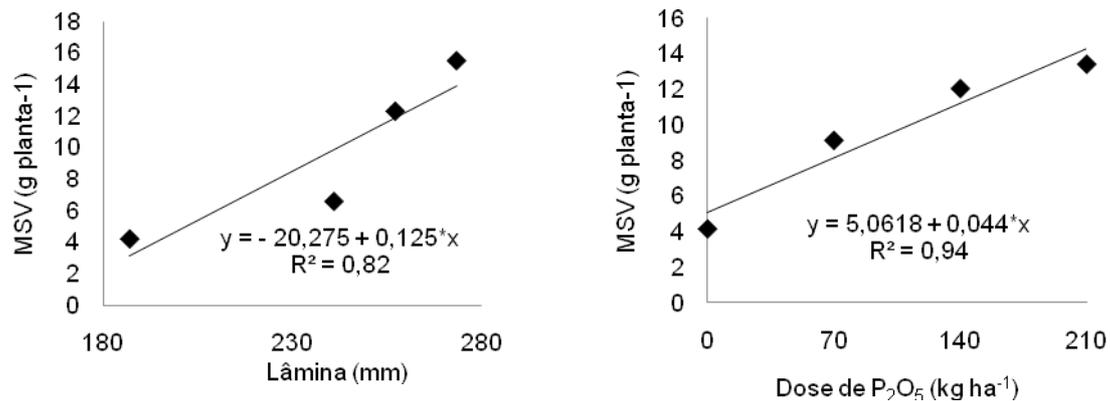


Figura 3.5.2 - Massa seca da vagem (MSV) de feijão-caupi em função doses de fósforo (A) e lâminas de água (B), no cerrado de Roraima, 2009

Obs.: *, ** - Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de regressão.

Doses reduzidas de adubo fosfatado reduziram a MSV. Esse dado é corroborado por Grant et al. (2001), que relatam ser preciso garantir um suprimento contínuo de P até a fase de maturação para permitir o funcionamento do mecanismo de translocação de carboidrato para que não haja redução na produção de grãos.

A massa de 100 grãos (MCG) apresentou média variando de 21,04 a 23,87 g, exceto para o tratamento com a menor lâmina de água e a dose 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Em geral, os valores foram superiores ao descrito por Vilarinho et al. (2006), em estudo com o feijão-caupi BRS Novaera no cerrado de Roraima, que obtiveram 20 g de MCG. Oliveira et al. (2003) relatam que a MCG é a segunda variável mais influente na seleção para produtividade em grãos de feijão-caupi. A MCG apresentou efeito significativo para interação das variáveis independentes (lâminas de irrigação e doses de fósforo), obtendo-se efeito significativo somente nas diferentes lâminas dentro da dose 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e diferentes doses dentro da lâmina de 187 mm com efeito linear e quadrático, respectivamente com significância de 1% (Figura 3.5.3). A resposta significativa para o fator lâmina da água na cultura do feijão-caupi, difere de outros trabalhos encontrados na literatura (QUEIROZ P, FILHO et al., 1986; FERREIRA et al., 1991; BEZERRA et al., 2003; MENDES et al., 2007).

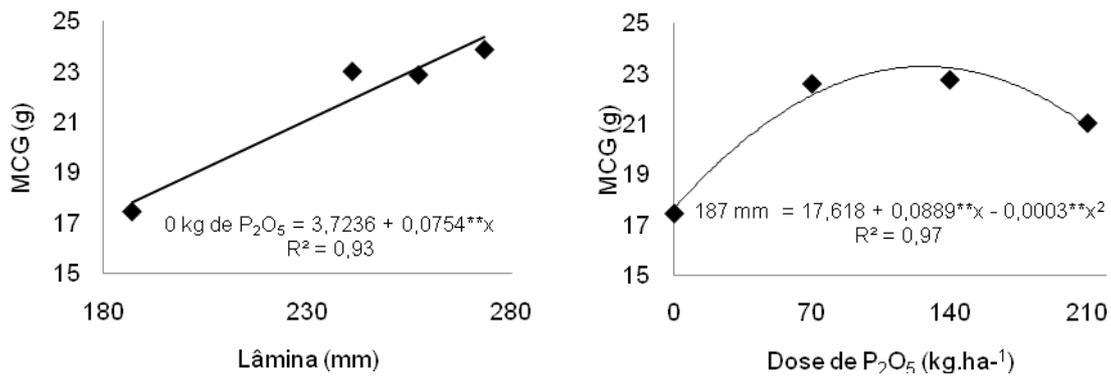


Figura 3.5.3 - Massa de 100 grãos (g) de feijão-caupi em função de lâminas de água (A) e doses de fósforo (B), no cerrado de Roraima, 2009.

Obs.: *, ** - Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de regressão.

Em resposta à variável MCG houve interação significativa, indicando que os fatores 'doses de fósforo' e 'lâminas d'água' agem de forma dependente sobre a variável estudada. Somente na dose 0 de P e lâmina 187 mm corroboram com Stauffer; Sulewski (2004) no qual relatam que sob condições limitantes de P, as plantas normalmente apresentam menor desenvolvimento de raízes e, como resultado, ocorre exploração insuficiente do solo, resultando em acesso restrito e baixa eficiência de uso, tanto de água quanto de nutrientes. Já Valderrama et al. (2009) não verificaram resposta de MCG para diferentes dose de P (0 a 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicadas no feijão comum.

O número de grãos por vagem (NG) e o comprimento de vagem por planta (CV) apresentaram efeito significativo apenas em doses de fósforo (Tabela 3.5.1), além disso, ambas variáveis apresentaram efeito linear (Figura 3.5.4). No presente trabalho valores menores de NG foram encontrados nas menores doses de P confirmando a importância do fósforo nos componentes de produção, Vilarinho et al. (2006) estudando o desempenho produtivo para cultivar Novaera, descrevem valores médios de 15 cm de comprimento e 10 grãos por vagem.

Os valores de comprimento de vagem foram semelhantes aos encontrados por Queiroz Filho et al. (1986). Não foi observado efeito significativo do comprimento de vagem para as diferentes lâminas de irrigação. Resultados similares aos encontrados na literatura (ANDRADE JÚNIOR, 2002; BEZERRA et al., 2003; MENDES et al., 2007). No entanto, Nascimento et al. (2004) obtiveram diferenças significativas de níveis de água disponível no solo para o comprimento de vagem.

Oliveira et al. (2003) relatam que o número médio de grãos por vagem é uma variável de pouca importância direta na seleção para o aumento da produtividade.

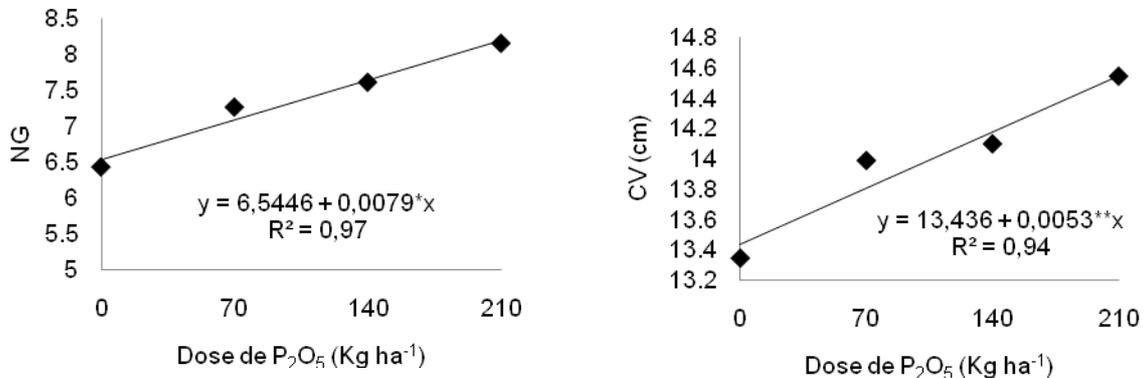


Figura 3.5.4 - Equações de regressão para número de grãos por vagem (NG) e comprimento de vagem por planta (CV) de feijão-caupi em função das doses de fósforo.

Obs.: *, ** - Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de regressão.

Os resultados são similares aos obtidos por Costa et al. (1997) e Leite et al. (2000), que encontraram reduções no número de grãos por vagem com a aplicação do estresse hídrico na fase reprodutiva em feijão-caupi. Entretanto, são divergentes dos obtidos por Queiroz Filho et al. (1986), que não observaram diferenças significativas entre os tratamentos com diferentes lâminas de água para a variável número de grãos por vagem.

O comprimento da vagem por planta e o número de grãos por vagem são características de produção normalmente resistentes às modificações induzidas por estresse ambiental (FERREIRA. COSTA; ALBUQUERQUE, 1991). Corroborado por Andrade et al. (1998), que comentam que o número de sementes por vagem é uma característica de alta herdabilidade genética, sendo pouco influenciada pelo ambiente.

Na variável produção foi possível ajustar um modelo linear para lâmina e quadrático para doses de P (Figura 3.5.5). A maior produtividade ocorreu com a lâmina de 257,2 mm (1.420,51 kg ha⁻¹). Esse resultado é superior a média nacional que é de 777 kg ha⁻¹, conforme FILGUEIRAS et al. (2009), mas similar a produtividade média de grãos encontrada por Vilarinho et al. (2006) onde verificaram média de 1.243 kg ha⁻¹ para o feijão-caupi BRS Novaera para o cultivo em Roraima. Ao contrário, Miranda et al. (2000), trabalhando com dois níveis de irrigação (426 e

338 mm) e três doses de fósforo (250, 500 e 1000 kg ha⁻¹ de P₂O₅), obtiveram resposta de interação entre os tratamentos com feijão comum.

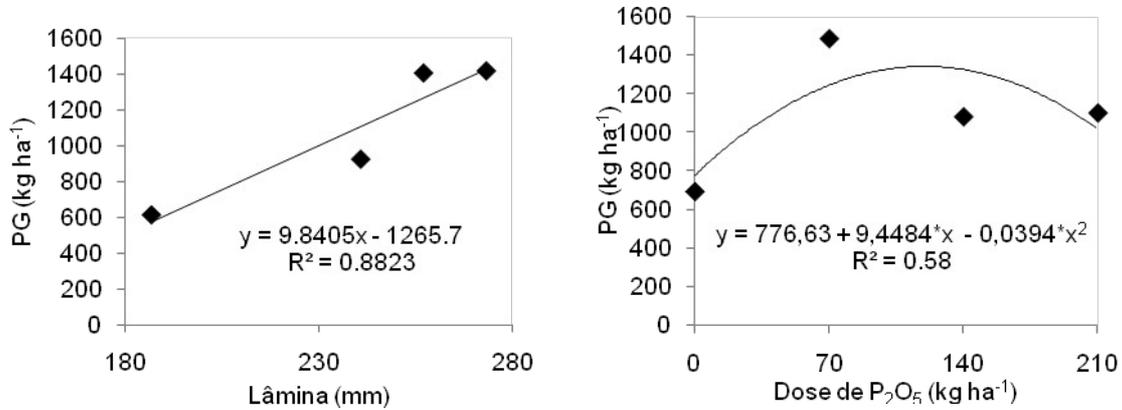


Figura 3.5.5 – Produtividade de grãos em kg ha⁻¹ (PG) de feijão-caupi em função doses de fósforo (A) e lâminas de água (B), no cerrado de Roraima, 2009.

Obs.: *, ** - Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de regressão.

Com a equação ajustada para produção em função das doses de fósforo na cultura do feijão-caupi foi possível ajustar a melhor dose (120 kg de P₂O₅) para obtenção da máxima produtividade (1.343,078 kg ha⁻¹) (Figura 3.5.5B). Barrios et al. (1970), verificaram ausência de resposta da adubação fosfatada para o feijão comum em solos com 15 mg dm⁻³ de P, comprovando a diminuição da produção com o aumento das doses de P, em solos que apresentam alto teor do nutriente disponível.

A dose de máxima eficiência econômica foi de 89,45 kg de P₂O₅, produzindo 1.306,54 kg ha⁻¹ de feijão-caupi. Com a diminuição de 25,46% na aplicação de fósforo houve uma perda na produtividade de apenas 36,54 kg ha⁻¹. Resultado similar foi encontrado por Cardoso et al. (2006) que observaram aumento na produção de feijão-caupi em LATOSSOLO, com a aplicação de doses de P (0; 45; 90 e 135 kg P₂O₅ ha⁻¹).

A menor lâmina de irrigação aplicada (187 mm) reduziu consideravelmente (43,3%) a produção em comparação com a maior lâmina (273,4 mm), na figura 3.5.5A. Os componentes da produção, sem exceção, foram menores nos tratamentos sob menor lâmina de água sendo que este decréscimo foi mais severo para o tratamento 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅. No geral, o comprimento da vagem, o número de grãos por vagem e a massa de 100 grãos foram menores no tratamento com

aplicação de 187 mm de água. Este caso pode ser devido ao fato de que, em condições de falta de água na planta há o aumento da síntese de ácido abscísico e etileno no pedúnculo da flor, provocando sua queda ao menor movimento e impedindo a formação de vagem e grãos. De acordo com Pimentel; Herbert (1999), em condições de deficiência hídrica, a taxa fotossintética das plantas é amplamente comprometida, o que, geralmente, se reflete em reduções na produtividade.

3.6 CONCLUSÕES

1. As massas secas da parte aérea e de 100 grãos foram influenciadas significativamente pela interação entre lâminas de água e doses de fósforo.
2. O número de grãos por vagem e o comprimento da vagem foram influenciados somente pelas doses de fósforo.
3. A menor lâmina de irrigação promove redução na produtividade do feijão-caupi independente da dose de adubação fosfatada.
4. A dose de máxima eficiência econômica é de 89,45 kg ha⁻¹ de P₂O₅, obtendo uma produtividade de grãos de 1.306 kg ha⁻¹.

4. ARTIGO B – DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI EM RESPOSTA A LÂMINAS DE ÁGUA E DOSES DE FÓSFORO

4.1 RESUMO - O objetivo do trabalho foi estudar o comportamento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Guariba cultivado em ambiente protegido sob diferentes lâminas de água (30%, 60%, 90% e 120% da ECA) e doses de fósforo (0; 70; 140; 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados na forma de fósforo (superfosfato triplo). Como substrato foi utilizado um Latossolo Amarelo acondicionado em vasos de polipropileno com capacidade de 8 dm³. O delineamento experimental adotado foi inteiramente ao acaso no esquema fatorial de 4 x 4, com quatro repetições. As variáveis analisadas foram: massa seca da parte aérea, teor foliar de fósforo, altura de planta, número de folha e área foliar. A massa seca da parte aérea, altura de plantas, número de folhas e teor de P foliar foram influenciadas significativamente pelos tratamentos. A lâmina de água influenciou linearmente a altura de plantas e área foliar, sem apresentar uma interação com as doses de fósforo. O maior acúmulo de massa seca da parte aérea foi obtido com 340 mm, enquanto para fósforo foi de 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Palavras-chave – *Vigna unguiculata*, ambiente protegido, Roraima

ARTICLE B – GROWTH OF COWPEA IN RESPONSE TO LEVELS OF WATER AND DOSES OF PHOSPHORUS

4.2 ABSTRACT - The objective of this paper was to verify the behavior of cowpea cv. Guariba subjected different levels of water (30%, 60%, 90% e 120% da ECA) and phosphorous levels (0, 70, 140, 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅) in greenhouse. The experimental design was in a completely randomized block in a factorial arrangement of 4 X 4, with four replications. The Yellow Latossolo soil was used as a substrate, wrapped in polypropylene containers with 8 dm³. The studied variables were: aerial dry matter production, height of plants, number of leaves, aerial foliar and phosphorous tissue content. There was a marked plant response to phosphorous. The aerial foliar and height of plants were influenced linearly by the water levels without interaction with phosphorous applied. The best results for dry matter were obtained by 340 mm, with 210 kg ha⁻¹ of P₂O₅.

Key words – *Vigna unguiculata*, greenhouse, Roraima

4.3 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é uma das fontes alimentares mais importantes e estratégicas para as regiões tropicais e subtropicais do mundo.

No Brasil, principalmente nas Regiões Norte e Nordeste, o feijão-caupi constitui uma das principais alternativas sociais e econômicas de suprimento alimentar e geração de emprego. Dentre os diferentes produtos agrícolas encontrados nas regiões tropicais, o feijão-caupi se destaca pelo alto valor nutritivo, além do baixo custo de produção. É amplamente cultivado pelos pequenos produtores, constituindo um dos principais componentes da dieta alimentar, especialmente na zona rural (FREIRE FILHO et al., 2005).

O consumo na forma de grãos secos, vagens ou grãos verdes como hortaliça, com 60 a 70% de umidade (OLIVEIRA et al., 2001), tem aumentado nos últimos anos, tornando-se em excelente alternativa de comercialização para os agricultores. É uma leguminosa de alto valor protéico que a cada dia conquista maior valor agroeconômico, graças principalmente, à característica de adaptabilidade a condições adversas. Entretanto, de acordo com Cardoso et al. (1996), as baixas produtividades do feijão-caupi são resultantes do uso de sementes não melhoradas, solos de baixa fertilidade e precipitações pluviométricas irregulares.

A deficiência hídrica no solo ocasiona decréscimo no índice de área foliar, rendimento de matéria seca, número de nós da haste principal e nos ramos secundários sendo que a deficiência hídrica atua na maioria dos processos fisiológicos das plantas. Os danos econômicos resultantes da deficiência hídrica dependem da sua duração, da intensidade, da frequência e das épocas em que ocorrem. A deficiência hídrica na fase vegetativa do feijoeiro comum tem efeito indireto na produtividade, pela redução da área assimilatória durante a fase de enchimento dos grãos (GUIMARÃES; STONE; BRUNINI, 1996).

O crescimento de um vegetal depende da divisão, do desenvolvimento e da expansão celular, processos esses sensíveis ao estresse hídrico, principalmente na fase de alongamento celular. Depois desta fase, a célula se encontra preparada para expandir, bastando que haja pressão hidrostática interna, ou de turgor. (NÓBREGA; RAO; BELTRÃO, 2001)

Sobre o crescimento da planta Kramer (1983) evidencia que o estresse de água, normalmente, tem múltiplos efeitos: reduz a fotossíntese pelo fechamento dos estômatos, o qual acarreta diminuição no suprimento de dióxido de carbono; reduz a translocação de carboidratos e dos reguladores de crescimento, provocando distúrbios no metabolismo do nitrogênio. Estes efeitos, adicionados à redução na turgescência, reduzem o crescimento.

Dentre os elementos químicos mais utilizados pelo feijão-caupi, o fósforo é o macronutriente menos absorvido e o que mais influencia o desenvolvimento da cultura. Entretanto, na literatura poucos foram os trabalhos encontrados envolvendo feijão-caupi e esse elemento (FREIRE; LIMA; RIBEIRO, 2005).

O fósforo é um elemento pouco móvel no solo e seu suprimento para as raízes é efetuado principalmente pelo processo de difusão, o qual depende da umidade do solo e da superfície radicular (GAHOONIA; RAZA; NIELSEN, 1994). Por sua vez, a umidade do solo interfere diretamente no desenvolvimento das raízes (MACKAY; BARBER, 1985) influenciando, então, de forma direta e indireta, no fornecimento de P às plantas.

A pesquisa baseou-se na hipótese de que os diferentes níveis de água disponíveis à cultura têm por consequência alterações na dinâmica de absorção do fósforo aplicado por meio de fertilizante minerais, afetando diretamente o desenvolvimento do feijão-caupi. Neste trabalho, estudaram-se as influências do déficit hídrico e da adubação fosfatada no desenvolvimento para a cultura do feijão-caupi.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos meses de setembro a outubro de 2009, ambiente protegido, pertencente à Universidade Federal de Roraima, no município de Boa Vista-RR, cujas coordenadas geográficas de referência são: 2° 40' 11" N de latitude, 60° 40' 24" W de longitude e 90 m de altitude.

Para as condições internas ao experimento, os dados relativos às condições climáticas foram obtidos com o uso de um tanque classe A e um termohigrômetro para medição da evaporação, temperatura do ar respectivamente.

A influência das condições climáticas sobre o consumo de água pelas plantas evidencia-se durante as fases de desenvolvimento das plantas, que estavam com elevada área foliar e superfície transpiratória máxima. Esse período coincidiu com condições de alta temperatura, média de 38 °C (Figura 4.4.1).

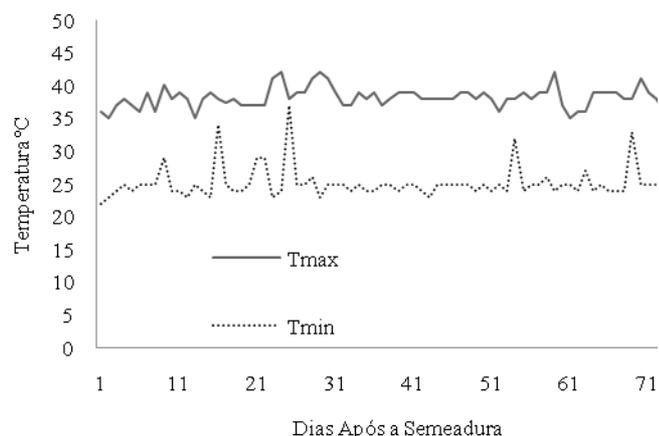


Figura 4.4.1 – Temperatura máxima e mínima do ar dentro do ambiente protegido, durante a condução do experimento.

O solo usado é classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média, cujas características físicas e químicas, após correção com calcário dolomítico, encontram-se na Tabela 4.4.1.

Tabela 4.4.1 – Características físicas e químicas do solo na após correção com calcário dolomítico

Determinações	Valores
pH em H ₂ O (1:2,5)	6,6
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,8
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,6
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,0

Tabela 4.4.1 – Características físicas e químicas do solo na após correção com calcário dolomítico. Continuação.

K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,3
P (mg dm ⁻³)	7,9
Areia grossa (%)	43,6
Areia fina (%)	21,3
Silte (%)	13,1
Argila (%)	22,0

O solo foi coletado, peneirado e depositado na quantidade de 8 dm³ por vaso. A cultivar BRS Guariba de crescimento indeterminado e porte ereto, recomendada para região (VILARINHO et al., 2006) foi inoculada com *Bradyrhizobium elkanii*, na proporção de 100 g de inoculante, misturado com 30 mL de água, para 50 kg de sementes. Em seguida, cinco sementes foram semeadas manualmente, deixando-se, após o desbaste, realizado aos sete dias após o semeio (DAS), duas plântulas por vaso. Os vasos receberam o equivalente a 40 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio, 50 kg ha⁻¹ de FTE BR 12.

O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso no esquema de fatorial 4x4 com quatro repetições. Os tratamentos constaram de quatro lâminas de irrigação diárias com base em percentuais da evaporação do tanque Classe A (ECA) inserido dentro do ambiente protegido, a saber: 30%, 60%, 90% e 120% da ECA. As doses de fósforo foram equivalentes a 0, 70, 140 e 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (na forma de superfosfato triplo), resultando em 16 tratamentos e 64 parcelas (Figura 4.4.2, Figura 4.4.3).



Figura 4.4.2 – Visão geral do experimento realizado

Até o 15^o DAS, todos os vasos receberam o equivalente a 100% da lâmina evaporada, ocorrendo à diferenciação após essa data.

Durante a condução do experimento, os valores das lâminas de irrigação correspondente a 30, 60, 90 e 120 % da ECA somaram 118, 235, 353 e 471 mm,

respectivamente, representando um gradiente crescente. As lâminas totais de irrigação apresentam valores conforme os encontrados por Andrade Júnior et al. (2002).



Figura 4.4.3 – Foto ilustrativa da diferença de altura sob diferentes lâminas.

Foram analisados as seguintes variáveis: massa seca da parte aérea (MSPA), área foliar (AF), altura de planta (ALT), número de folha (NF) e teor foliar de fósforo (P-foliar). Para obtenção da massa seca da parte aérea as plantas foram embaladas em sacos de papel, identificadas e secadas em estufa com circulação de ar forçada, a 45 °C, até atingirem peso constante.

Para obtenção de AF foi utilizada a equação proposta por Lima et al. (2008):

$$AF = \Sigma(0,9915 * (C * L)^{0,9134}) \text{ (cm}^2\text{)}$$

em que: AF – área foliar, em cm²;

C – Comprimento médio do trifólio central em cm;

L – Largura média do trifólio central em cm

A análise de fósforo-foliar foi realizada utilizando-se uma amostra por parcelas de cada tratamento, a qual foi preparada com todas as folhas e os ramos da parte aérea das plantas. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas da UFV (Universidade Federal de Viçosa), Viçosa – MG. A metodologia utilizada foi nitro-perclórica, adaptada pela UFV a partir da metodologia da EMBRAPA (1999). Fez-se a pesagem de 0,5 g de tecido vegetal e despejado em tubo de digestão. Em seguida, adicionaram-se 2 gotas de querosene e 4 mL de Ácido Nítrico p.a. 65%. Fez-se uma pré-digestão (±12 horas). Após esse processo de pré-digestão, levou-se os tubos de digestão ao bloco digestor a uma temperatura de ± 95 °C. Quando o material vegetal estava parcialmente digerido e o volume do

ácido reduzido à metade em relação ao volume inicial, adicionou-se 2 mL de ácido perclórico p.a. 70%, aumentando a temperatura do bloco digestor gradativamente até ± 150 °C. Quando o extrato alcançou cor clara, abaixou-se a temperatura para 120 °C e adicionou-se 23 mL de água destilada e em seguida agitou-se o tubo.

Para a análise de fósforo adicionou-se em tubo de ensaio 0,5 mL de extrato 2 (5 mL da digestão nítrico-perclórica e 20 mL de água destilada) mais 21 mL de água destilada mais 2,5 mL de solução 725, mais 1 mL de vitamina C 2% e agitou-se. Deixou-se em repouso durante 20 minutos e a leitura foi realizada em espectrofotômetro a 725 nm.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade. Realizou-se a análise de regressão para avaliar o efeito das lâminas de água e das doses de fósforo.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente estudo a reposição de água foi feita com base em um percentual da quantidade consumida diariamente e, com isso, o teor de umidade ficava sempre abaixo da capacidade de campo na reposição de água equivalente a 30%, 60% e 90% da ECA ou acima na reposição de água equivalente a 120% da ECA; conseqüentemente, o déficit hídrico acumulado gerava um “estresse” hídrico do mesmo modo estudado por Carvalho et al. (2000).

Não houve interação entre os fatores lâminas de irrigação (L) e doses de fósforo (P) para nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 4.5.1, tabela 4.5.2 e tabela 4.5.3). Estudou-se o efeito isolado de cada fator de acordo com F da análise de variância da regressão. Todas variáveis apresentaram efeito significativo para os fatores dose de P e L.

Tabela 4.5.1 - Resumo da análise de variância da massa seca da parte aérea (MSPA), altura de 30 a 65 DAS (30ALT, 37ALT, 44ALT, 51ALT, 58ALT e 65ALT) de feijão-caupi cv. Guariba submetidas a quatro lâminas de irrigação e quatro doses de adubação fosfatada

FV	GL	QUADRADO MÉDIO						
		MSPA	30ALT	37ALT	44ALT	51ALT	58ALT	65ALT
Lâmina (L)	3	4.77**	5.78*	4.74*	25.51**	44.49**	48.26**	63.54**
Fósforo (P)	3	3.10**	25.93**	32.94**	44.13**	62.53**	61.69**	59.51**
L*P	9	0.93 ^{ns}	0.70 ^{ns}	2.15 ^{ns}	3.28 ^{ns}	3.60 ^{ns}	4.51 ^{ns}	5.84 ^{ns}
Erro	48	0.59	1.52	1.53	2.24	1.75	3.36	3.43
CV (%)		32.14	10.16	8.66	10.09	8.50	11.15	10.63

Obs.: ns, *, ** - Não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4.5.2 - Resumo da análise de variância do teor de fósforo foliar (P-foliar) e área foliar de 30 a 58 DAS (30AF, 37AF, 44AF, 51AF e 58AF) de feijão-caupi cv. Guariba submetidas a quatro lâminas de irrigação e quatro doses de adubação fosfatada.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO					
		P-foliar	30AF	37AF	44AF	51AF	58AF
Lâmina (L)	3	1.19*	154.43**	338.83**	711.20**	464.26**	566.01**
Fósforo (P)	3	8.96**	276.80**	238.62**	636.86**	356.07**	394.79**
L*P	9	0.34 ^{ns}	13.26 ^{ns}	46.19*	121.40 ^{ns}	30.26 ^{ns}	27.60 ^{ns}
Erro	48	0.35	10.75	18.38	112.03	14.99	15.18
CV (%)		27.26	18.58	20.76	43.91	16.56	16.46

Obs.: ns, *, ** - Não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4.5.3 - Resumo da análise de variância do número de folhas de 30 a 65 DAS (30NF, 37NF, 44NF, 51NF, 58NF e 65NF) de feijão-caupi cv. Guariba submetidas a quatro lâminas de irrigação e quatro doses de adubação fosfatada.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO					
		30NF	37NF	44NF	51NF	58NF	65NF
Lâmina (L)	3	3.80**	13.32**	14.99**	16.64**	11.43**	34.49**
Fósforo (P)	3	2.39**	2.05**	3.11**	3.02**	2.65**	1.85 ^{ns}
L*P	9	0.12 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.19 ^{ns}	1.45 ^{ns}
Erro	48	0.15	0.25	0.26	0.23	0.36	0.72
CV (%)		18.00	14.88	13.13	12.42	13.49	18.41

Obs.: ns, *, ** - Não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F.

A variável massa seca da parte aérea (MSPA) apresentou os maiores coeficientes de variação em relação aos demais (tabela 4.5.1). As plantas apresentaram MSPA que variaram de 1,57 (30% ECA) a 2,73 g (210 kg ha⁻¹ de P₂O₅), estando bem abaixo dos valores encontrados na literatura (LEITE; VIRGENS FILHO, 2004; MENDES et al., 2007; MATTEUCCI; CARVALHO, 1988; LACERDA et al., 2009). No entanto, valores menores foram encontrados por Fonseca (2008) e Linhares (2007). As variações encontradas podem ser atribuídas às condições de maior temperatura do ar encontrada dentro do ambiente protegido, possivelmente por promover uma maior evapotranspiração, resultando no fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, menor MSPA.

Para MSPA do feijão-caupi a maior dose, de P₂O₅ (210 kg ha⁻¹) apresentou os melhores efeitos, resultando no modelo linear (Figura 4.5.1). A resposta acentuada da cultura ao fósforo é justificada pelo baixo teor do elemento no solo (Tabela 4.4.1). É conhecido que os solos tropicais respondem a elevadas doses de fertilizantes fosfatados, com respectivo aumento da produção vegetal (NOVAIS; SMYTH, 1999). Conforme Fageria et al. (2003), a disponibilidade de P interfere diretamente na produção de massa seca.

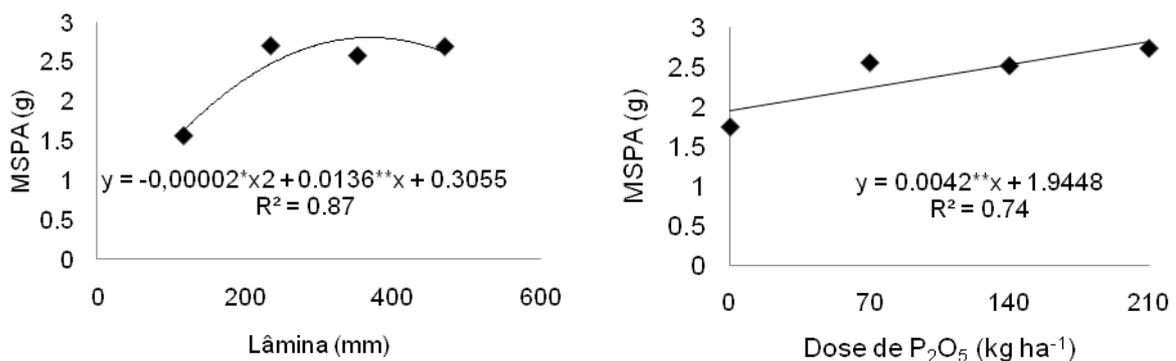


Figura 4.5.1 – Massa seca da parte aérea (MSPA) de feijão-caupi cv. BRS Guariba em função das lâminas de água (A) e doses de fósforo (B), na cultura em ambiente protegido.

Obs.: *, ** - Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de regressão.

A equação quadrática apresentou o melhor ajuste para MSPA referente à lâmina com a máxima eficiência de 340 mm de água (Figura 4.5.1). Os menores valores observados para esta variável ocorreram com a menor aplicação de lâmina e com a menor dose de P_2O_5 aplicada. Costa et al. (1997) também comprovaram o efeito depressivo do estresse hídrico na produção de matéria seca do feijão-caupi.

O feijão-caupi, apesar de ser tolerante a estiagens prolongadas, é considerado bastante suscetível à falta de umidade durante a fase próxima à floração (MENDES et al. 2007). Em relação ao controle, o valor médio da transpiração foliar é reduzido, pois a planta aciona mecanismos de defesa contra a perda de água quando a umidade é deficiente no solo, mesmo que a radiação seja elevada. Tal procedimento pode ser prejudicial ao pleno crescimento e desenvolvimento da planta, mas permite garantir a sobrevivência, desde que o déficit hídrico não seja altamente severo e prolongado (MENDES et al., 2007).

O teor de P-foliar foi afetado significativamente pelos componentes quadráticos de lâmina e linear de fósforo, atingindo valor mínimo na menor dose de P com teor de P-foliar de $1,33 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 4.5.2).

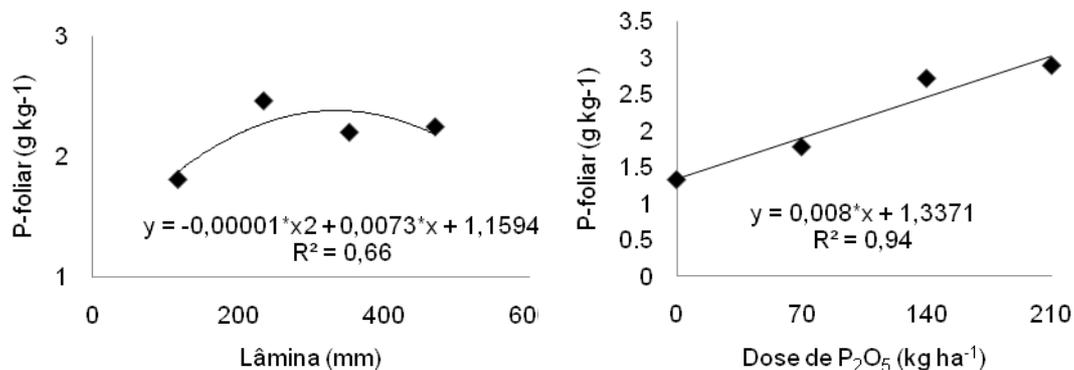


Figura 4.5.2 – Teor de fósforo foliar de feijão-caupi cultivado em ambiente protegido em função das lâminas de água (A) e doses de fósforo (B).

Obs.: *, ** - Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de regressão.

Os valores encontrados estão ligeiramente acima do descrito por Veloso et al. (2007), como adequado para a cultura que é de $1,2$ a $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ de N. Os teores

encontrados no presente trabalho corroboram com Fonseca (2008) em trabalho usando doses crescente de P_2O_5 até 100 kg ha^{-1} onde encontrou teores de 2,4 a 3 g kg^{-1} de P foliar.

O efeito crescente de P-foliar ocorreu com o aumento das doses e sugere que a disponibilidade de P no solo aumentou em resposta à adição de fertilizante fosfatado. Comportamento semelhante de P-foliar foi encontrado no feijoeiro comum por Valderrama et al. (2009) e Silva e Vahl (2002) onde verificaram aumento linear, de acordo com as adubações fosfatadas que foram de 150 e $292,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 , respectivamente), mostrando a capacidade da cultura em absorver o elemento, em condições de bom suprimento. Tal resultado pode ser justificado pelo baixo conteúdo de argila contido no solo, o que leva a uma maior disponibilidade do nutriente, favorecendo uma maior absorção pela planta. De acordo com Fernandes et al. (1998), a concentração de P na solução do solo próxima às raízes, é capaz de influenciar diretamente a absorção de P no solo e seu acúmulo na parte aérea. Assim como a adubação aumenta o teor de P na solução do solo, ocorre aumento na absorção de P pelas raízes das plantas.

Para as variáveis, altura (ALT) e número de folhas (NF), observaram-se comportamento semelhante entre tratamentos até aos 30 DAS; a partir deste período iniciou-se a diferenciação entre eles, acentuando-se com a aproximação da fase reprodutiva aos 44 DAS nos tratamentos com 90 e 120% da ECA. Analisando os comportamentos através dos dados, verificaram-se efeitos extremamente negativos, sendo crítico para os níveis de 30 e 60% ECA, ocorrido em todo ciclo da cultura. Nos tratamentos com 30 e 60% da ECA não completaram a fase reprodutiva. Com isto, evidencia-se claramente que a exigência desta cultura por água principalmente na proximidade da fase reprodutiva. Estes resultados são concordantes com a literatura (NASCIMENTO; PEDROSA; TAVARES SOBRINHO, 2004), que relata os efeitos de déficits hídricos ocorridos na fase vegetativa do feijão-caupi provocaram reduções nos componentes de crescimento.

Os dados dessas variáveis (ALT e NF), obtidos dos 30 DAS aos 65 DAS, foram submetidos à análise de regressão, a qual constatou efeito linear para ambas variáveis (figura 4.5.3, tabela 4.5.4).

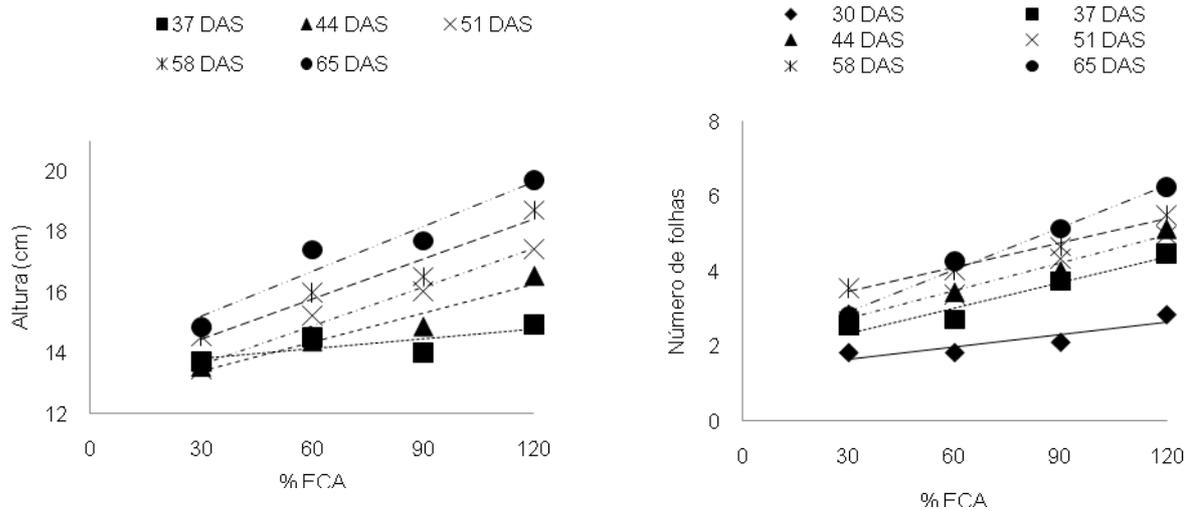


Figura 4.5.3 – Altura (A) e número de folhas (B) de 30 DAS ao 65 DAS em função das lâminas de água na cultura de feijão-caupi em ambiente protegido.

Tabela 4.5.4 – Equações de altura e número de folhas sob influência de % da ECA.

	Equação	R ²	Estilo da linha
37 DAS	Alt = 1.0481ECA* + 13,519	0,556
44 DAS	Alt = 3.1604ECA** + 12,471	0,939	-----
51 DAS	Alt = 4.2648ECA** + 12,349	0,981	- - - - -
58 DAS	Alt = 4.3665ECA** + 13,165	0,948	— — — — —
65 DAS	Alt = 4.9563ECA*** + 13,714	0,928	- . - . - .
30 DAS	NF = 1.1250ECA** + 1,297	0,800	—————
37 DAS	NF = 2.2813ECA** + 1,641	0,938
44 DAS	NF = 2.4583ECA** + 2,011	0,968	-----
51 DAS	NF = 2.6250ECA*** + 1,871	0,994	- - - - -
58 DAS	NF = 2.1667ECA** + 2,808	0,985	— — — — —
65 DAS	NF = 3.7708ECA** + 1,772	0,989	- . - . - .

Obs.: *, ** - Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de regressão.

Resende, Henderson, Fereres (1981) relataram que plantas submetidas a tensões hídricas reduzem a turgescência e, conseqüentemente, a expansão celular, o que promove redução no alongamento do caule e da folha. Já, para Leite et al. (1999), considerando que as folhas são os centros de produção da fotossíntese e que o resto da planta depende da exportação de material assimilado da folha para outros órgãos da planta de feijão caupi, sugerem que o estresse hídrico nesta cultura compromete tal exportação, contribuindo para os decréscimos de seu crescimento. Correia e Nogueira (2004); Távora e Melo (1991), estudando o amendoim submetido à deficiência hídrica, constataram também reduções significativas do número de folhas por planta. Já Mendes et al. (2007) não verificaram influência do estresse hídrico, independente da época de restrição, na variável número de folhas.

Com base nos resultados estimados pelas equações observaram-se reduções aos 30, 37, 44, 51, 58 e aos 65 DAS para o NF, para os níveis de 30; 60 e 90% ECA, quando comparados a 120% ECA (Tabela 4.5.5).

Tabela 4.5.5 - Reduções de número de folha em 6 épocas de Dias Após o Semeio (DAS) para os níveis 30; 60 e 90% ECA, quando comparados a 120% ECA.

NF	30% ECA	60% ECA	90% ECA
30 DAS	38,44%	25,63%	12,81%
37 DAS	46,83%	31,22%	15,61%
44 DAS	44,68%	29,79%	14,89%
51 DAS	47,06%	31,37%	15,69%
58 DAS	35,96%	23,98%	11,99%
65 DAS	53,86%	35,91%	17,95%

Portanto, dos resultados entre variáveis, verificou-se valores aproximados e crescentes com os níveis de déficit hídrico nas faixas de 90 e 60% da ECA, sendo que no nível de 30%, o efeito redutivo foi em maior magnitude e mais acentuado para o NF.

Na Figura 4.5.4 está representada a variação da evolução da Altura e do número de folhas, respectivamente, sob as doses de 0, 70, 140 e 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅, mensurado no período do 30º ao 65º DAS. Para estas variáveis (ALT e NF) foram observadas diferenças desde 30 DAS, salientando que a as doses de P₂O₅ foram aplicadas antes da semeadura. Nota-se que os tratamentos 140 e 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentam valores aproximados e, por vezes, os valores na dose 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅ são menores do que na dose de 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Analisando o comportamento, verificaram-se efeitos extremamente negativos, sendo crítico para os níveis de 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅, ocorrido em todo ciclo da cultura. Com isto, evidencia-se claramente que a exigência de fósforo pela cultura é requerida desde os primeiros dias de germinação. Estes resultados são concordantes com a literatura (GRANT et al., 2001), onde relatam que o suprimento de P é essencial desde os estádios iniciais de crescimento da planta.

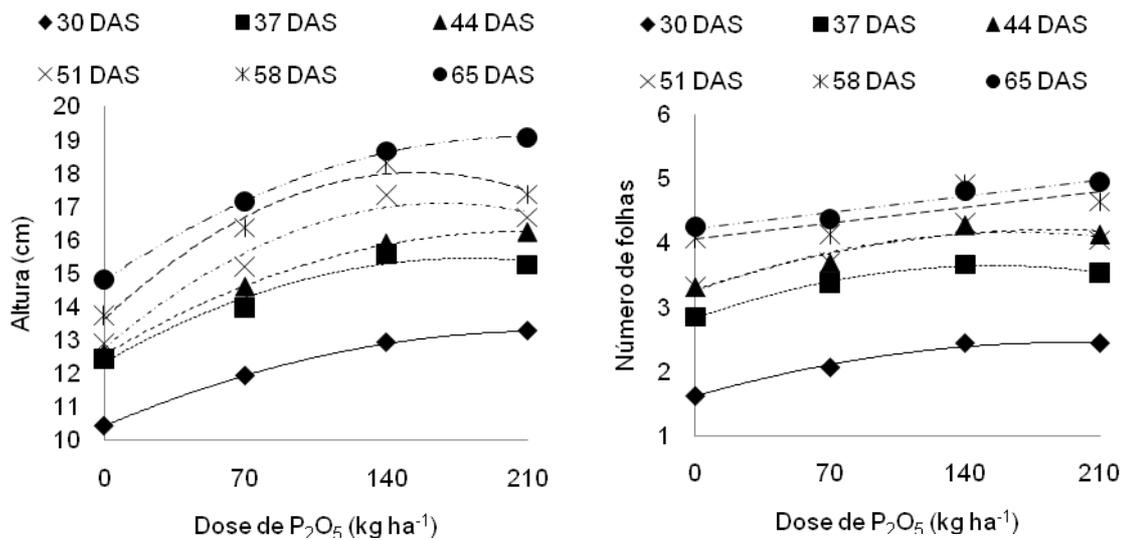


Figura 4.5.4 – Altura de plantas (A) e número de folhas (B) de 30 DAS aos 65 DAS em função das doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹) na cultura de feijão-caupi em ambiente protegido.

Os dados dessas variáveis (ALT e NF), obtidos dos 30 DAS aos 65 DAS, foram submetidos à análise de regressão, a qual constatou efeito quadrático para ambas variáveis, exceto aos 58 e 65 DAS no NF (tabela 4.5.6), concordando com a literatura (OLIVEIRA et al., 2001; ARAÚJO et al., 2005; VALADÃO et al., 2008).

Pelos resultados estimados, observa-se que a dose de máxima eficiência física varia de 128,75 a 215,83 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a ALT, e 166,67 a 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para NF.

Tabela 4.5.6 – Equações de altura e número de folhas sob influência de doses de P₂O₅.

	Equação	R ²	Estilo da linha
30 DAS	Alt = -0,00006*P ² + 0,0259**P + 10,424	0,9998	—————
37 DAS	Alt = -0,00009*P ² + 0,0343**P + 12,326	0,966
44 DAS	Alt = -0,00009*P ² + 0,0356**P + 12,575	0,9996	-----
51 DAS	Alt = -0,0002**P ² + 0,0515**P + 12,77	0,9697	.-.-.-.-.-
58 DAS	Alt = -0,0002**P ² + 0,0564**P + 13,633	0,9788	-----
65 DAS	Alt = -0,0001*P ² + 0,041**P + 14,804	0,9996	.-.-.-.-.-
30 DAS	NF = -0,00002*P ² + 0,0087**P + 1,6094	0,9891	—————
37 DAS	NF = -0,00003*P ² + 0,0104**P + 2,8359	0,9968
44 DAS	NF = -0,00003*P ² + 0,01*P + 3,2646	0,9212	-----
51 DAS	NF = -0,00003*P ² + 0,0109**P + 3,2552	0,8839	.-.-.-.-.-
58 DAS	NF = 0,0036**P + 4,0573	0,6287	-----
65 DAS	NF = 0,0037**P + 4,2146	0,947	.-.-.-.-.-

Obs.: *, ** - Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de regressão.

Segundo Oliveira et al.(2003), a altura e o número médio de folhas por planta têm pouca importância direta na seleção da planta quando se deseja obter o aumento da produtividade.

Tanto na variável altura, como número de folhas por planta, já era esperado os maiores valores nas últimas datas de coleta. Por meio do estudo da regressão verificaram-se para ambas as variáveis, comportamentos semelhantes para lâminas d'água e doses de P, seguindo efeito linear e quadrático respectivamente.

Na variável área foliar foi observado que as menores lâminas de irrigação assim como a menor dose de P prejudicaram o desenvolvimento da expansão foliar. Por meio do estudo da regressão, verificaram-se comportamentos semelhantes para lâmina e doses de P, nas cinco coletas realizadas, seguindo efeito linear e quadrático respectivamente (Figura 4.5.5, tabela 4.5.7)

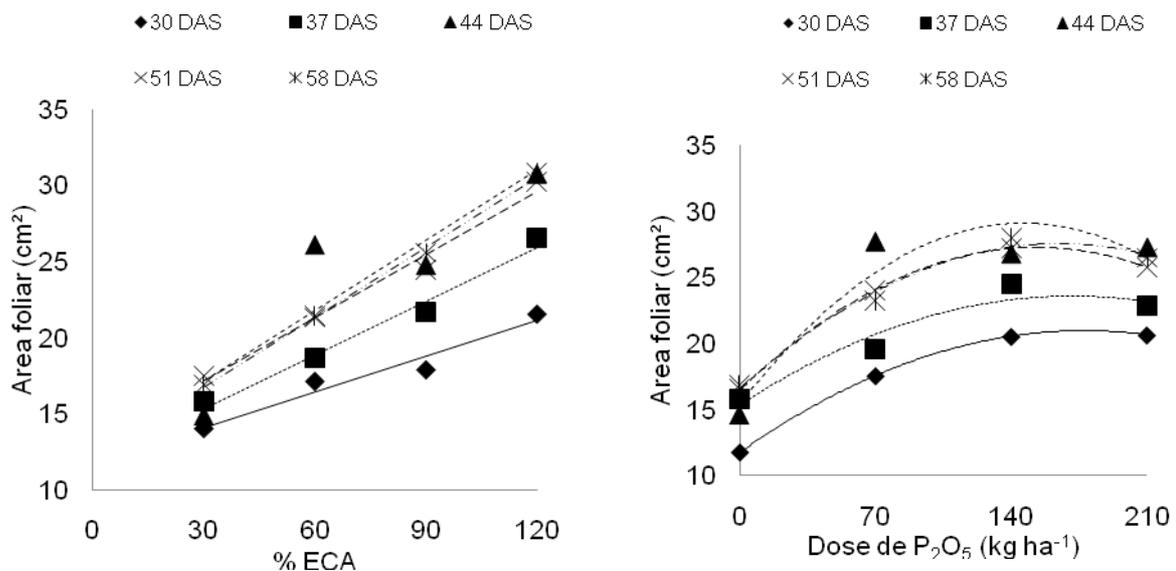


Figura 4.5.5 – Área foliar de 30 DAS aos 65 DAS em função das % da ECA (A) e de doses de P_2O_5 (B) na cultura de feijão-caupi em ambiente protegido.

Tabela 4.5.7 – Equações de área foliar (AF) sob influência de % ECA e doses de P_2O_5 .

	Equação	R ²	Estilo da linha
30 DAS	AF = 0,0782**ECA + 11,783	0,949	—————
37 DAS	AF = 0,1177**ECA + 11,825	0,982
44 DAS	AF = 0,1541**ECA + 12,548	0,801	-----
51 DAS	AF = 0,1378**ECA + 13,052	0,982	—————
58 DAS	AF = 0,1534**ECA + 12,166	0,998
30 DAS	AF = -0,0003**P ² + 0,1032**P + 11,784	1	—————
37 DAS	AF = -0,0003**P ² + 0,0962**P + 15,358	0,933
44 DAS	AF = -0,0006**P ² + 0,1874**P + 15,426	0,902	-----

Tabela 4.5.7 – Equações de área foliar (AF) sob influência de % ECA e doses de P₂O₅. Continuação.

51 DAS	$AF = -0,0005^{**}P^2 + 0,1391^{**}P + 16,568$	0,999	— — — —
58 DAS	$AF = -0,0004^{**}P^2 + 0,1333^{**}P + 16,614$	0,985	· · — · · · · ·

Obs.: *, ** - Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de regressão.

Houve efeito significativo ($p < 0,01$) de lâmina de água em todas as fases avaliadas, indicando que os níveis de deficiência hídrica aplicados no solo, influenciaram significativamente o aumento da área foliar de plantas de feijão-caupi. Esses dados concordam com Costa et al. (1997) onde observaram que o estresse hídrico reduziu a área foliar de cultivares de feijão-caupi. Já Mendes et al. (2007) não verificaram influência do estresse hídrico, independente da época de restrição, na variável área foliar.

Távora e Melo (1991) constataram reduções na área foliar total, em amendoim submetido a ciclos de deficiência hídrica. Quando as plantas são submetidas a tensões hídricas, reduzem a turgescência e, conseqüentemente, a expansão celular, o que promove uma redução do caule e da folha (RESENDE et al., 1981).

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) de doses de fósforo em todas as fases avaliadas, indicando que as doses de P aplicados no solo, influenciaram significativamente o aumento da área foliar de plantas de feijão-caupi. O crescimento da área foliar foi menor na concentração mais baixa de fósforo, indicando que o incremento na concentração de fósforo aumentou a área foliar, corroborando com os dados obtidos por Pastorini et al. (2000).

4.6. CONCLUSÃO

1. Há influência das diferentes lâminas de água e doses de P sobre os processos fisiológicos, com efeito no crescimento do feijão-caupi
2. A competição por água e fósforo, independentemente, imposta pelos diferentes tratamentos, condicionou às plantas a variações na produção de massa seca da parte aérea, área foliar, teor de P foliar, altura e número de folhas.
3. Ocorre comportamento diferenciado nas variáveis de crescimento do feijoeiro, sob diferentes lâminas de irrigação. A redução da água repostada no solo influenciou os processos fisiológicos, resultando na diminuição do crescimento.
4. Ocorre comportamento diferenciado nas variáveis de crescimento do feijoeiro, sob diferentes doses de P, sendo que a dose de 210 kg ha⁻¹ apresentou efeito de redução na altura, área foliar e no número de folhas por planta.

REFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RODRIGUES, B. H. N.; FRIZZONE, J. A.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.17-20, 2002

ANDRADE, M. J. B. ; DINIZ, A. R. ; CARVALHO, J. G. de; LIMA, S. F.. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 22, n. 4, p. 499-508, 1998.

ARAÚJO, W. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; MEDEIROS, R. D. de; SAMPAIO, R. A. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, p.563-567, 2001.

ARAÚJO, W. F.; SAMPAIO, R.A.; MEDEIROS, R. D. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.2, p.129-134, 2005.

BARBER, S.A. Influence of the plant root on ion movement in sol. In CARSON, E. W. (ED.). The plant roots and its environment. Charlottesville: University Press of Virginia, p.525-564, 1974.

BARRIOS, A.; RODRIGUEZ, A.B.; ORTEGA, S. Resultados de ensayos de fertilización em carota (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agronomia Tropical**, v.20, n.5, p.355-369, 1970.

BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. dos Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 01, p. 13-18, 2003.

CARDOSO, M. J. et al. Adubação fosfatada e densidades de planta em feijão-caupi em solo de tabuleiro costeiro. IN: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2006, Teresina. **Anais eletrônicos...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. Disponível em: <<http://www.cpamn.embrapa.br/anaisconac2006/>> Acessado em 13 nov. 2009.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; ATHAYDE SOBRINHO, C. Rendimento de grãos de feijão-caupi (cv. brs Guariba) relacionado a doses de fósforo. IN: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2006. **Anais eletrônicos...** Teresina: Embrapa

Meio-Norte, 2006. Disponível em: <<http://www.cpamn.embrapa.br/anaisconac2006/>>
Acessado em: 25 jan. 2010.

CARDOSO, M.J.; MELO, F.B.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. Influência da densidade de plantas de caupi (*Vigna Ungüiculata* (L.) Walp.) sobre a produtividade de grãos e seus componentes em regime irrigado. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4, 1996, Teresina. Resumos, Teresina: EMBRAPA/CPMM, 123 p. 1996

CARVALHO, J. DE A.; PEREIRA, G. M.; ANDRADE, M. J. B. DE; ROQUE, M. W. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) walp). **Ciência. Agrotecnológica.**, v.24, n.3, p.710-717, 2000.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University California, 1942. 124p. (California Agricultural Experimental Station Bulletin, 670).

CORREIA, K. G; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.4, n.2, 2004.

COSTA, A.S.V. da. **O fósforo no sistema solo-planta**. Ed. Univale, 2007. 63 p.:il

COSTA, M. M. M. N.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N. de; MELO, F. I. O. Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição das raízes de caupi submetido à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.2, n.1, p.43-50, 1997.

COUTO, W. S.; CORDEIRO, A. C. C.; ALVES, A. A. C. **Adubação mineral do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) em latossolo de campo cerrado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 1982. 03p (Embrapa Roraima. Pesquisa em Andamento, 62).

DUTRA, L. F.; TAVARES, S. W.; SARTORETTO, L. M.; VAHL, L. C.; Resposta do feijoeiro ao fósforo em dois níveis de umidade no solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.1, nº 2, 91-96, 1995.

EMBRAPA. **Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes**. – Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p. 171-222, 1999.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; STONE, L.F. Resposta do feijoeiro a adubação fosfatada. In: POTAFÓS. Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, n.102, p.1-9, 2003.

FERNANDES, L.A.; et al. Fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.769-778, 1998.

FERREIRA, L. G. R., COSTA, J. O., ALBUQUERQUE, I. M. Estresse hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva de duas cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.26, n.7, p.2049-1055, 1991.

FILGUEIRAS, G.C.; SANTOS, M.A.S dos; HOMMA, A.K.O.; REBELLO, F.K.; CRAVO, M. da S. **Aspectos socioeconômicos**. In: ZILLI, J.E.; VILARINHO, A.A.; ALVES, J.M.A. A Cultura Do Feijão-Caupi Na Amazonia Brasileira Brasileira. Boa Vista, RR: EMBRAPA RORAIMA, 356 p. 2009.

FONSECA, M. R.; Nutrição mineral e produção do feijão caupi em função do fósforo e da saturação por base, em latossolo amarelo. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Rural da Amazônia. Belém-Pará. 70p. 2008.

FREIRE, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. --- Distrito Federal: Embrapa Informações Tecnológicas. 2005. 519p.

GAHOONIA, T.S.; RAZA, S.; NIELSEN, N.E. Phosphorus depletion in the rhizosphere as influenced by soil moisture. **Plant and Soil**. v.159, n.2, p.213-218, 1994.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPARD, S. C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. POTAFOS, 2001.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. II Produtividade e componentes agronômicos. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v 31, n.7, p.481-488, 1996.

HANKS, R.J.; SISSON, D.V.; HURST, R.L.; HUBBARD, K.G. et al. Line source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, v. 40, p. 426-429, 1976.

KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489p.

LACERDA, C. F. DE; NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, F. L. B. DA; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**. v.29, n.2, p.221-230, 2009

LEITE, M. de L.; RODRIGUES, J. D.; MISCHAN, M. M.; VIRGENS FILHO, J. S. das. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), cv. EMAPA- 821. II – Análise de crescimento. **Revista de Agricultura**, v.74, n.3, p.351-370, 1999.

LEITE, M. de L.; VIRGENS FILHO, J. S. das; Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a déficits hídricos. **Publicatio UEPG Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**. v. 10, n. 1, p. 43-51, 2004.

LEITE, M.de L.; RODRIGUES, J. D.; VIRGENS FILHO, J. S. das. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA- 821. III. Produção. **Revista de Agricultura**, v.75, n.1, p.9-20, 2000.

LIMA, C. J. G. de S.; OLIVEIRA, F. de A. de; MEDEIROS, J. F. de; OLIVEIRA, M. K. T. de; OLIVEIRA FILHO, A. F. de. Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de feijão caupi. **Revista Caatinga**, v.21, n.1, p.120-127, 2008

LINHARES, L. C. F. **Comportamento de três cultivares de caupi, submetidos à omissão de nutrientes, cultivados em amostras de gleissolo de várzea do rio Pará**. 2007 Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Rural da Amazônia, Pará.

MACKAY, A.D.; BARBER, S. Soil moisture effect on root growth an phosphorus uptake by corn. **Agronomt Journal**, v.77, n.4, p.519-523, 1985

MATTEUCCI, M. B. de A.; CARVALHO, B. C. L de. Efeito do fósforo e da densidade de população sobre os componentes do rendimento do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. Walp). I. Características morfológicas. **Anais Escola de Agronomia e Veterinária**, v.18, n.1, p. 73-87, 1988.

MEDEIROS, R. D. de; ARAÚJO, W. F.; COSTA, M. C. Efeito de sistemas de preparo do solo e métodos de irrigação sobre a cultura do caupi em várzeas em Roraima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9. n. 2. p. 205-209, 2005.

MELO, V.F.; GIANLUPPI, D.; UCHÔA, **S.C.P. Características edafológicas dos solos do estado de Roraima. Boa Vista: DSI/UFRR, Boa Vista. 46p. 2004.**

MENDES, R. M. de S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007

MENEZES, A. C. S. G.; ZILLI, J. E.; VILARINHO, A. A; GALVÃO, A.; MESSIAS, O. I.; MELO, V. F. Importância sócio-econômica e condições de cultivo do feijão-caupi em Roraima. In: WORKSHOP SOBRE A CULTURA DO FEIJÃO CAUPI EM RORAIMA, 2007, Boa Vista. **Anais...** Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007. p. 22-30. (Embrapa Roraima. Documentos, 4).

MERRIAN, J.L.; KELLER, J. Farm irrigation systems evaluation: A guide for management. Logan: **Agricultural and Irrigation Engineering Department**, Utah State University, 271p. 1978.

MEURER, E.J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1017p. 2007.

MIRANDA, L. N.; AZEVEDO, J. A de; MIRANDA, J. C. C. de; GOMES, A. C. Produtividade do feijoeiro em resposta a adubação fosfatada e a regime de irrigação em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n. 4, p. 703-710, 2000.

NASCIMENTO, J.T.; PEDROSA, M.B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, p.174-177, 2004.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de M. Análise de crescimento de feijoeiro submetido a níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, p.437-443, 2001.

NOVAIS, F. R.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa; UFV, 399p. 1999.

OLIVEIRA, A.P.; ARAÚJO, J.S.; ALVES, E.U.; NORONHA, M.A.S.; CASSIMIRO, C.M.; MENDONÇA, F.G. Rendimento de feijão caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Horticultura Brasileira**. v.19, n.1, p.81-84, 2001.

OLIVEIRA, F. J. de; ANUNCIÇÃO FILHO, C. J. da; BASTOS, G. Q.; REIS, O. V. dos; TEÓFILO, E. M. Caracteres agronômicos aplicados na seleção de cultivares de caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v.34, n.1, p.5–11. 2003.

OLIVEIRA, I. P. de; MOREIRA, F. P.; SOUSA, L. de; PELOSO, M. J. Del. Resposta de cultivares de feijão à aplicação de fósforo. In: ANAIS VIII CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO. 2005. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/conafe/indices/trabalhos.htm>> Acesso em: 8 mar. 2009.

OLIVEIRA, I. P.; EDWARDS, D. G.; ASHER, C. J.; GRUNDON, N. J.; SANTOS, R. S. M. dos; FARIA, C. D. de; Modos de aplicação e doses de fósforo no crescimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.31, n.1, p.1-5. 2001.

PASTORINI, L.H.; BACARIN, M.A.; LOPES, N.F.; LIMA, M.G.S. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v.47, n.270, p.219-228, 2000.

PIMENTEL, C.; HERBERT, G. Potencial fotossintético e condutância estomática em espécies de feijão caupi sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v.11, n.1, p.7-11, 1999.

PINHO, J.L.N.; TÁVORA, F.J.A.F.; GONÇALVES, J. Aspectos fisiológicos. In: FREIRE, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Meio-Norte, 2005. p.191-210.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 83-90, 2001.

QUEIROZ FILHO, F.; FERREIRA, L. G. R.; PAIVA, F. L. de; SAUNDERS, L. C. U. Alterações fisiológicas e de produção do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) cultivado em solo sódico e irrigado com diferentes lâminas. **Ciência Agronômica**. v.17, n.2, p 57-64, 1986.

REICHARDT, KLAUS, Luís Carlos Timm. **Solo-planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri. SP: Manole, 2004.

RESENDE, M.; HENDERSON, D.W. FERERES, E. Frequência de irrigação e produção de feijão Kidney. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.16, n.3, p.363-370, 1981.

RODRIGUES, J. E. L. F. ; ALVES, R. N. B; TEIXEIRA, R. N. G; ROSA, E. S. Adubação NPK, na cultura de feijão-caupi em agricultura familiar, no Município de Pontas de Pedras-PA. **Comunicado Técnico, 95**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 3 p. 2004.

SILVA, J.A. da. **Aplicação inicial de P_2O_5 no solo, avaliação em três cultivos sucessivos no feijão-caupi**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 53p. 2007.

SILVA, E. de B.; RESENDE, J. C. F. de; CINTRA, W. B. R. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo em solo arenoso. **Ciência Rural**, v.31, n.6, p.973-977, 2001

SILVA, R. J. S.; VAHL, L. C. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada num NEOSSOLO LITÓLICO distrófico da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 8, n. 2, p. 129-132, 2002.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo - essencial para a vida. In: YAMADA, T., ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004.p.435-455.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p. TÁVORA, F.J.A.F.; MELO, F.I.O. Respostas de cultivares de amendoim a ciclos de deficiência hídrica: crescimento vegetativo, reprodutivo e relações hídricas. **Ciência Agrônômica**, v.22, n.1/2, p.47-60, 1991.

VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSOS, L. dos R.; SCHLINDWEIN, J. A.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. **Scientia Agraria**, v.9, n.3, p.369-375, 2008.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. de. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 3, p. 191-196, 2009.

VELOSO, C.A.C.; BOTELHO, S.M.; VIÉGAS, I. de J.M.; RODRIGUES, J.E.L.F. **Amostragem e diagnose foliar**. IN: CRAVO, M. da S.; VIÉGAS, I. de J.M.; BRASIL, E. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará. Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 262p.

VILARINHO, A. A.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.;
Recomendação do Cultivar de Feijão-Caupi BRS Novaera para Cultivo em Roraima.
Comunicado Técnico, 15. 1ª edição. 5p Boa Vista, RR Setembro, 2006.

ZUCARELLI, C.; RAMOS JUNIOR, E.U., BARREIRO, A.P. Adubação fosfatada,
componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de
feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.1, p.9-15, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Médias estimadas das variáveis agronômicas de feijão-caupi cv. Novaera submetidas a quatro lâminas de irrigação e quatro doses de adubação fosfatada

Lâmina (mm)	Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				Média
	0	70	140	210	
Massa seca da parte aérea por planta (g)					
187	2,56	2,39	7,32	4,63	4,22
241	2,70	3,37	10,81	9,55	6,61
257	3,17	13,59	17,56	15,03	12,34
273	8,09	17,15	12,48	24,44	15,54
Média	4,13	9,12	12,04	13,41	
Massa seca das vagens (g)					
187	6,98	6,91	15,33	10,64	9,96
241	7,41	11,46	22,04	18,42	14,83
257	6,26	26,72	38,07	30,52	25,39
273	13,52	30,79	28,00	47,06	29,84
Média	8,54	18,97	25,86	26,66	
Massa de 100 grãos (g)					
187	17,46	22,59	22,75	21,04	20,96
241	23,00	23,34	22,70	22,98	23,01
257	22,86	23,23	22,92	22,49	22,87
273	23,87	23,10	22,07	22,72	22,94
Média	21,80	23,07	22,61	22,31	
Comprimento de vagem (cm)					
187	12,58	13,82	13,90	14,01	13,58
241	14,26	14,23	14,12	14,48	14,27
257	13,02	13,67	14,34	14,69	13,93
273	13,52	14,23	14,03	14,99	14,19
Média	13,35	13,99	14,10	14,54	
Número de grãos					
187	5,73	7,00	6,87	7,53	6,78
241	7,20	7,53	7,70	8,10	7,63
257	6,27	7,35	8,50	8,00	7,53
273	6,55	7,20	7,40	9,00	7,54
Média	6,44	7,27	7,62	8,16	
Produtividade (kg ha ⁻¹)					
187	44,54	666,42	1011,32	737,61	614,97
241	537,41	1306,21	849,09	1011,93	926,16
257	920,74	2229,13	1380,76	1103,93	1408,64
273	1279,25	1751,36	1091,75	1559,68	1420,51
Média	695,49	1488,28	1083,23	1103,29	

APÊNDICE B - Médias estimadas das variáveis de crescimento: massa seca da parte aérea (MSPA), teor de P foliar (P-foliar), altura de 30 a 65 DAS (30ALT, 37ALT, 44ALT, 51ALT, 58ALT e 65ALT), área foliar de 30 a 58 DAS (30AF, 37AF, 44AF, 51AF e 58AF) e número de folhas de 30 a 65 DAS (30NF, 37NF, 44NF, 51NF, 58NF e 65NF) de feijão-caupi cv. Guariba submetida a quatro lâminas de irrigação e quatro doses de adubação fosfatada.

	MSPA G	P-foliar mg dm ⁻³	30ALT	37ALT	44ALT	51ALT	58ALT	65ALT
Lâmina de água (%ECA)								
30	1,57	1,81	12,00	13,72	13,55	13,46	14,53	14,86
60	2,70	2,46	12,49	14,54	14,39	15,23	15,98	17,42
90	2,58	2,20	11,35	14,01	14,88	16,04	16,52	17,72
120	2,69	2,25	12,71	14,95	16,55	17,45	18,72	19,72
Doses de fósforo (kg de P₂O₅)								
0	1,74	1,33	10,43	12,43	12,59	12,90	13,74	14,82
70	2,55	1,78	11,93	13,96	14,61	15,22	16,36	17,15
140	2,51	2,72	12,93	15,58	15,91	17,37	18,30	18,67
210	2,73	2,90	13,27	15,26	16,25	16,69	17,35	19,08

APÊNDICE B - Continuação

	30AF	37AF	44AF	51AF	58AF	30NF	37NF	44NF	51NF	58NF	65NF
Lâmina de água (%ECA)											
30	14,00	15,77	14,87	17,52	16,87	1,81	2,53	2,85	2,67	3,54	2,77
60	17,12	18,64	26,08	21,33	21,43	1,81	2,69	3,44	3,38	4,03	4,25
90	17,89	21,67	24,74	24,45	25,56	2,09	3,72	4,00	4,34	4,66	5,13
120	21,57	26,53	30,73	30,26	30,83	2,84	4,47	5,13	4,97	5,50	6,25
doses de fósforo (kg de P₂O₅)											
0	11,79	15,74	14,66	16,59	16,85	1,63	2,84	3,31	3,31	4,06	4,25
70	17,58	19,56	27,70	24,01	23,27	2,06	3,38	3,69	3,69	4,13	4,38
140	20,56	24,49	26,79	27,22	28,04	2,44	3,66	4,28	4,31	4,91	4,81
210	20,66	22,82	27,27	25,74	26,53	2,44	3,53	4,14	4,04	4,64	4,96