



**TRATAMENTO DE SEMENTES COM
TIAMETOXAM E SUPLEMENTAÇÃO DE
FÓSFORO COMO MITIGADOR DO
ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A FASE
VEGETATIVA DO FEIJÃO-CAUPI**

RAFAEL DE QUEIROZ COSTA

2018

RAFAEL DE QUEIROZ COSTA

**TRATAMENTO DE SEMENTES COM TIAMETOXAM E
SUPLEMENTAÇÃO DE FÓSFORO COMO MITIGADOR DO
ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A FASE VEGETATIVA DO
FEIJÃO-CAUPI**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador
Prof. D.Sc. Paulo Araquém Ramos Cairo

**VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA-BRASIL**

C876t

Costa, Rafael de Queiroz.

Tratamento de sementes com tiametoxam e suplementação de fósforo como mitigador do estresse hídrico durante a fase vegetativa do feijão-caupi. / Rafael de Queiroz Costa, 2018.

78f.

Orientador (a): D. Sc. Paulo Araquém Ramos Cairo.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – área de concentração em Fitotecnia, Vitória da Conquista, 2018.

Inclui Referências.

1. Feijão-caupi – Cultivo. 2. *Vigna unguiculata* (L.). 3. Inseticidas - Tratamento de sementes. 4. Déficit hídrico – Germinação. 5. Nutrição mineral. I. Cairo, Paulo Araquém Ramos. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Área de concentração Fitotecnia. III. T.

CDD 635.6592

Catálogo na fonte: **Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890**
UESB – Campus Vitória da Conquista – BA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia

Campus de Vitória da Conquista - BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “TRATAMENTO DE SEMENTES COM TIAMETOXAM E SUPLEMENTAÇÃO DE FÓSFORO COMO MITIGADOR DO ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A FASE VEGETATIVA DO FEIJÃO-CAUPI”.

Autor: Rafael de Queiroz Costa

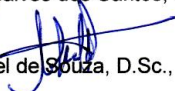
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela Banca Examinadora:


Prof. Paulo Araújo Ramos Cairo, D.Sc., UESB
Presidente


Prof. Alcebiades Rebouças São José, D.Sc., UESB


Profa. Gisele Brito Rodrigues, D.Sc., IFBAIANO/Valença


Prof. Leandro Gonçalves dos Santos, D.Sc., IFBAIANO/Guanambi


Prof. José Rafael de Souza, D.Sc., FAAHF/Luís Eduardo Magalhães

Data de realização: 31 de agosto de 2018.

Estrada do Bem Querer, Km 4 – Caixa Postal 95 – Telefone: (77) 3425-9383 – Fax: (77) 3424-1059
– Vitória da Conquista – BA – CEP: 45031-900

*À minha avó Zalzenira (in memoriam),
às minhas tias Josefina (in memoriam), Floricéia (in memoriam) e Maura
(in memoriam) e ao meu tio Zé Carlos (in memoriam), pelo carinho fraterno
que sempre ofertaram a mim.*

DEDICO

*Aos meus pais, Maria das Graças e Edson, meus irmãos, Diana, Vinícius e
Michel, minha esposa, Greice, e à minha maior felicidade, minha filha,
Rafaella.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu guia e minha fortaleza, por sempre iluminar meus passos e ajudar em minhas escolhas.

À minha avó Zalzenira (*in memoriam*), pela conduta e exemplos deixados, que são referências para mim, por me auxiliar sempre nos momentos difíceis.

À minha filha, Rafaella, que encheu a minha vida de amor e felicidade.

À minha esposa, Greice, pelo seu companheirismo, dedicação e entendimento durante todo o doutorado.

À minha mãe, Maria das Graças, ao meu pai, Edson, e à minha irmã, Diana, pelo apoio, carinho e afeto.

Ao meu sogro Floriano (*In memoriam*), por me ensinar o significado de humildade e por sempre ter demonstrado um carinho fraternal por mim.

À minha sogra, Josenita, a meu sogro Paulo, à minha cunhada e comadre, Éllen, ao meu cunhado, Matheus, e ao meu concunhado e amigo, Victor, por contribuírem para que eu concluísse a tese.

Ao meu primo-irmão e compadre, Michel, pela atenção, carinho e incentivo para a conclusão do doutorado.

Ao professor Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo, pela brilhante orientação, atuando com muita paciência, apoio, dedicação e ensinamentos que foram de grande importância para a realização deste trabalho, além de ofertar sua enorme amizade.

Ao professor Dr. Ramon Correia de Vasconcelos, pelos ensinamentos acadêmicos, amizade e valiosas críticas e sugestões.

Aos grandes amigos John Porto e Jerffson Lucas, pelo suporte fundamental na montagem e nas análises desse trabalho; sem eles, não seria possível a conclusão da tese.

À minha amiga Katielle Brito, por sempre ser solícita quando precisei de ajuda.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pela oportunidade de crescimento profissional.

Aos funcionários de campo, pela colaboração e logística na realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, em especial, aos docentes, pelos conhecimentos compartilhados.

A todos os membros da Banca Examinadora, pela colaboração e disponibilidade, por enriquecerem ainda mais o trabalho realizado.

Aos meus amigos Jacqueline, Emanuel Tássio, Douglas, Katilene, José Rafael e Jennifer, pela convivência científica e momentos de descontração.

À equipe do laboratório de Fisiologia Vegetal, especialmente, Pedro Henrique, pela colaboração e disponibilidade para auxiliar nas avaliações do experimento.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa o meu MUITO OBRIGADO!

RESUMO GERAL

COSTA, R. de Q. **Tratamento de sementes com tiametoxam e suplementação de fósforo como mitigador do estresse hídrico durante a fase vegetativa do feijão-caupi**. Vitória da Conquista - BA: UESB, 2018. 78f.: il. Col. (Tese – Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia).*

O objetivo deste trabalho foi testar diferentes técnicas de produção visando ao melhor desempenho de plantas de feijão-caupi, contemplando desde o efeito do tratamento de sementes com o inseticida tiametoxam na germinação e vigor à avaliação dos efeitos da suplementação de doses de fósforo como estratégia mitigadora do déficit hídrico do solo. Para isso, foram realizados dois experimentos distintos; o primeiro foi conduzido em laboratório e em ambiente protegido, com cobertura de polietileno e tela lateral na área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Neste, o delineamento utilizado variou entre inteiramente casualizado e blocos ao acaso, de acordo com o ambiente de condução da pesquisa. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial 2 x 6, formados pela combinação entre as cultivares BRS Novaera e BRS Rouxinol e o produto comercial com o princípio ativo tiametoxam nas doses 0 (tratamento controle); 2; 4; 6; 8; e 10 mL kg⁻¹ de sementes. As características avaliadas foram: teste de germinação, primeira contagem, comprimento da parte aérea, comprimento de raiz, massa seca de plântula, porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência. Os resultados demonstraram efeito positivo do tiametoxam no vigor das sementes atuando no aumento do comprimento da parte aérea independentemente da cultivar. No entanto, nas características relacionadas à germinação, as sementes da cultivar BRS Rouxinol demonstraram ser mais suscetíveis aos efeitos do inseticida, sendo influenciadas positivamente no acúmulo de massa seca da raiz e no comprimento da parte aérea de plântulas. As doses 11 e 18 g i a L⁻¹ de tiametoxam melhoraram o desempenho das plântulas de feijão-caupi, proporcionando efeitos positivos na massa seca e no comprimento da parte aérea. O segundo experimento foi conduzido em ambiente protegido, no campo experimental da UESB, adotando-se o delineamento de blocos ao acaso com arranjo dos tratamentos em esquema fatorial 4 x 5, formado pela combinação entre as porcentagens dos níveis de água no solo (0, 33, 66 e 100 %) e as doses de fósforo (40, 100, 160, 220 e 280 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Foram avaliadas as seguintes características: potencial hídrico foliar, teor relativo de água na folha, prolina, açúcares solúveis totais, açúcares redutores, aminoácidos totais, clorofila total e as massas secas de folha, caule, raiz, parte aérea e total, além da relação parte aérea e raiz. Foi observado que, em níveis críticos de conteúdo de água do solo, o aumento da suplementação fosfatada na dose de 162,14 kg ha⁻¹ de P₂O₅ permitiu a elevação do potencial hídrico foliar, além da manutenção da hidratação das células mesmo sob restrição hídrica severa. A elevação das doses de fósforo

pode ser utilizada como estratégia mitigadora dos efeitos da deficiência hídrica na fase vegetativa do feijão-caupi. Doses entre 140 e 175 kg ha⁻¹ de P₂O₅ auxiliaram nas estratégias utilizadas pela planta em resposta à restrição hídrica.

Palavras-Chave: *Vigna unguiculata* (L.). Inseticida. Déficit hídrico. Germinação. Nutrição mineral.

***Orientador: Paulo Araquém Ramos Cairo, D.Sc. – UESB**

ABSTRACT

COSTA, R. de Q. **Seed treatment with thiamethoxam and phosphorus supplementation as a water stress reliever during the vegetative phase of cowpea.** Vitória da Conquista - BA: UESB, 2018. 78f.: il. Col. (Thesis – Doctor's degree in Agronomy, Crop Science Concentration Area).*

The objective of this work was to test different production techniques aiming at the best performance of cowpea plants, considering from the effect of the seed treatment with the thiamethoxam insecticide on germination and vigor, to evaluate the effects of the supplementation of doses of phosphorus as a strategy mitigating soil water deficit. For this, two different experiments were carried out, the first one was conducted in a laboratory and in a protected environment, with a polyethylene cover and side screen in the experimental area of the State University of the Southwest of Bahia (UESB). In this, the design used varied between completely randomized and randomized blocks, according to the conduction environment of the research. The treatments were arranged in a 2 x 6 factorial scheme, formed by the combination of the cultivars BRS Novaera and BRS Rouxinol and the commercial product with the thiamethoxam technical grade at doses 0 (without chemical); 2; 4; 6; 8; and 10 mL kg⁻¹ of seeds. The evaluated characteristics were: germination test, first count, shoot length, root length, dry seedling mass, emergency percentage and emergency speed index. The results demonstrated a positive effect of thiamethoxam on seed vigor by increasing shoot length independently of cultivar. However, in germination - related characteristics, BRS Rouxinol seeds were shown to be more susceptible to the insecticide effects being positively influenced in root dry matter accumulation and seedling length. The 11 and 18 g i to L⁻¹ doses of thiamethoxam improved the performance of cowpea seedlings, providing positive effects on dry mass and shoot length. The second experiment was conducted in a protected environment in the UESB experimental field, using a randomized block design with treatments arrangement in a 4 x 5 factorial scheme, formed by the combination of the percentages of soil water levels (0; 33; 66; and 100 %) and phosphorus doses (40; 100; 160; 220; and 280 kg ha⁻¹ of P₂O₅). The following characteristics were evaluated: leaf water potential, leaf water content, proline, total soluble sugars, reducing sugars, total amino acids, total chlorophyll and dry leaf, stem, root, shoot and total masses, as well as the relation aerial part and root. It was observed that at critical levels of soil water content the increase of phosphorus supplementation at the dose of 162.14 kg ha⁻¹ of P₂O₅ allowed the increase of leaf water potential, besides the maintenance of hydration of the cells even under severe water restriction. The elevation of phosphorus doses can be used as a strategy to mitigate the effects of water deficiency on the vegetative phase of cowpea. Doses between 140 and 175 kg ha⁻¹ of P₂O₅ aided in the strategies used by the plant in response to water restriction.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.). Insecticide. Water deficit. Germination. Mineral nutrition.

***Advisor: Paulo Araquém Ramos Cairo, D.Sc. – UESB**

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2: Qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi tratadas com tiametoxam

Tabela 2.1- Resumo da análise de variância referente e coeficientes de variação referentes às características de plântulas normais (PN), plântulas anormais (PAN), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e massa seca de plântula (MSP), em sementes de duas cultivares de feijão-caupi tratadas com tiametoxam. Vitória da Conquista-BA, 2016.....34

Tabela 2.2- Comprimento da parte aérea (A) e comprimento da raiz (B) de duas cultivares de feijão-caupi em cada dose de tiametoxam. Vitória da Conquista-BA, 2016.....35

Tabela 2.3- Resumo da análise de variância e coeficientes de variação referentes às características de emergência (EM), índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca de plântula (MSP), oriundas de sementes de duas cultivares de feijão-caupi tratadas com tiametoxam. Vitória da Conquista-BA, 2016.....38

Tabela 2.4- Índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento da parte aérea (CPA) e massa seca de plântula (MSP) de duas cultivares de feijão-caupi. Vitória da Conquista-BA, 2016.....38

Capítulo 3: Relação entre os níveis de água no solo e adubação fosfatada na fase vegetativa do feijão-caupi cv. Novaera

Tabela 3.1- Resumo da análise de variância e coeficientes de variação referentes às características de potencial hídrico (Ψ_w) e teor relativo de água (TRA), de plantas de feijão-caupi cv. Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.....61

Tabela 3.2- Resumo da análise de variância e coeficientes de variação referentes às características de teor de prolina (PRO) de plantas de feijão-caupi cv. Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.....64

Tabela 3.3- Resumo da análise de variância e coeficientes de variação referentes às características de açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), aminoácidos totais (AMT) e estimativa do teor de clorofila total (CLT) de plantas de feijão-caupi cv. Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.....66

Tabela 3.4- Resumo da análise de variância e coeficientes de variação referentes às características massa seca de caule (MSC), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de folha (MSF), massa seca de raiz (MSR), massa seca total (MST) e relação parte aérea/raiz (PA/RA) de plantas de feijão-caupi, cv. Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.....68

LISTAS DE FIGURAS

Capítulo 2: Qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi tratadas com tiametoxam

Figura 2.1- Comprimento da parte aérea (A), comprimento da raiz (B) e massa seca de plântulas (C) de duas cultivares de feijão-caupi, cujas sementes foram tratadas com tiametoxam. Vitória da Conquista-BA, 2016.....36

Figura 2.2- Efeito das doses de tiametoxam no comprimento da parte aérea de plântulas de feijão-caupi. Vitória da Conquista-BA, 2016.....39

Capítulo 3: Relação entre os níveis de água no solo e adubação fosfatada na fase vegetativa do feijão-caupi cv. Novaera

Figura 3.1- Efeito da interação entre o nível de água do solo a 0% e as doses de fósforo no potencial hídrico foliar (A) e no teor relativo de água (B) em plantas de feijão-caupi cv. Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.....62

Figura 3.2- Efeito da interação entre o nível de água do solo a 0% e as doses de fósforo na concentração de prolina em plantas de feijão-caupi cv. Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.....64

Figura 3.3- Efeito de interação dos níveis de água no solo a 0% e as doses de fósforo na clorofila total de plantas de feijão-caupi cv. Novaera, Vitória da Conquista-BA, 2017.....67

Figura 3.4- Efeito da interação entre o nível de água do solo a 0% e as doses de fósforo na massa seca da parte aérea (A), massa seca de folha (B), massa seca de raiz (C) e massa seca total (D) de plantas de feijão-caupi *cv.* Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.....69

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AF	Área foliar
AFE	Área foliar específica
AMT	Aminoácidos totais
AP	Altura de planta
AR	Açúcares redutores
AST	Açúcares solúveis totais
CLT	Clorofila total
CPA	Comprimento de plântula
CR	Comprimento de raiz
DF	Doses de fósforo
EM	Emergência
IVE	Índice de velocidade de emergência
MSC	Massa seca de caule
MSF	Massa seca de folha
MSP	Massa seca de plântula
MSPA	Massa seca de parte aérea
MSR	Massa seca de raiz
MST	Massa seca total
NAS	Nível de água no solo
PA/RA	Relação parte aérea raiz
PAN	Plântulas anormais
PN	Plântulas normais
PRO	Concentração de prolina
TRA	Teor relativo de água
Ψ_w	Potencial hídrico da folha

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	18
INTRODUÇÃO GERAL.....	18
REFERÊNCIAS.....	21
CAPÍTULO 2:.....	23
1 INTRODUÇÃO.....	24
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	26
2.1 aspectos gerais sobre a cultura do feijão-caupi.....	26
2.1.2 Importância socioeconômica do feijão-caupi.....	27
2.2 tratamento de sementes com inseticidas.....	28
2.2.1 Uso do tiametoxam no tratamento de sementes e seus efeitos como substância bioativadora.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Efeito do tiametoxam na germinação.....	34
4.2 Efeito do tiametoxam na emergência.....	37
5 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS.....	41
CAPÍTULO 3:.....	45
1 INTRODUÇÃO.....	46
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	48
2.1 A cultura do feijão-caupi: aspectos gerais e socioeconômicos.....	48
2.2 Déficit hídrico e estresse hídrico em plantas de feijão-caupi.....	49
2.3 Adubação fosfatada no cultivo do feijão-caupi.....	52
2.3.1 Relação entre a adubação fosfatada e os efeitos do déficit hídrico nas plantas.....	54
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.1 Análise estatística.....	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
REFERÊNCIAS.....	72

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

As maiores produções de feijão-caupi encontram-se nas regiões Nordeste e Norte do Brasil, onde ocorre maior consumo, especialmente na zona rural, com variação de 9,2 a 21,8 kg/pessoa/ano. No entanto, a produtividade alcançada pelas plantas de feijão-caupi está muito abaixo do seu potencial produtivo. Dentre os fatores que contribuem para a menor produtividade, destaca-se o perfil de produção dessa leguminosa, caracterizado por pequenos produtores que utilizam pouca ou nenhuma tecnologia, o que se constitui como um dos principais entraves para maximizar os rendimentos dessa cultura (FREIRE FILHO e outros, 2011; FREITAS, 2014).

Algumas técnicas, como o tratamento de sementes, visam à manutenção da sua qualidade, permitindo assegurar populações adequadas de plantas, mesmo quando as condições edafoclimáticas sejam desfavoráveis, a exemplo de déficit hídrico ou solos de baixa fertilidade durante a fase de estabelecimento da cultura (ALMEIDA e outros, 2011; BALARDIN e outros, 2011).

Certas substâncias vêm sendo utilizadas para atuarem na fisiologia das plantas com o intuito de auxiliar o seu crescimento e desenvolvimento (CASTRO et al., 2008). Dentre essas, o inseticida tiametoxam vem demonstrando efeitos benéficos quando aplicado nas sementes, o que comprova sua eficiência como produto bioativador (LEMES e outros, 2015). Tem-se verificado ainda que o tiametoxam tende a aumentar a qualidade fisiológica das sementes, de modo que contribui para a formação de estandes mais uniformes, o que permite o estabelecimento da planta no campo de maneira rápida e mais efetiva. No entanto, é importante considerar que seus efeitos são mais expressivos em sementes que apresentam baixo vigor ou quando as condições de cultivo não são favoráveis.

Apesar de ser uma espécie relativamente adaptada à seca, esse fator climático ainda constitui um dos grandes obstáculos ao aumento e à estabilidade da produção do feijão-caupi no Brasil (SINGH e REDDY, 2011). As perdas devido ao déficit hídrico têm sido o principal desafio para a produção de grãos, sendo o fator ambiental mais limitante à produtividade das culturas em todo o mundo (FRITCHE-NETO e BORÉM, 2011).

A deficiência hídrica no solo e os seus efeitos nas plantas, como aspecto de grande relevância para o feijão-caupi, podem ser atribuídos ao fato de as regiões de cultivo dessa leguminosa serem, predominantemente, em áreas que apresentam chuvas escassas e desuniformidade na sua distribuição, além de períodos prolongados de estiagem; isso interfere diretamente no seu crescimento e desenvolvimento e, assim, leva a reduções nos rendimentos almejados das lavouras.

Outro fator importante a ser considerado para o bom crescimento e desenvolvimento da planta é o fornecimento equilibrado de macro e micronutrientes. Entre os macronutrientes, o fósforo destaca-se por ser o nutriente extraído em menor quantidade pelo feijão-caupi, mas é o elemento mais limitante para a produtividade das culturas na maioria dos solos brasileiros (SAMPAIO e BRASIL, 2009). Alguns trabalhos têm evidenciado efeitos positivos do fósforo em plantas submetidas a déficits hídricos (CHIULELE, 2003; KUWAHARA e SOUZA 2009; JEMO e outros 2017). Essas pesquisas indicam que plantas que receberam altos níveis de fósforo podem melhorar seu desempenho minimizando os efeitos do estresse hídrico da planta.

Diante da importância do feijão-caupi para a região Nordeste do Brasil, torna-se imprescindível a realização de estudos que avaliem o desempenho de cultivares e de técnicas que favoreçam o seu cultivo, mesmo sob condições desfavoráveis. Dessa forma, a investigação sobre os efeitos dos fatores ecológicos nas fases iniciais de crescimento e desenvolvimento da planta pode contribuir para o manejo mais adequado e eficiente no campo.

Nesse contexto, objetivou-se neste trabalho testar diferentes técnicas de produção visando ao melhor desempenho de plantas de feijão-caupi, contemplando desde o efeito do tratamento de sementes com o inseticida tiametoxam na germinação e no vigor à avaliação dos efeitos da suplementação de doses de fósforo como estratégia mitigadora do déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.S.; CARVALHO, I.; DEUNER, C.; TILLMANN, A.; ÂNGELA, M.; VILLELA, F. A. Bioativador no desempenho fisiológico de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 3, p.501-510, 2011.
- BALARDIN, R.S; SILVA, F. D. L DA; DEBONA, D.; FAVERA, D. D.; TORMEN, N. R. Tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como redutores dos efeitos do estresse hídrico em plantas de soja. **Ciência Rural**. v. 41, n.7, p. 1120-1126, 2011.
- CASTRO, G. S. A.; BOGIAN, J. C.; SILVA, M. G. da.; GAZOLA, E.; ROSELEM, C. A. Tratamento de sementes de soja com inseticidas e um bioestimulante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 43, n. 10, p. 1311-1318, 2008.
- CHIULELE, R M. **Morphological and physiological responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L) walp.) cultivars to induced water stress and phosphorus nutrition**. 2003. Tese de Doutorado. Stellenbosch: Stellenbosch University.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. Feijão Caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Embrapa Meio Norte, Teresina, 84p. 2011.
- FREITAS, R. M. O.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L. de.; NOGUEIRA, N. W.; PINTO, J. R. de S. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 393-401, 2014.
- FRITCHE-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa: Suprema, 2011. 250 p.
- JEMO, M.; SULIEMAN, S.; BEKKAOUI, F.; OLOMIDE, O. A. K.; HASHEM, A.; ABD-ALLAH, E. F.; ALQARAWI, A. A.; TRAN, L-S. P. Comparative analysis of the combined effects of different water and phosphate levels on growth and biological nitrogen fixation of nine cowpea varieties. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 2111, 2017.
- KUWAHARA, F. A.; SOUZA, G. M. Fósforo como possível mitigador dos efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e as trocas gasosas de *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 Vitória. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 261-267, 2009.

LEMES, E. S.; ALMEIDA, A. da S.; MENEGHELLO, G. E.; TUNES, L. M. de; VILLELA, F. A. Germinação e vigor de sementes de abóbora tratadas com tiametoxam. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 122-127, 2015.

SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. Da agricultura de subsistência ao agronegócio: Anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009., 2009.

SINGH, S. K.; REDDY, K. J. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] walp.) under drought. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 105, n. 1, p. 40-50, 2011.

CAPÍTULO 2:
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI
TRATADAS COM TIAMETOXAM

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi representa uma cultura de grande importância socioeconômica, principalmente para as regiões Norte e Nordeste do Brasil; faz parte fundamental da dieta alimentar, tanto na zona rural como na urbana. Sua exploração é feita principalmente por pequenos agricultores, em sistema de cultivo predominantemente de sequeiro, com utilização de cultivares tradicionais e emprego de baixa tecnologia em todo o seu processo produtivo, o que reflete significativamente em baixa produtividade (FREIRE FILHO, 2011).

O uso de inseticidas no tratamento de sementes vem sendo cada vez mais difundido, dada a sua eficiência na proteção e prevenção de pragas nas fases iniciais de estabelecimento da cultura. No entanto, diversos estudos têm demonstrado que, além dos efeitos esperados no controle de determinadas pragas, há uma influência positiva de algumas substâncias no processo germinativo e na emergência de plântulas, atuando diretamente na fisiologia das sementes com interferência direta na sua qualidade. Tais substâncias são denominadas de bioativadoras.

Compostos como o tiametoxam, um inseticida sistêmico do grupo neonicotinoide, atuam na expressão dos genes responsáveis pela síntese e ativação de enzimas, relacionadas ao crescimento da planta. Quando utilizado no tratamento de sementes, o tiametoxam tem apresentado resultados na melhora da qualidade fisiológica das mesmas, além de apresentar efeito fitotônico para a planta (LAUXEN, VILLELA e SOARES, 2010).

Diante da importância do feijão-caupi para o Norte e Nordeste do Brasil, torna-se imprescindível a realização de estudos que avaliem o desempenho de cultivares e de técnicas que favoreçam o seu cultivo, mesmo em condições desfavoráveis. Dessa forma, a investigação sobre os efeitos do tiametoxam na qualidade fisiológica de sementes associadas ao crescimento

e desenvolvimento do feijão-caupi pode contribuir para um diagnóstico mais preciso das potencialidades desse insumo para a cultura. Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito do tiametoxam sobre a qualidade fisiológica das sementes de duas cultivares de feijão-caupi.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE A CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI

O feijão-caupi é uma Dicotiledônea, pertencente à ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolina, gênero *Vigna* e à espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp (PADULOSI e NG, 1997). É uma leguminosa de ampla distribuição mundial, encontrada principalmente nas regiões tropicais, cujas características edafoclimáticas assemelham-se às do seu provável centro de origem, a África (BRITO, MURAOKA e SILVA, 2009). Dentre as leguminosas, o feijão-caupi destaca-se pela sua rusticidade e é cultivado principalmente nos países da África, América Latina e Ásia (FREIRE FILHO, 2005).

Estima-se que o feijão-caupi ocupe uma área de 12,5 milhões de ha, com produção próxima a três milhões de kg ano⁻¹, dentro do cenário mundial, onde 64% da área ocupada mundialmente, que é de 8 milhões de hectares, está localizada na parte oeste e central da África. O restante é representado pela América do Sul, América Central e Ásia, com pequenas áreas espalhadas pelo sudoeste da Europa, sudoeste dos Estados Unidos e Oceania (FREIRE FILHO, 2011).

O perfil de produção do feijão-caupi é caracterizado por pequenos agricultores, em regiões onde o clima é seco e o sistema de cultivo predominante é de sequeiro, com emprego de baixa tecnologia em todo o seu processo produtivo. A baixa produtividade da cultura nas regiões de clima semiárido relaciona-se diretamente ao fato de os agricultores utilizarem cultivares tradicionais de porte enramador, ciclo tardio e suscetíveis a pragas e doenças, bem como está relacionada às irregularidades pluviométricas (TEIXEIRA e outros, 2006).

No Brasil, o feijão-caupi tem grande importância no Norte e no Nordeste do país, regiões estas que têm tradição no cultivo, comércio e consumo dessa leguminosa. Juntas, concentram 86,08% da área destinada ao seu cultivo e apresentaram na safra 2015/2016 produtividade média de 957 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016). Além dessas regiões, vem apresentando avanços crescentes o Centro-Oeste do país, onde o cultivo tem sido conduzido de forma mecanizada (ROCHA e outros, 2009).

2.1.2 Importância socioeconômica do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) é uma cultura usada para várias finalidades e em diversos sistemas de produção (ANDRADE e outros, 2010). Também conhecido como feijão-de-corda, feijão-fradinho ou feijão-de-rama, apresenta grande importância como componente da dieta alimentar, principalmente das regiões Norte e Nordeste do Brasil, tanto na zona rural como na urbana (NEVES e outros, 2011). A produção de feijão-verde no Nordeste do Brasil é uma tradição; faz parte de vários pratos típicos (ANDRADE e outros, 2010).

Em virtude do seu valor nutritivo, o cultivo do feijão-caupi é destinado, principalmente, para a produção de grãos secos e verdes, consumidos *in natura*, na forma de conserva ou desidratados; pode ser utilizado como adubo verde e na alimentação animal como forragem e ensilagem ou feno. O feijão-verde corresponde às vagens em torno da maturidade, ou seja, um pouco antes ou um pouco depois do estágio em que param de acumular fotossintatos e iniciam o processo de desidratação natural (FREIRE FILHO e outros, 2005).

Nos anos de 2005 a 2009, estimou-se que a cultura do feijão-caupi tenha sido responsável pela geração de 1.113.109 empregos por ano no Brasil, produzindo suprimento alimentar para 28.205.327 pessoas e gerando uma produção anual no valor de R\$684.825.333 (FREIRE FILHO, 2011).

No Nordeste brasileiro, a produção de feijão-caupi tem apresentado, ao longo dos anos, variações importantes de acréscimo e decréscimo, com tendência oscilante. Essas variações na produção são típicas de regiões cujos processos produtivos são dependentes de clima, em que um ano de distribuição pluviométrica regular quase sempre é seguido por uma distribuição irregular, com reflexos na produção (FROTA e PEREIRA, 2000). Além do déficit hídrico, a baixa produtividade apresentada pela planta é resultante de vários outros fatores, como o uso de sementes não melhoradas e o cultivo em solos de baixa fertilidade (MENDES e outros, 2007).

2.2 TRATAMENTO DE SEMENTES COM INSETICIDAS

Tratamento de sementes, no sentido amplo, é a aplicação de processos e substâncias que preservem ou aperfeiçoem o desempenho das sementes, permitindo que as culturas expressem todo seu potencial genético. Inclui a aplicação de defensivos (fungicidas, inseticidas etc.), produtos biológicos, inoculantes, estimulantes, micronutrientes etc., ou a submissão a tratamento térmico, ou outros processos físicos. No sentido mais restrito, refere-se à aplicação de produtos químicos eficientes contra fitopatógenos (MENTEN e MORAES, 2010).

O emprego de inseticidas no tratamento de sementes é uma alternativa para evitar possíveis perdas decorrentes da ação de pragas de solo e da parte aérea, que danificam as sementes e as plântulas jovens. É considerado uma operação segura e ágil para garantir o estande e o estabelecimento inicial das plântulas. Além disso, na maioria dos casos, pode reduzir o número de aplicações de inseticidas após a emergência da cultura. (MENTEN, 2005; MARTINS e outros, 2009; DAN e outros 2012).

Os inseticidas, normalmente, são avaliados quanto à eficiência no controle de pragas. Todavia, alguns podem provocar efeitos ainda pouco

conhecidos, capazes de modificar o metabolismo e a morfologia vegetal (PEREIRA, 2007). O uso de inseticidas no tratamento de sementes é cada vez mais comum, principalmente daqueles que possuem atuação fisiológica nas plantas, visando ao melhor estabelecimento da planta no campo e aproveitando o seu potencial produtivo (CASTRO e outros, 2008).

2.2.1 Uso do tiametoxam no tratamento de sementes e seus efeitos como substância bioativadora

O tiametoxam é um inseticida sistêmico, do grupo neonicotinoide, que tem efeito bioativador, atuando na expressão dos genes responsáveis pela síntese e ativação de enzimas relacionadas ao crescimento da planta, alterando a produção de aminoácidos precursores de hormônios vegetais. Com a maior produção de hormônios, pressupõe-se que a planta apresente maior vigor, germinação e desenvolvimento de raízes (CASTRO, 2008). Com um maior número de raízes, aumentam-se a absorção e a resistência dos estômatos da planta à perda de água, o que beneficia o metabolismo e amplia a resistência aos estresses (CASTRO, PITELLI e PERES, 2005).

A descoberta da molécula tiametoxam trouxe novas perspectivas para a agricultura, principalmente para o tratamento de sementes, e diversos estudos têm mostrado a eficiência do inseticida como um bioativador (ACEVEDO e CLAVIJO, 2008). Os bioativadores são substâncias naturais, de origem vegetal, que possuem ações semelhantes às dos principais reguladores vegetais, visando ao crescimento e ao desenvolvimento da planta (CASTRO e outros, 2008).

Aplicados às plantas, os bioativadores causam modificação ou alteração de processos metabólicos e fisiológicos específicos, tais como: aumento da divisão e alongamento celular; estímulo à síntese de clorofila e à fotossíntese; diferenciação das gemas florais; aumento na fixação

(pegamento) e no tamanho dos frutos; e aumento da vida útil das plantas, amenizando os efeitos das condições climáticas adversas, bem como aumentando a absorção de nutrientes (CATANEO e outros, 2006).

A utilização de produtos, como o tiametoxam, com características que podem aumentar o potencial produtivo das plantas, é uma prática de uso crescente na agricultura e amplamente difundida nos países com tecnologia avançada. No Brasil, experimentos têm demonstrado que os bioativadores podem aumentar significativamente a produtividade e, principalmente, a qualidade, com incrementos significativos na quantidade de frutos maiores (SERCILOTO, 2002).

Verificou-se que, em plantas de soja, o uso do tiametoxam teve efeito indireto, pois atua na expressão dos genes responsáveis pela síntese e pela ativação de enzimas, relacionadas ao crescimento da planta, alterando a produção de aminoácidos precursores de hormônios vegetais (CASTRO e outros, 2008). A atividade de enzimas relacionadas à germinação, a exemplo da glucose-6-fosfato desidrogenase (G6PDH), guaiacol peroxidase (GPX) e α -amilase nas culturas, tende a aumentar após embebição do tiametoxam pelas sementes (ACEVEDO e outros, 2008).

A ação do tiametoxam na germinação de sementes reduz o tempo requerido para o estabelecimento da cultura no campo, diminui os efeitos negativos da competição com as plantas daninhas ou por meio de nutrientes essenciais presentes no solo (CATANEO, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Sementes e em ambiente protegido, com cobertura de polietileno e tela lateral, localizada na área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* de Vitória da Conquista, BA.

Foram utilizadas duas cultivares de feijão-caupi, BRS Novaera e BRS Rouxinol, que apresentam ciclos de vida precoces (65-75 dias) e portes semieretos. As sementes foram previamente tratadas com o inseticida Cruiser® 350 FS utilizando-se as doses 0,0 (tratamento controle), 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; e 10,0 mL kg⁻¹ de sementes, representando, respectivamente, 0,0; 0,07; 0,14; 0,21; 0,28; e 0,35 g i a L⁻¹ de tiametoxam, de acordo com o método adotado por Lauxen, Villela e Soares (2010).

Quando o inseticida foi aplicado nas sementes, as doses do produto foram diluídas em água destilada, a fim de se obter uma calda homogênea. A homogeneização da calda com as sementes foi realizada em sacos plásticos com capacidade para 1,5 kg. O conjunto foi agitado por 2 minutos, observando-se o total recobrimento das sementes, com posterior secagem à sombra. Após esse procedimento, foram avaliados os parâmetros relacionados à germinação e à emergência:

a) Teste de germinação – Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, semeadas em papel do tipo “Germitest”, acondicionadas em formato de rolos, os quais foram umedecidos com água deionizada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco e transferidos em seguida para um germinador regulado a 25°C. No quinto e no oitavo dia após a semeadura, realizaram-se as avaliações, cujos resultados indicaram as porcentagens de plântulas normais e anormais (BRASIL, 2009).

b) Primeira contagem – Realizada em concomitância com o teste de germinação, considerando-se a porcentagem de plântulas que se apresentaram normais no quinto dia da instalação do teste (BRASIL, 2009).

c) Porcentagem de emergência – Obtida com base na proporção de plântulas emergidas em 100 sementes de cada cultivar, distribuídas em quatro repetições de 25 sementes (BRASIL, 2009).

d) Índice de velocidade de emergência – Realizado em conjunto com o teste de emergência, com base na contagem de plântulas emergidas diariamente, até a estabilização da emergência das plântulas. Os valores foram obtidos por meio da fórmula proposta por Maguire (1962).

e) Comprimento da parte aérea e raiz principal das plântulas – Mediu-se o comprimento de cada uma dessas partes, em 10 plântulas normais por repetição, escolhidas aleatoriamente, e os resultados foram expressos em cm pl^{-1} .

f) Massa seca de parte aérea, raiz e total das plântulas – As 10 plântulas avaliadas no comprimento de plântulas foram utilizadas nesta avaliação. Foram descartados os cotilédones, e separou-se a raiz da parte aérea. Em seguida, essas partes foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para se secarem em estufa com circulação de ar, a 65°C , durante 48 horas. Depois de retiradas da estufa determinou-se a massa seca total das plântulas, cujos resultados foram expressos em mg pl^{-1} (BRASIL, 2009).

O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado para as análises realizadas em laboratório e em blocos ao acaso para as análises em ambiente protegido. Em ambos os delineamentos, foi adotado um esquema fatorial 2×6 , cujo primeiro fator referiu-se às duas cultivares e o segundo fator, às seis doses de tiametoxam.

3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística, foi utilizado o programa Sisvar® versão 5.6 (FERREIRA, 2014). Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Lilliefors e homogeneidade de variâncias pelo teste de Cochran. Após a realização da análise de variância pelo teste “F”, quando houve diferença significativa, foi realizada análise de regressão, selecionando-se os modelos com base na significância do teste “F” ($p \leq 0,05$), maior coeficiente de determinação e comportamento biológico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFEITO DO TIAMETOXAM NA GERMINAÇÃO

Foi verificado efeito significativo para comprimento de parte aérea, comprimento de raiz e massa seca de plântula, tanto em relação aos cultivares como às doses. Observou-se, também, interação entre as fontes de variação para essas mesmas características (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Resumo da análise de variância e coeficientes de variação referentes às características de plântulas normais (PN), plântulas anormais (PAN), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e massa seca de plântula (MSP) em sementes de duas cultivares de feijão-caupi tratadas com tiametoxam. Vitória da Conquista-BA, 2016.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		PN	PAN	CPA	CR	MSP
Cultivar (C)	1	4,08	2,08	99,50 *	53,36 *	107,58 *
Dose (D)	5	114,1	76,08	0,47 *	7,58 *	186,59 *
C x D	5	90,08	72,48	0,48 *	2,45 *	116,87 *
Resíduo	33	65,97	62,53	0,17	0,78	19,65
CV (%)		9,34	66,61	9,27	12,65	7,4

* Significativo pelo teste "F" ($p \leq 0,05$).

Não houve efeito significativo na germinação em função das doses de tiametoxam. Na literatura, há relatos de que, em condições adequadas de luz, temperatura e nutrientes, o tiametoxam apresenta desempenho estável, sem interferência na germinação (MACEDO e CASTRO, 2011). Em sementes de soja, entretanto, os estudos revelam resultados controversos, com relatos de estímulos à germinação acelerada (CASTRO e outros, 2008), como, até mesmo, de indiferença ao tratamento das sementes com tiametoxam (DAN e outros, 2012). Esses resultados permitem considerar que não há uma resposta padrão das sementes, no que se refere à germinação, em consequência do tratamento com tiametoxam.

Comparando-se as cultivares e a ação de cada dose de tiametoxam sobre elas, o comprimento da parte aérea da cultivar BRS Rouxinol foi maior que o do BRS Novaera, (Tabela 2.2A). Por outro lado, o comprimento da raiz em plântulas de BRS Rouxinol foi menor que em BRS Novaera (Tabela 2.2B).

Tabela 2.2 - Comprimento da parte aérea (A) e comprimento da raiz (B) de duas cultivares de feijão-caupi em cada dose de tiametoxam. Vitória da Conquista-BA, 2016.

(A) CULTIVARES	DOSES (g i a L ⁻¹)					
	0	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35
BRS Novaera	2,8 b	3,1 b	3,2 b	3,0 b	2,8 b	3,0 b
BRS Rouxinol	5,5 a	5,8 a	6,0 a	6,1 a	6,6 a	5,3 a

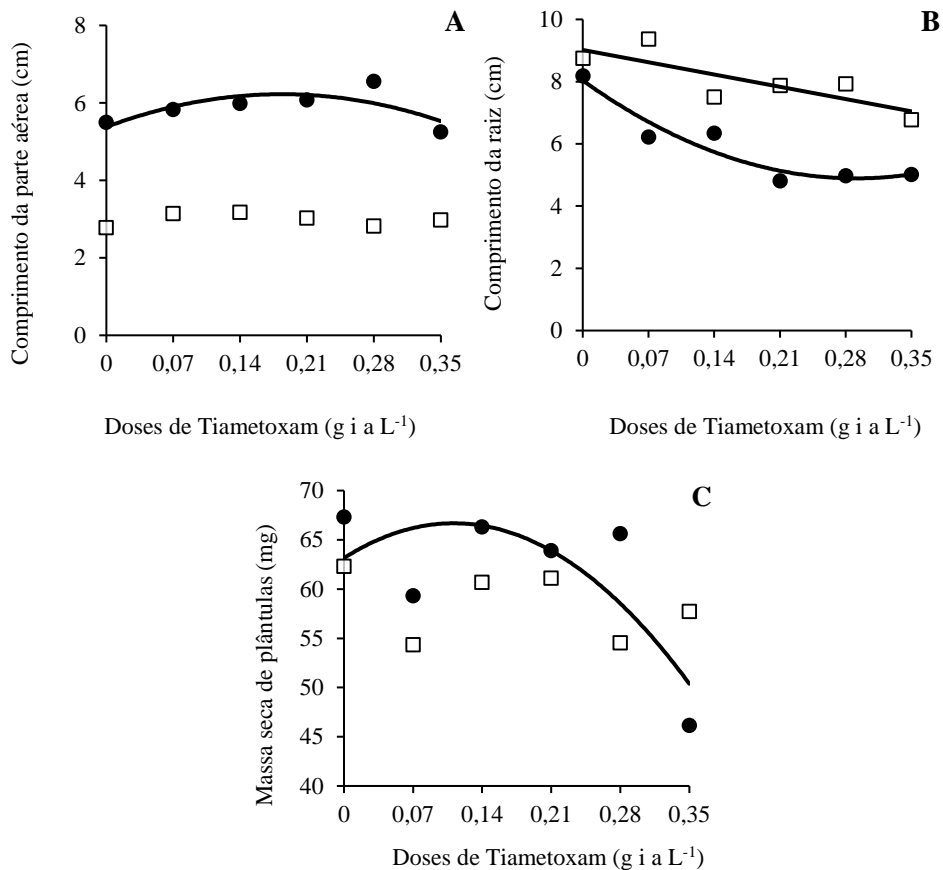
(B) CULTIVARES	DOSES (g i a L ⁻¹)					
	0	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35
BRS Novaera	8,8 a	9,4 a	7,5 a	7,9 a	7,9 a	6,8 a
BRS Rouxinol	8,2 b	6,2 b	6,3 b	4,8 b	5,0 b	5,0 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste “F” ($p \leq 0,05$).

Os efeitos de cada dose nas sementes de feijão-caupi tratadas com tiametoxam variaram de acordo com a cultivar, o que corrobora a observação de Oliveira e outros (2015). Dessa forma, os benefícios gerados pelo bioativador, dependendo da cultivar, podem aumentar a área foliar fotossinteticamente útil nas fases iniciais de desenvolvimento e, assim, proporcionar elevação na taxa fotossintética (CATANEO, 2008) e apresentar o aprofundamento das raízes, que, segundo Almeida (2009), favorecem o aumento da absorção de nutrientes.

Com a elevação das doses de tiametoxam, observou-se aumento no comprimento da parte aérea da cultivar BRS Rouxinol até o ponto máximo de 0,18 g i a L⁻¹. Dosagens acima desse ponto causaram decréscimos no comprimento da parte aérea (Figura 2.1A). A promoção do crescimento e desenvolvimento das estruturas essenciais das plântulas, como a parte aérea,

devido ao tratamento de sementes com o tiametoxam, também foi verificada em feijão (BORGES e outros, 2015) e soja (TAVARES e outros, 2008).



- BRS Rouxinol
- (A) $\hat{Y}^* = 5,3787 + 9,219x - 25,118x^2$ ($R^2 = 0,56$)
- (B) $\hat{Y}^* = 8,0366 - 21,607x + 37,117x^2$ ($R^2 = 0,91$)
- (C) $\hat{Y}^* = 63,146 + 63,558x - 285,82x^2$ ($R^2 = 0,59$)
- BRS Novaera
- (B) $\hat{Y}^* = 9,0179 - 5,6378x$ ($R^2 = 0,65$)

Figura 2.1 - Comprimento da parte aérea (A), comprimento da raiz (B) e massa seca de plântulas (C) de duas cultivares de feijão-caupi, cujas sementes foram tratadas com tiametoxam. Vitória da Conquista-BA, 2016.

Foi observada ação negativa no comprimento da raiz quando as sementes foram tratadas com doses de tiametoxam acima do tratamento controle (Figura 2.1B). Resultados contrários aos obtidos neste estudo foram verificados em algodão (LAUXEN, VILLELA e SOARES, 2010) e arroz (ALMEIDA e outros, 2011). Nessas culturas, ocorreu maior crescimento das raízes quando se utilizou o tiametoxam no tratamento das sementes. No entanto, Castro e outros (2008) observaram que a aplicação desse inseticida nas sementes de soja tornou as raízes mais finas e reduziu significativamente a germinação, com aumento no número de plântulas anormais e mortas.

Decréscimos no potencial fisiológico de sementes tratadas com inseticidas do grupo dos carbonatos e organofosforados, que diferem do grupo ao qual pertence o tiametoxam (neonicotinoides), já foram descritos e atribuídos à formação de radicais livres como resposta ao estresse exógeno (SOARES e MACHADO, 2007), e foi observada redução no comprimento da radícula em soja (DAN e outros, 2012).

Incremento na massa seca de plântula da cultivar BRS Rouxinol foi crescente até a dose 0,11 g l⁻¹; após esse ponto, houve decréscimo mais acentuado (Figura 2.1C). O aumento na massa seca de plântulas pode estar relacionado ao comprimento da parte aérea. Segundo Tavares e outros (2008), com o aumento do comprimento da parte aérea, melhora-se o dossel para maior captação de radiação solar e produção de fotoassimilados, o que pode ter contribuído para maior assimilação de carboidrato pela plântula.

4.2 EFEITO DO TIAMETOXAM NA EMERGÊNCIA

A interação não apresentou significância em relação às variáveis analisadas. Contudo, ocorreram efeitos significativos isolados dos fatores cultivar e doses ($p \leq 0,05$) sobre o índice de velocidade de emergência, comprimento da parte aérea e massa seca de plântulas (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Resumo da análise de variância e coeficientes de variação referentes às características de emergência (EM), índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca de plântula (MSP), oriundas de sementes de duas cultivares de feijão-caupi tratadas com tiametoxam. Vitória da Conquista-BA, 2016.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		EM	IVE	CPA	CR	MSP
Bloco	3	666,11 *	2,85 *	0,44	4,21	1228,1
Cultivar (C)	1	208,33	1,94 *	1,24 *	0,13	18780 *
Dose (D)	5	43,53	0,14	1,27 *	0,78	175,1
C x D	5	61,13	0,16	0,15	2,23	110,3
Resíduo	33	83,81	0,35	0,16	1,51	306,5
CV (%)		11,86	10,07	5,25	16,46	16,6

*Significativo pelo teste “F” ($p \leq 5\%$).

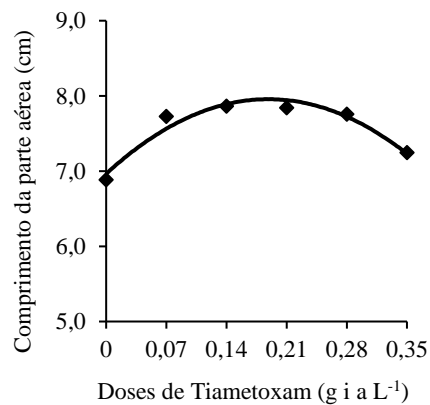
A BRS Rouxinol apresentou índice de velocidade de emergência elevado em comparação à BRS Novaera, o que indica, segundo Costa e outros (2013), elevada capacidade da cultivar em formar plântulas mais competitivas nas fases iniciais da cultura. Esses mesmos autores, estudando diferentes cultivares de milho, encontraram correlação positiva entre o índice de velocidade de emergência e o comprimento da parte aérea. No entanto, o maior incremento de massa seca de plântulas foi observado na cultivar BRS Novaera, demonstrando a sua eficiência no acúmulo de matéria seca (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento da parte aérea (CPA) e massa seca de plântula (MSP) de duas cultivares de feijão-caupi. Vitória da Conquista-BA, 2016.

CULTIVARES	IVE	CPA	MSP
BRS Novaera	4,76 b	7,39 b	125,24 a
BRS Rouxinol	5,17 a	7,71 a	85,68 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste “F” ($p \leq 0,05$).

O uso do tiametoxam no tratamento de sementes promoveu aumento no comprimento da parte aérea até a dose máxima de 0,19 g i a L⁻¹, como demonstrado no modelo de regressão quadrático apresentado na Figura 2.2. Esse incremento na parte aérea das plântulas também foi observado por Clavijo (2008) em soja e milho quando as sementes foram tratadas com tiametoxam.



$$\hat{Y}^* = 6,9638 + 10,519x - 27,873x^2 \quad (R^2 = 0,94)$$

Figura 2.2 - Efeito das doses de tiametoxam no comprimento da parte aérea de plântulas de feijão-caupi. Vitória da Conquista-BA, 2016.

5 CONCLUSÃO

As doses 11 e 18 g i a L⁻¹ do inseticida tiametoxam melhoram o desempenho das plântulas de feijão-caupi, proporcionando efeitos positivos na sua massa seca e no comprimento da parte aérea, respectivamente. Mas seu efeito varia conforme a cultivar de feijão-caupi.

REFERÊNCIAS

ACEVEDO, J.C.; CLAVIJO, J. Investigación agronômica em Colombia. In: CLAVIJO, J. (Coord.) **Tiametoxam: Un nuevo concepto em vigor y productivad.** Bogotá, 2008. p.41-91.

ALMEIDA, A.S. Bioativador no desempenho fisiológico de sementes de cenoura. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 3, p.87-95, 2009.

ALMEIDA, A.S.; CARVALHO, I.; DEUNER, C.; TILLMANN, A.; ÂNGELA, M.; VILLELA, F. A. Bioativador no desempenho fisiológico de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 3, p.501-510, 2011.

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. de M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010.

BORGES, C. T. ALMEIDA, A. da S.; DEUNER, C.; JAUER, A.; MENEGHELLO, G. E. Efeito do tiametoxam no tratamento de sementes de feijão. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 11, n. 21, p. 898-907, 2015.

BRASIL. **Regras para análise de sementes.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretária de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C. Marcha de absorção do nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) walp.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de N. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p.895-905. 2009

CASTRO, G. S. A; BOGIANI, J. C.; SILVA, M. G. D.; GAZOLA, E.; ROSOLEM, C. A. Tratamento de sementes de soja com inseticidas e um bioestimulante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 43, n. 10, p. 1311-1318, 2008.

CATANEO, A.C.; ANDRÉO, Y.; SEIFFERT, M.; BÚFALO. J.; FERREIRA.; L.C. Ação do inseticida Cruiser sobre a germinação da soja em condições de estresse. In CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4., 2006, **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2006. p.90.

CATANEO, A.C. Ação do Tiametoxam (Tiametoxam) sobre a germinação de sementes de soja (*Glicine max* L.): enzimas envolvidas na mobilização de reservas e na proteção contra situação de estresse (deficiência hídrica, salinidade e presença de alumínio). In: GAZZONI, D.L. (Ed.). **Tiametoxam: uma revolução na agricultura brasileira**, 2008, p.123-192.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**. Brasília, DF: Conab, 2016.

COSTA, R. Q.; MOREIRA, G. L. P.; SOARES, M. R. S.; VASCONCELOS, R. C.; MORAIS, O. M. Qualidade fisiológica de sementes de milho crioulo e comerciais semeadas na região do Sudoeste da Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia v. 9, n. 16, p. 1873-1880, 2013.

CLAVIJO, J. **Tiametoxam: Um nuevo concepto em vigor y productividad**. Bogotá, Colômbia, 2008.196 p.

DAN, L. G. DE M.; DAN, H. de A.; PICCININ, G. G.; RICCI, T. T.; ORTIZ, A. H. T. Tratamento de sementes com inseticida e a qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 45-51, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FREIRE FILHO, F. R. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Eds.). **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p 28-92.

FREIRE FILHO, F. R. **Feijão-caupi no Brasil: Produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Terezina-PI: EMBRAPA meio Norte, 2011. 84 p.

FROTA, A.B.; PEREIRA, P.R. Caracterização da produção de feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil. In: CARDOSO, M.J. (Org.). **A cultura do feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. p.9-25. (Embrapa Meio-Norte. Circular técnica, 28).

LAUXEN, L.R.; VILLELA, F.A. SOARES, R.C. Desempenho fisiológico de sementes de algodoeiro tratadas com tiametoxam. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 61-68, 2010.

MACEDO, W. R.; CASTRO, P. R. de C. Thiamethoxam: molecule moderator of growth, metabolism and production of spring wheat. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 100, n. 3, p. 299-304, 2011.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MARTINS, G. M.; TOSCANO, L. C.; TOMQUELSKI, G. V.; MARUYAMA, W. I. Inseticidas químicos e microbianos no controle da lagarta-do-cartucho na fase inicial da cultura do milho. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, 2009.

MENTEN, O. J. Tratamento de sementes no Brasil. **Revista Seed News**, Pelotas, v. 1, n. 5, p. 30-32, 2005.

MENTEN, O. J.; MORAES, M.H.D. Avanços no tratamento e recobrimento de sementes. Tratamento de sementes: Históricos, tipos, características e benefício. **Informativo Abrates**, v.20, n3, 2010.

NEVES A. C. das; CÂMARA, J. A. da S.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da.; ATHAYDE SOBRINHO, C. **Cultivo do feijão caupi em sistema agrícola familiar**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Circular Técnico, Teresina-PI, 15 p., 2011.

OLIVEIRA, L. M.; SCHUCH, L. O. B.; BRUNO, R. DE L. A.; PESKE, S. T. Qualidade de sementes de feijão-caupi tratadas com produtos químicos e armazenadas em condições controladas e não controladas de temperatura e umidade. **Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1263-1276, 2015.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin, taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Advances in Cowpea Research**, p. 1-12, 1997.

PEREIRA, O.A.P. Tratamento de sementes de milho no Brasil. In: MENTEN, J.O.M. (Ed.). **Patógenos em sementes: detecção, danos e controle químico**. Piracicaba: FEALQ, 2007. p.271- 279.

ROCHA, M. de M.; CARVALHO, K.J.M. de; FREIRE FILHO, F.R.; LOPES, A.C de A.; GOMES, R.L.F.; SOUSA, I. da S. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.3, p.270-275, 2009.

SERCILOTO, C.M. Bioativadores de Plantas. **Revista Cultivar HF**, v.13, p.20-21, 2002.

SOARES, A. M. S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 1, n. 1, p. 9-19, 2007.

TAVARES, S.; CASTRO, P. R.; RIBEIRO, R. V.; ARAMAKI, P. H. et al. Avaliação dos efeitos fisiológicos de tiametoxam no tratamento de sementes de soja. In: GAZZONI, D. L. (Ed). **Tiametoxam: uma revolução na agricultura brasileira**. Petrópolis: Vozes, 2008. P. 193-204.

TEIXEIRA, N. J. P.; MACHADO, C. de F.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; GOMES, R. L. F. Produção, componentes de produção e suas inter-relações em genótipos de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. walp.). In: Congresso Nacional de Feijão caupi. Reunião Nacional de Feijão caupi, 6, 2006, Teresina-PI. Tecnologias para o agronegócio: **Anais**. Teresina:Embrapa Meio-Norte, 2006. CD-ROM.

CAPÍTULO 3:
RELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO E ADUBAÇÃO
FOSFATADA NA FASE VEGETATIVA DO FEIJÃO-CAUPI CV. BRS
NOVAERA

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi, dentre outras culturas anuais, é uma alternativa viável em regiões semiáridas, visto que é descrito como uma planta rústica, com tolerância moderada a seca. A maior parte das áreas de cultivo do feijão-caupi apresenta chuvas escassas, com períodos longos de estiagem. Além disso, os solos nos quais a cultura é instalada, geralmente, mostram baixa fertilidade. Nessas condições de cultivo, o rendimento da planta é afetado, o que justifica os atuais números de produtividade, que se encontram aquém do potencial genético das cultivares disponíveis no mercado.

A baixa disponibilidade de água no solo promove uma série de reações negativas às plantas que podem ser caracterizadas como estresse hídrico. Dependendo da duração, intensidade e frequência com que as plantas são submetidas à restrição hídrica, poderá ocorrer inibição de processos vitais importantes, o que afeta o desempenho da planta no campo e ameaça, inclusive, a sua sobrevivência.

Em resposta aos efeitos negativos causados pela deficiência hídrica no solo, a planta dispõe de alguns mecanismos fundamentais para a manutenção dos seus processos metabólicos, como, por exemplo, o de tolerância à seca, que, dentre outros eventos, permite a recuperação do seu crescimento. No entanto, mesmo apresentando respostas para amenizar os efeitos do estresse, perdas de rendimento devem ser sempre consideradas, principalmente quando a exposição da planta à baixa disponibilidade de água do solo é prolongada.

Além dos aspectos relacionados à baixa disponibilidade de água no solo, outro fator limitante do crescimento e desenvolvimento da planta está relacionado à falta de práticas que visem à correção e adubação equilibrada. É notório que a oferta de nutrientes, macro e micro, em níveis adequados no solo e de forma disponível para as plantas, é um dos pré-requisitos básicos

para o aumento ou manutenção do seu desempenho, colocando-se como medida fundamental dentro do sistema de produção dessa cultura.

Dentre os nutrientes que afetam o desempenho de plantas de feijão-caupi, pode-se citar o fósforo. Essa indicação é feita porque, mesmo sendo extraído em menor quantidade pela planta quando comparado a outros macronutrientes, é o elemento mais limitante à produtividade das culturas na maioria dos solos brasileiros (SAMPAIO e BRASIL, 2009). Além disso, plantas fertilizadas com altos níveis de fósforo podem sobreviver a longos períodos de seca, pois elas são favorecidas com o maior crescimento das raízes, o que permite explorar uma considerada quantidade de água em maiores profundidades do solo e confere elevada capacidade de absorver água devido à alta condutividade hidráulica da raiz (CHIULELE, 2003).

O uso da adubação fosfatada na cultura do feijão-caupi, associada à irrigação, pode originar diferentes combinações de doses mais adequadas de fósforo, assim como de lâminas de água para o pleno crescimento e desenvolvimento da planta; isso contribui para o seu melhor desempenho no campo. No entanto, estudos envolvendo tais combinações são limitados ao feijão-comum (VALDERRAMA e outros 2009; OLIVEIRA e outros, 2011).

Diante desse contexto, o conhecimento dos aspectos ecofisiológicos é de extrema importância para a condução das lavouras de feijão-caupi, pois permite otimizar a utilização da água e, principalmente, ajustar a fertilidade do solo como forma de amenizar os efeitos do déficit hídrico. Dessa maneira, objetivou-se com este estudo testar a hipótese de que a suplementação de fósforo poderia aumentar a tolerância das plantas de feijão-caupi, de forma a atenuar os efeitos do déficit hídrico nos estádios vegetativos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI: ASPECTOS GERAIS E SOCIOECONÔMICOS

O cultivo do feijão-caupi é predominante na agricultura de subsistência, caracterizada por baixo uso de tecnologia e ocupação de áreas que apresentam fertilidade do solo aquém da necessidade da cultura, o que contribui para uma produtividade de grãos abaixo do potencial dos materiais genéticos disponíveis, que, no Brasil, é, em média, de 400 a 500 kg ha⁻¹. Outros fatores, como o cultivo em solos sem correção e adubação equilibrada e a ocorrência de precipitações pluviométricas irregulares, devido ao fato de a região de implantação da cultura ser geralmente sob clima semiárido, são algumas das razões pelas quais o feijão-caupi apresenta produtividade muito abaixo do seu potencial produtivo, que pode chegar a 6.000 kg ha⁻¹ (MENDES e outros, 2007; SANTOS e outros 2007; FREIRE FILHO e outros, 2011).

Apesar de a maior parte da produção ainda ser oriunda da agricultura familiar, percebe-se certo interesse dos grandes produtores que detêm maior poder aquisitivo e acesso a modernas tecnologias, o que tem contribuído para a expansão da cultura nas regiões Norte e Nordeste, assim como para a região Centro-Oeste e Sudeste, especialmente para o cultivo de outono-inverno (CASTELLETTI e COSTA, 2013; MATOSO e outros, 2013).

O feijão-caupi representa excelente alternativa para o cultivo em rotação ou consórcio com outras culturas, uma vez que tem baixo custo de produção e boa adaptação ao regime pluviométrico em regiões de baixa precipitação. Além disso, é tolerante a altas temperaturas e à seca, desenvolve-se bem em áreas já exploradas. Dessa forma, vem se tornando, em algumas regiões do país, uma importante opção para o cultivo na

segunda safra, em sucessão a culturas tradicionais, como o milho e a soja (MENDES e outros, 2007; GONÇALVES e outros, 2009).

2.2 DÉFICIT HÍDRICO E ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI

De maneira geral, o estresse pode ser definido como um fator externo que exerce influência negativa sobre a planta (TAIZ e ZEIGER, 2017).

O estresse hídrico ocorre quando o suprimento de água até suas raízes torna-se limitante ou quando a taxa de transpiração torna-se intensa. Esse tipo de estresse deve-se principalmente ao déficit hídrico do solo, que, por sua vez, pode acontecer devido a períodos de estiagem prolongada, na ocorrência de precipitações adequadas, mas desuniformes, ou em condições de alta salinidade. Em algumas situações, mesmo com água existente na solução do solo, as plantas não conseguem capturá-la, o que caracteriza uma situação de “seca fisiológica” (COLMAN e outros, 2014; SALEHI-LISAR e BAKHSHAYESHAN-AGDAM, 2016).

O feijão-caupi apresenta ampla adaptabilidade à condição de estiagem prolongada; é classificado como moderadamente tolerante à deficiência hídrica. Entretanto, deve-se considerar que, mesmo apresentando certa rusticidade, a demanda de água por parte da planta varia em função dos seus estádios fenológicos. Essa variação também ocorre devido às diferentes cultivares disponíveis, que apresentam características genéticas, fisiológicas e morfológicas intrínsecas e, portanto, respondem de forma diferenciada às condições edafoclimáticas locais. É possível ainda que a capacidade da planta de enfrentar condições ambientais desfavoráveis seja aumentada, como consequência da exposição anterior ao estresse, o que levaria a uma aclimação ao ambiente estressante (SANTOS e outros, 2009; TAIZ e ZEIGER, 2017; FREIRE FILHO e outros 2011; COLMAN e outros, 2014).

Trabalhos realizados com o intuito de avaliar os efeitos do estresse hídrico no crescimento e desenvolvimento de plantas de feijão-caupi têm relatado que, sob estresse hídrico leve, as plantas aceleram seu desenvolvimento e, portanto, aumentam sua precocidade. Mas, quando estão sob estresse hídrico severo, as plantas tendem a atrasar o seu crescimento e desenvolvimento, além de ser levadas, de forma precoce, à abscisão de folhas e frutos devido ao acúmulo de ácido abscísico (ASCH e outros, 2001).

As investigações a respeito do estresse hídrico em plantas de feijão-caupi têm demonstrado que seus efeitos são mais prejudiciais no início e durante o florescimento, estendendo-se até a fase de desenvolvimento dos grãos. Nos estádios vegetativos, é relatada redução da altura das plantas, da produção de biomassa da parte aérea e da área foliar. Com relação à redução da área foliar devido ao estresse hídrico, esta pode ser atribuída tanto à diminuição da taxa de expansão foliar como do aumento da senescência das folhas (MAITI e outros, 1996; WINKEL e outros, 1997).

Cada órgão da planta responde de forma diferenciada ao estresse hídrico. Em comparação com a parte aérea, a raiz, por exemplo, tem seu crescimento menos afetado pelo estresse hídrico. No entanto, alguns estudos divergem sobre essa afirmação e verificam reduções significativas no crescimento das raízes. O consenso é de que o aumento do crescimento das raízes em condições de baixa disponibilidade de água contribui para o aumento da tolerância à seca, dada a maior capacidade de exploração do volume do solo para extração tanto de água como de nutrientes (TURK e HALL 1980; WU e COSGROVE, 2000; BAJJI, LITTUS e KINET, 2001).

2.2.1 Efeitos do estresse hídrico nos processos fisiológicos da planta

As estratégias utilizadas pelas plantas para lidar com o estresse hídrico podem ser divididas em três tipos: escape à seca, conservação da água e tolerância à seca (SALEHI-LISAR e BAKHSHAYESHAN-

AGDAM, 2016). Em regiões semiáridas, a principal estratégia usada pelas plantas é o escape à seca. No entanto, devido à pluviosidade irregular, a qual apresenta grandes períodos sem chuvas durante o ciclo da cultura, a sobrevivência das plantas e o seu rendimento dependerão de várias estratégias, que poderiam ser classificadas como conservação da água ou tolerância à seca. Nesse contexto, o feijão-caupi é considerado como uma planta que possui um mecanismo conservador de resistência à seca, com alto e eficiente controle estomático (FREITAS e outros, 2014).

O feijão-caupi é uma cultura que apresenta estômatos altamente responsivos à redução da disponibilidade de água, fechando-se rapidamente e reduzindo a sua condutância estomática e, conseqüentemente, a sua transpiração foliar; assim, isso permite que o potencial hídrico e o teor relativo de água de suas folhas permaneçam com valores elevados e, aproximadamente, constantes durante a imposição da seca (SINGH e REDDY, 2011). O fechamento estomático é um mecanismo adaptativo das plantas para evitar perdas excessivas de água, quando ocorrem situações de estresse. No entanto, esse mecanismo interfere na atividade fotossintética, limitando a entrada de CO₂ pelos estômatos, o que pode ocasionar redução na produção de fotoassimilados. (SCHULZE e outros, 1987).

O desequilíbrio entre a captura de luz e sua utilização causado pela seca inibe a fotossíntese nas folhas. A dissipação do excesso de energia luminosa no aparato fotossintético resulta na geração de espécies reativas de oxigênio (EROs). Em função de sua produção, ocorrem danos às membranas e às macromoléculas que afetam o metabolismo celular. Para tentar eliminar as EROs, as células ativam alguns mecanismos de resposta, como, por exemplo, a produção de proteínas de estresse, regulação positiva de sistemas antioxidantes e acúmulo de solutos compatíveis. As estratégias das plantas para lidar com a seca, normalmente, envolvem uma mistura de prevenção e tolerância ao estresse. Os principais aspectos das respostas das plantas à água envolvem a manutenção do equilíbrio iônico e ajuste osmótico,

eliminação de EROs e regulação e recuperação do crescimento (SALEHI-LISAR e BAKHSHAYESHAN-AGDAM, 2016).

A resposta das plantas ao déficit hídrico envolve, também, alterações nas proporções de aminoácidos e aumentos frequentes na concentração de prolina, ocasionada por distúrbios metabólicos das proteinases, podendo ser atribuída, possivelmente, à manutenção do potencial hídrico foliar (CAMPOS e outros, 2004). Essa resposta é importante, visto que a redução do potencial hídrico provoca restrição ao crescimento da planta, pois as taxas de alongamento e de divisão celular dependem diretamente do processo de extensibilidade da parede celular (ASHRAF e HARRIS, 2004).

O papel da osmoadação no feijão-caupi tem sido controverso. Em algumas cultivares sob estresse hídrico, mudanças rápidas e significativas na prolina, que favorecem o ajuste osmótico, têm sido relatadas (HAMIDOU e outros, 2007; COSTA e outros, 2008). Em outras cultivares, a prolina, dificilmente, acumulou-se ou apareceu vários dias após a irrigação cessar (SINGH e REDDY, 2011; SHUI e outros, 2013). Respostas tardias podem estar relacionadas a mecanismos induzidos tanto pelas limitações da fotossíntese causadas pelo fechamento estomático como pelo não estomático, visando à proteção do aparato fotossintético contra as EROs (PINHEIRO e CHAVES, 2011; SÁNCHEZ-MARTÍN e outros, 2015).

2.3 ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CULTIVO DO FEIJÃO-CAUPI

Além dos aspectos relacionados à disponibilidade de água no solo durante o desenvolvimento e crescimento do feijão-caupi, altos índices de produção, bem como a ótima qualidade dos produtos, são alcançados com o equilíbrio no fornecimento de macro e micronutrientes que atuam no metabolismo vegetal (SANTOS e outros, 2007). Entre os macronutrientes, o fósforo é o nutriente extraído em menor quantidade pelo feijão-caupi, mas é

o elemento mais limitante para a produtividade das culturas na maioria dos solos brasileiros (SAMPAIO e BRASIL, 2009).

A disponibilidade de fósforo no solo de maneira adequada às plantas é importante devido ao fato de esse elemento estar diretamente ligado a processos metabólicos fundamentais, como na transferência de energia da célula, na respiração e fotossíntese, na estrutura dos ácidos nucleicos, de genes e cromossomos e de várias coenzimas. Dessa maneira, o suprimento adequado do fósforo é essencial desde os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (MALAVOLTA, 1980; GRANT e outros, 2001; SOUTO e outros, 2009).

Dentre os benefícios do fósforo quando ofertado de forma adequada às plantas, podem-se citar o bom desenvolvimento do sistema radicular, o aumento na absorção de outros nutrientes, aumento na absorção de água, melhoria do vigor das plantas, aumento da massa seca da parte aérea e favorecimento da floração e frutificação, o que resulta em maior número de vagens. Todas essas características reunidas proporcionam elevação do desempenho da planta e, conseqüentemente, nos rendimentos das culturas (FILGUEIRA, 2000; YAMADA; ABDALLA, 2003).

O fósforo presente no solo desloca-se, principalmente, pelo mecanismo de difusão até chegar à superfície das raízes. A exigência do feijão-caupi em solos com baixo nível de fósforo é de 60 kg ha⁻¹, porém muitos resultados de pesquisas vêm apontando respostas positivas às doses superiores a essa (FREIRE FILHO e outros, 2011), como, por exemplo, 90 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (SILVA e outros, 2010), 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (OLIVEIRA e outros, 2011) e 168 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (BENVINDO, 2012).

Na planta, a deficiência de fósforo manifesta-se inicialmente por meio de uma coloração verde-escura, que pode avançar para pontos ou raias arroxeadas, resultado da formação de antocianinas pelo acúmulo de açúcares que não foram convertidos em amido e celulose. Esses sintomas, geralmente, são observados nas hastes e folhas mais velhas, devido à alta mobilidade do elemento nos tecidos vegetais (TROEH e THOMPSON, 2007; TAIZ e

ZEIGER, 2009). Os principais problemas à sua deficiência relacionam-se com o baixo teor do nutriente no solo, reduzida solubilidade dos compostos de fósforo encontrados no solo e as transformações de fósforo em forma lábil em não-lábil. Com isso, é necessário o pleno conhecimento acerca da forma de distribuição do fósforo, das fontes disponíveis, do teor do nutriente existente no solo, das doses mais eficientes desse elemento e de seus efeitos na planta (ROLIM NETO, 2004; SILVA, 2007).

2.3.1 Relação entre a adubação fosfatada e os efeitos do déficit hídrico nas plantas

Para diversas espécies vegetais, têm-se verificado benefícios da suplementação de fósforo, como atenuante dos efeitos do déficit hídrico do solo. A exemplo disso, em trabalho realizado por Kuwahara e Souza (2009), foi constatado que a adubação fosfatada pode levar à recuperação da fotossíntese das plantas após um período de estiagem.

Em estudo realizado por Chiulele (2003), foi verificado que plantas fertilizadas com altos níveis de fósforo sobreviveram a longos períodos de seca, o que favoreceu o maior crescimento das raízes; isso permitiu explorar uma considerada quantidade de água em maiores profundidades do solo e conferiu elevada capacidade de absorver água devido à alta condutividade hidráulica da raiz.

Ao avaliar a relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja, Firmano e outros (2009) relataram que a suplementação de fósforo contribui para minimizar os efeitos da deficiência hídrica na assimilação líquida de CO₂. No entanto, discorrem que a suplementação não foi suficiente para elevar a estabilidade na produção de biomassa nas vagens.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em ambiente protegido, com cobertura de polietileno e tela lateral, localizada na área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* de Vitória da Conquista - BA. O local de implantação do experimento possui coordenadas geográficas de 15,95° de latitude sul e 40,48° de longitude oeste de Greenwich, com altitude de 839 m (EMBRAPA, 2003).

O ensaio foi realizado em vasos com capacidade de 8 dm³, preenchidos com solo peneirado com peneira de 5 mm e homogeneizado, retirado da camada arável da área experimental. O solo, de textura franco-argilo-arenosa, apresentou as seguintes características químicas: pH (H₂O) = 5.5; P, K e Ca = 7 mg/dm³, 0.23 cmol_c/dm³, 2.0 cmol_c/dm³, respectivamente; Mg, Al, H e CTC_{efetiva} = 0.7 cmol_c/dm³, 0.1 cmol_c/dm³, 2.7 cmol_c/dm³ e 3.0 cmol_c/dm³, respectivamente; saturação de bases (V) = 51%.

A adubação de fundação nas parcelas foi realizada com base na análise de solo e no boletim técnico de recomendação de adubação para o feijão-caupi (ANDRADE JÚNIOR e outros, 2002) e consistiu na aplicação de 20 kg ha⁻¹ (10 mg dm⁻³) de K₂O, na forma de cloreto de potássio; e, vinte dias após a semeadura, fez-se aplicação de 20 kg ha⁻¹ (10 mg dm⁻³) de nitrogênio, em cobertura, na forma de ureia.

A dose de fósforo foi estabelecida também de acordo com análise de solo e aplicada em dose única na ocasião da semeadura, com recomendação de 40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (20 mg dm⁻³). Com base nessa dose, foram definidas suplementações maiores de fósforo, para compor os outros tratamentos, e foram adotadas, então, as doses 100; 160; 220; e 280 kg ha⁻¹, representando, respectivamente, 50; 80; 110; e 140 mg dm⁻³.

Foi utilizada a cultivar de feijão-caupi BRS Novaera, que apresenta crescimento indeterminado, porte semiereto, com floração aos 41 dias e ciclo de vida precoce de 65 a 75 dias (EMBRAPA, 2009). Foram semeadas quatro

sementes dessa cultivar em cada vaso a uma profundidade de 3 cm. A emergência das plântulas estabilizou-se no quinto dia após a semeadura, e o desbaste foi realizado dez dias após a semeadura (DAS); manteve-se a planta mais vigorosa.

Durante dez dias após a emergência (DAE), a umidade do solo foi mantida no nível de 100% da capacidade de vaso em todos os tratamentos. Após esse período, as irrigações foram realizadas de acordo com os níveis de água na capacidade de vaso previamente determinados (0; 33; 66; e 100%) durante a fase vegetativa do feijão-caupi. Para os tratamentos com restrição hídrica, o tempo total durante o qual as plantas foram expostas ao estresse hídrico foi de 32 dias, considerando que o estágio vegetativo encerrou-se aos 42 dias após a emergência.

O controle da irrigação foi realizado diariamente por meio do método da pesagem, sempre entre as 7 e as 8 horas da manhã. Nesse método, a quantidade de água consumida era repostada com o intuito de manter a umidade do solo previamente estabelecida para cada tratamento.

Para a estimativa da capacidade de vaso, utilizaram-se quatro vasos preenchidos com solo, os quais foram colocados para saturação em uma caixa d'água com volume equivalente a 2/3 da altura dos vasos. Dessa forma, os vasos foram mantidos por um período de 24 horas, para que ocorresse a saturação completa. Posteriormente, esses vasos foram cobertos com filme plástico, para evitar a evaporação, e colocados para drenar livremente; avaliaram-se as suas massas nos tempos zero e após 12, 24, 36, 48, 60 e 72 horas. Para estimar os níveis de água do solo, foi utilizado o método da taxa de decréscimo do teor de água, proposto por Casarolli e Jong Van Lier (2008).

O delineamento experimental empregado foi em blocos ao acaso em um esquema fatorial 4 x 5, cujo primeiro fator referiu-se aos níveis de água no solo (0; 33; 66; e 100%) e o segundo fator, às cinco doses de fósforo (40; 100; 160; 220; e 280 kg ha⁻¹).

Aos 42 dias após a emergência, foram realizadas as seguintes avaliações:

a) Potencial hídrico foliar (Ψ_w) – Foi coletado o primeiro par de folhas totalmente expandidas no período antemanhã. Esse parâmetro foi determinado com o auxílio de uma câmara de pressão (Modelo 1000, PMS), e a leitura foi feita em Bar e, posteriormente, convertida a Megapascal (MPa), conforme metodologia de Scholander e outros (1965).

b) Teor relativo de água na folha (TRA) – Foram retirados 10 discos foliares de 5 mm de diâmetro cada do segundo par de folha totalmente expandido, os quais foram pesados e colocados para saturação em placas de petri com água destilada por 24 horas. Posteriormente, os discos foram pesados para aferir o peso túrgido e, em seguida, foram colocados para secar na estufa a 70°C por 48 horas para a obtenção do peso seco. Para calcular o teor relativo de água, utilizou-se a seguinte fórmula, pela qual os resultados foram expressos em porcentagem: $TRA (\%) = ((\text{massa fresca} - \text{massa seca}) / (\text{massa túrgida} - \text{massa seca})) * 100$.

c) Prolina (PRO) – A determinação do teor de prolina foi feita baseada em metodologia descrita por Bates (1973). Para a obtenção do extrato, 0,2 g de tecido foliar foi macerado e homogeneizado em 6 mL de ácido sulfossalicílico 3% (p/v). Após centrifugação (7500 rpm) por 10 minutos, 2 mL do extrato foram coletados e adicionados a 2 mL de solução ácida de ninhidrina (1,25 g de ninhidrina; 30 mL de ácido acético glacial; 20 mL de ácido fosfórico 6 M) e 2 mL de ácido acético glacial, em tubos de ensaio de 15 mL. As amostras foram incubadas a 100°C por 1 hora e, em seguida, colocadas em gelo para paralisar a reação. Foram adicionados 4 mL de tolueno na solução; em seguida, agitou-se por 20 segundos para a completa extração da prolina. O sobrenadante foi utilizado para a leitura em espectrofotômetro a 520 nm, e as absorbâncias, comparadas à curva-padrão de prolina (0 a 100 $\mu\text{g. mL}^{-1}$). As análises foram realizadas em triplicata, e os resultados obtidos, expressos em micromol de prolina por grama de massa fresca ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF).

d) Açúcares solúveis totais (AST) – Para obtenção do extrato, 15 mL de solução tampão fosfato de potássio 0,1 M foram utilizados como extrator, para cada 200 mg de matéria seca homogeneizada e triturada. O volume total do extrator foi dividido em três volumes iguais, para a realização de três centrifugações de 45 minutos, a 2.500 rpm. O sobrenadante foi recolhido como extrato, e a quantificação foi realizada pelo método da antrona, conforme descrição de Yemm e Willis (1954), com modificações. Para a quantificação de AST nas folhas, adicionou-se uma alíquota de 0,05 mL do extrato a 2 mL de antrona e 0,95 mL de água deionizada, totalizando um volume reacional de 3 mL, em recipiente mantido sob baixa temperatura, com agitação por 20 segundos. Em seguida, o volume reacional foi submetido ao banho-maria, por três minutos. Após o resfriamento, foi realizada a leitura em espectrofotômetro, a 620 nm, cujos resultados foram expressos em mmol de AST g⁻¹ de matéria seca. Para a determinação nas raízes, a alíquota utilizada foi de 0,1 mL.

e) Açúcares redutores (AR) – Para obtenção do extrato, 15 mL de solução tampão fosfato de potássio 0,1 M foram utilizados como extrator, para cada 200 mg de matéria seca homogeneizada e triturada. O volume total do extrator foi dividido em três volumes iguais, para a realização de três centrifugações de 45 minutos, a 2.500 rpm. O sobrenadante foi recolhido e quantificado pelo método do ácido dinitrosalicílico (DNS), conforme descrição de Miller (1959), com modificações. Para as folhas, o método consistiu na adição de uma alíquota de 0,6 mL do extrato a 0,5 mL de DNS e 0,4 mL de água deionizada, totalizando um volume reacional de 1,5 mL, que foi submetido ao banho-maria, a 100°C, por cinco minutos. Após o resfriamento à temperatura ambiente, foram adicionados 3,5 mL de água deionizada, completando o volume para 5,0 mL. Em seguida, a leitura foi realizada em espectrofotômetro, a 540 nm, e os resultados foram expressos em mmol de AR g⁻¹ matéria seca. Para as determinações de AR nas raízes, a alíquota utilizada foi de 0,7 mL.

f) Aminoácidos totais (AMT) – Para a obtenção do extrato, 0,2 g de tecido foliar foi macerado e homogeneizado em 2 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,3), previamente resfriado a 4°C. Após centrifugação por 10 min, a 4°C, em 7.500 rpm, o sobrenadante foi transferido para um novo tubo e mantido em baixa temperatura até o momento das análises. Os extratos foram submetidos à quantificação de aminoácidos totais, conforme Yemm e Cocking (1955). O método de quantificação consistiu na adição de uma alíquota de 0,6 mL do extrato a uma solução contendo 0,5 mL de citrato de sódio (0,2 M, pH 5), 0,2 mL de ninhidrina (5% em metil celosolve), 1,0 mL de KCN 0,01 M (2% em metil celosolve) e 0,4 mL de água deionizada, totalizando um volume reacional de 2,7 mL, que foi agitado e submetido ao banho-maria, a 100°C, por 20 minutos. Após o resfriamento à temperatura ambiente, adicionou-se 1,3 mL de etanol 60% (v/v), completando o volume para 4,0 mL. Em seguida, a leitura foi realizada em espectrofotômetro, a 570 nm, e os resultados foram expressos em μmol de aminoácidos g^{-1} matéria fresca.

g) Clorofila total (CLT) – Realizada no primeiro par de folhas totalmente expandido a partir do ápice da planta, com média de três leituras por parcela, por meio de um clorofilômetro portátil modelo CFL 1030, FALKER (Porto Alegre, Brasil). Os resultados foram dados em Índice de Clorofila Falker (ICF).

h) Massa seca (folhas: MSF; caule: MSC; raízes: MSR; parte aérea: MSPA e total: MST;) e a relação parte aérea/raiz (PA/RA) – As plantas foram seccionadas e colocadas para secar em estufa de circulação de ar forçada, a 60°C, até atingir peso constante. Posteriormente, o material vegetal foi pesado em balança digital para a determinação da massa seca. Para a determinação da PA/RA, utilizou-se a seguinte fórmula: $PA/RA = (MSF+MSC)/MSR$. Os resultados foram expressos em gramas (g).

3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística, foi utilizado o programa Sisvar® versão 5.6 (Ferreira, 2014). Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Lilliefors e homogeneidade de variâncias pelo teste de Cochran. Após a realização da análise de variância pelo teste “F”, quando houve diferença significativa, foi realizada análise de regressão, selecionando-se os modelos com base na significância do teste “F” ($p \leq 0,05$), maior coeficiente de determinação e comportamento biológico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O nível de água do solo afetou o potencial hídrico foliar, entretanto não foi significativo para o teor relativo de água. Não foram verificadas influências isoladas do fósforo para esses mesmos parâmetros. No entanto, foi observado efeito de interação entre os níveis de água do solo e as doses de fósforo para ambas as variáveis. (Tabela 3.1).

Ao realizar o desdobramento da interação, foi observado que todos os fatores demonstraram significância. No entanto, ao fazer a análise de regressão dos dados, apenas as doses dentro do nível de água do solo a 0% foram representativas no modelo polinomial de segundo grau. Portanto, todos os efeitos de interação que serão mostrados são referentes ao nível de água do solo mais baixo, aplicados neste trabalho.

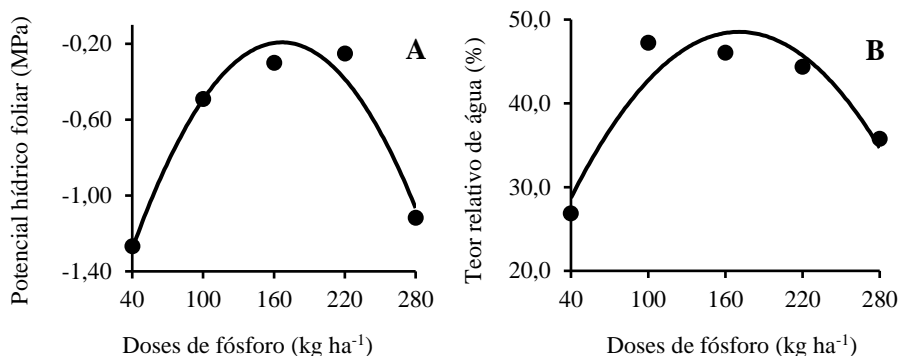
Tabela 3.1 - Resumo da análise de variância e coeficientes de variação referentes às características de potencial hídrico (Ψ_w) e teor relativo de água (TRA), de plantas de feijão-caupi cv. Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	
		Ψ_w	TRA
Bloco	2	0,02	50,87
Nível de água do solo (NAS)	3	0,28 *	46,94
Dose de fósforo (DF)	4	0,03	20,55
NAS x DF	12	0,44 *	247,85 *
Resíduo	38	0,33	33,36
CV (%)		38,62	6,32

* significativo pelo teste "F" ($p \leq 0,05$)

O nível de água do solo mais crítico causou efeitos no potencial hídrico foliar, o que promoveu sua redução de maneira significativa. Entretanto, em virtude da adição do fósforo no solo, verificou-se que a elevação das doses desse nutriente até 162,14 kg ha⁻¹ de P₂O₅ provocou aumento do potencial hídrico foliar (Figura 3.1A). Da mesma forma, doses

próximas a essa permitiram a manutenção da hidratação das células mesmo sob restrição hídrica severa, o que proporcionou o aumento do teor relativo de água (Figura 3.1B).



$$(A) \hat{Y}^* = -2,0797 + 0,0227x - 7E-05x^2 (R^2 = 0,96)$$

$$(B) \hat{Y}^* = 14,746 + 0,3958x - 0,0012x^2 (R^2 = 0,89)$$

Figura 3.1 - Efeito da interação entre o nível de água do solo a 0% e as doses de fósforo no potencial hídrico foliar (A) e no teor relativo de água (B) em plantas de feijão-caupi *cv.* Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.

Entretanto, doses superiores à máxima indicada no modelo de regressão promoveram decréscimos nessas variáveis. De acordo com Ackerson, (1985) e Duan e Augé, (1992) a nutrição fosfatada quando reforçada pode levar ao aumento da condutância estomática e da transpiração, o que justificaria a redução do potencial hídrico foliar e do teor relativo de água observada neste estudo.

Na cultura do algodão, a nutrição com fósforo alterou a relação entre turgescência foliar e condutância estomática, aumentando o limiar de turgescência para o fechamento estomático. As plantas de algodão deficientes em fósforo fecharam seus estômatos em um turgor próximo de -0,31 MPa, enquanto plantas com altas doses de fósforo fecharam seus estômatos em um turgor próximo de 0 (-0,06 MPa) (RADIN, 1984). Esses resultados poderiam sustentar a ideia de maior controle estomático pela

planta de feijão-caupi, em virtude de a manutenção da hidratação das células permanecerem altas mesmo sob condições de seca.

O fechamento estomático é o principal mecanismo utilizado pelas plantas para minimizar os efeitos do estresse hídrico prolongado, evitando assim sua desidratação (OLIVEIRA e outros, 2014). Diante disso, autores como Hamidou e outros (2007) e Bastos e outros (2011) relatam que o controle estomático é a principal característica fisiológica para evitar a perda de água em plantas C3, como o feijão-caupi.

É importante considerar que, naturalmente, o feijão-caupi tende a responder rapidamente ao estresse hídrico com o fechamento estomático, principalmente em condições de deficiência hídrica severa. Essa estratégia permite a manutenção do teor relativo de água, possibilitando a tolerância à seca. Nessas condições, os baixos valores de condutância estomática são de grande importância para a manutenção do teor relativo de água. Essa estratégia permite às plantas manter suas atividades metabólicas mesmo com a redução do teor relativo de água, conferindo-lhes assim tecidos que podem tolerar a desidratação, mantendo um baixo conteúdo relativo de água crítico (SINCLAIR e LUDLOW, 1986; LIKOSWE e LAWN, 2008).

Nesse contexto, a suplementação de fósforo demonstrou interferir positivamente na manutenção do teor relativo de água, mesmo sob condições de deficiência hídrica severa. Esse resultado sugere que, nas condições em que foi realizado o experimento, houve uma potencialização dos mecanismos de defesa da planta favorecendo, dentre outros aspectos, a preservação da turgescência celular mesmo em situação de menor disponibilidade hídrica.

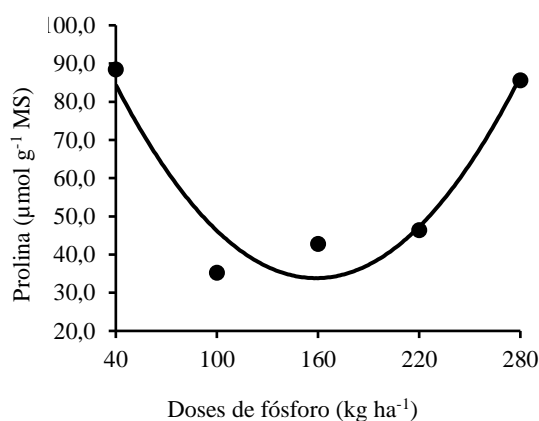
Para a prolina, tanto os níveis de água do solo como as doses de fósforo influenciaram na sua concentração na planta. Além disso, foi observado efeito de interação entre os fatores (NAS x DF), conforme apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Resumo da análise de variância e coeficientes de variação referentes às características de teor de prolina (PRO) de plantas de feijão-caupi *cv.* Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS
		PRO
Bloco	2	107,12
Nível de água do solo (NAS)	3	7315,87 *
Dose de fósforo (DF)	4	1710,29 *
NAS x DF	12	9513,02 *
Resíduo	38	6092,39
CV (%)		28,48

* significativo pelo teste “F” ($p \leq 0,05$)

Em relação à concentração de prolina, foi verificado efeito inversamente proporcional ao potencial hídrico, nas mesmas condições de conteúdo de água do solo. Assim, a interferência positiva do fósforo sobre o potencial hídrico promoveu reduções significativas nas concentrações de prolina (Figura 3.2).



(A) $\hat{Y}^* = 124,23 - 1,139x + 0,0036x^2$ ($R^2 = 0,91$)

Figura 3.2 – Efeito da interação entre o nível de água do solo a 0% e as doses de fósforo na concentração de prolina em plantas de feijão-caupi *cv.* Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.

O fato de a concentração de prolina estar vinculada com as modificações do potencial hídrico foliar aponta que as doses de fósforo alteram a maneira como as plantas respondem ao estresse hídrico intenso e utilizam suas estratégias para minimizar seus efeitos.

A associação entre o acúmulo de prolina e o fósforo pode sugerir que esse aminoácido poderia ser um mecanismo específico para as plantas apresentarem maior tolerância a baixas doses desse nutriente no solo (AL-KARAKI e outros, 1996). Entretanto, o suprimento de fósforo pode aumentar os níveis teciduais da prolina (GUIMARÃES e outros, 2008), o que demonstra resultados controversos sobre os aspectos que norteiam a relação entre as doses de fósforo e esse aminoácido.

O aumento das concentrações de prolina indica a resposta da planta ao estresse hídrico devido à deficiência de água do solo. Isso ocorre porque, sob condições de escassez de água, há redução do potencial hídrico foliar; em consequência, elevam-se as concentrações de prolina como forma de proteger a planta contra a desidratação (COSTA e outro, 2008). Assim, a elevação das doses de fósforo até 158,19 kg ha⁻¹ de P₂O₅ pode ter limitado a atuação dessa proteína na resposta ao estresse hídrico severo, visto que esse nutriente promoveu aumento do potencial hídrico.

Durante o estresse hídrico, as mitocôndrias e os cloroplastos das plantas acumulam espécies reativas de oxigênio (ERO) como subproduto da respiração e da fotossíntese (MITTLER, 2002). Em resposta a esse acúmulo de ERO, vários mecanismos enzimáticos, não enzimáticos ou a indução de transporte de elétrons podem atuar limitando a sua quantidade (ZEGAOUI e outros, 2017). Entre esses mecanismos, pode-se citar a síntese de osmólitos, moléculas pequenas, como o açúcar e o aminoácido prolina. Por sua vez, essas moléculas permitem que as células vegetais resistam à desidratação, mantendo o turgor, tamponando-as contra as EROs (SZABADOS e SAVOURÉ, 2010).

Nas variáveis açúcares solúveis totais, açúcares redutores e aminoácidos totais, não foi observado efeito significativo dos níveis de água do solo e das doses de fósforo. O teor de clorofila total foi influenciado pelo nível de água do solo; observou-se também efeito da interação entre os fatores analisados. (Tabela 3.3).

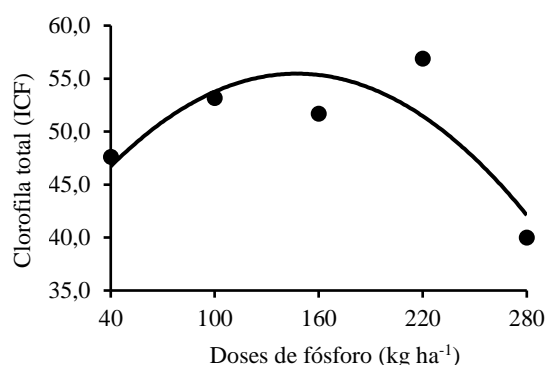
Tabela 3.3 - Resumo da análise de variância e coeficientes de variação referentes às características de açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), aminoácidos totais (AMT) e estimativa do teor de clorofila total (CLT) de plantas de feijão-caupi *cv.* Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		AST	AR	AMT	CLT
Bloco	2	2518,6	3,51	9,81	14,33
Nível de água do solo (NAS)	3	65363,5	66,82	8,00	19,64
Dose de fósforo (DF)	4	41411,3	33,47	0,50	109,37 *
NAS x DF	12	69676,8	58,91	11,07	534,26 *
Resíduo	38	110593,4	29,23	9,89	17,41
CV (%)		62,62	44,89	44,48	8,40

* significativo pelo teste “F” ($p \leq 0,05$)

Os benefícios de doses mais elevadas de fósforo, quando o nível de água no solo foi crítico, também ficaram evidentes no teor de clorofila, promovendo aumento dos seus índices. Porém, quantidades acima de 139,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅ mostraram efeitos negativos nessa variável, que provocaram decréscimos significativos nos seus valores (Figura 3.3).

Diante desses resultados, nota-se que a associação entre NAS x DF, aparentemente, reduziu o processo de degradação da clorofila, em plantas submetidas à restrição hídrica mais severa, em função da oferta de determinadas doses de fósforo. Em plantas de café, tratadas com o dobro da dose recomendada de fósforo, foi observado maior conteúdo de clorofila devido ao aumento da atividade fotoquímica (SILVA, 2010).



• $\hat{Y}^* = 38,987 + 0,2237x - 0,0008x^2$ (R= 0,71)

Figura 3.3 – Efeito de interação dos níveis de água no solo a 0% e as doses de fósforo na clorofila total de plantas de feijão-caupi cv. Novaera, Vitória da Conquista-BA, 2017.

Foi verificado que quantidades excessivas de fósforo provocaram reduções no teor de clorofila. Essas reduções podem ser atribuídas ao aumento da enzima clorofilase, que degrada a clorofila. Além disso, pode ocorrer diminuição da síntese de clorofila em função da competição por nitrogênio com outros compostos, como, por exemplo, a prolina (ROSA-IBARRA e MAITI, 1995). Nesse aspecto, o aumento das concentrações de prolina verificados neste estudo pode ter contribuído para a rápida redução da clorofila total.

O nível de água do solo afetou todas as variáveis relacionadas ao acúmulo de massa seca das plantas, com exceção da massa seca da raiz e a relação parte aérea/raiz. Não houve interferências das doses de fósforo nesses parâmetros. Porém, efeito de interação foi verificado em todas as variáveis analisadas, exceto a relação parte aérea/raiz (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 - Resumo da análise de variância e coeficientes de variação referentes às características, massa seca de caule (MSC), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de folha (MSF), massa seca de raiz (MSR), massa seca total (MST) e relação parte aérea/raiz (PA/RA) de plantas de feijão-caupi, cv. Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.

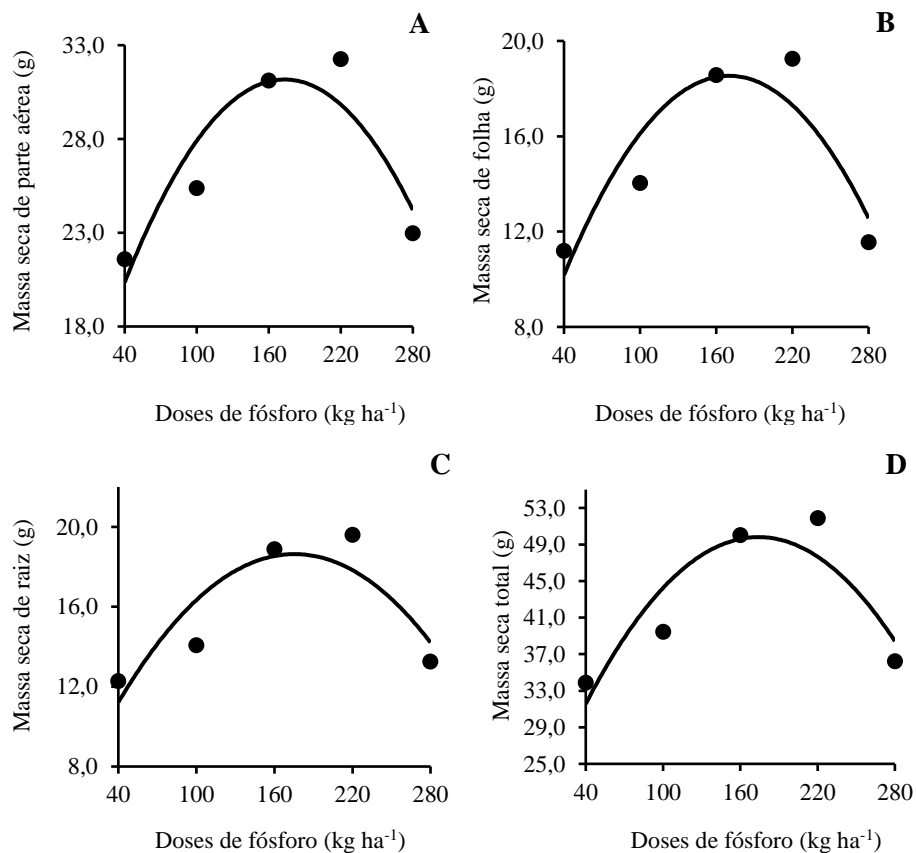
FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		MSC	MSPA	MSF
Bloco	2	0,37	4,30	3,35
Nível de água do solo (NAS)	3	9,28 *	61,14 *	23,10 *
Dose de fósforo (DF)	4	0,68	2,09	0,59
NAS x DF	12	7,06 *	129,89 *	78,00 *
Resíduo	38	0,47	4,34	2,35
CV (%)		5,37	7,10	9,27

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		MSR	MST	PA/RA
Bloco	2	17,00	6,76	0,21
Nível de água do solo (NAS)	3	0,46	68,59 *	0,21
Dose de fósforo (DF)	4	1,34	1,39	0,05
NAS x DF	12	41,70 *	300,00 *	0,10
Resíduo	38	9,39	4,76	0,11
CV (%)		19,39	7,77	17,09

* significativo pelo teste "F" ($p \leq 0,05$).

O acúmulo de massa seca nas diferentes partes da planta (caule, folha, raiz, parte aérea e massa seca total) foi influenciado pelas doses de fósforo sob nível crítico de água do solo.

Foi verificada maior capacidade da planta de acumular assimilados à medida que a quantidade de fósforo foi aumentada até uma dose média de 174,68 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figuras 3.4A, 3.4B, 3.4C e 3.4D). Apesar de a massa seca do caule apresentar efeito de interação significativo, não foi possível estabelecer um modelo de regressão que se ajustasse ao desempenho apresentado por esse parâmetro. Neste estudo, houve efeito negativo, que passou a contribuir para a diminuição do acúmulo de massa seca.



(A) $\hat{Y}^* = 12,872 + 0,2113x - 0,0006x^2$ ($R^2 = 0,83$)
 (B) $\hat{Y}^* = 4,2406 + 0,1682x - 0,0005x^2$ ($R^2 = 0,83$)
 (C) $\hat{Y}^* = 6,1804 + 0,142x - 0,0004x^2$ ($R^2 = 0,77$)
 (D) $\hat{Y}^* = 19,053 + 0,3533x - 0,001x^2$ ($R^2 = 0,81$)

Figura 3.4 - Efeito da interação entre o nível de água do solo a 0% e as doses de fósforo na massa seca da parte aérea (A), massa seca de folha (B), massa seca de raiz (C) e massa seca total (D) de plantas de feijão-caupi cv. Novaera. Vitória da Conquista-BA, 2017.

O efeito da restrição hídrica em plantas de feijão-caupi reduziu o acúmulo de assimilados em suas diferentes partes em consequência do estresse hídrico. Essa diminuição no acúmulo de massa seca pode ser atribuída ao aumento da taxa transpiratória, pois reduz a assimilação de carbono.

A combinação do nível de água crítico com as doses de fósforo favoreceu a redução dos efeitos deletérios desse tipo de estresse. Entretanto,

doses excessivas desse nutriente, acima das indicadas neste estudo, tiveram efeito negativo e, assim, passaram a contribuir para a diminuição do acúmulo de massa seca.

Sob déficit hídrico moderado e antes do rompimento da membrana do cloroplasto, a limitação de fósforo pode causar decréscimo na fotossíntese. Essas reduções na fotossíntese de plantas submetidas à deficiência hídrica podem estar relacionadas à limitação da síntese de ribulose-1,5-bifosfato (RuBP), e não à inibição das enzimas no ciclo de Calvin. A limitação da síntese de RuBP, provavelmente, está ligada à redução na síntese de ATP (LAWLOR, 2002).

A diminuição na síntese de ATP no cloroplasto, reduzindo as taxas fotossintéticas, pode ser causada por baixa disponibilidade de fosfato inorgânico citoplasmático livre (Pi), trocado por triose-fosfato do cloroplasto por translocadores de fosfato (PT) que usam o Pi como substrato (FLÜGGE e, 2003). Com isso, o aumento da disponibilidade do fósforo celular poderia minimizar esses efeitos elevando a regeneração da RuBP e/ou atividade rubisco, por meio de maior entrada de fósforo no cloroplasto, o que induziria, teoricamente, a um aumento na assimilação de CO₂.

Como resposta ao déficit hídrico, as plantas passam por mudanças fundamentais na relação da célula com a água e nos seus processos morfofisiológicos, influenciando a sua capacidade de tolerar as condições adversas do meio. Tais mudanças restringem o acúmulo de biomassa, prejudicando o crescimento inicial das plantas, assim como os estádios mais tardios, limitando a dimensão das folhas individuais, o número de folhas, a área foliar total e o crescimento da haste (MATOSO e outros, 2013).

Dentro desse contexto, apesar de o fósforo ser pouco exigido pelas plantas de feijão-caupi, a falta deste nutriente em níveis adequados para a cultura pode acarretar variações na forma de alocar massa seca nas suas diferentes partes. Segundo Leal e Prado (2008), a oferta não ajustada do fósforo, em plantas de feijão-comum, reduz a produção de matéria seca nas diferentes partes da planta, sendo mais evidentes na parte aérea.

5 CONCLUSÕES

O aumento das doses de fósforo pode ser utilizado como estratégia mitigadora dos efeitos da deficiência hídrica na fase vegetativa. Sua associação com o menor nível de água do solo sugere que doses com variação entre 140 e 175 kg ha⁻¹ de P₂O₅ permitam maior retenção de água na célula, o que auxilia nas estratégias utilizadas pela planta em resposta à restrição hídrica. Além disso, essa faixa de adubação favoreceu os maiores índices de clorofila total e permitiu aumento no acúmulo de massa seca nas diferentes partes da planta. Dessa forma, mesmo sob restrição hídrica severa por 32 dias, a aplicação do fósforo no solo, nessas quantidades indicadas, promoveu melhor grau de tolerância das plantas de feijão-caupi ao estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

- ACKERSON R. C. Osmoregulation in cotton in response to water stress. III. Effects of phosphorus fertility. **Plant Physiology**, v. 77, p. 309-312, 1985.
- AL-KARAKI, G. N.; AL-KARAKI, R. B.; AL-KARAKI, C. Y. Phosphorus nutrition and water stress effects on proline accumulation in sorghum and bean. **Journal of Plant Physiology**, v. 148, n. 6, p. 745-751, 1996.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de A.; SANTOS, A. A. dos; ATHAYDE SOBRINHO, C.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. da S.; ROCHA, M. de M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da; RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**, Embrapa Meio-Norte. Sistema de Produção 2. 2002, 108 p.
- ASCH, F.; ANDERSEN, M. N.; JENSEN, C. R.; MONGENSEN, V. O. Ovary abscisic acid concentration does not induce kernel abortion in field grown maize subjected to drought. **European Journal Agronomy**. v. 15, p. 119-129, 2001.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potencial biochemical indicators of salinity in plants. **Plant Science**, 166: 3-16 p, 2004.
- BAJJI, M.; LITTUS, S.; KFNET, L. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. **Plant Science**. v.160, p. 669-68, 2001
- BASTOS, E.A.; NASCIMENTO, S.P.; SILVA, E.M.; FREIRE FILHO, F.R.; GOMIDE, R.L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance1. Identificação de genótipos de feijão-caupi tolerantes à seca. **Revista Ciência Agronômica**. v. 42, p. 100–107, 2011.
- BENVINDO, R. N. Adubação fosfatada e potássica na nutrição e a produtividade de feijão-caupi, cultivado no município de Bom Jesus - PI. 2012. 61 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia: Área de Concentração em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normas climatológicas**. 18961-1990. Brasília: MA/SNI/INMET, 84p, 1992.

CAMPOS, A. D.; FERREIRA, A. G.; HAMPE, M. M. V.; ANTUNES, I. F.; BRANÇÃO, N.; SILVEIRA, E. P. DA; OSÓRIO, V. A.; AUGUSTIN, E. Atividade de peroxidase e polifenoloxidase na resistência do feijão à antracnose. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.637-643, 2004

CASTELLETTI, C. H. M.; COSTA, A. F. da. Feijão-caupi: alternativa sustentável para os sistemas produtivos. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 18, n. 1, p. 1-2, 2013.

CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. D. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 59-66, 2008.

CHIULELE, R. M. **Morphological and physiological responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L) walp.) cultivars to induced water stress and phosphorus nutrition**. 2003. Tese de Doutorado. Stellenbosch: Stellenbosch University.

COLMAN, B. A.; NUNES, C. M.; MASSON, G. de L.; BARBOSA, R. H.; NUNES, A. da S. Indução de tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de feijão-caupi. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 4, p. 449-455. 2014.

COSTA, R. C. L.; LOBATO, A. K.S; OLIVEIRA NETO, C F.; MAIA, P. S. P.; ALVES, G. A. R. LAUGHUINGHOUSE, H. D. Biochemical and physiological responses in two *Vign aunguiculata* (L.) walp. Cultivars under water stress. **Journal of Agronomy**. n. 7, p. 98-101, 2008.

DE LA ROSA-IBARRA, M.; MAITI, R. K. Biochemical mechanism in glossy sorghum lines for resistance to salinity stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 146, n. 4, p. 515-519, 1995.

DUAN X, AUGE R.M. Stomatal response to short-term osmotic stress of cowpea plants given 'arying phosphorus fertilization. **Journal of Plant Nutrition** 15: 265-274, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) - Embrapa Amazônia Ocidental. BRS Guariba, BRS Nova Era e BRS Xique-Xique: novas cultivares de feijão-caupi para o Amazonas. Comunicado Técnico. Manaus-AM. Outubro de 2009. Disponível em: <<http://www.cpaa.embrapa.br>>. Acesso em 20 de janeiro de 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Monitoramento por satélite. Banco de dados climáticos do Brasil. 2003. [online], disponível em:

<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=39>. Acesso em 15 de janeiro de 2016.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, 2000, 402 p.
FIRMANO, R. S.; KUWARA, F. A.; SOUZA, G. M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria v.39, n.7, p.1967-1973, 2009.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. Feijão Caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Embrapa Meio Norte, Teresina, 84p. 2011.

FREITAS, R. M. O.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L.; NOGUEIRA, N.W.; PINTO, J. R. S. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 393-401, 2014.

FLÜGGE, U. I.; HÄUSLER, R. E.; LUDEWIG, F.; FISCHER, K. Functional genomics of phosphate antiport systems of plastids. **Physiologia Plantarum**, v.118. p.475-482, 2003.

GONÇALVES, J. R. P.; FONTES, J. R. A.; DIAS, M. C.; ROCHA, M.; FREIRE FILHO, F. R. BRS Guariba-nova cultivar de feijão-caupi para o Estado do Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2009.

GRANT, C. A.; PLATEN, D. N.; TOMAZIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A Importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 95, p. 1-5, 2001.

GUIMARÃES, E. R., MUTTON, M. A., MUTTON, M. J. R., FERRO, M. I. T., RAVANELI, G. C., and SILVA, J. A. D. Free proline accumulation in sugarcane under water restriction and spittlebug infestation. **Scientia agricola**, v. 65, n. 6, p. 628-633, 2008.

HAMIDOU, F., ZOMBRE, G., BRACONNIER, S. Physiological and biochemical responses of cowpea genotypes to water stress under glasshouse and field conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 193, 229-237, 2007.

JEMO, M.; SULIEMAN, S.; BEKKAOUI, F.; OLOMIDE, O. A. K.; HASHEM, A.; ABD-ALLAH, E. F.; ALQARAWI, A. A.; TRAN, L-S. P. Comparative analysis of the combined effects of different water and

phosphate levels on growth and biological nitrogen fixation of nine cowpea varieties. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 2111, 2017.

KUWAHARA, F. A.; SOUZA, G. M. Fósforo como possível mitigador dos efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e as trocas gasosas de *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 Vitória. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 261-267, 2009.

LAWLOR, D. W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 871-885, 2002.

LEAL, R. M.; PRADO, R. M. Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.4, p.301-306, 2008.

LIKOSWE, A. A.; LAWN, R. J. Response to terminal water deficit stress of cowpea, pigeonpea, and soybean in pure stand and in competition. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 59, n. 1, p. 27-37, 2008.

MAITI, R. K.; AMAYA, L. E. D.; CARDONA, S. I.; DIMAS, A. M. O.; ROSAIBARRA, M.; CASTILLO, H. Genotypic variability in maize cultivars (*Zea mays* L.) for resistance to drought and salinity at the seedling stage. **Journal Plant Physiology**, v. 148, p. 741-744, 1996.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980, 251 p.

MATOSO, A. DE O.; SORATTO, R. P.; CECCON, G.; FIGUEIREDO, P. G.; NETO, A. L. N. Desempenho agrônomico de feijão-caupi e milho semeados em faixas na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 7, p.722-730. 2013.

MENDES, R. M. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N.; PITOMBEIRA, J. B. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Ciência Agrônômica**, v.38, p.95-103, 2007.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**, v.31, p.426-8, 1959.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**. v. 7, p. 405-410. 2002.

OLIVEIRA, A. E. S.; SIMEÃO, M.; MOUSINHO, F. E. P.; GOMES, R. L. F. Desenvolvimento do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) sob déficit hídrico cultivado em ambiente protegido. **Holos**, ano 30, v. 1, p. 143-151, 2014.

OLIVEIRA, G. A.; ARAÚJO, W. F.; CRUZ, P. L. S.; SILVA, W. L. M. da; FERREIRA, G. B. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciências Agronômicas**, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**. v. 62, 869–882, 2011.

RADIN, J. W. Stomatal responses to water stress and to abscisic acid in phosphorus-deficient cotton plants. **Plant physiology**, v. 76, n. 2, p. 392-394, 1984.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n. 6, p. 953-964, 2004.

ROSA-IBARRA, M. de LA; MAITI, R. K. Biochemical mechanism in glossy sorghum lines for resistance to salinity stress. **Plant Physiology**, v.146, p.515-519, 1995.

SALEHI-LISAR, S. Y.; BAKHSHAYESHAN-AGDAM, H. Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. In: **Drought Stress Tolerance in Plants**, v. 1, 2016, p. 1-16.

SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. Da agricultura de subsistência ao agronegócio: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009., 2009.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; HEALD, J.; KINGSTON-SMITH, A.; WINTERS, A.; RUBIALES, D., SANZ, M.; MUR, L. A. J.; PRATS, E. A metabolomic study in oats (*Avena sativa*) highlights a drought tolerance mechanism based upon salicylate signalling pathways and the modulation of carbon, antioxidant and photo-oxidative metabolism. **Plant, Cell & Environment**, v. 38, n. 7, p. 1434-1452, 2015.

SANTOS, J. F. dos; LEMOS, J.; NÓBREGA, J. D.; GRANGEIRO, J.; BRITO, L.; OLIVEIRA, M. D. Produtividade de feijão-caupi utilizando biofertilizante e uréia. **Revista Tecnologia e Ciência Agropecuária**. v. 1, n. 1, p. 25-29, 2007.

SANTOS, J. F. dos.; GRANGEIRO, J. I. T.; BRITO, C. H. de; SANTOS, M. do C. C. A. Produção e componentes produtivos de variedades de feijão-caupi na microrregião Cariri paraibano. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 1, p. 214-221. 2009.

SCHOLANDER, P. F. et al. A. Sap pressure in vascular plants. Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. **Science**, v. 148, p. 339-346, 1965.

SHUI, X. R.; CHEN, Z. W.; LI, J. X. MicroRNA prediction and its function in regulating drought-related genes in cowpea. **Plant Science**, v. 210, p. 25-35, 2013.

SCHULZE, E.; ASAI, D. J.; BULINSKI, J. C.; KIRSCHNER, M. Post-translational modifications and microtubule stability. **Journal Cell Biology**, 105, p. 2167-2177, 1987.

SILVA, L. da. **Metabolismo de carbono do cafeeiro em relação à disponibilidade de fósforo e à deficiência hídrica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Sustentável) Instituto Agronômico de Campinas, São Paulo, 2010.

SILVA, A. J. **Aplicação inicial de P₂O₅ no solo, avaliação em três cultivos sucessivos no feijão-caupi**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2007.

SINCLAIR, T. R.; LUDLOW, M. M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal of Plant Physiology**. v. 13, p. 329-341, 1986.

SINGH, S.K.; KAKANI, V.G.; SURABHI, G.K.; REDDY, K.R. Cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) genotypes response to multiple abiotic stresses. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.100, p. 135-146. 2010.

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

SZABADOS, L., SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in plant science**, v. 15, n. 2, p. 89-97, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2009. **Fisiologia vegetal**. 6.ed. Artmed Editora. 826p.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. São Paulo, Andrei, p. 718, 2007.

TURK, K. 1. HALL, A. E. Drought adaptation of cowpea. IV. Influence of drought on water use and relations with seed yield. **Agronomy journal** v.72, p.433-439, 1980.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; SABIN BENETT, C. G.; ANDREOTTI, M., ARF, O.; SÁ, M. E. D. Fontes e doses de nitrogênio e fosforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 03, p. 191-196, 2009.

WINKEL, Thierry; RENNO, Jean-François; PAYNE, W. A. Effect of the timing of water deficit on growth, phenology and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) grown in Sahelian conditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 48, n. 5, p. 1001-1009, 1997.

WU, Y.; COSGROVE, D. J. Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. **Journal of experimental botany**, v. 51, n. 350, p. 1543-1553, 2000.

YAMADA, T; ABDALLA, S. R. S. Simpósio destaca a essencialidade do fosforo na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, n. 102, p. 1-9, 2003.

YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, v.57, p.508-14, 1954.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of aminoacids with ninhidrin. **Analyst**, v. 80. p. 209 – 213. 1955.

ZEGAOU, Z.; PLANCHAIS, S.; CABASSA, C; DJEBBAR, R.; BELBACHIR, O. A.; CAROL, P. Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought. **Journal of Plant Physiology**, v. 218, p. 26-34, 2017.