

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

VANESSA DE ARAÚJO LIRA

**FENOLOGIA DE LEGUMINOSAS GRANÍFERAS E EFEITO DE ÁCIDO
HÚMICO NA PRODUTIVIDADE DE LEGUMINOSAS INOCULADAS COM
Bradyrhizobium NO MARANHÃO**

São Luís - MA

2023

VANESSA DE ARAÚJO LIRA

Engenheira Agrônoma
Mestra em Agroecologia

FENOLOGIA DE LEGUMINOSAS GRANÍFERAS E EFEITO DE ÁCIDO HÚMICO
NA PRODUTIVIDADE DE LEGUMINOSAS INOCULADAS COM *Bradyrhizobium*
NO MARANHÃO

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do
Programa de Pós-Graduação em
Agroecologia da Universidade Estadual do
Maranhão, para obtenção do título de Doutor
em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira

São Luís - MA

2023


VANESSA DE ARAÚJO LIRA

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção do título de Doutor em Agroecologia.


Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira

Aprovada em: 14/02/2023


Comissão Julgadora:

Documento assinado digitalmente
 **ROGERIO FARIA VIEIRA**
Data: 03/04/2024 16:18:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dr. Rogério Faria Vieira – EPAMIG

Documento assinado digitalmente
 **HEDER BRAUN**
Data: 04/04/2024 12:16:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dr. Heder Braun – Universidade Estadual do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **JOAO BATISTA ZONTA**
Data: 03/04/2024 15:41:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. João Batista Zonta – Embrapa

Documento assinado digitalmente
 **ALANA DAS CHAGAS FERREIRA AGUIAR**
Data: 02/04/2024 16:28:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Alana das Chagas Ferreira Aguiar – Universidade Federal do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **KATIA PEREIRA COELHO**
Data: 03/04/2024 15:11:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Katia Pereira Coelho – Universidade Estadual do Maranhão

São Luís

2023

Lira, Vanessa Araújo.

Fenologia de leguminosas graníferas e efeito de ácido húmico na produtividade de leguminosas inoculadas com *Bradyrhizobium* no Maranhão. / Vanessa Araújo Lira. – São Luís (MA), 2023.

75p.

Tese (Programa de Pós-Graduação em Agroecologia) Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira.

1. Vigna. 2. Fixação biológica de nitrogênio. 3. Rizóbios. 4. Substâncias húmicas.
I.Título.

CDU:633.87(812.1)

Dedico,

Ao meu avô José Celestino de Lira e *in memoriam* aos meus avós Maria Fernandes da Costa, Maria José Benigno de Sousa e Geraldo Gomes de Araújo.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida.

Aos meus orientadores Dr. Rogério Faria Vieira e Dr. Heder Braun pelos ensinamentos e confiança.

Aos meus pais Maria da Conceição de Araújo Lira e Givaldo de Pinho Lira e à minha irmã Valéria de Araújo Lira. Meu amor por vocês é incondicional.

À toda minha família pelo carinho e apoio.

À Gustavo Gurgel Moreira, meu companheiro e melhor amigo, por todo amor, carinho e incentivo a sempre buscar o melhor. Te amo.

À Marlene Mendes dos Reis e família, que me receberam em sua família com muito amor e carinho.

Aos meus amigos e companheiros de equipe Alan de Sousa, Diéssica Junges, Ester Barbosa, Karen Alessandra, Lincon Mateus, Marcelo Marinho, Marcos Teixeira, Myrella Katlhen, Wenner Vinicius e Werlen Barbosa, pela amizade, companheirismo, pelas horas de conversas e risadas exageradas e pela ajuda na condução dos experimentos. Vocês foram essenciais para a conclusão desse ciclo. Muito Obrigada!

À Rayanne Cristine, pelo profissionalismo e prestatividade.

À Francisco Neto, por toda contribuição, disponibilidade, ajuda em campo e no dia a dia. E a toda equipe de funcionários do PPGA, por estarem sempre dispostos a ajudar.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho, muito obrigada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
RESUMO.....	10
CAPÍTULO I.....	11
1 INTRODUÇÃO GERAL	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Feijão-caupi.....	14
2.2 Feijão-mungo-verde.....	15
2.3 Feijão-azuki.....	16
2.4 Feijão-arroz	17
2.5 Fixação Biológica de Nitrogênio.....	17
2.6 Ácido húmico.....	18
REFERÊNCIAS.....	20
CAPÍTULO II.....	30
RESUMO.....	31
1 INTRODUÇÃO.....	32
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
2.1 Local e caracterização da área experimental.....	33
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	35
2.3 Características avaliadas	36
2.4 Análise estatística.....	37
3 RESULTADOS	37
4 DISCUSSÃO.....	40
5 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS.....	45
CAPÍTULO III.....	51
RESUMO.....	52
1 INTRODUÇÃO.....	53
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	55

2.1	Local e caracterização da área experimental.....	55
2.2	Delineamento experimental e tratamentos	56
2.3	Características avaliadas	57
2.4	Análise estatística.....	58
3	RESULTADOS	58
4	DISCUSSÃO.....	64
5	CONCLUSÃO.....	68
	REFERÊNCIAS.....	69

LISTA DE FIGURAS

Capítulo II

- Figura 1.** Precipitação pluvial mensal e temperatura máxima e mínima, em 2019.
Fonte: Dados da Rede do INMET, São Luís, MA..... 34
- Figura 2.** Produtividade de quatro espécies de leguminosas graníferas em São Luís, Maranhão, em 2019. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade..... 39
- Figura 3.** Médias (\pm DP) dos componentes da produtividade e do teor de proteína total de quatro espécies de leguminosas graníferas em São Luís, Maranhão, em 2019..... 40

Capítulo III

- Figura 1.** Precipitação acumulada mensal e temperatura máxima e mínima, São Luís, Maranhão, em 2021. Fonte: Dados da Rede do INMET, São Luís, MA..... 55
- Figura 2.** Efeitos da interação espécie \times *Bradyrhizobium* \times ácido húmico quanto ao (a) teor de N na folha, (b) leitura de SPAD, (c) nódulos por planta, (d) massa de nódulos secos (n = 3). Efeitos da interação espécies \times ácido húmico em relação à (e) altura de planta (n = 6). Efeitos da interação espécies \times *Bradyrhizobium* na (f) altura de planta (n = 6). As médias das variáveis influenciadas pelos níveis ácido húmico (a-e) e rizóbio (f) foram comparadas pelo teste F. A barra de erro representa o desvio-padrão..... 62
- Figura 3.** Efeitos da interação espécies \times *Bradyrhizobium* \times ácido húmico em relação à produtividade de grãos (n=3). Os efeitos do AH sobre a produtividade foram comparadas pelo teste F. A barra de erro representa o desvio-padrão..... 63

LISTA DE TABELAS

Capítulo II

- Tabela 1.** Características físico-químicas do solo na profundidade de 0-20 cm antes da implantação dos experimentos em 2019..... 35
- Tabela 2.** Fenologia de quatro espécies de leguminosas graníferas em São Luís, Maranhão, em 2019..... 38
- Tabela 3.** Médias (\pm DP) de estande final, altura de planta e comprimento de vagem de quatro espécies de leguminosas graníferas em São Luís, Maranhão, em 2019..... 39

Capítulo III

- Tabela 1.** Características físico-químicas do solo antes da implantação do experimento, na profundidade de 0-20 cm, em 2021, São Luís, Maranhão..... 56
- Tabela 2.** Valores de P para espécies de feijão, inoculação com *Bradyrhizobium*, ácido húmico e da interação entre esses fatores para altura da planta, teor de N na folha, leitura SPAD, número de nódulos, massa de nódulos secos, produtividade de grãos, massa de 100 sementes, número de grãos por vagem, número de vagem por planta e estande final, em São Luís, Maranhão, 2021..... 61

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) é uma importante leguminosa para as populações de baixa renda do Nordeste do Brasil. Assim como o feijão-caupi, feijão-mungo-verde (*Vigna radiata*), feijão-azuki (*Vigna angularis*) e feijão-arroz (*Vigna umbellata*) podem ser alternativas para diversificar a alimentação e renda, porém são pouco conhecidas pelos agricultores maranhenses. Objetivou-se avaliar i) a fenologia e produtividade em campo do feijão-caupi, feijão-azuki, feijão-arroz e feijão-mungo-verde, e ii) os efeitos do ácido húmico (AH) sobre o crescimento e produtividade do feijão-arroz, do feijão-caupi e do feijão-mungo-verde com e sem inoculação de *Bradyrhizobium* spp, no trópico úmido maranhense. Em 2019 foram realizados dois experimentos a campo, com quatro espécies leguminosas graníferas: feijão-caupi, feijão-azuki, feijão-arroz e feijão-mungo-verde. Em 2021 foi realizado um experimento a campo. Foi usado o arranjo fatorial 3×2×2: espécies de feijão (feijão-caupi, feijão-arroz e feijão-mungo-verde), aplicação de AH (com e sem) e inoculação com *Bradyrhizobium* spp (com e sem). O delineamento foi em blocos casualizados, com quatro repetições (2019) e três repetições (2021). Em 2019, o ciclo de vida das espécies variou de 56 a 70 dias. Feijão-azuki, feijão-arroz e feijão-mungo-verde tiveram ciclos de vida menores que o do feijão-caupi. Nenhuma das três espécies apresentou potencial produtivo superior ao do feijão-caupi. O feijão-arroz foi a única espécie que teve produtividade próxima a do feijão-caupi. Em 2021, com *Bradyrhizobium*, o AH aumentou a produtividade do feijão-arroz em 39% e do feijão-caupi em 79,5% em relação à não aplicação de AH. O AH não influenciou a produtividade do feijão-mungo-verde com *Bradyrhizobium*. Sem *Bradyrhizobium*, o AH aumentou a produtividade do feijão-arroz em 63%, do feijão-caupi em 27,5% e do feijão-mungo-verde em 23% em relação à ausência de AH. Nossos resultados sugerem que o feijão-arroz pode ser considerado promissor para ser cultivado no trópico úmido maranhense. Ademais, a aplicação de AH aumenta a produtividade de grãos de feijão-arroz, feijão-caupi e feijão-mungo-verde independentemente da inoculação das sementes com *Bradyrhizobium*.

Palavras-chave: *Vigna*; fixação biológica de nitrogênio; rizóbios; substâncias húmicas.

REFERENCIAL TEÓRICO

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

As leguminosas (Fabaceae) são fontes de proteína e contribuem diretamente para a segurança alimentar e nutricional de humanos e animais e na reposição de nutrientes do solo (SINGH, 2017). Parte da importância dessas leguminosas deve-se à capacidade de estabelecerem simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (N) do solo, conhecidas coletivamente como rizóbios (ROY et al., 2020).

As principais qualidades das leguminosas em relação a outras culturas incluem o alto valor nutritivo para humanos e animais, o aumento da fertilidade do solo proporcionada pelos restos culturais e a possibilidade de ser cultivada de forma intercalar sem muito uso de água (DAY, 2013).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) uma leguminosa importante em países como Brasil, Nigéria, Níger, Burkina Faso e Namíbia, por ser fonte de emprego e renda, e ter baixo custo de produção (MELO et al., 2021). O feijão-caupi é adaptado às regiões tropicais, como Norte e Nordeste do Brasil, o que contribuiu para que o país seja o principal produtor dessa leguminosa na América e o quarto no mundo (FREIRE FILHO et al., 2017).

Apesar de ser considerada cultura tropical com ampla adaptação a diversos ambientes, no Nordeste brasileiro, o feijão-caupi tem produtividade média de 394 kg ha⁻¹, abaixo da média nacional (491 kg ha⁻¹) (CONAB, 2022). Essa baixa produtividade é atribuída, entre outros fatores, à baixa disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente do N (XAVIER et al., 2007; LEITE et al., 2009).

Em razão do custo elevado dos adubos nitrogenados e do baixo poder aquisitivo da maioria dos agricultores familiares, é necessário buscar alternativas menos onerosas para que esses agricultores possam aumentar e diversificar as fontes de renda e alimento. Ademais, o incentivo ao cultivo de leguminosas, que é acompanhado da desejada fixação biológica de N (FBN) pode diminuir o uso de fertilizantes nitrogenados e ajudar a alcançar metas de curto e longo prazo de uma agricultura sustentável (CHARPENTIER; OLDROYD, 2010; QUILBÉ et al., 2021).

Leguminosas graníferas ainda pouco cultivadas no Maranhão, como feijão-mungo-verde (*Vigna radiata*), feijão-azuki (*Vigna angularis*) e feijão-arroz (*Vigna umbellata*) podem ser alternativa viável e de baixo custo para diversificar a fonte de

renda e de alimento para os agricultores familiares maranhenses, mantendo-se o benefício da FBN.

Essas leguminosas graníferas são cultivadas em países como China, Índia, Coreia, Paquistão, Japão e Tailândia, onde são importantes fontes de alimento devido às suas qualidades nutricionais, como altos teores de proteínas, fibras, carboidratos, vitaminas e minerais (TIAN et al., 2013; ZHANG et al., 2013; CHEN et al., 2015; SRITONGTAE et al., 2017; SINGH et al., 2017; YI-SHEN et al., 2018; VERMA et al., 2022).

A inoculação de feijão com rizóbios, bactérias fixadoras de N₂, é opção econômica e ambientalmente benéfica de fornecer N para as plantas (XAVIER et al., 2017). A associação simbiótica de rizóbios efetivos com o feijoeiro permite aumentar a produtividade de grãos e pode ser alternativa viável para substituir, parcial ou totalmente, a aplicação de fertilizantes nitrogenados minerais (FARIAS et al., 2016).

Diversos estudos comprovam a influência dos rizóbios sobre a produção de feijão-caupi (SOARES et al., 2006; SOARES et al., 2014; ALCANTARA et al., 2014; RUFINI et al., 2014), feijão-mungo-verde (BHATTACHARYYA et al., 2001; QURESHI et al., 2017), feijão-azuki (DELIC' et al., 2010) e feijão-arroz (KAUR; SINGH, 1988; PAN et al., 2003). Com exceção do feijão-caupi e do feijão-mungo-verde, são escassos estudos sobre os efeitos de rizóbios sobre o feijão-azuki e o feijão-arroz no Brasil (GUARESCHI et al., 2011).

O ácido húmico (AH) é composto orgânico oriundo da decomposição de resíduos vegetais e animais, que pode ser utilizado como insumo alternativo em diversas culturas (CARON et al., 2015). Suas propriedades químicas, microbiológicas e físicas podem melhorar a fertilidade do solo e aumentar a disponibilidade de nutrientes e, assim, aumentar o crescimento e a produtividade das culturas (AZARPOUR et al., 2012), entre outros benefícios.

Portanto, há lacuna de informações na literatura sobre a fenologia e o desempenho em campo do feijão-mungo-verde, feijão-azuki e feijão-arroz no trópico úmido maranhense e sobre os efeitos da aplicação de AH no plantio de leguminosas com e sem inoculação com rizóbios no trópico úmido maranhense.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), também conhecido como feijão-macassar ou feijão-de-corda, é leguminosa granífera de origem africana introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses (FREIRE FILHO, 1988; GONÇALVES et al., 2016; JAYATHILAKE et al., 2018). Essa leguminosa é uma das fontes de alimento mais importantes e estratégicas para as regiões tropicais e subtropicais do planeta, em razão das vantagens agrônômicas, ambientais e econômicas que contribuem para melhorar a qualidade do alimento e a renda dos agricultores dessas regiões (HALL, 2012; SANTOS et al., 2014). O feijão-caupi é alimento nutritivo, rico em proteína, vitaminas, minerais, antioxidantes, aminoácidos, fibras, lipídios e fitoquímicos (ABIZARI et al., 2013; STEPHENSON et al., 2017).

O feijão-caupi é uma das leguminosas graníferas mais cultivadas na África Ocidental e no Brasil, com produção global de aproximadamente 5,6 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2019; BARBOSA et al., 2021). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão-caupi, atrás da Nigéria e do Níger (CONAB, 2017; COSTA, et al., 2022). No Brasil, a estimativa de produção de feijão-caupi total na safra de 2021/2022 foi de 631,4 mil toneladas, em área de 1,2 milhões de hectares e produtividade de 491 kg ha⁻¹. O Nordeste foi responsável por 66% da produção brasileira, e o Maranhão foi o 5º maior produtor dessa região com 29,2 mil toneladas (CONAB, 2022).

No Norte e Nordeste brasileiro, o feijão-caupi é uma das principais culturas de subsistência e fonte de proteína de origem vegetal para o pequeno produtor, em razão de ser rico em proteína, minerais e fibras. Além disso, essa espécie é rústica, precoce e gera emprego e renda na zona rural (BASTOS et al., 2012; ARAÚJO, et al., 2021). No entanto, nessas regiões, a cultura apresenta baixa produtividade, em média 394 kg ha⁻¹ (LEITE et al., 2009; BENVINDO et al., 2010; ALMEIDA, et al., 2014).

Entre os fatores responsáveis pela baixa produtividade do feijão-caupi, destacam-se a baixa fertilidade do solo e o uso de pouca tecnologia (XAVIER et al., 2007; ORURU et al., 2017). Além disso, é comum a redução de produtividade por estresses bióticos (especialmente pragas, doenças, ervas daninhas e nematoides) e abióticos (calor e seca) (HUYNH et al., 2018).

2.2 Feijão-mungo-verde

O feijão-mungo-verde (*Vigna radiata* L. Wilczek) é leguminosa granífera nativa da Ásia, que se adapta bem às condições tropicais e subtropicais. Algumas variedades dessa espécie podem produzir até 2550 kg ha⁻¹ (VIEIRA et al., 2005; VIEIRA et al., 2011; ZHU et al., 2018). É cultura de ciclo curto (70 a 100 dias), com baixo custo de implantação e boa adaptação à alta temperatura, o que aumenta sua aceitação pelos agricultores (VIEIRA et al., 1992; HANUMANTHARAO et al., 2016).

A Índia é o maior produtor e consumidor mundial de feijão-mungo-verde. Nesse país, a área cultivada é de aproximadamente 3,5 milhões de hectares, com produção de 1,2 milhões de toneladas de grãos. A China (980 mil toneladas) e Myanmar (400 mil toneladas) também são grandes produtores do feijão-mungo-verde (RACHAPUTIA et al., 2019). Essa leguminosa também é cultivada e comercializada na Coreia, Paquistão, Japão, Tailândia e em outras partes do Sudeste da Ásia (ZHANG et al., 2013; SHRIVASTAVA et al., 2014). No Brasil, com o aumento da produção e consumo do broto-de-feijão, também conhecido como “moyashi”, e com a crescente demanda de exportação dos países asiáticos, principalmente da Índia, o interesse pelo feijão-mungo-verde vem aumentando (VIEIRA et al., 2011). Atualmente, o feijão-mungo-verde é cultivado em áreas extensas do cerrado brasileiro em sucessão à soja e ao milho (FAVERO et al., 2021). A maior produtividade alcançada no país foi registrada em Prudente de Moraes, MG, onde o cultivar MGS Esmeralda rendeu 2550 kg ha⁻¹ (VIEIRA et al., 2011).

O feijão-mungo-verde é considerado, junto com o feijão-comum e o feijão-caupi, uma das principais fontes de proteína nos países em desenvolvimento (KUMARI et al., 2018). Os grãos têm até 27% de proteína e 16 aminoácidos, entre os quais destacam-se histidina, arginina, valina, tirosina, metionina, cisteína, isoleucina, leucina, fenilalanina e lisina (PAL et al., 2010; ALI et al., 2015). Os grãos também são ricos em carboidratos (62,6%), fibra (16,3%) e contribuem com valor energético de 347 kcal em 100 g de grão (USDA, 2015). Além disso, seu cultivo aumenta a fertilidade do solo através da FBN e os restos culturais dessa leguminosa, quando incorporados ao solo, melhoram suas características físicas e químicas, principalmente em solos degradados (ROCHA et al., 2014; KUMARI et al., 2018).

O feijão-mungo-verde, assim como outras leguminosas, fixa o N atmosférico (58-109 kg/ha) em simbiose com rizóbio, que além de atender a demanda da planta em N, também beneficia outras culturas que lhe sucedem na área (ALI; GUPTA, 2012).

2.3 Feijão-azuki

O feijão-azuki (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi) é espécie originária das regiões tropicais da Ásia. É uma das leguminosas mais importantes na dieta de países como Japão, Coreia do Sul e China (MUKAI; SATO, 2011). No Japão, o feijão-azuki é a segunda leguminosa mais importante após a soja (CHEN et al., 2015).

Em 2015, a área de cultivo do feijão-azuki na China foi estimada em 670.000, no Japão em 120.000, na península coreana em 30.000 e em Taiwan em 20.000 ha (KANG et al., 2015). No Brasil, 30.000 ainda não há estatísticas precisas de produtores, produção ou área cultivada com essa leguminosa (RESENDE et al., 2010, ALMEIDA et al., 2013). Vieira et al (1992) trabalharam com dois cultivares precoces (Kintoki e Dainagon) de feijão-azuki em Minas Gerais. Esses autores verificaram que as produtividades variaram de 1221 a 1646 kg ha⁻¹, com o plantio em novembro ou dezembro. Avaliações de cultivares de feijão-azuki em diferentes épocas de plantio em Coimbra e Viçosa, Minas Gerais, demonstraram rendimentos de 2342 kg ha⁻¹, quando o plantio foi realizado em agosto (VIEIRA et al., 2000).

O feijão-azuki apresenta alto teor de proteína, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais, além de possuir baixa quantidade de lipídios (MUKAI; SATO, 2011; KAN et al., 2018). Estudos têm demonstrado que a casca vermelha desse feijão é rica em polifenóis, como procianidinas e quercetina, antioxidantes naturais que podem prevenir o aparecimento de doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer (MARUYAMA et al., 2008; MUKAI; SATO, 2011).

Na China, Japão e Coréia, essa leguminosa é usada como ingrediente de sobremesas tradicionais, devido ao seu sabor adocicado (KANG et al., 2015). No Brasil, o feijão-azuki ainda é pouco consumido, mas se adaptou bem a algumas regiões, e é cultivado, na maioria das vezes, pelos descendentes dos imigrantes japoneses (GOHARA et al., 2016). Os doces feitos com essa leguminosa apresentam alto teor de proteínas e baixo teor de lipídios, o que contribui para seu baixo valor calórico. Apesar de serem pouco conhecidos pelos brasileiros, a aparência dos doces produzidos com feijão-azuki sugere potencial para atrair os consumidores (ORSI et al., 2017).

2.4 Feijão-arroz

O feijão-arroz (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi) é leguminosa anual cultivada principalmente no Nepal, Butão, Nordeste da Índia, Myanmar, sul da China, Norte da Tailândia, Laos, Vietnã, Indonésia e Timor Leste (TIAN et al., 2013). No Brasil, o feijão-arroz é muitas vezes conhecido, erroneamente, como feijão-azuki, nome de outra espécie do gênero *Vigna* (VIEIRA; LIMA, 2008).

No Brasil, estudo com objetivo de avaliar o desempenho de cultivares de feijão-arroz em Coimbra e Leopoldina, Minas Gerais, foram obtidas produtividades que variaram de 1180 a 1547 kg ha⁻¹ (VIEIRA; LIMA, 2008). Em Viçosa, Zona da Mata, o feijão-arroz alcançou produtividade de 3.487 kg/ha (VIEIRA et al., 2019). Esses autores concluíram que, se cultivado em condições favoráveis, o feijão-arroz tem potencial produtivo igual ou superior ao do feijão-comum, devido a atributos como maior ciclo de vida e imunidade a doenças foliares que essa espécie possui.

O feijão-arroz é boa fonte de proteína, de aminoácidos para consumo humano, grãos ricos em metionina e teores de lisina, tirosina e valina aproximadamente iguais aos do feijão preto e do feijão-mungo-verde (SRITONGTAE et al., 2017). As variações das composições químicas de 16 genótipos de feijão-arroz coletados da Índia são: proteína total (23,2 a 25,6%), lipídios (1,92 a 3,42%), fibra (4,11 a 5,56%), carboidrato (52,2 a 55,6%), ácido ascórbico (15,1 a 29,2 mg/100 g de grão) e niacina (3,48 a 4,28 mg/100 g de grão) (KATOCH, 2013).

O feijão-arroz pode ser cultivado em locais de baixa pluviosidade ou alta temperatura (VERMA et al., 2022). Essa espécie é cultivada principalmente para consumo humano, mas também é usada como planta forrageira e adubo verde (TIAN et al., 2013). Quando comparado com o feijão-comum, o feijão-arroz é menos atacado por pragas e doenças, os grãos são resistentes ao caruncho e o tempo de cocção é menor (VIEIRA; SANTOS, 2000). No entanto, a deiscência das vagens e a maturação desuniforme, são consideradas desvantagens dessa cultura (VIEIRA et al., 2019).

2.5 Fixação Biológica de Nitrogênio

A FBN é realizada por bactérias, conhecidas coletivamente como rizóbios, que fixam N durante a relação endossimbiótica com leguminosas (MUS et al., 2016; POOLE et al., 2018; DICENZO et al., 2018). Rizóbios são bactérias do solo que

possuem habilidade de converter o N atmosférico (N₂) em formas utilizáveis pela planta hospedeira (SPRENT et al., 2017; LARRAINZAR et al., 2020).

Essas bactérias são capazes de reduzir o N₂ a amônia (NH₃⁺) pela quebra da ligação tríplice do N através da enzima nitrogenase, com alto consumo de energia na forma de ATP. Após a reação de redução, a amônia é rapidamente convertida a amônio (NH₄⁺), que é assimilado pela célula vegetal na forma de glutamina (SANGOI et al., 2015). Nesse processo, o rizóbio utiliza os carboidratos provenientes da fotossíntese da planta hospedeira para sua manutenção, enquanto a planta se beneficia do N fixado pela bactéria (STRALIOTTO, 2002).

Estudos mostram ganhos significativos de produtividade de grãos quando o feijão-caupi é inoculado com bactérias fixadoras de N (SUMMERFIELD et al., 1977; MARTINS et al., 2003; SOARES et al., 2006; ALMEIDA et al., 2010; MARINHO et al., 2014; RUFINI et al., 2014; BODDEY et al., 2017; COSTA et al., 2021).

Pesquisas também demonstraram a influência positiva de rizóbios sobre o feijão-mungo-verde (KHURANA; POONAM, 1993; BHATTACHARYYA et al., 2001; ALI et al., 2010; QURESHI et al., 2017; KUMAWAT et al., 2021; FAVERO et al., 2021), sobre o feijão-azuki (HAN et al., 2009; DELÍĆ et al., 2010; SHAHRAJABIAN et al., 2019) e sobre o feijão-arroz (LAWN; BUSHBY, 1982; KAUR; SINGH, 1988; PAN et al., 2003).

2.6 Ácido húmico

As substâncias húmicas (SH) são os principais componentes da matéria orgânica do solo (65 a 80 %) (MENDONÇA; MATOS, 2017). Essas substâncias são formadas em razão das transformações químicas e biológicas de vegetal, animal e do metabolismo microbiano, e representam o principal reservatório de carbono orgânico no solo (CANELLAS et al., 2015).

Com base na solubilidade, as SHs podem ser classificadas em ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF) e humina (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014; MENG et al., 2017). Os ácidos húmicos são precipitados escuros, solúveis em ácidos minerais e solventes orgânicos e constituem a maior fração das substâncias húmicas (CARON, et al., 2015).

O AH aumenta a troca de cátions do solo e a complexação de íons de metais pesados e pesticidas (REVORED; MELO, 2004; SERUDO et al., 2004), a redução da volatilização de amônia (AHMED et al., 2006), o desenvolvimento de plantas e raízes (SILVA et al., 2011; MORA et al., 2012;), a estimulação do crescimento das plantas pela promoção da fotossíntese, respiração e teor de clorofila (HEIL, 2005; XU et al., 2012) e o aumento da permeabilidade da membrana celular (SIAL et al., 2007). Além de ser considerado condicionador de solo, o AH também possui atividade semelhante aos hormônios vegetais. Por isso, pode ser usado para regular o nível hormonal, melhorar o crescimento das plantas e aumentar a tolerância da planta ao estresse (SERENELLA et al., 2002; CASTRO et al., 2017). Ademais, o AH reduz a perda de N para a atmosfera e reduz sua movimentação no solo, diminuindo as perdas por lixiviação (BOTERO et al., 2014). O AH aumenta a biomassa e o tamanho de raízes, induz crescimento de raízes laterais e pelos radiculares, o que permite que a planta resista melhor a déficit hídrico (CANELLAS; OLIVARES, 2014).

Em estudo com a leguminosa *Vicia faba* L, a aplicação de AH reduziu os efeitos tóxicos do alumínio sobre o crescimento das raízes laterais e primárias e aumentou a absorção de nutrientes (BÜYÜKKESKIN et al., 2015). Em estudo realizado no Egito com feijão-caupi, o AH aumentou o crescimento da planta, o rendimento total de vagens e a absorção de N, P e K. Além disso, os teores de proteína e carboidrato nas sementes aumentaram com o aumento da dose de AH (EL-HEFNY, 2010).

No Paquistão, estudaram-se os efeitos de níveis de N (20 kg e 40 kg ha⁻¹) e AH (3, 6, 9, e 12 kg ha⁻¹) aplicado no solo, na produção de feijão-mungo-verde (ALI et al., 2019). Esses autores observaram que os níveis de AH aumentaram significativamente a produtividade e massa de grãos. Não foram encontrados na literatura, trabalhos que mostrem os efeitos do AH sobre o desenvolvimento e produtividade do feijão-arroz e feijão-azuki, especialmente quando combinado com a inoculação com rizóbio.

REFERÊNCIAS

ABIZARI, A-R.; PILIME, N.; ARMAR-KLEMESU, M.; BROUWER, I. D. Cowpeas in Northern Ghana and the Factors that Predict Caregivers' Intention to Give Them to Schoolchildren. **PLoS ONE**, v.8, e72087, 2013.

AHMED, O.H.; AMINUDDIN, H.; HUSNI, M. H. A. Effects of urea, humic acid and phosphate interactions in fertilizer microsites on ammonia volatilization and soil ammonium and nitrate contents. **International Journal of Agricultural Research**, v. 1, p. 25-31, 2006.

ALCANTARA, R. M. C. M.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; ROCHA, M. M.; CARVALHO, J. S. Symbiotic efficiency in Parentes of Brazilian cultivars of the cowpea. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, p. 1-9, 2014.

ALI, A.; ALI, A.; AKHTAR, J.; YASEEN, M. Effect of phosphorus in combination with rhizobium inoculation on growth and yield parameters of mungbean. **Crop & Environment**, v. 1, p. 53-56, 2010.

ALI, I.; KHAN, A. A.; IMRAN, INAMULLAH, KHAN, A.; ASIM, M.; ALI, I.; ZIB, B.; KHAN, I.; RAB, A.; SADIQ, G.; AHMAD, N.; IQBAL, B. Humic Acid and Nitrogen Levels Optimizing Productivity of Green Gram (*Vigna radiate* L.). **Russian Agricultural Sciences**, v. 45, p. 43–47, 2019.

ALI, M.; GUPTA, S. Carrying capacity of Indian agriculture: pulse crops. **Current Science**. v. 102, p. 874–881, 2012.

ALI, N. M.; YEAP, S. K.; YUSOF, H. M.; BEH, B. K.; HO, W. Y.; KOH, S. P.; ABDULLAH, M. P.; ALITHEEN, N. B.; LONG, K. Comparison of free amino acids, antioxidants, soluble phenolic acids, cytotoxicity and immunomodulation of fermented mung bean and soybean. **Journal Scientific Food Agriculture**, v. 96, p. 1648-1658, 2015.

ALMEIDA, A. L. G.; ALCANTARA, R. M. C. M.; NÓBREGA, R. S. A.; J. C. A. NÓBREGA; LEITE, L. F. C.; SILVA, J. A. L. Produtividade do feijão-caupi cv BR 17 Gurguéia inoculado com bactérias diazotróficas simbióticas no Piauí. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, p. 364-369, 2010.

ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C. Higroscopicidade das sementes de feijão adzuki. **Científica**, v. 41, p. 130-137, 2013.

ALMEIDA, W. S.; FERNANDES, F. R. B.; TEÓFILO, E. M.; BERTINI, C. H. C. M. Correlation and path analysis in components of grain yield of cowpea genotypes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 726-736, 2014.

ARAÚJO, L. B. R.; BARROSO NETO, A. M.; BERTINI, C. H. C.M.; LOPES, L. S.; GALLÃO, M. I. Influence of the environment and production components on the protein content of green cowpea grain. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, e20207251, 2021.

AZARPOUR, E.; MOTAMED, M. K.; MORADITOECHAE, M.; BOZORGI, H. R. Effects of bio, mineral nitrogen fertilizer management, under humic acid foliar spraying on fruit yield and several traits of eggplant (*Solanum melongena* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, p. 1104-1109, 2012.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos Húmicos. **Revista Ceres**, v. 61, p. 856-881, 2014.

BARBOSA, E. P. A.; SODRÉ, D. N.; BRAUN, B.; VIEIRA, R. F. Seeds enriched with molybdenum improve cowpea yield in sub-humid tropical regions of Brazil. **Agronomy Journal**, v. 113, p. 1-10, 2021.

BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; NASCIMENTO, F. N.; CARDOSO, M. J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 1, p. 31-37, 2012.

BENVINDO, R. N.; SILVA, J. A. L.; FREIRE FILHO, F. R.; ALMEIDA, A. L. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; BEZERRA, A. A. C. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado em cultivo de sequeiro e irrigado. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 23-28, 2010.

BHATTACHARYYA, J.; PAL, A. K. Effect of Rhizobium inoculation, phosphorus and molybdenum on the growth of summer greengram (*Vigna radiata* L. Wilezek). **Journal of Interacademia**, v. 5, p. 450-457, 2001.

BODDEY, R. M.; FOSU, M.; ATAKORA, W.; MIRANDA, C. H. B. Cowpea (*vigna unguiculata*) crops in Africa can respond to inoculation with rhizobium. **Experimental Agriculture**, v. 53, p. 578-587, 2017.

BOTERO, W. G. et al; Influência das substâncias húmicas de sedimentos na biodisponibilidade de metais para o sistema aquático. **Química. Nova**, Vol. 37, 943-949, 2014.

BÜYÜKKESKIN, T.; AKINCI, S. EROGLU, A. E. Effects of humic acid on root development and nutrient uptake of *Vicia faba* L. (Broad Bean) seedlings grown under aluminium toxicity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 46, p. 277- 292, 2015.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, doi.org/10.1186/2196-5641-1-3, 2014.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; AGUIAR, N. O.; JONES, D. L.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI, P.; PICCOLO, A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 15-27, 2015.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CAMARGO E CASTRO, P. R. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca, 2015. 46 p.

CASTRO, P. R. C.; CARVALHO, M. E. A.; MENDES, A. C. C. M.; ANGELINI, B. Manual de estimulantes vegetais: nutrientes, biorreguladores, bioestimulantes, bioativadores, fosfitos e biofertilizante na agricultura tropical. 1. ed. **Agronômica Ceres**, São Paulo, SP, 2017, 453 p.

CHARPENTIER, M. & OLDROYD, G. How close are we to nitrogen-fixing cereals? **Current Opinion in Plant Biology**. v. 13, p. 556–564, 2010.

- CHEN, H.; LIU, L.; WANG, L.; WANG, S.; SOMTA, P.; CHENG, X. Development and Validation of ESTSSR Markers from the Transcriptome of Adzuki Bean (*Vigna angularis*). **PLoS ONE**, v. 10, p. 1-14, 2015.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento safra brasileira de grãos, v.10 – Safra 2022/23, n. 3 - terceiro levantamento, Brasília, p. 1-82, dezembro, 2022.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Levantamento de grãos 2016/2017. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_02_08_17_09_36_fevereiro_2018.pdf. Acesso em: 14 mai. 2022.
- COSTA, I. G.; SIIVA, J. W.; SILVA, G. C.; LIRA JUNIOR, M. A.; OLIVEIRA, C. S.; SARAIVA, A. C. G.; COSTA, A. F.; TABOSA, J. N.; FRANÇA, K. R. S.; MENDONÇA JÚNIOR, A. F. Correlations and Path Analysis in Segregating Cowpea Generations Regarding Biological Nitrogen Fixation. **Journal of Agricultural Science**, v. 14, p. 79-85, 2022.
- COSTA, M. G.; FERREIRA, E. V. O.; OLIVEIRA, T. C. M.; MACIEL, G. P.; DUQUE, F. J. S.; PEREIRA, W. C. Growth and production of cowpea cultivated with liming and nitrogenfertilization in the Eastern Amazon. **Revista Ceres**, v. 68, p. 460-470, 2021.
- DAY, L. Proteins from land plants—potential resources for human nutrition and food security. **Trends in Food Science & Technology**, v. 32, p. 25-42, 2013.
- DELIĆ, D.; STAJKOVIĆ, O.; RASULIĆ, N.; KUZMANOVIĆ, D.; JOŠIĆ, D.; MILIČIĆ, B. Nodulation and N₂ Fixation Effectiveness of Bradyrhizobium Strains in Symbiosis with Adzuki Bean, *Vigna angularis*. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, p. 293-299, 2010.
- DICENZO, G. C.; ZAMANI, M.; CHECCUCCI, A.; FONDI, M.; GRIFFITTS, J. S.; FINAN, T. M.; MENGONI, A. Multi-disciplinary approaches for studying rhizobium – legume symbioses. **PeerJ Preprints**, v. 6, e27033v2, 2018.
- EL-HEFNY, E. M. Effect of saline irrigation water and humic acid application on growth and productivity of two cultivars of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 4, p. 6154-6168, 2010.
- FAOSTAT. (2019). FAOSTAT: Crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 14 mai. 2022.
- FARIAS, T. P.; ARAÚJO, TROCHMANN, A.; SOARES, B. L.; MOREIRA F. M. S. Rhizobia inoculation and liming increase cowpea productivity in Maranhão State. **Acta Scientiarum**, v. 38, p. 387-395, 2016.
- FAVERO, V. O.; CARVALHO, R. H.; MOTTA, V. M.; LEITE, A. B. C.; COELHO, M. R. R.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; URQUIAGA, S. *Bradyrhizobium* as the Only Rhizobial Inhabitant of Mung Bean (*Vigna radiata*) Nodules in Tropical Soils: A Strategy Based on Microbiome for Improving Biological Nitrogen Fixation Using Bio-Products. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, e602645, 2021.

- FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília, DF: IITA: EMBRAPA, 1988. p. 26-46.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; RODRIGUES, J. E. L. F.; VIEIRA, P. F. M. J. A cultura: aspectos socioeconômicos. In: DOVALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. (ed.). Feijão-caupi: do plantio à colheita. **Editora UFV**, Viçosa, MG, 2017. cap. 1, p. 9-34.
- GOHARA, A. K.; SOUZA, A. H. P.; GOMES, S. T. M.; SOUZA, N. E.; VISENTAINER, J. V.; MATSUSHITA, M. Nutritional and bioactive compounds of adzuki bean cultivar using chemometric approach. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, p. 104-113, 2016.
- GONÇALVES, A.; GOUFO, P.; BARROS, A. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: Nutritional advantages and constraints. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. V. 96, p. 2941-2951, 2016.
- GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R.; ROCHA, A. C. Nodulação e crescimento vegetativo de feijão azuki (*Vigna angularis*) submetido a inoculação e adubação nitrogenada, **Global Science and Technology**, vol. 03, p. 75-82, 2011.
- HALL, A. E. Phenotyping cowpeas for adaptation to drought. **Frontiers in Physiology**, v. 3, p. 1–8, 2012.
- HAN, L. L.; WANG, E. T.; LU, Y. L.; ZHANG, Y. F.; SUI, X. H.; CHEN, W. F.; CHEN, W. X. *Bradyrhizobium* spp. and *Sinorhizobium fredii* are Predominant in Root Nodules of *Vigna angularis*, a Native Legume Crop in the Subtropical Region of China. **The Journal of Microbiology**, v. 47, p. 00-00, 2009.
- HANUMANTHARAO, B.; NAIR, R. M.; NAYYAR, H. Salinity and High Temperature Tolerance in Mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] from a Physiological Perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 957, 2016.
- HEIL, C.A. Influence of humic, fulvic and hydrophilic acids on the growth, photosynthesis and respiration of the dinoflagellate *Prorocentrum minimum* (Pavillard) Schiller. **Harmful Algae**, v. 4, p. 603-618, 2005.
- HUYNH, B. L.; EHLERS, J. D.; HUANG, B.E.; MUÑOZ-AMATRIÁIN, M. LONARDI, S.; SANTOS, J. R. P.; NDEVE, A.; BATIENO, B. J.; BOUKAR, O.; CISSE, N.; DRABO, I.; FATOKUN, C.; KUSI, F.; AGYARE, R. Y.; GUO, Y. N.; HERNITER, I.; LO, S.; WANAMAKER, S. I.; XU, S.; CLOSE, T. J.; ROBERTS, P. A. A multi-parent advanced generation inter-cross (MAGIC) population for genetic analysis and improvement of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **The Plant Journal**, v. 93, p. 1129–1142, 2018.
- JAYATHILAKE, C.; VISVANATHAN, R.; DEEN, A.; BANGAMUWAGE, R.; JAYAWARDANA, B.C.; NAMMI, S.; LIYANAGE, R. Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. *Revista da Ciência da Alimentação e Agricultura*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 4793-4806, 2018.
- KAN, L.; NIE, S.; HU, J.; WANG, S.; BAI, Z.; WANG, J.; BAI, Z.; WANG, J.; ZHOU, Y.; JIANG, J.; ZENG Q.; SONG, K. Comparative study on the chemical composition,

anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes. **Food Chemistry**, v. 260, p. 317-326, 2018.

KANG, Y. J.; SATYAWAN, D.; SHIM, S.; LEE, T.; LEE, J.; HWANG, W. J.; KIM, S. K.; LESTARI, P.; LAOSATIT, K.; KIM, K. H.; HA, T. J.; CHITIKINENI, A.; KIM, M. Y.; KO, J-M.; GWAG, J-G.; MOON, J-K.; LEE, Y-H.; PARK, B-S.; VARSHNEY, R. K.; LEE S-H. Draft genome sequence of adzuki bean, *Vigna angularis*. **Scientific Reports**, v. 5, e8069, 2015.

KATOCH, R. Nutritional potential of rice bean (*Vigna umbellata*): an underutilized legume. **Journal of Food Science**, v. 78, p. 8-16, 2013.

KAUR, S.; SINGH, O. S. Response of ricebean to single and combined inoculation with Rhizobium and Glomus in a P-deficient sterilized soil. **Plant and Soil**, v. 112, p. 293-295, 1988.

KHURANA, A. S.; POONAM, S. Interaction between mungbean varieties and Bradyrhizobium strains. **Journal of Research Punjab Agricultural University**, v. 30, p. 44-49, 1993.

KUMARI, P.; MEENA, M.; GUPTA, P.; DUBEY, M. K.; NATH, G.; UPADHYAY, R. S. Plant growth promoting rhizobacteria and their biopriming for growth promotion in mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 16, p. 163–171, 2018.

KUMAWAT, K. C.; SHARMA, P.; NAGPAL, S.; GUPTA, R. K.; SIRARI, A.; NAIR, R. M.; BINDUMADHAVA, H.; SINGH, S. Dual Microbial Inoculation, a Game Changer? – Bacterial Biostimulants With Multifunctional Growth Promoting Traits to Mitigate Salinity Stress in Spring Mungbean. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, e 600576, 2021.

LARRAINZAR, E.; VILLAR, I.; RUBIO, M. C.; PEREZ-RONTOMÉ, C.; HUERTAS, R.; SATO, S.; MUN, J-H.; BECANA, M. Hemoglobins in the legume–Rhizobium symbiosis. **New Phytologist**, 228, 472–484, 2020.

LAWN, R. J.; BUSHBY, R. J. Effect of root, shoot and rhizobium strain on nitrogen fixation in four asiatic *vigna* species. **New Phytologist**, v. 92, p. 425-434, 1982.

LEITE, L.F.C.; ARAÚJO, A.S.F.; COSTA, C.N.; RIBEIRO, A.M.B. Nodulação e produtividade de grãos do feijão-caupi em resposta ao molibdênio. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p.492-497, 2009.

MARINHO, R. C. N.; NÓBREGA, R. S. A.; ZILLI, J. E.; XAVIER, G. R.; SANTOS, C. A. F.; AIDAR, S. T.; MARTINS, L. M. V.; FERNANDES JUNIOR, P. I. Field performance of new cowpea cultivars inoculated with efficient nitrogen- fixing rhizobial strains in the Brazilian Semiarid. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 49, p.395-402, 2014.

MARTINS, L.M.; XAVIER, G.R.; RANGEL, F.W.; RIBEIRO, J.R.A.; NEVES, M.C.P.; MORGADO, L.B. & RUMJANEK, N.G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: A strategy for improving grain yield in the semiarid region of Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, p. 333-339, 2003.

MARUYAMA, C.; ARAKI, R.; KAWAMURA, M.; KONDO, N.; KIGAWA, M.; KAWAI, Y.; TAKANAMI, Y.; MIYASHITA, K.; SHIMOMITSU, T. Azuki bean juice

lowers serum triglyceride concentrations in healthy young women. **Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition**, v. 43, p. 19-25, 2008.

MELO, L. F.; SILVA, T. P.; PEREIRA, J. S.; DOVALE, J. C.; BERTINI, C. H. C. M. Selection index for recommendation of cowpea cultivars for green bean production. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, e20207256, 2021.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. 2. ed. **Revista atual**. Viçosa, MG, 2017, 221p.

MENG, F., YUAN, G., WEI, J., BI, D., OK, Y. S., Wang, H. Humic substances as a washing agent for Cd-contaminated soils. **Chemosphere**, 181, 461-467, 2017.

MORA, V.; BAIGORRI, R.; BACAICOA, E. ZAMARREÑO, AM.; GARCÍA-MINA, J. M. The humic acid-induced changes in the root concentration of nitric oxide, IAA and ethylene do not explain the changes in root architecture caused by humic acid in cucumber. **Environmental and Experimental Botany**, v. 76, p. 24-32, 2012.

MUKAI, Y.; SATO, S. Polyphenol-containing azuki bean (*Vigna angularis*) seed coats attenuate vascular oxidative stress and inflammation in spontaneously hypertensive rats. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 22, p. 16–21, 2011.

MUS, F.; CROOK, M. B.; GARCIA, K.; GARCIA COSTAS, A.; GEDDES, B. A.; KOURI, E. D.; PARAMASIVAN, P.; RYU, M. H.; OLDROYD, G. E. D.; POOLE, P. S.; UDVARDI, M. K.; VOIGT, C. A.; ANÉ, J. M.; PETERS, J. W. Symbiotic Nitrogen Fixation and the Challenges to Its Extension to Nonlegumes. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 82, p. 3698-3710, 2016.

ORSI, D. C.; NISHI, A. C. F.; CARVALHO, V. S.; ASQUIERI, E. R. Caracterização química, atividade antioxidante e formulação de doces com feijão azuki (*Vigna angularis*). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016174, 2017.

ORURU, M. B.; NJERU, E. M.; PASQUET, R.; RUNO, S. Response of a wild-type and modern cowpea cultivars to arbuscular mycorrhizal inoculation in sterilized and non-sterilized soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, p. 90–101, 2017.

PAL, M.; BRAHMACHARY, R. L.; GHOSH, M. Comparative studies on physicochemical and biochemical characteristics of scented and nonscented strains of Mung beans (*vigna radiata*) of Indian origin. **Legume Research**. v. 33, p. 1 - 9, 2010.

PAN. F.; HE, S.; HU, Z.; WANG, P.; FENG, X. Diversity of rhizobia isolated from rice bean (*Vigna umbellate* L.). **Chinese Journal of Applied & Environmental Biology**, v. 9, p. 485-488, 2003.

POOLE, P.; RAMACHANDRAN, V.; TERPOLILLI, J. Rhizobia: from saprophytes to Endosymbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 16, p. 291–303, 2018.

QUILBÉ, J.; LAMY, L.; BROTTIER, L.; LELEUX, P.; FARDOUX, J.; RIVALLAN, R.; BENICHO, T.; GUYONNET, R.; BECANA, M.; VILLAR, I.; GARSMEUR, O.; HUFNAGEL, B.; DELTEIL, A.; GULLY, D.; CHAINTREUIL, C.; PERVENT, M.; CARTIEAUX, F.; BOURGE, M.; VALENTIN, N.; MARTIN, G.; FONTAINE, L.; DROC, G.; DEREPPER, A.; FARMER, A.; LIBOUREL, C.; NOUWEN, N.; GRESSENT, F.; MOURNET, P.; D'HONT, A.; GIRAUD, E.; KLOPP, C.; ARRIGHI, J-F. Genetics of nodulation in *Aeschynomene evenia* uncovers mechanisms of the

rhizobium–legume symbiosis. **Nature Communications**, v. 12, 829, (2021).
doi.org/10.1038/s41467-021-21094-7

QURESHI, M. A.; MUJEEB, F.; ANJUM, M. A.; ASIF ALI, A.; KHAN, A. Influence of growth stimulants with rhizobium inoculation on the yield of mung bean (*Vigna radiata* L.). **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**. v. 54, p. 523-529, 2017.

RACHAPUTIA, R. C. N.; SANDS, D.; MCKENZIE, K.; AGIUS, P.; LEHANE, J.; SEYOUM, S. Eco-physiological drivers influencing mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] productivity in subtropical Australia. **Field Crops Research**, v. 238, p. 74–81, 2019.

RESENDE O; FERREIRA LU; ALMEIDA DP. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, p. 171-178, 2010.

REVORED, M.D.; MELO, W.J. Nickel in the humic substances of soil after applications of sewage sludge contaminated with increasing rates of the metal and a cultivation with sorghum. In: INTERNATIONAL MEETING OF INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY, 12., 2004, São Pedro. **Humic Substances and Soil and Water Environment: Proceedings...** São Paulo: IHSS, 2004. 79p.

ROCHA, D.M.; BOIAGO, N.P.; CRUZ-SILVA, C.T.A.; PACHECO, F.P.; MENECHINNI, W.M.; NÓBREGA, L.H.P. Alelopatia de resíduos culturais de crame em superfície e incorporados ao solo sobre variedades de feijão. **Journal of Agronomic Sciences**, v.3, p. 50-61, 2014.

ROY, S.; LIU, W.; NANDETY, R. S.; CROOK, A.; MYSORE, K. S.; PISLARIU, C. I.; FRUGOLI, J.; DICKSTEIN, R.; UDVARDIA, M. K. Celebrating 20 Years of Genetic Discoveries in Legume Nodulation and Symbiotic Nitrogen Fixation. **The Plant Cell**, v. 32, p. 15-41, 2020.

RUFINI, M.; SILVA, M. A. P.; FERREIRA, P. A. A.; CASSETARI, A. S.; SOARES, B. L.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Symbiotic efficiency and identification of rhizobia that nodulate cowpea in a Rhodic Eutrudox. **Biology and Fertility of Soils**, v. 50, p. 115-122, 2014.

SANGOI, L.; DA SILVA, L. M. M.; MOTA, M. R.; SCHMITT, F. P. A.; SOUZA, N. M.; GIORDANI, W.; SCHENATTO, D. E. Desempenho agrônômico do milho em razão do tratamento de sementes com *Azospirillum* sp. e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p.1141-1150, 2015.

SANTOS, J. A. S.; TEODORO, P. E.; CORREA, A. M.; SOARES, C. M. G.; RIBEIRO, L. P.; ABREU, H. K. A. Desempenho agrônômico e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi cultivados no ecótono Cerrado/Pantanal. **Bragantia**, Campinas, v. 73, p.377-382, 2014.

SERENELLA, N.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLOB, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 1527-1536, 2002.

SERUDO, R. L.; ROCHA, J. C.; SILVA, H. C.; PATERLINI, W. C.; ROSA, A. H. Reduction of mercury (Hg) by tropical soil humic substances from Carvoeiro Region

(battered by black water) - Rio Negro - AM/Brasil. In: INTERNATIONAL MEETING OF INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY, 12., 2004, São Pedro. **Humic substances and soil and water environment: proceedings...** São Paulo: IHSS, 2004. p.78.

SHAHRAJABIAN, M. H.; SUN, W.; KHOSHKHARAM, M.; ZANDI, P.; CHENG, Q. Adzuki beans (*Vigna angularis*), a Traditional Chinese Legume for Sustainable Agriculture and Food Production. **Journal of Biological and Environmental Sciences**, v. 13, p. 79-84, 2019.

SHRIVASTAVA, D., VERMA, P., BHATIA, S. Expanding the repertoire of microsatellite markers for polymorphism studies in Indian accessions of mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek). **Molecular Biology Reports**, v. 41, p. 5669–5680, 2014.

SIAL, R. A.; CHAUDHRY, E. H.; HUSSAIN, S.; NAVEED, M. Effect of organic manures and chemical fertilizers on grain yield of maize in rainfed areas. **Soil and Environment**, v. 6, p. 130-133, 2007.

SILVA, A. C.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; DOBBSS, L. B.; AGUIAR, N. O.; FRADE, D. O. R.; REZENDE, C. E.; PERES, L. E. P. Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1609-1617. 2011.

SINGH, I.; SHANKAR, U.; ABROL, D. P.; MONDAL, A. Diversity of Insect Pollinators Associated with Pigeonpea, *Cajanus cajan* L. Mill sp. And Their Impact on Crop Production. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, p. 528-535, 2017.

SOARES, A.L.L.; PEREIRA, J.P.A.R.; FERREIRA, P.A.A.; VALE, H.M.M.; LIMA, A.S.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG). I - Caupi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.795-802, 2006.

SOARES, B. L.; FERREIRA, P.A. A.; OLIVEIRA-LONGATTI, S. M.; MARRA, L. M.; RUFINI, M.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Cowpea sybiotic efficiency, pH and aluminium tolerance in nitrogen-fixing bacteria. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, p. 171-180, 2014.

SPRENT, J. I.; ARDLEY, J.; JAMES, E. K. Biogeography of nodulated legumes and their nitrogen-fixing symbionts. **New Phytologist**, v. 215, p. 40–56, 2017.

SRITONGTAE, B.; SANGSUKIAM, T.; MORGAN, M. R. A.; DUANGMAL, K. Effect of acid pretreatment and the germination period on the composition and antioxidant activity of rice bean (*Vigna umbellata*). **Food Chemistry**, v. 227, p. 280-288, 2017.

STEPHENSON, K. B., AGAPOVA, S. E., DIVALA, O., KAIMILA, Y., MALETA, K. M., THAKWALAKWA, C., ... MANARY, M. J. Complementary feeding with cowpea reduces growth faltering in rural Malawian infants: A blind, randomized controlled clinical trial. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 106, p. 1500-1507, 2017.

STRALIOTTO, R. **A importância da inoculação com rizóbio na cultura do feijoeiro**. Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia/CNPAB, 2002. 6 p.

- SUMMERFIELD, R. J.; DART, P. J.; HUXLEY, P. A.; EAGLESHAM, A. R. J.; MINCHIN, F. R.; DAY, J. M. Nitrogen nutrition of cowpea (*Vigna unguiculata*). I. Effect of applied nitrogen and symbiotic nitrogen fixation on growth and seed yield. **Experimental Agriculture**, v.13, p.129-142, 1977.
- TIAN, J.; ISEMURA, T.; KAGA, A.; VAUGHAN, D. A.; TOMOOKA, N. **Genome**. v. 56, p. 717–727, 2013.
- USDA. United States Department of Agriculture. **National Nutrient Database**. 2015. (Online). Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>. Acesso em 15 mai. 2022.
- VERMA, S. K.; SHIKHA MITTAL, S.; GAYACHARAN.; WANKHEDE, D. P.; PARIDA, S. K.; CHATTOPADHYAY, D.; PRASAD, G.; MISHRA, D. C.; JOSHI, D. C.; SINGH, M.; SINGH, K.; AMIT KUMAR SINGH, A. K. Transcriptome Analysis Reveals Key Pathways and Candidate Genes Controlling Seed Development and Size in Ricebean (*Vigna umbellata*). **Frontiers in Genetics**, v. 12, 791355, 2022.
- VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G. A. Comparações agrônômicas de feijões dos gêneros *Vigna* e *Phaseolus* com feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, p. 841-850, 1992.
- VIEIRA R. F.; SANTOS, C. M. Comportamento de cultivares de feijão-arroz em Ponte Nova, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 47, p. 573-578, 2000.
- VIEIRA R. F.; VIEIRA, C.; MOURA, W. M. Comportamento do feijão-azuki em diferentes épocas de plantio em Coimbra e Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 47, p. 401-402, 2000.
- VIEIRA, R. F.; DE PAULA JUNIOR, R. J.; JACOB, L. L.; DA SILVA LEHNER, M.; DOS SANTOS, J. Desempenho de genótipos de feijão-mungo-verde semeados no inverno na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Ceres**. v. 58, p. 402 – 405, 2011.
- VIEIRA, R. F.; LIMA, R. C. Desempenho de cultivares de feijão-arroz em Coimbra e Leopoldina, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 55, p. 131-134, 2008.
- VIEIRA, R. F.; PINTO, C. M. F.; VIANA, L. F. Comportamento de linhagens de mungo-verde no verão-outono na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 52, p. 153-164, 2005.
- VIEIRA, R. F.; FERREIRA, T. C.; LIMA, R. C. Feijão-arroz (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi) In: PAULA Junior, T.J.; VENZON, M. 101 Culturas: Manual de tecnologias agrícolas. 2.ed rev. e atual., Belo Horizonte: EPAMIG, 2019. p.356-358.
- XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; SANTOS, C. E, de R. e S.; FREITAS, A. D. S. de; SILVA, V, S, G. da; SILVA, A. F. da; FERREIRA, J. da S.; STAMFORD, N. P.; MARTINS, L. M. V.; LEITE, J.; MORGADO, L. B.; ALCANTARA, R. M. C. M. Agronomic effectiveness of rhizobia strains on cowpea in two consecutive Years. **Australian Journal of Crop Science**. v. 11, p. 1154-1160, 2017.
- XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v. 37, n. 02, p. 572-575, 2007.

XU, D. B.; WANG, Q. J.; WU, Y. C.; YU, G. H.; SHEN, Q. R.; HUANG, Q. W. Humic-like substances from different compost extracts could significantly promote cucumber growth. **Pedosphere**, v. 22, p. 815-824, 2012.

YI-SHEN, Z.; SHUAI, S.; FITZGERALD, R. Mung bean proteins and peptides: nutritional, functional and bioactive properties. **Food & Nutrition Research**, v. 62, e10.29219, 2018.

ZHANG, X.; SHANG, P.; QIN, F.; ZHOU, Q.; GAO, B.; HUANG, H.; YANG, H.; SHI, H.; YU, L. Chemical composition and antioxidative and anti-inflammatory properties of ten commercial mung bean samples. **LWT - Food Science and Technology**. v. 54, p. 171 – 178, 2013.

ZHU, Y.-S.; SHUAI, S.; FITZGERALD, R. Mung bean proteins and peptides: nutritional, functional and bioactive properties. **Food & Nutrition Research**, v. 62, 2018.

**FENOLOGIA E PRODUTIVIDADE DE LEGUMINOSAS GRANÍFERAS NO
TRÓPICO ÚMIDO MARANHENSE**

CAPÍTULO II

RESUMO

O feijão-caupi é a principal cultura de subsistência e fonte de proteína de origem vegetal para o pequeno produtor do Norte e Nordeste brasileiro. Leguminosas graníferas ricas em proteínas e outros nutrientes, muito cultivadas e consumidas, principalmente na Ásia, podem contribuir para diversificar a alimentação e a renda dos agricultores familiares maranhenses. Objetivou-se avaliar a fenologia e o desempenho em campo do feijão-azuki, feijão-arroz e feijão-mungo-verde na região do trópico húmido do Maranhão. Foram realizados dois experimentos em campo, com quatro espécies leguminosas graníferas: feijão-caupi cv. Guariba, feijão-azuki cv. Coimbra, feijão-arroz cv. Viçosa e feijão-mungo-verde cv. Camaleão. No plantio foi aplicado 500 kg ha⁻¹ do formulado 4-14-8 (N-P₂O₅-K₂O) e aos 20 dias após a emergência foi feita adubação de cobertura com 150 kg ha⁻¹ de ureia. Os experimentos foram instalados no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. O ciclo de vida das espécies variou de 56 (feijão-azuki) a 70 (feijão-caupi) dias. Feijão-azuki, feijão-arroz e feijão-mungo-verde tiveram ciclos de vida menores que o do feijão-caupi. No experimento 1 e experimento 2, a produtividade do feijão-caupi foi 93,5% e 3,7 vezes maior que a do feijão-mungo-verde, 55% e 59% maior que a do feijão-azuki, e 35,6% e 44% maior que a do feijão-arroz, respectivamente. Nossos resultados indicam que a fenologia do feijão-mungo-verde, feijão-azuki e feijão-arroz é semelhante à do feijão-caupi. Nenhuma das três espécies apresentou potencial produtivo superior ao do feijão-caupi. O feijão-arroz foi o único que teve produtividade próxima à produtividade do feijão-caupi e pode ser considerada espécie promissora para ser cultivada no Maranhão. O feijão-azuki foi a espécie que teve mais redução na produtividade devido à problemas fitossanitários.

Palavras-chave: *Vigna umbellata*; *Vigna radiata*; *Vigna angularis*; *Vigna unguiculata*.

1 INTRODUÇÃO

As leguminosas graníferas (Fabaceae) são indispensáveis para garantir a segurança nutricional, diversificar a agricultura e melhorar a sustentabilidade agrícola (PRATAP et al., 2018). Essas leguminosas são fontes de proteínas (20-25%), vitaminas, minerais, probióticos e parte essencial da alimentação diária em grande parte do mundo (SWARNALAKSHMI et al., 2020).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é importante fonte de proteína, principalmente para populações da Ásia, África e América do Sul (SILVA et al., 2021), devido às suas qualidades nutricionais, adaptabilidade a regiões áridas e tolerância à seca (SILVA et al., 2019). Essa leguminosa é alimento básico para populações de baixa renda no Nordeste do Brasil (ARAÚJO et al., 2021). Nessa região, cerca de 25 milhões de pessoas consomem os grãos dessa cultura, principalmente como fonte de proteínas e minerais, como ferro e zinco, em substituição às fontes de proteína animal de alto custo (FREITAS et al., 2022).

Como o feijão-caupi, outras espécies de feijões do gênero *Vigna* muito cultivadas e consumidas, principalmente no continente asiático, são fontes de nutrientes e podem contribuir para diversificar a alimentação e a renda dos agricultores familiares maranhenses.

O feijão-mungo-verde (*Vigna radiata* L. Wilczek) é leguminosa rica em proteínas, fibras, minerais, vitaminas e compostos bioativos (GAN et al., 2017) muito consumida na Ásia (HOU et al., 2019). No Brasil, o feijão-mungo-verde é cultivado em áreas do cerrado em sucessão à soja e ao milho e sua produção é exportada para países asiáticos, principalmente para a Índia (FAVERO et al., 2021). Baixo custo de implantação, ciclo de vida curto, adaptação a altas temperaturas e ao estresse hídrico, contribuem para a boa aceitação do feijão-mungo-verde pelos agricultores brasileiros (VIEIRA et al., 2011; HANUMANTHARAO et al., 2016; SHARMA et al., 2016).

O feijão-azuki (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi) é uma das culturas mais importantes na Coreia do Sul, China, Japão e Taiwan (KIM et al., 2015) e por séculos tem sido utilizado na medicina tradicional chinesa (TAKAHAMA et al., 2019). É leguminosa granífera rica em proteínas, lipídios, vitaminas, minerais, carboidratos (55% de amido), polissacarídeos, fibras e outros micronutrientes (KAN et al., 2018; KHAN, 2021).

Pesquisas sugerem que o feijão-azuki possui efeitos na redução da obesidade (LEE et al., 2019), na regulação da pressão arterial (MUKAI; SATO, 2009), na proteção hepática (KIM et al., 2016), no combate à diabetes (WU et al., 2019) e na ação antioxidante (LEE et al., 2018). O feijão-azuki é consumido cozido e em uma variedade de pratos, como pasta para doces, bolos, mingau, geleia, leite e sorvete (KHAN, 2021).

O feijão-arroz (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi) é leguminosa cultivada principalmente no Nepal, China, Índia e Bangladesh. Acredita-se que seu centro de origem seja a Indochina (THAKUR et al.; 2021). É um feijão rico em proteínas, carboidratos, fibras, minerais, vitaminas, ácidos graxos insaturados, como os ácidos linoleico e linolênico e com alta concentração de vários aminoácidos essenciais (KATOCH, 2013). Devido ao seu ciclo de vida relativamente curto e à capacidade de se desenvolver bem em condições de estresse e vários tipos de solo, o feijão-arroz tem potencial para uso em programa de segurança alimentar e nutricional na maior parte do mundo (PATTANAYAK et al., 2019).

Apesar de serem leguminosas graníferas muito consumidas em algumas regiões do mundo, essas espécies ainda são pouco conhecidas pelos agricultores maranhenses. Nossa hipótese é que assim como o feijão-caupi, essas leguminosas graníferas podem ser fontes alternativas para diversificar a alimentação e a renda dos agricultores maranhenses. Portanto, nosso objetivo foi avaliar a fenologia e produtividade em campo do feijão-azuki, feijão-arroz e feijão-mungo-verde no trópico húmido maranhense.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local e caracterização da área experimental

Foram realizados dois experimentos em campo: um de maio a julho (período chuvoso) e outro de outubro a dezembro (período seco) de 2019, em áreas distantes 250 m uma da outra, no campo experimental do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia/UEMA, situado no Campus Paulo VI, s/n, Tirirical, São Luís, MA (2° 30' S e 44° 18' W, altitude de 24 m). O clima da região na classificação de Köppen é do tipo AW' (equatorial quente e úmido), com duas estações bem definidas: uma chuvosa, de janeiro a junho, e outra com déficit hídrico acentuado de julho a dezembro. As precipitações anuais variam de 1700 a 2300 mm, das quais mais de 80% ocorrem de janeiro a maio. Em 2019, a média da precipitação no experimento 1 (maio, junho e

julho) foi de 184 mm e no experimento 2 (outubro, novembro e dezembro) foi de 30 mm (Figura 1). A média da temperatura máxima anual foi 31,8 °C e a mínima, 24,8 °C.

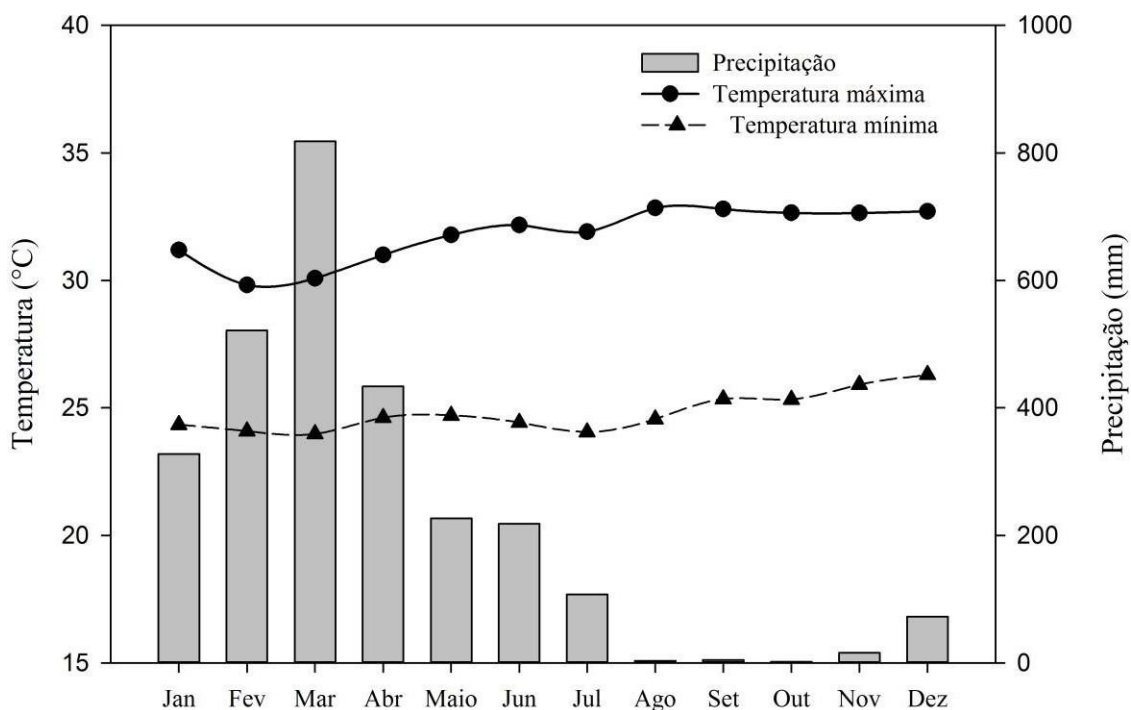


Figura 1. Precipitação pluvial mensal e temperatura máxima e mínima, em 2019.

Fonte: Dados da Rede do INMET, São Luís, MA.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico com textura franco arenosa (Embrapa, 2013). Antes da instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm para determinar suas características físico-químicas (Tabela 1).

Anteriormente, a área do experimento 1 foi usada no período de fevereiro a maio de 2018 para implantação de experimento com milho adubado com doses N em cobertura e a área do experimento 2, foi usada de fevereiro de 2018 a julho de 2019 para a implantação de experimentos com milho inoculado com bactérias diazotróficas (*Azospirillum brasilense*) associadas a adubação com molibdênio (Mo).

Tabela 1. Características físico-químicas do solo na profundidade de 0-20 cm antes da implantação dos experimentos em 2019.

Características do solo	Experimento 1	Experimento 2
pH ^a	4,3	3,5
P ^b (mg dm ⁻³)	6,0	26,0
K ^b (mmolc/dm ³)	2,0	2,8
Ca ^b (mmolc/dm ³)	17,0	6,0
Mg ^b (mmolc/dm ³)	0,0	2,0
H + Al ^b (mmolc/dm ³)	20,0	49,0
MO ^b (g dm ⁻³)	3,0	18,0
CTC ^c (mmolc/dm ³)	39,0	59,8
Areia grossa (g/kg)	270	230
Areia fina (g/kg)	560	570
Silte (g/kg)	50	100
Argila (g/kg)	120	100

^aMedido em 0,01 M CaCl² usando a razão solo/solução de 1:2,5 (v/v).

^bDe acordo com van Raij, Andrade, Cantarella e Quaggio (2001).

^cCTC, capacidade de troca catiônica em pH 7: Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ e H⁺ + Al³⁺.

Antes da instalação dos experimentos, a vegetação espontânea foi eliminada com roçadeira manual e não houve preparo de solo para a semeadura. Foi realizada adubação de plantio com 500 kg ha⁻¹ do formulado 4-14-8 (N-P₂O₅-K₂O). A adubação de cobertura foi feita com 150 kg ha⁻¹ de ureia aos 20 dias após a emergência (DAE). Para reduzir a volatilização do N, a adubação com ureia foi feita pela manhã, em sulcos próximos às linhas de plantio, cobertos com material vegetal da área e irrigados em seguida. No experimento 1 (período chuvoso), as plantas foram irrigadas de forma complementar às chuvas, enquanto no experimento 2 (período seco), as plantas foram irrigadas diariamente até a fase de enchimento de grãos. Foram usadas fitas gotejadoras com lâmina de água de 6 mm/dia para irrigação. O controle de plantas daninhas foi realizado com capina manual, quando necessário.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos foram quatro espécies de leguminosas graníferas: feijão-caupi cv. Guariba, feijão-azuki cv. Coimbra, feijão-arroz cv. Viçosa e feijão-mungo-verde cv. Camaleão. O cultivar do feijão-caupi foi obtida na Embrapa Meio Norte e as demais cultivares, na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig). Os experimentos foram instalados no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições.

Para feijão-mungo-verde, feijão-azuki e feijão-arroz, a parcela experimental foi constituída de cinco fileiras de 5 m, espaçadas de 0,4 m. Para feijão-caupi, a parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 5 m, espaçadas de 0,6 m. Foram semeadas 20 sementes por metro de sulco para as quatro espécies. Após o desbaste, foram deixadas 10 plantas/m para o feijão-caupi e 15 plantas/m para as demais espécies. As duas fileiras laterais e 0,5 m de cada extremidade das fileiras centrais serviram de bordadura. A área útil da parcela, das quatro espécies, foi de 4,2 m².

2.3 Características avaliadas

- a) **Data da emergência:** quando 90% das plântulas emergentes estavam em posição vertical.
- b) **Altura de planta:** determinada em 10 plantas/parcela, entre a superfície do solo e a folha mais alta do dossel da planta no início da floração.
- c) **Início do florescimento:** quando 50% das plantas apresentavam pelo menos uma flor aberta.
- d) **Aparecimento da primeira vagem madura:** quando 50% das plantas apresentavam pelo menos uma vagem seca;
- e) **Ciclo de vida:** dias a partir da data da emergência até a maturação de colheita.
- f) **Número e massa de nódulos:** foi separado 0,50 m da extremidade das fileiras centrais para coleta de raízes de quatro plantas, que foi feita com auxílio de enxadão. As raízes das plantas foram separadas da parte aérea e os nódulos foram destacados das raízes e contados. Em seguida, os nódulos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até atingirem massa constante para determinar a massa.
- g) **Estande final:** contagem das plantas na área útil da parcela (4,2 m²).
- h) **Produtividade de grãos:** foram colhidas todas as vagens das plantas da área útil da parcela.
- i) **Componentes da produtividade:** após a colheita foram contados o número total de vagens e o número total de sementes de cada parcela. O número de vagens por planta foi obtido da divisão entre o número de vagens e o estande final. O número de semente por vagem foi obtido da razão entre o número de sementes e o número de vagens. Foram separadas duas amostras ao acaso de 100 sementes, para avaliar a massa de 100 sementes. Os grãos e a massa de 100 sementes foram padronizados para 130 g kg⁻¹ de água.

j) **Comprimento de vagens:** foram separadas, ao acaso, 20 vagens para medir o comprimento da vagem.

k) **Proteína total:** os grãos foram secos em estufa de circulação de ar a 70°C até massa constante, e utilizados para determinar o teor de N no grão pelo método de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). A proteína total foi obtida pela multiplicação do teor de N no grão (%) por um fator (6,25) que converte o nitrogênio em proteína.

2.4 Análise estatística

Os dados de produtividade de grão dos dois experimentos foram submetidos aos modelos lineares mistos com a função *lmer* no pacote *lme4* (BATES et al., 2015). Os efeitos fixos foram as espécies de feijão (feijão-caupi, feijão-azuki, feijão-arroz e feijão-mungo-verde). O valor de *P* dos do efeito fixo foi obtido no pacote *lmerTest* (KUZNETSOVA et al., 2017). Os efeitos aleatórios foram experimentos e blocos aninhados com experimentos. Avaliamos graficamente as suposições do modelo ajustado plotando os resíduos em relação aos valores ajustados da variável dependente. O teste de Tukey ($P \leq 0,05$) foi usado para comparar as médias da produtividade afetada pelas espécies com a função *emmeans* no pacote *emmeans* (LENTH, 2021). Para as demais variáveis dependentes foi usada a estatística descritiva (média \pm desvio-padrão). Todas as análises foram feitas no R versão 4.1.2 (R Core Team 2021).

3 RESULTADOS

No experimento 1, o feijão-mungo-verde foi replantado 16 dias após o plantio das espécies de leguminosas graníferas devido a falhas no estande. A emergência dos feijões ocorreu aos 5 ou 6 dias após a semeadura no experimento 1 e entre 4 e 6 dias no experimento 2. No experimento 1, feijão-azuki, feijão-arroz e feijão-mungo-verde levaram, em média, 34 dias da emergência ao início da floração, enquanto o feijão-caupi, 42 dias. No experimento 2, feijão-arroz, feijão-mungo-verde e feijão-caupi iniciaram o florescimento entre 35 e 39 dias após a emergência (DAE), enquanto feijão-azuki, com 47 DAE. No experimento 2, entre a floração e a maturação das vagens, o feijão-caupi demorou 11 dias a mais que no experimento 1. Diferente das outras espécies, o número de colheitas do feijão-azuki variou de duas no experimento 1 para uma no experimento 2. O ciclo de vida das espécies variou de 56 (feijão-azuki) a 70

(feijão-caupi) dias. Feijão-azuki, feijão-arroz e feijão-mungo-verde tiveram ciclos de vida menores que o do feijão-caupi nos dois experimentos (Tabelas 2).

Tabela 2. Fenologia de quatro espécies de leguminosas graníferas em São Luís, Maranhão, em 2019.

Espécies de feijão	Emergência (dias)	Emergência ao início da floração (dias)	Emergência à primeira vagem madura (dias)	Emergência à primeira colheita (dias)	Colheita (número)
Experimento 1					
Feijão-Azuki	5	35	52	56	2
Feijão-Arroz	6	34	55	58	2
Feijão-Mungo-verde	5	33	48	56	1
Feijão-Caupi	5	42	59	63	2
Experimento 2					
Feijão-Azuki	6	47	64	68	1
Feijão-Arroz	5	39	60	65	2
Feijão-Mungo-verde	5	35	52	61	1
Feijão-Caupi	4	38	66	70	2

No experimento 1, foi observado ataque leve do pulgão-preto *Aphis craccivora* Koch, 1854 (Hemiptera: Aphididae) ao feijão-caupi, feijão-arroz e feijão-azuki em algumas parcelas. No experimento 2, não foi observado ataque de pulgão, mas foram observados sintomas semelhantes aos do ataque de nematoides *Pratylenchus spp*, como parte aérea clorótica, murcha, nanismo e lesões no caule da planta, no feijão-arroz, no feijão-mungo-verde e principalmente, no feijão-azuki (SMILEY et al., 2021). Foi identificada a presença de nematoides do gênero *Pratylenchus* nas raízes de duas plantas e de uma amostra de solo da área usada no experimento. No entanto, não foi possível analisar amostragem representativa para confirmar se os danos nas plantas foram realmente causados pelo nematoide.

Nos dois experimentos, o estande final de plantas ficou próximo do planejado (16,6 plantas/m² para o feijão-caupi e 37,5 plantas/m² para as demais espécies). O feijão-caupi apresentou altura média de 55 cm nos dois experimentos, enquanto as outras espécies, entre 23,7 cm e 41,2 cm, dependendo da época de cultivo (Tabela 3).

Tabela 3. Médias (\pm DP) de estande final, altura de planta e comprimento de vagem de quatro espécies de leguminosas graníferas em São Luís, Maranhão, em 2019.

Espécies de feijão	Estande final (plantas/m ²)	Altura de planta (cm)	Comprimento da vagem (cm)
Experimento 1			
Feijão-Azuki	35,7 \pm 3,7	23,7 \pm 2,1	7,3 \pm 0,6
Feijão-Arroz	35,6 \pm 1,4	32,8 \pm 6,1	9,1 \pm 0,4
Feijão-Mungo-verde	34,4 \pm 1,4	33,9 \pm 5,3	9,9 \pm 0,5
Feijão-Caupi	15,9 \pm 0,9	56,2 \pm 9,0	20,5 \pm 0,5
Experimento 2			
Feijão-Azuki	29,9 \pm 5,8	28,1 \pm 4,9	6,7 \pm 0,5
Feijão-Arroz	37,6 \pm 0,9	26,2 \pm 2,1	8,2 \pm 0,3
Feijão-Mungo-verde	35,7 \pm 2,5	41,2 \pm 1,6	9,5 \pm 0,3
Feijão-Caupi	16,7 \pm 0,1	54,2 \pm 6,5	19,9 \pm 0,5

O efeito dos tratamentos foi muito altamente significativo ($P < 0,001$) para a produtividade. A produtividade do feijão-caupi foi 2,2 vezes maior que a produtividade do feijão-azuki, 74% maior que produtividade do feijão-mungo-verde e 29% maior que a produtividade do feijão-arroz (Figura 2).

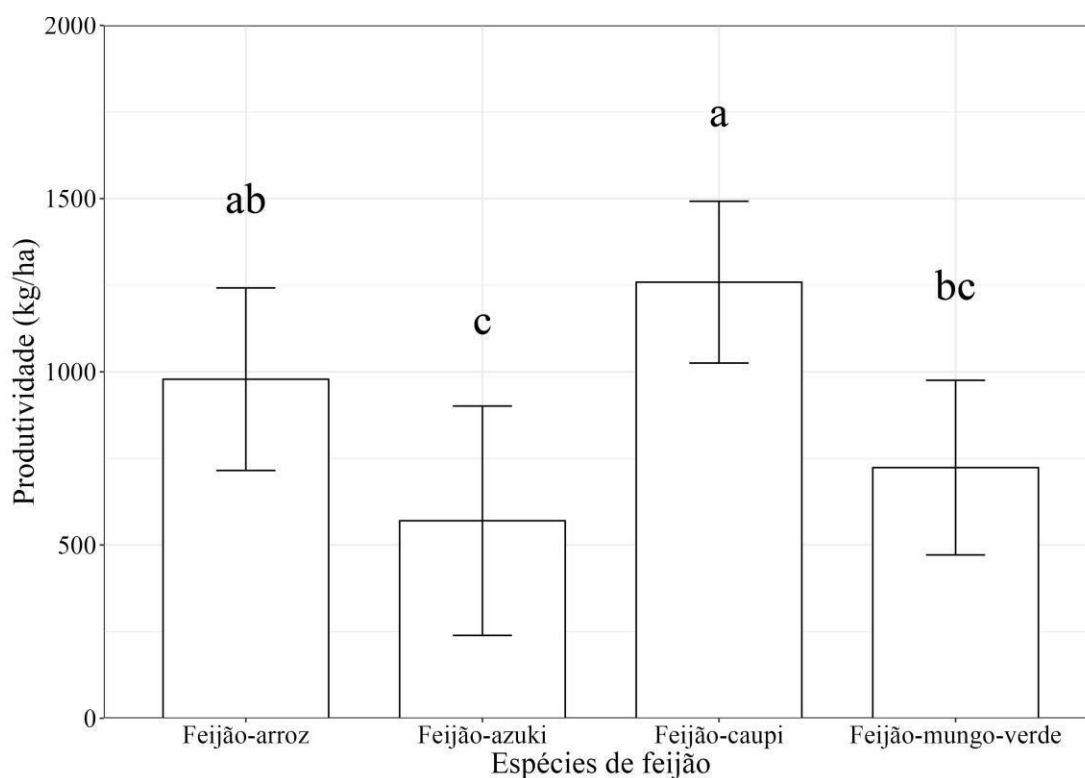


Figura 2. Produtividade de quatro espécies de leguminosas graníferas em São Luís, Maranhão, em 2019. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

No experimento 2, o feijão-azuki apresentou vagens e sementes menores, teor de proteína total mais baixo, menor número de vagem por planta e número de grão por vagem que no experimento 1 (Figura 3). A média do número de vagens por planta do feijão-mungo-verde foi 1,7 vezes maior no experimento 2 que no experimento 1 (Figura 3A). As médias dos componentes da produtividade do feijão-arroz foram semelhantes nos dois experimentos. Os teores de proteína total variaram de 17% (feijão-arroz) a 24% (feijão-caupi) no experimento 1 e de 18% (feijão-arroz) a 23% (feijão-caupi) no experimento 2 (Figura 3).

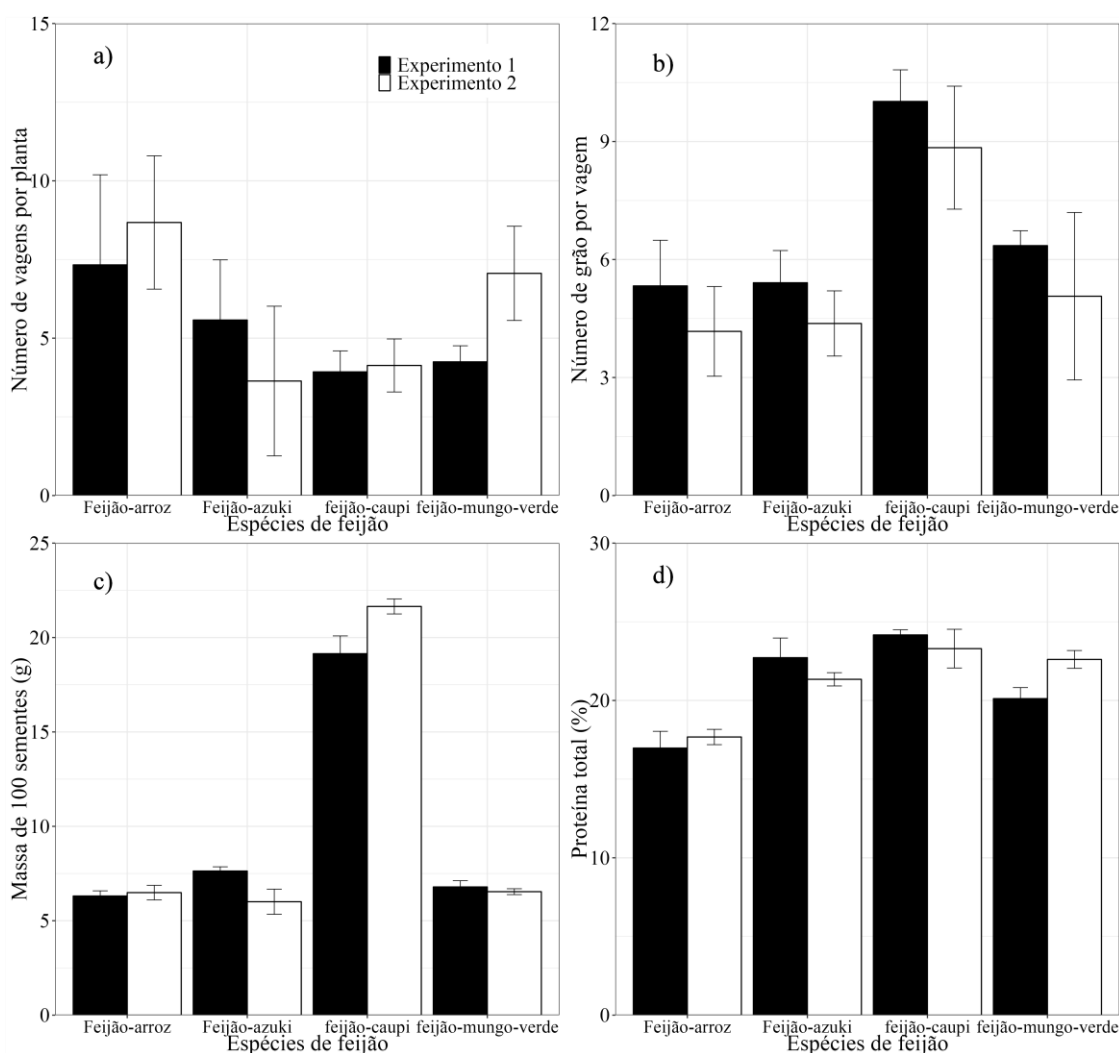


Figura 3. Médias (\pm DP) dos componentes da produtividade e do teor de proteína total de quatro espécies de leguminosas graníferas em São Luís, Maranhão, em 2019.

4 DISCUSSÃO

Quando cultivadas nas condições de solo e clima da região do trópico úmido maranhense, o feijão-azuki, feijão-arroz e feijão-mundo-verde, possuem ciclo de vida

mais curto em relação ao feijão-caupi. Em outras regiões do Brasil, como na Zona da Mata de Minas Gerais, entretanto, o ciclo de vida dessas espécies varia consideravelmente. Em Minas Gerais, a média do ciclo de vida do feijão-azuki cv. Coimbra foi de 70 a 80 dias (VIEIRA et al., 2019a), do feijão-arroz cv. Viçosa foi de 100 dias (VIEIRA et al., 2019b) e do feijão-mungo-verde cv. Camaleão de 58 a 81 dias (VIEIRA et al., 2022), dependendo do local e da época de plantio.

Das quatro espécies de leguminosas estudadas, o feijão-mungo-verde foi a que apresentou maturação das vagens mais uniforme com uma única colheita, independentemente da época de plantio. O feijão-caupi e o feijão-arroz foram tiveram duas colheitas, por causa da maturação relativamente mais desuniforme de suas vagens. O intervalo entre a primeira e segunda colheita do feijão-arroz foi de cinco dias nos dois experimentos. Esse pequeno intervalo foi necessário para evitar abertura natural das vagens no campo, pois no feijão-arroz elas abrem-se facilmente quando secas. A maturação desuniforme e a deiscência das vagens do feijão-arroz são características que podem limitar a expansão do cultivo dessa espécie (VIEIRA et al., 2008). O feijão-azuki teve duas colheitas no experimento 1 e apenas uma no experimento 2, devido à redução no número de vagens, consequência dos danos causados, provavelmente, por nematoides.

O ataque do pulgão-preto observado no experimento 1 foi leve e ocorreu em poucas parcelas do feijão-azuki, feijão-arroz e feijão-caupi durante a fase de floração. Devido ao baixo nível de infestação da praga, não foi necessário fazer controle. O feijão-mungo-verde, talvez por ter sido replantado 16 dias após as demais espécies e estar em fase de desenvolvimento diferente das demais, não sofreu ataque de pulgão. O pulgão-preto é considerado praga-chave do feijão-caupi (YADAV et al., 2015), o que talvez explique sua presença na área. O ataque do pulgão-preto pode causar danos diretos à planta pela sucção da seiva e assim pode causar nanismo, distorção foliar, desfolha prematura e morte de plântulas. Danos indiretos, como a transmissão de vírus (SILVA et al., 2012; TOGOLA et al., 2020), não foram observados.

No experimento 2, o feijão-arroz, o feijão-mungo-verde e, mais intensamente, o feijão-azuki apresentaram anomalias nas plântulas, como mancha escura no colo da planta, murcha e tombamento. Algumas parcelas sofreram redução no estande e muitas plantas tiveram desenvolvimento comprometido por nanismo, amarelecimento e necrose foliar. Devido a presença de nematoides na área usada para os experimentos e baseado nos sintomas associados à *Pratylenchus spp* na literatura, acredita-se que os sintomas

observados nas plantas tenham sido causados por nematoides desse gênero. Esse nematoide, também conhecido como nematoide-da-lesão-radicular, é um endoparasita migratório, que penetra no tecido radicular da planta com ajuda de estilete e se alimenta de nutrientes retirados do citoplasma das células do córtex radicular (GOUGH et al., 2020; CHANNALE et al. 2021). Entre os sintomas causados pelo ataque do *Pratylenchus* ssp. estão: lesões necróticas na raiz, necrose foliar e murcha, o que pode levar a perda da função radicular, redução do vigor das plantas e da produtividade (JONES et al., 2013). Além disso, esse nematoide predispõe as plantas à infecção por fungos e bactérias que infectam raízes (SMILEY et al., 2021). Por esse motivo, mesmo com o estande final próximo do planejado (37,5 plantas/m²), plantas do feijão-azuki ficaram pequenas, com poucas folhas, o que reduziu a produtividade dessa espécie.

A média das alturas das plantas do feijão-azuki foi 23,7 cm no experimento 1 e 28,1 cm no experimento 2, alturas consideradas baixas, uma vez que essa espécie pode atingir até 60 cm de altura (SOLTANI et al., 2006; ANJALI; BHARDWAJ, 2021). Na Zona da Mata de Minas Gerais, o feijão-azuki apresentou entre 19 e 60 cm de altura, dependendo da época de plantio (VIEIRA et al., 2002). Fatores como regime hídrico, temperatura e fertilidade dos solos, podem explicar a variação na altura dessas plantas (VIEIRA et al., 2002). No entanto, como os plantios no Maranhão foram realizados com o uso de irrigação, inclusive no período chuvoso (de forma complementar) e a temperatura média da região está próxima ao limite superior da faixa recomendada para cultivo dessa espécie (de 15 a 30 °C) (VIEIRA et al., 2019a), é provável que esses resultados também sejam devidos a fatores fitossanitários como ataques de nematoides e doenças.

Apenas o feijão-arroz teve produtividade igual ao do feijão-caupi. É provável que a produtividade do feijão-arroz tenha sido afetada pela doença não identificada (possivelmente causada por *Pratylenchus* spp) e que, se cultivada em ambiente livre de pragas e patógenos, essa espécie tenha potencial produtivo próximo ao do feijão-caupi. É importante destacar que o cultivar Viçosa do feijão-arroz usada nos experimentos, foi lançada para a Zona da Mata de Minas Gerais (VIEIRA et al., 2019b), região com clima muito diferente do clima do Maranhão. Ademais, diferentemente do feijão-caupi cv. Guariba, que é fruto de melhoramento genético e é recomendado para o Maranhão (FREIRE FILHO et al., 2006), o feijão-arroz não tem sido estudado nesta região do país.

O feijão-azuki foi a espécie mais atacada por doença não identificada (possivelmente *Pratylenchus* spp). Assim como o feijão-arroz, o feijão-azuki cv. Coimbra também foi lançado para o estado de Minas Gerais. Logo, não há melhoramento genético dessa espécie para melhor adaptá-la aos trópicos brasileiros.

O feijão-mungo-verde também foi atacado por doença não identificada (possivelmente *Pratylenchus* spp). No entanto, sua produtividade não diferiu significativamente da produtividade do feijão-arroz. Acredita-se que as plantas do feijão-mungo-verde que não sofreram danos pela doença, tenham sido beneficiadas pelo fósforo (P) presente no solo (Tabela 1). O P no solo, além de nutrir melhor a planta em (P), pode ter estimulado a FBN. O P atua em vários processos fisiológicos das plantas como crescimento radicular, produção de matéria seca, floração, amadurecimento, nodulação, fixação de nitrogênio (REKHA, et al., 2018) e é considerado o nutriente mais importante para aumentar a produtividade do feijão-mungo-verde (SADEGHIPOUR et al., 2010).

O número de vagens por planta foi o componente da produtividade que mais influenciou o aumento da produtividade do feijão-mungo-verde. O aumento no número de vagens por planta também pode ser explicado pelo teor de P no solo, uma vez que esse elemento influencia a formação de vagens e sementes dessa leguminosa (ANETOR; AKINRINDE, 2006; SADEGHIPOUR et al., 2010; SINGH; SINGH , 2018).

Acredita-se que as baixas médias dos componentes da produtividade do feijão-azuki tenha sido devido aos problemas fitossanitários causados provavelmente pelo nematoide *Pratylenchus* spp. As médias da massa de 100 de sementes do feijão-azuki foi 7,9 g no experimento 1 e 6,0 g no experimento 2. Na Zona da Mata de Minas Gerais, a média de 100 sementes do feijão-azuki cv. Coimbra ficou entre 8,7 e 15 g (VIEIRA et al., 2000; VIEIRA et al., 2002). As médias da proteína (23 e 21%) do feijão-azuki são semelhantes aos valores encontrados na Índia (18,8 a 24,5%) (YADAV et al., 2018) e na China (24%) (ZHANG et al., 2022).

Na Nigéria, o teor de proteína de cinco genótipos de feijão-caupi variou de 19,8 a 26,6% (OWOLABI et al. 2012). Em Fortaleza, Ceará, estudo com 3 cultivares brasileiras de feijão-caupi, os teores de proteína variaram de 23 a 26% (VASCONCELOS et al., 2010). Em Teresina, Piauí, em avaliação da composição química de 33 genótipos do feijão-caupi, os autores obtiveram valores de proteína de

22,7% para o cultivar Guariba (CARVALHO et al., 2012). Logo, nossos resultados assemelham-se aos encontrados por esses últimos pesquisadores.

As médias da proteína total do feijão-arroz no experimento 1 (17%) e experimento 2 (18%) estão abaixo dos valores encontradas na Índia por Dahipahle et al. (2017) que variou de 18 a 26%. Katoch (2013) estudou 16 genótipos de feijão-arroz e encontrou médias de proteína total com variação de 20,3 a 22,9%. Estudo para investigar as características dos grãos, amido e proteína total de 20 linhagens de feijão-de-arroz, apresentou médias de proteína total nos grãos de 18,6 a 20,4% (Kaur et al., 2013). As médias da proteína total do feijão-mungo-verde no experimento 1 (20%) e experimento 2 (22%) foram semelhantes às encontradas na Índia (18,7 a 25%) (MASIH et al., 2020) e menores que as encontradas na China (20,9 a 32,6%) (HOU et al., 2019) e no Paquistão (21 a 31%) (ANWAR et al., 2007).

Das quatro espécies estudadas no Maranhão, o feijão-caupi é a única espécie cujo cultivar se originou de um programa de melhoramento feito para o Nordeste brasileiro. As demais espécies, não foram submetidas a melhoramentos no Brasil e muitos dos estudos feitos e que convergiram para a recomendação dessas espécies foram realizados em Minas Gerais.

Acredita-se que os resultados obtidos neste estudo tenham sido limitados pelo uso de apenas um cultivar por espécie e que é possível obter maiores produtividades com feijão-arroz, feijão-azuki e feijão-mungo-verde, se em estudos futuros forem incluídas maior variabilidade de cultivares de cada espécie. Também são necessários estudos mais específicos para determinar a resistência e suscetibilidade dessas espécies a pragas e doenças comuns na região do trópico úmido para melhor explorar o potencial dessas espécies nessa região.

5 CONCLUSÃO

A fenologia do feijão-mungo-verde, feijão-azuki e feijão-arroz é semelhante à do feijão-caupi. Nenhuma das três espécies apresentou potencial produtivo superior ao do feijão-caupi. O feijão-arroz foi o único que teve produtividade próxima à produtividade do feijão-caupi e pode ser considerada espécie promissora para ser cultivada no Maranhão. O feijão-azuki foi a espécie que teve maior redução na produtividade devido à problemas fitossanitários. Em estudos futuros é necessária uma avaliação de um

germoplasma mais amplo de feijão-arroz, de feijão-azuki e de feijão-mungo-verde para reduzir, através do melhoramento, a diferença de adaptação entre essas espécies.

REFERÊNCIAS

ANETOR, M. O.; AKINRINDE, E. A. (2006) Differences in the liming potential of some fertilizer materials in a tropical acid alfisol. **Journal of Applied Sciences**, v. 6, e16861691, 2006.

ANJALI; BHARDWAJ, N. Genetic variability, correlation and path analysis studies in adzuki bean germplasm. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 10, p. 181-186, 2021.

ANWAR, F.; LATIF, S.; PRZYBYLSKI, R.; SULTANA, B.; ASHRAF, M. Chemical composition and antioxidant activity of seeds of different cultivars of mungbean. **Journal of food science**, v. 72, p. S503-S510, 2007.

ARAÚJO, L. B. R.; BARROSO NETO, A. M.; BERTINI, C. H. C.M.; LOPES, L. S.; GALLÃO, M. I. Influence of the environment and production components on the protein content of green cowpea grain. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, p. 20207251, 2021.

BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; AND WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **The Journal of Statistical Software**, v. 67, p. 1-48, 2015.

CARVALHO, A. F. U.; SOUSA, N. M.; FARIAS, D. F.; ROCHA-BEZERRA, L. C. B.; SILVA, R. M. P.; VIANA, M. P.; GOUVEIA, S. T.; SAMPAIO, S. S.; SOUSA, M. B.; LIMA, G. P. G.; MORAIS, S. M.; BARROS, C. C.; FREIRE FILHO, F. R. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, p. 81-88, 2012.

CHANNALE, S.; KALAVIKATTE, D.; THOMPSON, J. P.; KUDAPA, H.; BAJAJ, P.; VARSHNEY, R. K.; ZWART, R. S.; THUDI, M. Transcriptome analysis reveals key genes associated with root-lesion nematode *Pratylenchus thornei* resistance in chickpea. **Scientific Reports**, v. 11, p. 17491, 2021.

DAHIPAHLE, A. V.; KUMAR, S.; SHARMA, N.; SINGH, H.; KASHYAP, S.; MEENA, H. Rice bean - a multipurpose, underutilized, potential nutritive fodder legume - a review. **Journal of Pure & Applied Microbiology**, v. 11, p. 433-439, 2017.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro. 2013, 412p.

FAVERO, V. O.; CARVALHO, R. H.; MOTTA, V. M.; LEITE, A. B. C.; COELHO, M. R. R.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; URQUIAGA, S. Bradyrhizobium as the Only Rhizobial Inhabitant of Mung Bean (*Vigna radiata*) Nodules in Tropical Soils:

A Strategy Based on Microbiome for Improving Biological Nitrogen Fixation Using Bio-Products. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 602645, 2021.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M.M.; BRIOSO, P. S. T.; RIBEIRO, V. Q. 'BRS Guariba': white-grain cowpea cultivar for the midnorth region of Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 6, p. 175-178, 2006.

FREITAS, T. K. T.; GOMES, F. O.; ARAÚJO, M. S.; SILVA, I. C. V.; SILVA, D. J. S.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M. Potential of cowpea genotypes for nutrient biofortification and cooking quality. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, e20218048, 2022.

GAN, R. Y.; LUI, W. Y.; WU, K.; CHAN, C. L.; DAI, S. H.; SUI, Z. Q.; CORKE, H. Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 59, p. 1–14, 2017.

GOUGH, E. C.; OWEN, K. J.; ZWART, R. S.; THOMPSON, J. P. A Systematic Review of the Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Root-Lesion Nematodes, *Pratylenchus* spp. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 923, 2020.

HANUMANTHARAO, B.; NAIR, R. M.; NAYYAR, H. Salinity and High Temperature Tolerance in Mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] from a Physiological Perspective. **Frontiers in Plant Science**, 7:957, 2016.

HOU, D.; YOUSAF, L.; XUE, Y.; HU, J.; WU, J.; HU, X.; FENG, N.; SHEN, Q. Mung Bean (*Vigna radiata* L.): Bioactive Polyphenols, Polysaccharides, Peptides, and Health Benefits. **Nutrients**, v. 11, 1238, 2019.

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G. J.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G. K.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R, PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. L.; PERRY, R. N. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 14, p. 946–961, 2013.

KAN, L.; NIE, S.; HU, J.; WANG, S.; BAI, Z.; WANG, J.; BAI, Z.; WANG, J.; ZHOU, Y.; JIANG, J.; ZENG Q.; SONG, K. Comparative study on the chemical composition, anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes. **Food Chemistry**, v. 260, p. 317-326, 2018.

KATOCH, R. Nutritional potential of rice bean (*Vigna umbellata*): an underutilized legume. **Journal of Food Science**, v. 78, p. 8-16, 2013.

KHAN, S. Baking and Nutritional Characteristics of Adzuki Beans and Its Health impacts. **Interdisciplinary Journal of Applied and Basic Subjects**, v. 1, p. 50-57, 2021.

KAUR, A.; KAUR, P.; SINGH, N.; VIRDI, A. S.; SINGH, P.; RANA, J. C. Grains, starch and protein characteristics of rice bean (*Vigna umbellata*) grown in Indian Himalaya regions. **Food Research International**, v. 54, p. 102-110, 2013.

- KIM, M.; PARK, J. E.; SONG, S. B.; CHA, Y. S. Effects of black adzuki bean (*Vigna angularis*) extract on proliferation and differentiation of 3T3-L1 preadipocytes into mature adipocytes. **Nutrients**, v. 7, p. 277-292, 2015.
- KIM, S.; HONG, J., JEON, R., KIM, H. S. Adzuki bean ameliorates hepatic lipogenesis and proinflammatory mediator expression in mice fed a high-cholesterol and high-fat diet to induce nonalcoholic fatty liver disease. **Nutrition Research**, v. 36, p. 90-100, 2016.
- KUZNETSOVA, A.; BROCKHOFF, P. B.; CHRISTENSEN, R. H. B. lmerTest package: tests in linear mixed effects models. **Journal of Statistic Software**, v. 82, p. 1-26, 2017.
- LEE, K. J.; LEE, J.-R.; SHIN, M.-J.; CHO, G.-T.; LEE, H.-S.; MA, K. -H.; LEE, G. -A.; CHUNG, J. -W. Antioxidant and Biological Activity in the Leaves of Adzuki Bean (*Vigna angularis* L.). **Korean Journal of Plant Resources**, v. 31, p. 237-253, 2018.
- LEE, P. S.; TENG, C. Y.; HSIEH, K. F.; CHIOU, Y. S.; WU, J. C.; LU, T. J.; PAN, M. H. Adzuki Bean Water Extract Attenuates Obesity by Modulating M2/M1 Macrophage Polarization and Gut Microbiota Composition. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 63, e1900626, 2019.
- LENTH, R. V. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.7.0. 2021.
- MASIH, A.; DAWSON, J.; SINGH, R. E. Effect of Levels of Phosphorus and Zinc on Growth and Yield of Greengram (*Vigna radiata* L.). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, p. 3106-3112, 2020.
- MUKAI, Y.; SATO, S. Polyphenol-containing azuki bean (*Vigna angularis*) extract attenuates blood pressure elevation and modulates nitric oxide synthase and caveolin-1 expressions in rats with hypertension. **Nutrition Metabolism And Cardiovascular Diseases**, v. 19, p. 491-497, 2009.
- OWOLABI, A. O.; NDIDI, U. S.; JAMES, B. D.; AMUNE, F. A. Proximate, Antinutrient and Mineral Composition of Five Varieties (Improved and Local) of Cowpea, *Vigna unguiculata*, Commonly Consumed in Samaru Community, Zaria-Nigeria. **ASIAN JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY**, v. 4, p. 70-72, 2012.
- PATTANAYAK, A.; ROY, S.; SOOD, S.; IANGRAI, B.; BANERJEE, A.; GUPTA, S.; JOSHI, D. C. Rice Bean: A Lesser Known Pulse with Well-Recognized Potential. **Planta**, v. 250, p. 873-890, 2019.
- PRATAP, A.; PRAJAPATI, U.; SINGH, C. M.; GUPTA, S.; RATHORE, M.; MALVIYA, N.; TOMAR, R.; GUPTA, A. K.; TRIPATHI, S. SINGH, N. P. (2018). Potential, constraints and applications of in vitro methods in improving grain legumes. **Plant Breeding**, v. 137, p. 235–249, 2018.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2021.

REKHA, K.; PAVAYA, R. P.; MALAV, J. K.; CHAUDHARY, N.; PATEL, I. M.; PATEL, J. K. Effect of FYM, phosphorus and PSB on yield, nutrient content and uptake by green gram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) on loamy sand. **International Journal of Chemical Studies**, v. 6, p. 1026-1029, 2018.

SADEGHIPOUR, O.; MONEM, R.; TAJALI, A. Production of Mungbean (*Vigna radiata* L.) as Affected by Nitrogen and Phosphorus Fertilizer Application. **Journal of Applied Sciences**, v. 10, p. 843-847, 2010.

SHARMA, L.; PRIYA, M.; BINDUMADHAVA, H.; NAIR, R. M.; NAYYAR, H. Influence of high temperature stress on growth, phenology and yield performance of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] under managed growth conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 213, p. 379–391, 2016.

SILVA, J. F.; BERTINI, C. H. C. M.; BLEICHER, E.; MORAES, J. G. L. Divergência genética de genótipos de feijão-de-corda quanto à resistência ao pulgão-preto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p.948-954, 2012.

SILVA, V. M.; BOLETA, E. H. M.; MARTINS, J. T.; SANTOS, F. L. M.; SILVA, A. C. R.; ALCOCK, T. D.; WILSON, L.; SÁ, M. E.; YOUNG, S. D.; BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; REIS, A. R. Agronomic biofortification of cowpea with selenium: effects of selenate and selenite applications on selenium and phytate concentrations in seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, p. 5969-5983, 2019.

SILVA, V. M.; NARDELI, A. J.; MENDES, N. A. de C.; ROCHA, M. de M.; WILSON, L.; YOUNG, S. D.; BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; REIS, A. R. Agronomic biofortification of cowpea with zinc: variation in primary metabolism responses and grain nutritional quality among 29 diverse genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 378-387, 2021.

SINGH, Z.; SINGH, G. Role of Rhizobium in chickpea (*Cicer arietinum*) production - A review. **Agricultural Reviews**, v. 39, 31-39, 2018.

SMILEY, R. W. Root-Lesion Nematodes Affecting Dryland Cereals in the Semiarid Pacific Northwest USA. **Plant Disease**. v. 105, p. 3324-3343, 2021.

SOLTANI, N.; ROBINSON, D. E.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. H. Adzuki bean (*Vigna angularis*) responses to post-emergence herbicides. **Crop Protection**, v. 25, p. 613-617, 2006.

SWARNALAKSHMI, K.; YADAV, V.; TYAGI, D.; DHAR, D.W.; KANNEPALLI, A.; KUMAR, S. Significance of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Grain Legumes: Growth Promotion and Crop Production. **Plants**, v. 9, p. 1596, 2020.

TAKAHAMA, U.; HIROTA, S.; YANASE, E. Slow starch digestion in the rice cooked with adzuki bean: Contribution of procyanidins and the oxidation products. **Food Research International**, v. 119, p. 187-195, 2019.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais (Vol. 5, p. 174). Porto Alegre: Ufrgs, 1995, 174 p.

THAKUR, Y.; THORY, R.; SANDHU, K.S.; KAUR, M.; SINHMAR, A.; PATHERA, A. K. Effect of selected physical and chemical modifications on physicochemical, pasting, and morphological properties of underutilized starch from rice bean (*Vigna umbellata*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p. 4785-4794, 2021.

TOGOLA, A.; BOUKAR, O.; SERVENT, A.; CHAMARTHI, S.; TAMÒ, M.; FATOKUN, C. Identification of sources of resistance in cowpea mini core accessions to *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae) and their biochemical characterization. **Euphytica**, v. 216, doi: 10.1007/s10681-020-02619-5, 2020.

VASCONCELOS, I. M.; MAIA, F. M. M.; FARIAS, D. F.; CAMPELLO, C. C.; CARVALHO, A. F. U.; MOREIRA, R. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.23, p. 54–60, 2010.

VIEIRA, R. F., VIEIRA, C.; MOURA, W. M. Comportamenro do feijão-azuki em diferentes épocas de plantio em Coimbra e Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 47, p. 411-420, 2000.

VIEIRA, R. F. Comportamento de cultivares de feijão-azuki em diferentes épocas de plantio em Ponte Nova e Leopoldina, Minas Gerais. **Revista ceres**, v. 49, p. 705-712, 2002.

VIEIRA, R. F.; LIMA, R. C. Desempenho de cultivares de feijão-arroz em Coimbra e Leopoldina, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 55, p. 131-134, 2008.

VIEIRA, R. F.; DE PAULA JUNIOR, R. J.; JACOB, L. L.; DA SILVA LEHNER, M.; DOS SANTOS, J. Desempenho de genótipos de feijão-mungo-verde semeados no inverno na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Ceres**. v. 58, p. 402 – 405, 2011.

VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C. (IN MEMORIAM); SOUSA, L. R. V.; LIMA, R. C. Feijão-azuki (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi) In: PAULA Junior, T.J.; VENZON, M. 101 Culturas: Manual de tecnologias agrícolas. 2.ed rev. e atual., Belo Horizonte: EPAMIG, 2019a. p.359-360.

VIEIRA, R. F.; FERREIRA, T. C.; LIMA, R. C. Feijão-arroz (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi) In: PAULA Junior, T.J.; VENZON, M. 101 Culturas: Manual de tecnologias agrícolas. 2.ed rev. e atual., Belo Horizonte: EPAMIG, 2019b. p.356-358.

VIEIRA, R. F.; CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; LIMA, R. C.; SOARES, B. A.; TEIXEIRA, P. H.; SANTOS, D. M.; JACOB, L. L. BRSMG Camaleão: new

mungbean cultivar with large, shiny, green seeds. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v. 22, e32732227, 2022.

WU, G.; BAI, Z.; WAN, Y.; SHI, H.; & HUANG, X.; NIE, S. Antidiabetic effects of polysaccharide from azuki bean (*Vigna angularis*) in type 2 diabetic rats via insulin/PI3K/AKT signaling pathway. **Food Hydrocolloids**, v. 101, 105456, 2019.

YADAV, K. S.; PANDYA, H. V.; PATEL, S. M.; PATEL, S. D; SAIYAD, M. M. Population dynamics of major insect pests of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **International Journal of Plant Protection**, v.8, n.1, p.112-117, 2015.

YADAV, U.; SINGH, N.; KAUR, A.; THAKUR, S. Physico-chemical, hydration, cooking, textural and pasting properties of different adzuki bean (*Vigna angularis*) accessions. *Journal of food science and technology*, v. 55, p. 802-810, 2018.

ZHANG, J.; XIE, X.; ZHANG, L.; HONG, Y.; ZHANG, G.; LYU, F. Optimization of Microwave Pre-Cooked Conditions for Gelatinization of Adzuki Bean. **Foods**, v. 11, p. 171, 2022.

**EFEITOS DE ÁCIDO HÚMICO NO DESEMPENHO EM CAMPO DE
LEGUMINOSAS GRANÍFERAS COM E SEM INOCULAÇÃO DE
Bradyrhizobium NO TRÓPICO ÚMIDO MARANHENSE**

CAPÍTULO III

RESUMO

O ácido húmico (AH) pode melhorar o crescimento das plantas, aumentar o número e massa de nódulos, a eficiência da fixação biológica e a produtividade de leguminosas com e sem inoculação com rizóbios. No entanto, não há estudos sobre os efeitos da aplicação de AH no desempenho em campo do feijão-arroz, do feijão-caupi e do feijão-mungo-verde com e sem inoculação com *Bradyrhizobium*, especialmente no trópico úmido maranhense. Objetivou-se avaliar os efeitos de AH sobre o crescimento das plantas e da produtividade do feijão-arroz, do feijão-caupi e do feijão-mungo-verde com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp, no trópico úmido maranhense. Foi usado o arranjo fatorial 3×2×2: espécies de feijão (feijão-caupi, feijão-arroz e feijão-mungo-verde), aplicação de AH (com e sem) e inoculação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp (com e sem). O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados com três repetições. Com *Bradyrhizobium*, AH aumentou a produtividade do feijão-arroz em 39% e do feijão-caupi em 79,5% em relação à não aplicação de AH. Os níveis de AH não influenciaram a produtividade de feijão-mungo-verde inoculado com *Bradyrhizobium*. Os efeitos da inoculação de *Bradyrhizobium* sobre o crescimento e produtividade do feijão-caupi foram potencializados pela aplicação de AH. Sem *Bradyrhizobium*, AH aumentou a produtividade do feijão-arroz em 63%, do feijão-caupi em 27,5% e do feijão-mungo-verde em 23% em relação à ausência de AH. A produtividade do feijão-mungo-verde foi a menos influenciada tanto pela inoculação quanto pelo AH. Nossos resultados sugerem que AH aumenta a produtividade de grãos de feijão-arroz, feijão-caupi e feijão-mungo-verde independentemente da inoculação das sementes com *Bradyrhizobium*.

Key words: *Vigna umbellata*; *Vigna radiata*; rhizobia; soil conditioner.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é leguminosa rica em proteínas (23% a 30%), fibras e outros nutrientes essenciais, como vitaminas do complexo B (BAPTISTA et al., 2017). Ademais, é um dos principais componentes da cesta básica da população do Norte e Nordeste do Brasil (DA SILVA JÚNIOR et al., 2018; HONAISSER, et al., 2022). Assim como o feijão-caupi, o feijão-mungo-verde (*Vigna radiata* L. Wilczek) e o feijão-arroz (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi) são leguminosas graníferas consumidas, principalmente em países asiáticos, e são ricas em proteínas (23% a 28%), fibras, carboidratos, lipídeos e aminoácidos (CHEN et al., 2015; DAHIYA et al., 2015; SRITONGTAE et al., 2017; SINGH et al., 2017; YI-SHEN et al., 2018), porém são pouco conhecidas pelos agricultores maranhenses.

A fixação biológica de nitrogênio (N) (FBN) em leguminosas ocorre através da associação simbiótica entre planta hospedeira e bactérias do solo conhecidas como rizóbios. Estas fornecem N₂ atmosférico biologicamente fixado à leguminosa em troca de carboidratos provenientes da fotossíntese da planta hospedeira para sua manutenção (CHIDEBE et al., 2018; SOUMARE et al. 2020). A FBN pode atender metade das necessidades totais de N de uma leguminosa (PEOPLES et al., 2021), diminuir os danos causados pela deficiência de N no solo, aumentar o crescimento e a produtividade das plantas, (PULE-MEULENBERG et al., 2010) e pode ser alternativa para reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados e seus impactos ambientais negativos (SOUMARE et al. 2020). Pesquisas comprovam a influência positiva de rizóbios sobre o feijão-caupi (AYANWUYI; AKINTONDE, 2012; COSTA et al. 2019), feijão-arroz (KAUR; SINGH, 1988; PAN et al., 2003; JUMIN et al., 2021) e feijão-mungo-verde (YANG et al., 2008; ZHANG et al., 2008; FAVERO et al., 2021).

O ácido húmico (AH) é uma substância formada pela decomposição da matéria orgânica usada como insumo para aumentar o crescimento, desenvolvimento e rendimento das plantas (RAJPAR et al., 2011; CARON et al., 2015). AH é considerado condicionador de solo e traz benefícios para a estrutura física, química e biológica do solo (CASTRO et al., 2017). Os AHs podem estimular crescimento de plantas (HEIL, 2005; XU et al., 2012) e formação de raízes laterais e adventícias (CANELLAS et al., 2002; BALDOTTO et al., 2011; MORA et al., 2012) e reduzir a volatilização da amônia no solo (AHMED et al., 2006). Além disso, o AH aumenta a tolerância da planta a déficit hídrico (SERENELLA et al., 2002; CANELLAS; OLIVARES, 2014), o que

pode beneficiar as culturas no trópico úmido maranhense, devido ao déficit hídrico acentuado dessa região em parte do ano.

Sobre o uso combinado da inoculação com rizóbios e AH, Tan e Tantiwiranod (1983) em estudo conduzido em casa de vegetação concluíram que AH e ácidos fúlvicos (AF) do solo extraídos por NaOH 0,1 M aumentaram a massa da planta seca e a massa de nódulos secos em soja e amendoim. Gao et al. (2015) estudaram em casa de vegetação os efeitos do AH solúvel em água no crescimento de *Bradyrhizobium liaoningense* e sua nodulação em soja. Os resultados desses autores sugeriram que o AH aumentou o número e massa de nódulos, e a atividade da nitrogenase das plantas de soja inoculadas. Estudo realizado em casa de vegetação, foram avaliados os efeitos da co-inoculação de rizóbios e *Herbaspirillum seropedicae* na presença de AH na recuperação do feijoeiro-comum após estresse hídrico. Esses autores concluíram que a associação da FBN e AH pode diminuir os efeitos negativos da seca (MELO et al., 2017). Logo, o uso de rizóbios e AH pode ser boa estratégia para aumentar a produtividade de espécies leguminosas graníferas.

Os solos maranhenses são derivados de arenitos finos (areia fina superior a 500 g kg⁻¹, teores de silte entre 60 e 80 g kg⁻¹ e argila entre 100 e 150 g kg⁻¹), são ácidos, possuem baixa capacidade de retenção de cátions e pouca disponibilidade de nutrientes (AGUIAR et al., 2010; 2013). Acreditamos que para que essas condições de solo, o uso de AH pode beneficiar as bactérias fixadoras de N, aumentar a eficiência da FBN nas leguminosas e conseqüentemente, aumentar a produtividade.

Na nossa pesquisa, não encontramos estudos sobre os efeitos do AH na produtividade do feijão-arroz, feijão-caupi e feijão-mungo-verde quando as sementes dessas espécies foram inoculadas com *Bradyrhizobium* spp. Nossa hipótese é que aplicação de AH no solo pode aumentar o crescimento e a produtividade do feijão-arroz, feijão-caupi e feijão-mungo-verde com e sem inoculação das sementes com *Bradyrhizobium* spp. Portanto, nosso objetivo foi avaliar os efeitos de AH no crescimento e na produtividade dessas leguminosas graníferas com e sem inoculação das sementes com *Bradyrhizobium* spp, no trópico úmido maranhense.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local e caracterização da área experimental

Foi realizado um experimento em campo, de outubro a dezembro de 2021, no campo experimental do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia/UEMA, no Campus Paulo VI, s/n, Tirirical, São Luís, MA (2° 30' S e 44° 18' W, altitude de 24 m). O clima da região na classificação de Köppen é do tipo AW' (equatorial quente e úmido), com duas estações bem definidas: uma chuvosa, de janeiro a junho, e outra com déficit hídrico acentuado de julho a dezembro. As precipitações anuais variam de 1700 a 2300 mm, das quais mais de 80% ocorrem de janeiro a maio. Durante a condução do experimento, a média da precipitação foi de 33 mm. A média da temperatura máxima anual foi 31,3 °C e a mínima, 24,8 °C (Figura 1).

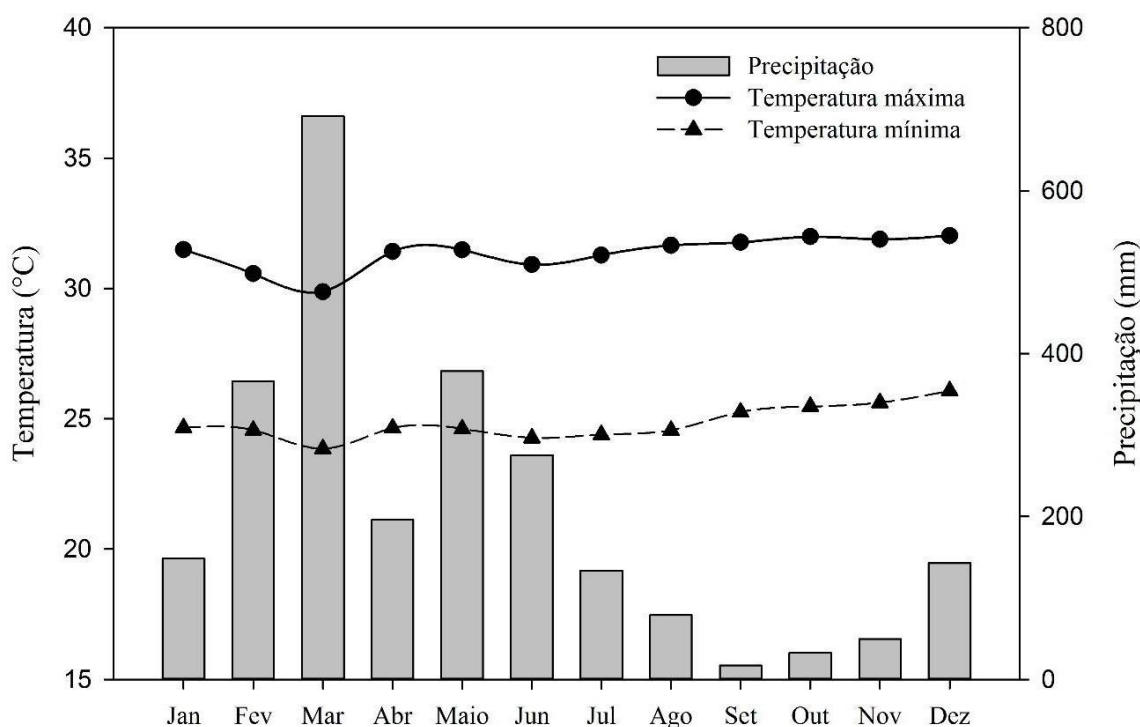


Figura 1. Precipitação acumulada mensal e temperatura máxima e mínima, São Luís, Maranhão, em 2021. Fonte: Dados da Rede do INMET, São Luís, MA.

O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico com textura franco arenosa (Embrapa, 2013). Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm antes do plantio para determinar suas características físico-químicas (Tabela 1).

Tabela 1. Características físico-químicas do solo antes da implantação do experimento, na profundidade de 0-20 cm, em 2021, São Luís, Maranhão.

Características do solo	Valores
pH ^a	4,3
MO ^b (g dm ⁻³)	20,0
P ^b (mg dm ⁻³)	47,0
K ^b (mmolc/dm ³)	3,1
Ca ^b (mmolc/dm ³)	19,0
Mg ^b (mmolc/dm ³)	9,0
H + Al ^b (mmolc/dm ³)	34,0
CTC ^c (mmolc/dm ³)	65,1
Areia grossa (g/kg)	230
Areia fina (g/kg)	570
Silte (g/kg)	140
Argila (g/kg)	60

^aMedido em 0,01 M CaCl² e com razão solo/solução de 1:2,5 (v/v).

^bDe acordo com van Raij, Andrade, Cantarella e Quaggio (2001).

^cCTC, capacidade de troca catiônica em pH 7: Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ e H⁺ + Al³⁺.

A vegetação espontânea foi eliminada com roçadeira manual e não houve preparo de solo antes da semeadura. Foi realizada adubação de plantio com 500 kg ha⁻¹ do formulado 4-14-8 (N-P₂O₅-K₂O). O controle de plantas daninhas foi feito com capina manual, quando necessário. As plantas foram irrigadas por fitas gotejadoras com lâmina de água de 6 mm/dia para complementar as chuvas.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Foi usado o arranjo fatorial 3×2×2: espécies de feijão (feijão-caupi, feijão-arroz e feijão-mungo-verde), aplicação de AH (com e sem) e inoculação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp (com e sem). O feijão-caupi cv Guariba foi obtido na Embrapa Meio Norte (Teresina, Piauí) e o feijão-arroz cv. Viçosa e o feijão-mungo-verde cv. Camaleão, foram obtidos na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG, Viçosa, Minas Gerais). A inoculação com rizóbio foi feita com o produto comercial **Bioma Rhyzo**® formulado com a estirpe SEMIA 6462 *Bradyrhizobium* spp (1x10⁹ células viáveis/mL), recomendada para o feijão-caupi. Antes da semeadura foi aplicado nas sementes o volume de 150 ml do produto para 50 kg de sementes, conforme recomendação técnica do fabricante. Foi usado o AH comercial **Fertilizante Orgânico Simples Classe A SH-24-0**, da empresa Lottus

BioSoluções. O Fertilizante Orgânico Simples Classe A SH-24-0 tem como matérias primas turfa e água. Sua composição química é carbono orgânico total - 24%; nitrogênio – sol. H₂O – 1% (3,9 g/L); K₂O - sol. H₂O - 0,5% (99,6 g/L). Antes do plantio, o produto foi aplicado no sulco com pulverizador costal, na dose de 25 litros/ha, conforme recomendação técnica do fabricante. O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Para feijão-mungo-verde e feijão-arroz, a parcela experimental foi constituída de cinco fileiras de 5 m, espaçadas de 0,4 m. Para feijão-caupi, a parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 5 m, espaçadas de 0,6 m. Foram semeadas 20 sementes por metro de sulco para as três espécies. Após desbaste, foram deixadas 10 plantas/m para feijão-caupi e 15 plantas/m para demais espécies. As duas fileiras laterais e 0,5 m de cada extremidade das fileiras centrais serviram de bordadura. A área útil da parcela, das três espécies, foi 4,2 m².

2.3 Características avaliadas

No início da floração (30 dias após a emergência (DAE) para feijão-mungo-verde e 36 DAE para o feijão-caupi e feijão-arroz, quando 50% das plantas tinham pelo menos uma flor aberta) foram coletados os dados de altura de planta, leitura SPAD, teor de N na folha, número e massa de nódulos secos.

a) **Altura de planta:** determinada em 10 plantas/parcela, entre a superfície do solo e a folha mais alta do dossel da planta.

b) **Leitura de SPAD:** Foram realizadas 15 leituras com o clorofilômetro (SPAD 502, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan) em cinco folhas jovens plenamente expandidas (uma leitura em cada folíolo) de cinco plantas tomadas ao acaso de cada parcela. As leituras foram realizadas entre a borda e a nervura central da folha. A média das 15 leituras realizadas dos 15 folíolos representou a média da parcela. As leituras foram realizadas entre 9 e 11 horas.

c) **Teor de N na folha:** As folhas utilizadas para as leituras com o clorofilômetro SPAD foram coletadas e secas em estufa de circulação de ar a 70°C até massa constante, e utilizadas para determinar o teor de N na folha pelo método de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

d) **Número e massa de nódulos secos:** foram coletadas quatro plantas com auxílio de enxadão. As raízes das plantas foram separadas da parte aérea, e os nódulos foram

destacados e contados. Em seguida, os nódulos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingirem massa constante para determinar a massa.

e) **Estande final:** contagem de todas as plantas na área útil da parcela.

f) **Produtividade de grãos e componentes da produtividade:** após a colheita de todas as vagens da área útil da parcela, foram contados o número total de vagens e em seguida o número total de sementes. O número de vagens por planta foi obtido da divisão entre o número de vagens e o estande final. O número de semente por vagem foi obtido da razão entre o número de sementes e o número de vagens. Foram separadas duas amostras ao acaso de 100 sementes, para avaliar a massa de 100 sementes. A produtividade e a massa de 100 sementes foram padronizadas para 130 g kg⁻¹ de água.

2.4 Análise estatística

Os dados foram testados quanto à normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett). Após essa análise, os dados que atenderam às pressuposições foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando a interação espécies × *Bradyrhizobium* × AH foi significativa, nós estudamos a interação inoculação com *Bradyrhizobium* × AH para cada espécie. O teste F ($P \leq 0,05$) foi usado para comparar as médias das variáveis dependentes influenciadas pelos níveis de *Bradyrhizobium* e de AH. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o pacote estatístico ExpDes.pt (FERREIRA et al., 2013) do software R versão 4.2.0 (R Core Team, 2022).

3 RESULTADOS

A interação espécies × *Bradyrhizobium* × AH foi altamente significativa para teor de N na folha, significativa para leitura de SPAD e número de nódulos e muito altamente significativa para massa de nódulos secos (Tabela 2).

Em feijão-arroz inoculado com *Bradyrhizobium*, o teor de N na folha sem aplicação de AH foi 9% maior que o teor de N na folha obtido com o AH (Figura 2a). Em feijão-caupi inoculado com *Bradyrhizobium*, o teor de N na folha com aplicação de AH foi 4% maior que o teor de N na folha sem aplicação de AH. Em feijão-mungo-verde inoculado com *Bradyrhizobium*, os níveis de AH não influenciaram o teor de N na folha. Sem inoculação com *Bradyrhizobium*, o AH aumentou em 20% o teor de N na

folha do feijão-arroz, em 5% o do feijão-caupi e em 12,5% o do feijão-mungo-verde, em relação à ausência de AH (Figura 2a).

Com *Bradyrhizobium*, a ausência de AH aumentou a média da leitura de SPAD em 8,2% no feijão-arroz e em 3,6% no feijão-caupi comparado com a média da leitura de SPAD quando foi aplicado AH (Figura 2b). Com as sementes de feijão-mungo-verde inoculadas com *Bradyrhizobium*, o efeito do AH aumentou a média da leitura de SPAD em 5,5% em relação à ausência de AH. Esse efeito foi marginalmente significativo. Sem *Bradyrhizobium*, o AH aumentou a média da leitura do SPAD em 5,8% no feijão-arroz e em 3,6% no feijão-mungo-verde em relação à ausência de AH. No feijão-caupi, os níveis de AH não influenciaram a leitura de SPAD quando as sementes não foram inoculadas com *Bradyrhizobium* (Figura 2b).

Com inoculação com *Bradyrhizobium*, os níveis de AH não influenciaram o número de nódulos por planta nas três espécies. Sem inoculação com *Bradyrhizobium*, o número de nódulos do feijão-arroz sem aplicação do AH foi 84% maior que o obtido com aplicação do AH (Figura 2c). No feijão-mungo-verde sem inoculação com *Bradyrhizobium*, o número de nódulos com aplicação do AH foi 66% maior que o obtido sem aplicação do AH (Figura 2c). Sem inoculação com *Bradyrhizobium*, os níveis de AH não influenciaram o número de nódulos por planta no feijão-caupi.

Em plantas de feijão-caupi originadas de sementes inoculadas com *Bradyrhizobium*, a aplicação do AH proporcionou nódulos 2,6 vezes mais pesados que os obtidos sem aplicação do AH. Em feijão-arroz e feijão-mungo-verde inoculados com *Bradyrhizobium*, os níveis de AH não influenciaram na massa de nódulos secos (Figura 2d). Sem inoculação com *Bradyrhizobium*, a massa de nódulos secos do feijão-mungo-verde com AH foi 31,4% maior que a massa de nódulos secos sem o AH. Esse efeito foi marginalmente significativo. Sem *Bradyrhizobium*, os níveis de AH não influenciaram na massa de nódulos secos do feijão-arroz e feijão-caupi (Figura 2d).

A interação espécies \times *Bradyrhizobium* \times AH não influenciou a altura das plantas (Tabela 2). A interação espécies \times AH foi altamente significativa e a interação espécies \times inoculação com *Bradyrhizobium* foi significativa para altura de plantas (Tabela 2). O AH aumentou a altura das plantas do feijão-arroz em 11% e do feijão-mungo-verde em 7,6% comparado com a altura dessas plantas obtida sem aplicação do AH. No feijão-caupi, as plantas que não receberam o AH tiveram média de altura das plantas 6% maior que as plantas que receberam o AH (Figura 2e). Os níveis de inoculação com *Bradyrhizobium* não influenciaram a altura das plantas do feijão-arroz e

do feijão-caupi (Figura 2f). Sementes de feijão-mungo-verde sem inoculação com *Bradyrhizobium* produziram plantas 9,5% mais altas que as plantas originadas de sementes inoculadas com *Bradyrhizobium*.

Tabela 2. Valores de *P* para espécies de feijão, inoculação com *Bradyrhizobium*, ácido húmico e da interação entre esses fatores para altura da planta, teor de N na folha, leitura SPAD, número de nódulos, massa de nódulos secos, produtividade de grãos, massa de 100 sementes, número de grãos por vagem, número de vagem por planta e estande final, em São Luís, Maranhão, 2021.

Variáveis	Espécie (E)	Ácido húmico (AH)	Rizóbio (R)	E x AH	E x R	AH x R	E x AH x R
Atura da planta (cm)	<0,001	0,223	0,429	0,009	0,028	0,211	0,268
Teor de N na Folha (g/kg)	<0,001	<0,001	0,790	0,003	0,036	<0,001	0,004
Leitura SPAD	<0,001	0,200	0,005	0,003	0,062	<0,001	0,013
Número de nódulos	<0,001	0,083	0,131	0,088	0,077	0,223	0,021
Massa de nódulos seco (mg/planta)	<0,001	<0,001	0,672	0,001	0,938	0,001	<0,001
Produtividade (kg/ha)	<0,001	<0,001	0,164	0,006	0,708	0,518	0,001
Massa de 100 sementes (g)	<0,001	0,194	0,065	0,323	0,113	0,107	0,760
Número de grãos por vagem	<0,001	0,080	0,685	0,574	0,985	0,803	0,585
Número de vagens por planta	<0,001	0,068	0,809	0,706	0,175	0,125	0,219
Estande final (plantas/m ²)	<0,001	0,083	0,205	0,032	0,124	0,186	0,231

Graus de liberdade para espécie é 2, ácido húmico e rizóbio é 1, E x AH e E x R é 2, AH x R é 1, E x AH x R é 2 e resíduo é 22.

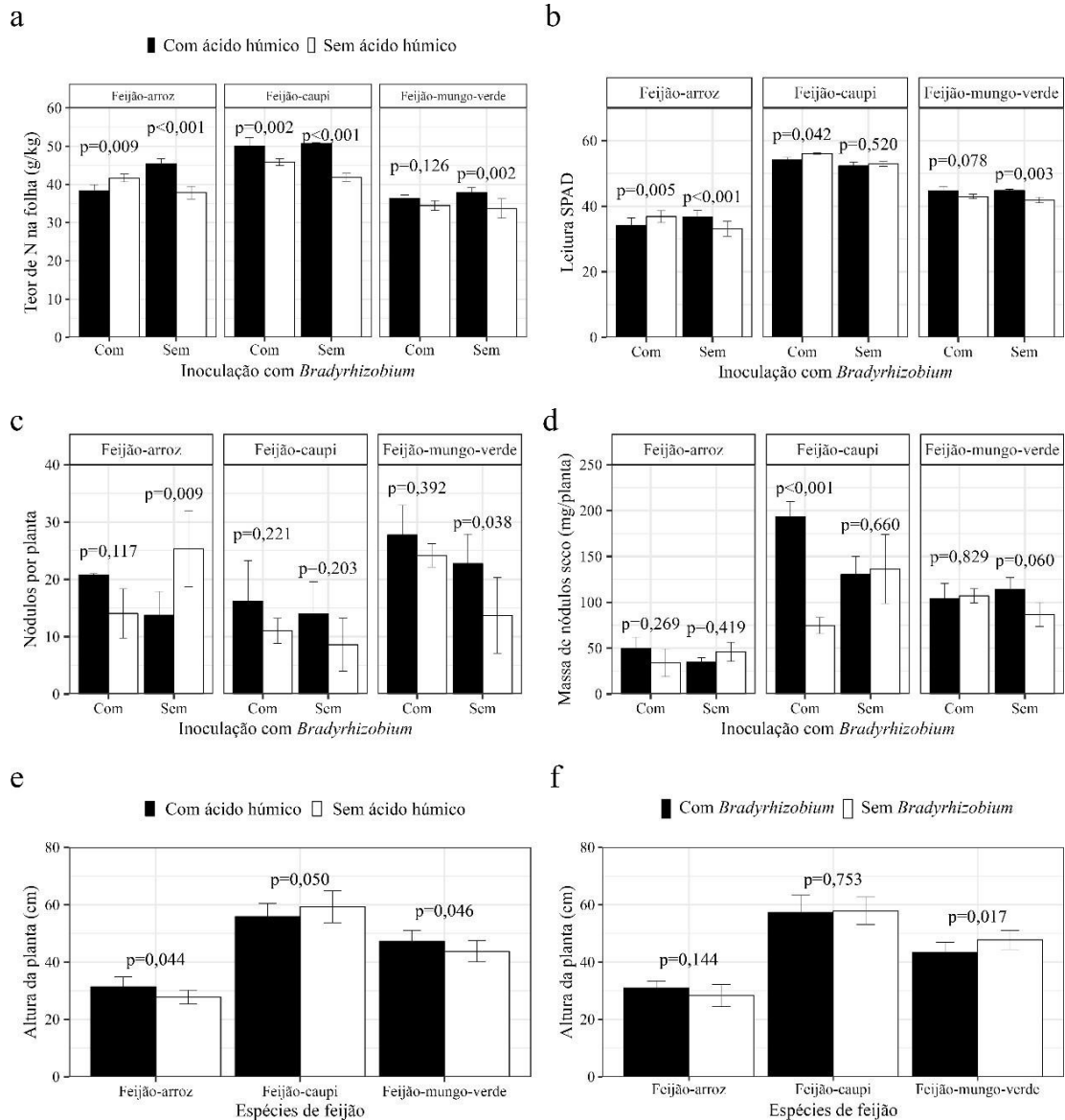


Figura 2. Efeitos da interação espécie \times *Bradyrhizobium* \times ácido húmico quanto ao (a) teor de N na folha, (b) leitura de SPAD, (c) nódulos por planta, (d) massa de nódulos secos (n = 3). Efeitos da interação espécies \times ácido húmico em relação à (e) altura de planta (n = 6). Efeitos da interação espécies \times *Bradyrhizobium* na (f) altura de planta (n = 6). As médias das variáveis influenciadas pelos níveis ácido húmico (a-e) e rizóbio (f) foram comparadas pelo teste F. A barra de erro representa o desvio-padrão.

A interação espécies \times *Bradyrhizobium* \times AH foi altamente significativa em relação à produtividade (Tabela 2). Com *Bradyrhizobium*, AH aumentou a produtividade do feijão-arroz em 39% e a do feijão-caupi em 79,5% comparado com ausência de AH (Figura 3). Os níveis de AH não influenciaram a produtividade do feijão-mungo-verde quando as sementes dessa espécie foram inoculadas com

Bradyrhizobium. Sem *Bradyrhizobium*, o AH aumentou a produtividade do feijão-arroz em 63%, a do feijão-caupi em 27,5% e a do feijão-mungo-verde em 23%, em relação à ausência de AH (Figura 3). Com o AH, as plantas originadas de sementes de feijão-caupi inoculadas com *Bradyrhizobium* produziram 23% ($P = 0,001$) mais grãos que as plantas originadas de sementes não inoculadas com *Bradyrhizobium* (Figura 3).

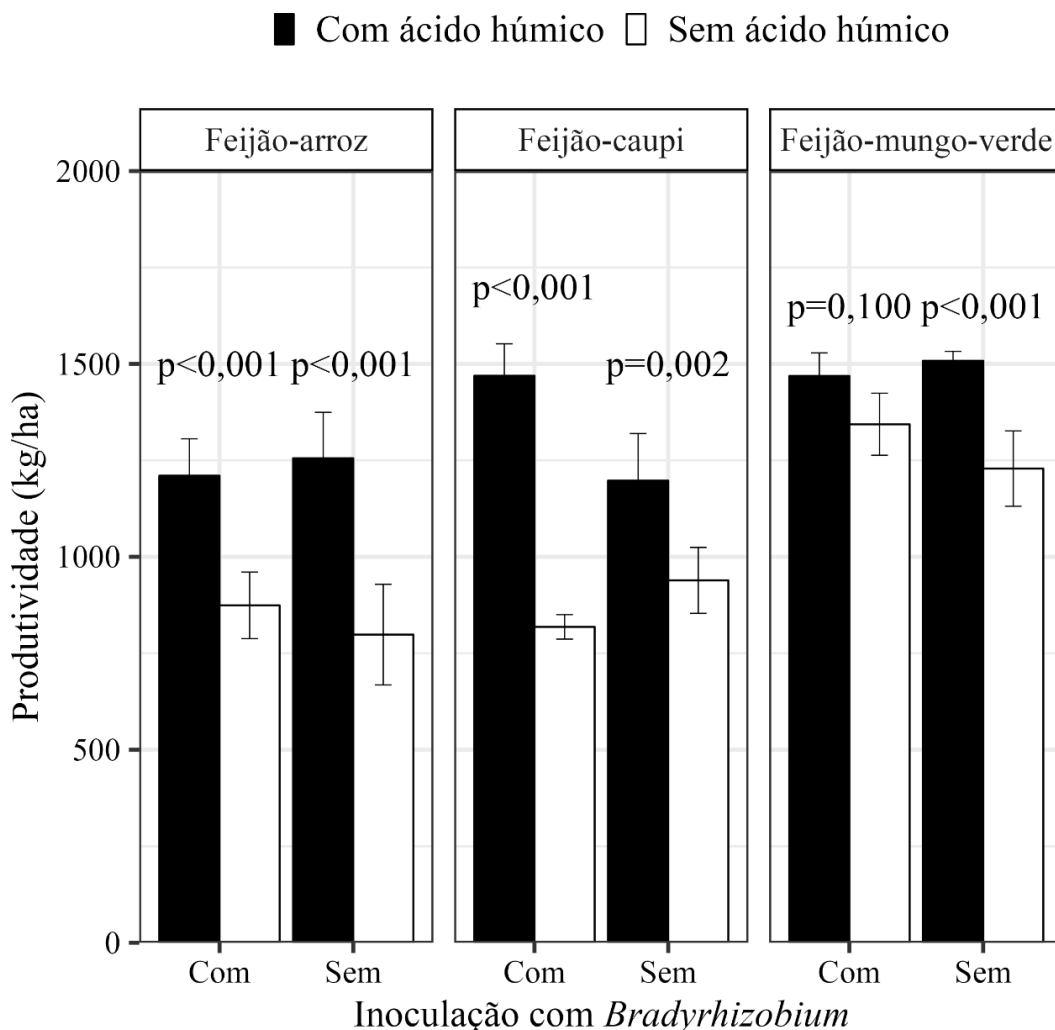


Figura 3. Efeitos da interação espécies \times *Bradyrhizobium* \times ácido húmico em relação à produtividade de grãos ($n=3$). Os efeitos do AH sobre a produtividade foram comparadas pelo teste F. A barra de erro representa o desvio-padrão.

A interação espécies \times *Bradyrhizobium* \times AH não influenciou os componentes da produtividade (massa de 100 grãos, número de vagem por planta e número de grão por vagem e estande final) (Tabela 2). Os efeitos dos níveis de AH sobre número de vagem por planta e os efeitos dos níveis da inoculação com *Bradyrhizobium* sobre massa de 100 sementes foram marginalmente significativos. A interação espécies \times AH

foi significativa em relação ao estande final, porém, apenas para feijão-arroz ($P = 0,002$) (Tabela 2).

4 DISCUSSÃO

Nossa hipótese foi que a aplicação de AH aumenta o crescimento e produtividade de leguminosas graníferas, especialmente quando inoculadas com rizóbio. Nossos resultados dão suporte a essa hipótese, já que a aplicação de AH melhorou o crescimento das plantas e geralmente aumentou a produtividade dos feijões.

A aplicação de AH no feijão-arroz com *Bradyrhizobium* não influenciou no número e massa de nódulos secos. O rizóbio usado nesse estudo (*Bradyrhizobium spp*) é uma estirpe recomendada para o feijão-caupi (ZILLI et al., 2011) e provavelmente, possui baixa eficiência simbiótica com o feijão-arroz. São poucos os estudos sobre a FBN no feijão-arroz (LAWN; BUSHBY, 1982; KAUR; SINGH, 1988; COHN et al., 1999; PAN et al., 2003; JUMIN et al., 2021; VIKRAM; SARKA, 2022) e em nossa pesquisa não encontramos resultados que indiquem uma espécie de rizóbio que seja eficiente na FBN para essa espécie.

Na ausência de AH, embora o feijão-arroz inoculado com *Bradyrhizobium* tenha produzido uma média menor de nódulos, o acúmulo de N na folha foi maior que na presença de AH. Esse resultado indica que os rizóbios, mesmo em menor número na ausência de AH, ajudaram a nutrir a planta em N, conforme também indicam as leituras de SPAD. Já quando não houve inoculação com *Bradyrhizobium* e foi aplicado AH, as plantas tiveram maior acúmulo de N na folha, aumento na leitura de SPAD e aumento na altura das plantas. Esse resultado pode ser explicado devido às propriedades químicas, físicas e biológicas do AH, que podem melhorar a fertilidade do solo (AZARPOUR et al., 2012) através da complexação de metais, aumento da capacidade de troca catiônica, fornecimento de nutrientes e retenção de umidade no solo (ROCHA; ROSA, 2003). Os AHs também influenciam a atividade fotossintética, respiração e aumenta o teor de clorofila na planta (NANNIPIERI et al., 1983; XU et al., 2012).

Sem inoculação com rizóbio, as plantas do feijão-arroz que não receberam AH tiveram mais nódulos que as que receberam AH. Os solos tropicais possuem população nativa de rizóbios (KASCHUK et al., 2006). Logo, os nódulos encontrados no feijão-arroz sem inoculação com *Bradyrhizobium* devem ser resultado da simbiose com

rizóbios nativos da área. Apesar do número de nódulos por planta no feijão-arroz não inoculado e sem aplicação de AH ter sido maior que com aplicação de AH, esse aumento não refletiu em aumento na massa de nódulos secos, no teor de N na folha e na leitura de SPAD. A presença de nodulação em uma espécie, pode comprovar a capacidade de interação entre os simbioss, mas não garante que o rizóbio seja eficiente em promover a FBN e o crescimento e desenvolvimento da planta hospedeira (CLEVELAND et al., 1999; COELHO, 2016). Segundo Hansen et al. (1993), para que haja FBN é necessário não só muitos nódulos, mas nódulos grandes e eficientes. Além disso, nódulos pequenos e não funcionais podem representar um dreno de fotoassimilados (ATKINS, 1984).

A aplicação de AH não influenciou o número de nódulos do feijão-caupi inoculado com *Bradyrhizobium*, mas a massa de nódulos secos foi 2,6 vezes maior com AH que sem AH. Diferentemente do que ocorreu com o feijão-arroz, os nódulos do feijão-caupi eram maiores e conseqüentemente, mais pesados. O uso de AH em feijão-caupi inoculado com *Bradyrhizobium* aumentou a massa de raiz seca ($P = 0,004$), a massa da parte aérea seca ($P < 0,001$) (dados não apresentados) e o teor de N na folha. Esses resultados sugerem que a eficiência simbiótica não é necessariamente dependente do número de nódulos (FREITAS et al., 2011). Autores verificaram efeitos positivos da inoculação do feijão-caupi com *Bradyrhizobium* sobre o número e massa de nódulos por planta, no acúmulo de N na parte aérea da planta e na produtividade de grãos (AWONAIKE et al., 1990; ULZEN et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017; ANDRADE et al., 2021; NASCIMENTO et al., 2021; AYALEW et al., 2022). Nossos resultados sugerem que o AH potencializa esses efeitos.

O AH aplicado no feijão-mungo-verde inoculado com *Bradyrhizobium* não influenciou no crescimento e produtividade dessa espécie. Esse resultado pode estar mais relacionado com a eficiência simbiótica do rizóbio, que com a ação do AH. Favero et al. (2021) sugerem que *Bradyrhizobium* inoculado isoladamente ou co-inoculado com estipes de *Pseudomonas*, poderia promover o crescimento do feijão-mungo-verde e melhorar a produtividade de grãos, dependendo do genótipo da planta. No entanto, em estudo com o objetivo de avaliar o efeito de 31 estirpes de *Bradyrhizobium* isolados de solos tropicais brasileiros e doses crescentes de fertilizante nitrogenado sobre a nodulação, crescimento da planta e fixação de N₂ no feijão-mungo-verde, os autores

observaram que estirpes de *Bradyrhizobium* apresentaram potencial para inoculação do feijão-mungo-verde, porém, a contribuição da FBN não foi suficiente para atender a demanda de N da planta (FAVERO et al., 2022).

Em feijão-mungo-verde não inoculado, o uso de AH aumentou o número de nódulos por planta, a massa de nódulos secos, o teor de N na folha, a leitura de SPAD e a altura das plantas. O feijão-mungo-verde possui baixa especificidade simbiótica com rizóbios nativos do solo e se beneficia da inoculação com estirpes selecionadas (YANG et al., 2008; ZHANG et al., 2008). No entanto, nossos resultados mostraram que mesmo sem inoculação com *Bradyrhizobium*, as plantas de feijão-mungo-verde que receberam AH nodularam com rizóbios nativos. Trabalhos recentes sugerem que o AH aumenta a nodulação e o acúmulo de N em leguminosas (GAO et al., 2015; DA SILVA et al., 2021), e atua no crescimento do sistema radicular e na absorção de nutrientes pelas plantas (CANELLAS et al., 2020; NARDI et al., 2021). De fato, plantas não inoculadas com rizóbio que receberam AH tiveram massa de raiz seca 3,3 vezes maior e massa da parte aérea seca 4,8 vezes maior que plantas que não receberam AH (dados não apresentados). É importante ressaltar que a capacidade do feijão-mungo-verde em estabelecer associação com estirpes nativas do solo pode levar à seleção de possíveis novos inoculantes para essa espécie.

Com exceção do feijão-mungo-verde inoculado com *Bradyrhizobium*, as três espécies tiveram aumento na produtividade com a aplicação de AH, independentemente da inoculação ou não com *Bradyrhizobium*. O benefício da associação de *Bradyrhizobium* e AH foi maior sobre a produtividade do feijão-caupi. Com inoculação, o feijão-caupi produziu 650 kg ha⁻¹ a mais com AH que sem AH. Com inoculação, o feijão-arroz produziu 218 kg ha⁻¹ a mais com AH que sem AH. O *Bradyrhizobium* usado no experimento pode ter favorecido relativamente mais a FBN do feijão-caupi, uma vez que se trata de estirpe recomendada para essa espécie. Resultado semelhante foi encontrado por Til'ba e Sinegovskaya (2012). Esses autores observaram que a aplicação de humato de sódio (fonte de AH e AF) em sementes de soja inoculadas com *Bradyrhizobium* na presença de molibdato, juntamente com a aplicação foliar de humato de sódio, aumentou o número de nódulos e a eficiência da FBN. Logo a produtividade da soja também aumentou.

O papel dos ácidos húmicos na FBN e seu mecanismo de ação ainda não são bem conhecidos (GAO et al., 2015). O efeito inicial da associação de *Bradyrhizobium* e AH sobre o crescimento e produtividade das espécies de leguminosas pode estar relacionado ao aumento da sobrevivência das cepas de *Bradyrhizobium* na semente. A principal causa da baixa sobrevivência de rizóbios em sementes é a dessecação (DA SILVA et al., 2021), e é possível que a configuração das substâncias húmicas (SH), como o AH, que possuem a capacidade de aumentar a retenção de água (PICCOLO et al., 1996; 1997; DA SILVA et al., 2021), tenham minimizado o impacto da dessecação e aumentado a sobrevivência das cepas inoculadas.

Outro efeito muito estudado do AH é sobre o sistema radicular das plantas. O AH estimula a formação de raízes laterais e a quantidade e comprimento dos pelos radiculares. São nos pelos radiculares que se inicia o processo de formação de nódulos em leguminosas (BADENOCH-JONES et al., 1985). Logo, é possível que a aplicação de AH estimule a nodulação, pois o aumento dos pelos radiculares forneceria mais sítios de infecção para os rizóbios. Segundo Canellas e Olivares (2014) e Olivares et al. (2017), mudanças anatômicas decorrentes do aumento da área e do comprimento dos pelos radiculares podem favorecer a adequação da interação mutualística, aumentando a população e quimiotaxia da rizosfera, fixação e sobrevivência de bactérias na superfície da planta e a colonização endofítica. Por isso, o uso de rizóbio e AH estimula o crescimento radicular, melhora a aquisição de nutrientes e aumenta a tolerância das plantas ao estresse. Além disso, as SHs induzem a atividade de H⁺ ATPase nas plantas, e a diminuição do pH ocasionado pela extrusão de prótons pela H⁺-ATPase, induzida pelas SHs, poderia facilitar o processo de colonização endofítica Olivares et al. (2017).

Apesar de estudos recentes mostrarem que *Bradyrhizobium* spp pode influenciar o crescimento das plantas e a produtividade do feijão-mungo-verde (RAMÍREZ et al., 2020; FAVERO et al., 2021; FAVERO et al., 2022; MOTT et al., 2022) nas condições de solo e clima do trópico úmido maranhense, esses resultados não foram verificados no presente estudo.

Os resultados também demonstraram claramente o aumento de produtividade em razão do uso do AH, quando não se fez inoculação com *Bradyrhizobium* nas três espécies. O feijão-arroz e o caupi tiveram o maior incremento na produtividade por causa do AH. Os benefícios do uso de AH nas plantas tem sido bastante estudado nos

últimos anos. O AH atua sobre o crescimento e produtividade das plantas, e por meio do aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, do crescimento radicular e da absorção de nutrientes (CANELLAS et al. 2015). Nas raízes, o AH estimula a síntese de auxina ou age de forma semelhante a ela, promovendo efeito positivo no crescimento do sistema radicular, através do aumento das raízes laterais ou do incremento da sua biomassa (CANELLAS et al., 2005). Devido à sua alta capacidade de troca catiônica, os AHs possuem a propriedade de complexar e disponibilizar cátions às plantas, principalmente micronutrientes. As interferências no metabolismo das plantas estão relacionadas não só com os nutrientes que o AH disponibiliza para as plantas, como também com o estímulo direto ao crescimento e metabolismo das plantas (CARON et al., 2015).

Acreditamos que o uso de apenas uma estirpe de rizóbio na condução deste estudo pode ter influenciado os resultados obtidos. Em estudos futuros seria interessante incluir maior variabilidade de estirpes, se possível selecionadas para cada espécie de leguminosa. Além disso, observamos durante nossa pesquisa que a ação do AH, com ou sem inoculação de *Bradyrhizobium*, está associada diretamente ao enraizamento das plantas e crescimento de pelos radiculares. Apesar de todos os nossos esforços em campo para retirar as plantas sem danificar muito as raízes, é possível que tenha havido perdas na coleta. Em estudos futuros, devem ser feitos testes em vasos, para quantificar a massa de raízes com o mínimo de perdas, para verificar o real incremento influenciado pelo rizóbio, pelo AH e pelo uso combinado dos dois.

5 CONCLUSÃO

O AH aumentou a produtividade de grãos das três espécies de leguminosas graníferas independentemente da inoculação ou não com *Bradyrhizobium*. Com *Bradyrhizobium* os efeitos do AH foram maiores sobre o crescimento e produtividade do feijão-caupi. Sem *Bradyrhizobium*, os efeitos do AH sobre a produtividade foram maiores no feijão-arroz. A produtividade do feijão-mungo-verde foi a menos influenciada tanto pela inoculação quanto pelo AH. O efeito do AH no feijão-mungo-verde foi mais pronunciado na ausência do *Bradyrhizobium*, o qual é recomendado para a cultura do caupi. Em estudos futuros, o uso de rizóbios específicos para cada uma das três culturas poderia esclarecer melhor os efeitos do AH na FBN, crescimento e produtividade das leguminosas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, W. L.; DE MELO, A. S.; MELO, Y. L.; DA SILVA SÁ, F. V.; ROCHA, M. M.; DA SILVA OLIVEIRA, A. P.; FERNANDES JÚNIOR, P. I. *Bradyrhizobium* inoculation plus foliar application of salicylic acid mitigates water deficit effects on cowpea. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 656-667, 2021.
- AGUIAR, A. C. F.; BICUDO, S. J.; COSTA SOBRINHO, J. R. S.; MARTINS, A. L. S.; COELHO, K. P.; MOURA, E. G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the Pré-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 86, p. 189-198, 2010.
- AGUIAR, A. C. F.; CÂNDIDO, C. S.; CARVALHO, C. S.; MONROE, P. H. M.; MOURA, E. G. Organic matter fraction and pool of phosphorus as indicators of the impact of land use in the Amazonian periphery. **Ecological Indicators**, v. 30, p. 158-164, 2013.
- AHMED, O.H.; AMINUDDIN, H.; HUSNI, M. H. A. Effects of urea, humic acid and phosphate interactions in fertilizer microsites on ammonia volatilization and soil ammonium and nitrate contents. **International Journal of Agricultural Research**, v. 1, p. 25-31, 2006.
- AYALEW, T.; YOSEPH, T.; HÖGY, P.; CADISCH, G. Leaf growth, gas exchange and assimilation performance of cowpea varieties in response to *Bradyrhizobium* inoculation. **Heliyon**, v. 8, p. e08746, 2022.
- AYANWUYI, E.; AKINTONDE, J. O. Effect of climate change on cowpea production in kuje area council, abuja, nigeria. **International Journal of Advanced Research in Management and Social Sciences**, v. 1, p. 273-283, 2012.
- AWONAIKE, K. O.; KUMARASINGHE, K. S.; DANSO, S. K. A. Nitrogen fixation and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*) as influenced by cultivar and *Bradyrhizobium* strain. **Field Crops Research**, v. 24, p. 163-171, 1990.
- ATKINS, C. A. Efficiencies and inefficiencies in the legume/ Rhizobium symbiosis - a review. **Plant and Soil**, v. 82, p. 273-284, 1984.
- AZARPOUR, E.; MOTAMED, M. K.; MORADITOECHAE, M.; BOZORGI, H. R. Effects of bio, mineral nitrogen fertilizer management, under humic acid foliar spraying on fruit yield and several traits of eggplant (*Solanum melongena* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, p. 1104-1109, 2012.
- BALDOTTO, M. A.; CANELLAS, L. P.; ROSA, R. C. C.; RANGE, T. P.; SALOMÃO, M. S. M. D. B.; REZENDE, C. E. Capacidade de oxidação como índice de estabilidade da matéria orgânica de sedimentos de acordo com gradiente fluvial-estuarino do Rio Paraíba do Sul. **Química Nova**, v. 34, p. 973-978, 2011.
- BADENOCH-JONES J, FLANDERS DJ, ROLFE BG. Association of Rhizobium strains with roots of *Trifolium repens*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 49, p. 1511-1520, 1985.
- BAPTISTA, A.; PINHO, O.; PINTO, E.; CASAL, S.; MOTA, C.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O. Characterization of protein and fat composition of seeds from common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and bambara groundnuts

(*Vigna subterranea* L. Verdc) from Mozambique. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, p. 442-450, 2017.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; OKOROKOVA-FACANHA, A. L.; FACANHA A. R. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. **Plant Physiology**, v. 130, p. 1951-1957, 2002.

CANELLAS, L. P.; ZANDONADI, D. B.; MÉDICI, L. O.; PERES, L. E. P.; OLIVARES, F. L.; FAÇANHA, A. R. Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre desenvolvimento e metabolismo das plantas. In: CANELLAS, L. P. e SANTOS, G. A. (Ed.). *Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes: CCTA, UENF, p. 224-243, 2005.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, doi.org/10.1186/2196-5641-1-3, 2014.

CANELLAS, L. P.; DA SILVA, S. F.; OLK, D. C.; OLIVARES, F. L. Foliar application of plant growth-promoting bacteria and humic acid increase maize yields. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 13, p. 131-138, 2015.

CANELLAS, L. P.; CANELLAS, N. O. A.; DA S. IRINEU, L. E. S.; OLIVARES, F. L.; PICCOLO, A. Plant chemical priming by humic acids. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 7, p. 1-17, 2020.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CAMARGO E CASTRO, P. R. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca, 2015. 46 p.

CASTRO, P. R. C.; CARVALHO, M. E. A.; MENDES, A. C. C. M.; ANGELINI, B. Manual de estimulantes vegetais: nutrientes, biorreguladores, bioestimulantes, bioativadores, fosfitos e biofertilizante na agricultura tropical. 1. ed. **Agrônômica Ceres**, São Paulo, SP, 2017, 453 p.

CHEN, H.; LIU, L.; WANG, L.; WANG, S.; SOMTA, P.; CHENG, X. Development and Validation of ESTSSR Markers from the Transcriptome of Adzuki Bean (*Vigna angularis*). **PLoS ONE**, v. 10, p. 1-14, 2015.

CHIDEBE, I. N.; JAISWAL, S. K.; DAKORA, F. D. Distribution and phylogeny of microsymbionts associated with cowpea (*Vigna unguiculata*) nodulation in three agroecological regions of Mozambique. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 84, p. e01712-17, 2018.

CLEVELAND, C. C.; TOWNSEND, A. R.; SCHIMEL, D. S.; FISHER, H.; HOWARTH, R. W.; HEDIN, L. O.; ... WASSON, M. F. Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N₂) fixation in natural ecosystems. **Global biogeochemical cycles**, v. 13, p. 623-645, 1999.

COELHO, K. P. **Simbioses de rizóbios com leguminosas arbóreas na pré-amazônia maranhense**. 2016. Tese (Doutorado) – UFLA, Lavras. 2016.

COHN, J.; STOKKERMANS, T.; KOLLI, V. K.; DAY, R. B.; DUNLAP, J.; CARLSON, R.; HUGHES, D.; KENT PETERS, N.; STACEY, G. Aberrant nodulation

- response of *Vigna umbellata* to a *Bradyrhizobium japonicum* NodZ mutant and nodulation signals. *Molecular plant-microbe interactions*, v. 12, p. 766-773, 1999.
- COSTA, E. M.; CARVALHO, T. S.; GUIMARÃES, A. A.; LEO, A. C. R.; CRUZ, L. M.; DE BAURA, V. A.; MOREIRA, F. M. S. Classification of the inoculant strain of cowpea UFLA03-84 and of other strains from soils of the Amazon region as *Bradyrhizobium viridifuturi* (symbiovar tropici). **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 50, p. 335-345, 2019.
- DA SILVA JÚNIOR, E. B.; FAVERO, V. O.; XAVIER, G. R.; BODDEY, R. M.; ZILLI, J. E. *Rhizobium* inoculation of cowpea in Brazilian cerrado increases yields and nitrogen fixation. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 722-727, 2018.
- DA SILVA, M. S. R. A.; DOS SANTOS, B. D. M. S.; CHÁVEZ, D. W. H., DE OLIVEIRA, R.; SANTOS, C. H. B.; OLIVEIRA, E. C.; RIGOBELLO, E. C. K-humate as an agricultural alternative to increase nodulation of soybeans inoculated with *Bradyrhizobium*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 36, p. 102129, 2021.
- DAHIYA, P. K.; LINNEMANN, A. R.; VAN BOEKEL, M. A. J. S.; KHETARPAUL, N.; GREWAL, R. B.; NOUT, M. J. R. Mung bean: Technological and nutritional potential. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 55, p. 670-688, 2015.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro. 2013, 412p.
- FAVERO, V. O.; CARVALHO, R. H.; MOTTA, V. M.; LEITE, A. B. C.; COELHO, M. R. R.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; URQUIAGA, S. *Bradyrhizobium* as the Only Rhizobial Inhabitant of Mung Bean (*Vigna radiata*) Nodules in Tropical Soils: A Strategy Based on Microbiome for Improving Biological Nitrogen Fixation Using Bio-Products. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, e602645, 2021.
- FAVERO, V. O.; CARVALHO, R. H.; LEITE, A. B. C.; DOS SANTOS, D. M. T.; FREITAS, K. M.; BODDEY, R. M.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; URQUIAGA, S. *Bradyrhizobium* strains from Brazilian tropical soils promote increases in nodulation, growth and nitrogen fixation in mung bean. **Applied Soil Ecology**, 175, 104461, 2022.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. _ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues) 2013_. R package version 1.2.2, 2021.
- FREITAS, A. D. S. D.; SILVA, T. O. D.; MENEZES, R. S. C.; SÁ BARRETTO SAMPAIO, E. V. D.; ARAÚJO, E. R.; & SILVA FRAGA, V. D. Nodulação e fixação de nitrogênio por forrageiras da caatinga cultivadas em solos do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1856-1861, 2011.
- GAO, G. T.; XU, Y. Y.; JIANG, F.; LI, B.Z.; YANG, J. S.; WANG, E. T.; YUAN, H. L. Nodulation characterization and proteomic profiling of *Bradyrhizobium liaoningense* CCBAU05525 in response to water-soluble humic materials. **Scientific reports**, v. 5, p. 1-13, 2015.
- HANSEN, A. P.; YONEYAMA, T.; KOUCHI, H.; MARTIN, P. Respiration and nitrogen fixation of hydroponically cultured *Phaseolus vulgaris* L. cv. OAC Rico and a

- super nodulating mutant. I. Growth, mineral composition and effect of sink removal. **Planta**, v. 189, p. 538-545, 1993.
- HEIL, C.A. Influence of humic, fulvic and hydrophilic acids on the growth, photosynthesis and respiration of the dinoflagellate *Prorocentrum minimum* (Pavillard) Schiller. **Harmful Algae**, v. 4, p. 603-618, 2005.
- HONAISSER, T. C.; ROSSI, G. B.; DE MOURA ROCHA, M.; ARISI, A. C. M. Comparison of grain protein profiles of Brazilian cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars based on principal component analysis. **Food Production, Processing and Nutrition**, v. 4, p. 1-11, 2022.
- JUMIN, H. B.; IKHSAN, N.; & MAIZAR, M. Rhizobium Symbiotic Mutualism With Rice Bean (*Vigna Adiata*) Root Hair on the Land Polluted by Sodium. **EM International**, v. 40, p. 1542-1546, 2021.
- KASCHUK, G.; HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. S.; CAMPO, R. J. Genetic diversity of rhizobia associated with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under no-tillage and conventional systems in Southern Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 32, p. 210-220, 2006.
- KAUR, S.; SINGH, O. S. Response of ricebean to single and combined inoculation with Rhizobium and Glomus in a P-deficient sterilized soil. **Plant and Soil**, v. 112, p. 293-295, 1988.
- LAWN, R. J.; BUSHBY, H. V. A. Effect of root, shoot and Rhizobium strain on nitrogen fixation in four Asiatic *Vigna* species. **New Phytologist**, v. 92, p. 425-434, 1982.
- MELO, A. P.; OLIVARES, F. L.; MÉDICI, L. O.; TORRES-NETO, A.; DOBBSS, L. B.; CANELLAS, L. P. Mixed rhizobia and *Herbaspirillum seropedicae* inoculations with humic acid-like substances improve water-stress recovery in common beans. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, p. 1-9, 2017.
- MORA, V.; BAIGORRI, R.; BACAICOA, E.; ZAMARRENO, A. M.; GARCÍA-MINA, J. M. The humic acid-induced changes in the root concentration of nitric oxide, IAA and ethylene do not explain the changes in root architecture caused by humic acid in cucumber. **Environmental and Experimental Botany**, v. 76, p. 24-32, 2012.
- MOTT, J.; ABAYE, O.; REITER, M.; MAGUIRE, R. Evaluating Effects of *Bradyrhizobium* and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation on Yield Components of Mung Bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) and Nitrogen Fixation. **Agronomy**, v. 12, p. 2358, 2022.
- NANNIPIERI, P.; MUCCINI, L.; CIARDI, C. Microbial biomass and enzyme activities: production and persistence. **Soil biology and biochemistry**, v. 15, p. 679-685, 1983.
- NASCIMENTO, T. R.; SENA, P. T. S.; OLIVEIRA, G. S.; DA SILVA, T. R.; DIAS, M. A. M.; DE FREITAS, A. D. S.; MARTINS, L. M. V.; FERNANDES JUNIOR, P. I. Co-inoculation of two symbiotically efficient *Bradyrhizobium* strains improves cowpea development better than a single bacterium application. **3 Biotech**, v. 11, p. 4, 2021.

- NARDI, S.; SCHIAVON, M.; FRANCIOSO, O. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. **Molecules**, v. 26, p. 2256, 2021.
- OLIVARES, F. L.; BUSATO, J. G.; DE PAULA, A. M.; DA SILVA LIMA, L.; AGUIAR, N. O.; CANELLAS, L. P. Plant growth promoting bacteria and humic substances: crop promotion and mechanisms of action. **Chemical and biological technologies in agriculture**, v. 4, p. 1-13, 2017.
- OLIVEIRA, R. S.; CARVALHO, P.; MARQUES, G.; FERREIRA, L.; PEREIRA, S.; NUNES, M.; ROCHA, I.; MA, Y.; CARVALHO, M. F.; VOSÁTKA, M.; FREITAS, H. Improved grain yield of cowpea (*Vigna unguiculata*) under water deficit after inoculation with *Bradyrhizobium elkanii* and *Rhizopagus irregularis*. **Crop and Pasture Science**, v. 68, p. 1052-1059, 2017.
- PAN, F.; HE, S.; HU, Z.; WANG, P.; FENG, X. Diversity of rhizobia isolated from rice bean (*Vigna umbellata* L.). **Chinese Journal of Applied & Environmental Biology**, v. 9, p. 485-488, 2003.
- PEOPLES, M. B.; GILLER, K. E.; JENSEN, E. S.; HERRIDGE, D. F. Quantifying country-to-global scale nitrogen fixation for grain legumes: I. Reliance on nitrogen fixation of soybean, groundnut and pulses. **Plant and Soil**, v. 469, p. 1-14. 2021.
- PULE-MEULENBERG, F.; BELANE, A. K.; KRASOVA-WADE, T.; DAKORA, F. D. Symbiotic functioning and bradyrhizobial biodiversity of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in Africa. **BMC Microbiology**, v. 10, p. 89, 2010.
- PICCOLO, A.; PIETRAMELLARA, G.; MBAGWU, J. S. C. Effects of coal derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils. **Soil Use and Management**, v. 12, p. 209-213, 1996.
- PICCOLO, A.; PIETRAMELLARA, G.; MBAGWU, J. S. C. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. **Geoderma**, v. 75, p. 267-277, 1997.
- R Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2022.
- RAJPAR, I.; BHATTI, M. B.; ZIA-UL-HASSAN, A. N.; TUNIO, S. D. Humic acid improves growth, yield and oil content of *Brassica campestris* L. **Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences**, v. 27, p. 125-133, 2011.
- RAMÍREZ, M. D. A.; ESPAÑA, M.; LEWANDOWSKA, S.; YUAN, K.; OKAZAKI, S.; OHKAMA-OHTSU, N.; YOKOYAMA, T. Phylogenetic analysis of symbiotic bacteria associated with two *Vigna* species under different agro-ecological conditions in Venezuela. **Microbes and environments**, v. 35, ME19120, 2020.
- ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. Substâncias húmicas aquáticas: interações com espécies metálicas. São Paulo, UNESP, 2003. 120p.
- SERENELLA, N.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLOB, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 1527-1536, 2002.

- SINGH, I.; SHANKAR, U.; ABROL, D. P.; MONDAL, A. Diversity of Insect Pollinators Associated with Pigeonpea, *Cajanus cajan* L. Mill sp. And Their Impact on Crop Production. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, p. 528-535, 2017.
- SOUMARE, A.; DIEDHIOU, A. G.; THUITA, M., HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; GOPALAKRISHNAN, S.; KOUISNI, L. Exploiting biological nitrogen fixation: a route towards a sustainable agriculture. **Plants**, v. 9, p. 1011, 2020.
- SRITONGTAE, B.; SANGSUKIAM, T.; MORGAN, M. R. A.; DUANGMAL, K. Effect of acid pretreatment and the germination period on the composition and antioxidant activity of rice bean (*Vigna umbellata*). **Food Chemistry**, v. 227, p. 280-288, 2017.
- TAN, K.H.; TANTIWIRAMANOND, D. Effect of humic acids on nodulation and dry matter production of Soybean, Peanut, and Clover. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, 1121-1124, 1983.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais (Vol. 5, p. 174). Porto Alegre: Ufrgs, 1995, 174 p.
- TIL'BA, V. A.; SINEGOVSKAYA, V. T. Role of symbiotic nitrogen fixation in increasing photosynthetic productivity of soybean. **Russian agricultural sciences**, v. 38, p. 361-363, 2012.
- ULZEN, J.; ABAIDOO, R. C.; MENSAH, N. E.; MASSO, C.; ABDELGADIR, A. H. *Bradyrhizobium* Inoculants Enhance Grain Yields of Soybean and Cowpea in Northern Ghana. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1770, 2016.
- VIKRAM, N.; SARKAR, N. C. Rice bean (*Vigna umbellata*)—A Potential Legume under Adverse Conditions. **International Journal of Bio-Resource & Stress Management**, v. 13, p. 928-934, 2022.
- YANG, J.K.; YUAN, T.Y.; ZHANG, W.T.; ZHOU, J.C.; LI, Y.G. Polyphasic characterization of mung bean (*Vigna radiata* L.) rhizobia from diferente geographical regions of China. **Soil Biology and Biochemistry**. 40, 1681-1688, 2008.
- YI-SHEN, Z.; SHUAI, S.; FITZGERALD, R. Mung bean proteins and peptides: nutritional, functional and bioactive properties. **Food & Nutrition Research**, v. 62, e10.29219, 2018.
- XU, D. B.; WANG, Q. J.; WU, Y. C.; YU, G. H.; SHEN, Q. R.; HUANG, Q. W. Humic-like substances from different compost extracts could significantly promote cucumber growth. **Pedosphere**, v. 22, p. 815-824, 2012.
- ZHANG, Y.F.; WANG, E.T.; TIAN, C.F.; WANG, F.Q.; HAN, L.L.; CHEN, W.F.; CHEN, W.X. *Bradyrhizobium elkanii*, *Bradyrhizobium yuanmingense* and *Bradyrhizobium japonicum* are the main rhizobia associated with *Vigna unguiculata* and *Vigna radiata* in the subtropical region of China. **FEMS Microbiology Letters**, v. 285, p. 146-154, 2008.
- ZILLI, J. É.; SILVA NETO, M. L. D.; FRANÇA JÚNIOR, I.; PERIN, L.; MELO, A. R. D. Resposta do feijão-caupi à inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium*

recomendadas para a soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 739-742, 2011.