

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**Influência da adubação nitrogenada e fosfatada no cultivo de Feijão Bambara  
(*Vigna subterranea* L. Verdc.) em latossolo vermelho-amarelo distrófico**

Filipe Cassimiro Magalhães de Paula  
*Magister Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**FILIFE ASSIMIRO MAGALHÃES DE PAULA**

**Influência da adubação nitrogenada e fosfatada no cultivo de Feijão Bambara  
(*Vigna subterranea* L. Verdc.) em latossolo vermelho-amarelo distrófico**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Gustavo Franco de Castro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

P324i  
2025 Paula, Filipe Cassimiro Magalhães de, 1996-  
Influência da adubação nitrogenada e fosfatada no cultivo  
de feijão bambara (*Vigna subterranea* L. Verdc.) em latossolo  
vermelho-amarelo distrófico / Filipe Cassimiro Magalhães de  
Paula. – Viçosa, MG, 2025.

1 dissertação eletrônica (53 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Gustavo Franco de Castro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Agronomia, 2025.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.659>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Vigna subterranea*. 2. Fisiologia vegetal. 3. Nitrogênio -  
Fixação. 4. Fertilizantes nitrogenados. 5. Fertilização de plantas -  
Efeito do fósforo. I. Castro, Gustavo Franco de, 1989-.  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.  
III. Título.

CDD 22. ed. 583.741632

**FILIFE CASSIMIRO MAGALHÃES DE PAULA**

**Influência da adubação nitrogenada e fosfatada no cultivo de Feijão Bambara  
(*Vigna subterranea* L. Verdc.) em latossolo vermelho-amarelo distrófico**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de julho de 2025.

Assentimento:

---

Filipe Cassimiro Magalhães de Paula  
Autor

---

Gustavo Franco de Castro  
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 15/10/2025 às 16:37:17 e pelo orientador em 16/10/2025 às 11:36:14. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **U54D.5HA6.2B9C** e clique no botão 'Validar documento'.

Dedico esta pesquisa às figuras maternas, Marlene e Raquel, sem as quais nada disso seria possível.

## **AGRADECIMENTOS**

Às energias superiores que sempre me orientam e caminham ao meu lado;

À minha (grande) família, por todo apoio;

Ao meu orientador Gustavo e aos meus coorientadores Tomaz e Juscimar, por todo o auxílio durante a pesquisa;

À Bárbara, minha companheira de vida;

Ao professor Paulo Roberto Cecon e à professora Júnia Maria Clemente, por serem extremamente solícitos e pela boa vontade em ajudar e ensinar;

Ao estagiário Pedro, por fortalecer de diversas formas a condução desta pesquisa;

Aos técnicos Marquinhos e Fabi, por todo o auxílio, independente da hora;

À Universidade Federal de Viçosa, por ter me acolhido de braços abertos e ter me proporcionado essa oportunidade;

À Tatiani e Lidia, por todo o auxílio durante essa etapa;

Aos servidores e técnicos do Vale da Agronomia, por todo auxílio durante a condução da pesquisa;

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

À uma educação PÚBLICA, GRATUITA e de QUALIDADE.

## RESUMO

PAULA, Filipe Cassimiro Magalhães de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2025. **Influência da adubação nitrogenada e fosfatada no cultivo de Feijão Bambara (*Vigna subterranea* L. Verdc.) em latossolo vermelho-amarelo distrófico**. Orientador: Gustavo Franco de Castro.

As mudanças climáticas são evidentes e seus impactos podem ser percebidos na atualidade. O cultivo de espécies agrícolas alternativas que apresentam maior resiliência e adaptação frente às mudanças do clima e que atendam aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) deve ser incentivado. Nesse contexto, espécies cuja parte de interesse comercial se desenvolvem abaixo da superfície do solo são estratégicas, visto que possuem maior tolerância às variações de temperatura na superfície, reduzindo assim os impactos na produtividade. O feijão bambara (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) é uma planta nativa do continente africano, possui alta resiliência, baixa necessidade hídrica e nutricional. Suas vagens se desenvolvem abaixo da superfície do solo, permitindo reduzir os impactos diretos em sua porção comercial. Rico em aminoácidos essenciais, proteínas, carboidratos e lipídeos, o feijão bambara é uma alternativa passível de incorporação no cenário agrícola, principalmente em regiões semiáridas e para a cultura de subsistência. Além disso, o feijão bambara pertence à família Fabaceae, caracterizada por realizar a fixação biológica de nitrogênio à partir da associação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* sp. O objetivo deste trabalho foi avaliar os componentes de produção e os componentes fisiológicos acerca da adubação nitrogenada e fosfatada em latossolo vermelho-amarelo distrófico. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4x4 com quatro repetições, sendo quatro doses de nitrogênio (N) (0, 10, 30 e 60 kg.ha<sup>-1</sup> de N) e quatro doses de fósforo (P) (0, 50, 100 e 200 kg.ha<sup>-1</sup> de P), obtendo uma combinação N0P0 até N60P200, tendo como controle a dose sem fertilizante para ambas as fontes de nutrientes. Para o parâmetro fisiológico índice SPAD (SPAD) foi feita a leitura utilizando o medidor de parâmetros fisiológicos MultispeQ V 2.0 PhotosynQ®. Para os componentes de produção foram analisados a produtividade (PROD), comprimento (COMPF) e largura (LARGF) de folíolos, altura de plantas (ALTPL), número de folhas (NGAL), acúmulo de N e P na parte aérea (CTNPA, CTPPA), nas raízes (CTNRA, CTPRA) e nos grãos (CTNSEM, CTPSEM), massa de 100 sementes (P100S), número de sementes por planta (NSEM) e número de sementes por quilo (NSKG). Os dados foram submetidos ao software SAEG – Sistema para Análises Estatísticas v9.1 e as equações ajustadas pelo modelo foram definidas por

meio da Metodologia de Superfície de Resposta, sendo os modelos escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão e submetidos ao teste “t” ao nível de 5% de probabilidade. As análises demonstraram que NSEM, COMPF, LARGF, NGAL, CTPPA, CTPSEM e CTNSEM foram influenciadas apenas pelas doses de P, obtendo valores máximos de 42,5 sementes para NSEM, 7,0 cm para COMPF, 3,1 cm para LARGF, 32,6 galhos para NGAL, 10,88 mg.planta<sup>-1</sup> para CTPPA, 93,23 mg.planta<sup>-1</sup> para CTPSEM e 639,76 mg.planta<sup>-1</sup> para CTNSEM. As variáveis MSPA, MSRA, P100S, NSKG, PROD, SPAD, CTPRA e CTNPA tiveram influência tanto das doses de N quanto das doses de P, sendo observados valores máximos de 11,47 g para MSPA, 4,06 g para MSRA, 58,1 g para P100S, 2482 sementes para NSKG, 1745 kg.ha<sup>-1</sup> para PROD, 62,81 para SPAD, 5,43 mg.planta<sup>-1</sup> para CTPRA e de 150,48 mg.planta<sup>-1</sup> para CTNPA. Para as variáveis CTNRA e ALTPL não foram influenciadas por nenhuma das combinações testadas, tendo seus valores não diferidos da média de 49,62 mg.planta<sup>-1</sup> para CTNRA e 20,82 cm para ALTPL. A combinação mais adequada para se obter um máximo rendimento na produtividade estimada pelo modelo foi de N = 60 mg.dm<sup>-3</sup> e P = 158,62 mg.dm<sup>-3</sup> para um solo sem prévia adubação.

Palavras-chave: culturas subutilizadas; Fabaceae; fertilizantes; mudanças climáticas; PANCs

## ABSTRACT

PAULA, Filipe Cassimiro Magalhães de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2025. **Influence of nitrogen and phosphorus fertilization on Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* L. (Verdc.)) cultivation in dystrophic red-yellow oxisol.** Adviser: Gustavo Franco de Castro.

Climate change is a current and evident phenomenon, with noticeable impacts on agricultural systems. The cultivation of alternative crop species that demonstrate higher resilience and adaptability to climate variability, while contributing to the Sustainable Development Goals (SDGs), should be promoted. In this context, species whose commercialized organs develop below the soil surface are considered strategic due to their increased tolerance to surface temperature variations, thereby reducing productivity losses. Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) is a legume native to the African continent, known for its high resilience, low water and nutrient requirements, and the development of pods beneath the soil surface, which protects the commercial part of the plant. Rich in essential amino acids, proteins, carbohydrates and lipids, Bambara groundnut is a viable alternative for incorporation into the agricultural sector, especially in semi-arid regions and for subsistence farming. Additionally, as a member of the Fabaceae family, bambara groundnut is capable of biological nitrogen fixation through symbiosis with *Bradyrhizobium* sp. The objective of this study was to evaluate the production and physiological components in response to nitrogen and phosphorus fertilization in a dystrophic Red-Yellow Oxisol. The experimental design was a randomized complete block in a 4x4 factorial scheme with four replications, consisting of four nitrogen rates (0, 10, 30, and 60 kg ha<sup>-1</sup> of N) and four phosphorus rates (0, 50, 100, and 200 kg ha<sup>-1</sup> of P), resulting in treatments from N0P0 to N60P200. The control treatment received no fertilization for either nutrient source. For the physiological analysis of the SPAD index (SPAD), readings were taken using the MultispeQ V 2.0 PhotosynQ® physiological parameter meter. Production parameters included grain yield (PROD), leaflet length (COMPF) and width (LARGF), plant height (ALTPL), number of leaves (NGAL), nitrogen and phosphorus accumulation in the shoot (CTNPA, CTPPA), roots (CTNRA, CTPRA), and seeds (CTNSEM, CTPSEM), 100-seed weight (P100S), number of seeds per plant (NSEM), and number of seeds per kilogram (NSKG). The data were analyzed using the SAEG – Statistical Analysis System v9.1 software, and the equations estimated by the model were defined using the Response Surface Methodology, with models chosen based on the significance of the regression coefficients and subjected to

the "t" test at a 5% probability level. The analyses demonstrated that NSEM, COMPF, LARGF, NGAL, CTPPA, CTPSEM, and CTNSEM were influenced solely by P doses, reaching maximum values of 42.5 seeds for NSEM, 7.0 cm for COMPF, 3.1 cm for LARGF, 32.6 branches for NGAL, 10.88 mg.plant<sup>-1</sup> for CTPPA, 93.23 mg.plant<sup>-1</sup> for CTPSEM, and 639.76 mg.plant<sup>-1</sup> for CTNSEM. MSPA, MSRA, P100S, NSKG, PROD, SPAD, CTPRA, and CTNPA were influenced by both N and P doses, with maximum observed values of 11.47 g for MSPA, 4.06 g for MSRA, 58.1 g for P100S, 2,482 seeds for NSKG, 1,745 kg.ha<sup>-1</sup> for PROD, 62.81 for SPAD, 5.43 mg.plant<sup>-1</sup> for CTPRA, and 150.48 mg.plant<sup>-1</sup> for CTNPA. The variables CTNRA and ALTPL were not influenced by any of the tested combinations, with values not differing from the mean of 49.62 mg.plant<sup>-1</sup> for CTNRA and 20.82 cm for ALTPL. The most suitable combination to achieve maximum yield, as estimated by the model, was N = 60 mg.dm<sup>-3</sup> and P = 158.62 mg.dm<sup>-3</sup> for a soil without prior fertilization.

Keywords: underutilized crops; Fabaceae; certilizers; climate change; PANCs

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
2.1 FEIJÃO-BAMBARA .....	13
2.2 NITROGÊNIO .....	15
2.3 FÓSFORO .....	16
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DO SOLO.....	19
3.2 ANÁLISE E PREPARO DO SOLO .....	19
3.3 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE SPAD.....	20
3.4 ANÁLISES DAS VARIÁVEIS COMPONENTES DE PRODUÇÃO .....	21
3.5 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE N.....	21
3.6 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE P .....	22
3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	22
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>24</b>
4.1 VARIÁVEIS DE COMPONENTES DE PRODUÇÃO .....	24
4.2 CONTEÚDO DE N E P .....	28
4.3 ÍNDICE SPAD .....	34
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>36</b>
5.1 VARIÁVEIS DE COMPONENTES DE PRODUÇÃO .....	36
5.2 CONTEÚDO DE N E P .....	40
5.3 VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS .....	42
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>43</b>
<b>7 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICE A – PLANTA DE FEIJÃO BAMBARA NO ESTÁGIO REPRODUTIVO COM VAGENS IMATURAS .....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICE B – PARTE AÉREA, VAGENS E RAÍZES DE FEIJÃO BAMBARA.....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE C – PLANTAS DE FEIJÃO BAMBARA SEGUINDO O DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>52</b>
<b>APÊNDICE D – PLANTAS DE FEIJÃO-BAMBARA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE N E P EM MG.DM<sup>-3</sup>, 178 DIAS APÓS SEMEADURA, MOMENTO ANTERIOR À COLHEITA .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são evidenciadas pelo aumento da temperatura global, elevação no nível dos oceanos, eventos climáticos extremos e perda de habitats naturais. A concentração de CO<sub>2</sub>, estável por milhares de anos, passou a aumentar após a Revolução Industrial, saltando de 318 ppm para 418 ppm no período de 1960 – 2022 (Royal Society, 2015; Lindsey & Dalman, 2024; NASA, 2024).

No que se refere ao atual cenário agrícola brasileiro, as mudanças climáticas evidenciam impactos que podem ser percebidos com quedas de produtividades, longos períodos de estiagem ou excessos de precipitação, podendo levar ao estresse hídrico e abiótico nas plantas comumente cultivadas. Tais impactos foram citados por Pellegrino *et al.* (2007), onde o autor afirma que perdas de aproximadamente 39% nas produções de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), 18% na produção de arroz (*Oryza sativa* (L.)), 11% no feijão (*Phaseolus vulgaris* (L.)) e 58% para o café (*Coffea* spp.) e 7% para o milho (*Zea mays* (L.)) com aumentos de até 15% na precipitação e de até 5,8°C na temperatura poderiam ser constatadas.

Num cenário de transformações do clima, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) promovido pela Organização das Nações Unidas (ONU) tornam-se ferramentas essenciais com a finalidade de mitigar os impactos das mudanças climáticas. A adoção de práticas agrícolas sustentáveis contribui diretamente para o alcance de diversos ODS, como Fome Zero e Agricultura Sustentável (ODS 2), Vida Terrestre (ODS 15) e Ação Climática (ODS 13). O incentivo à inserção de culturas alternativas que sejam mais resilientes e adaptáveis às mudanças do clima pode, assim, alinhar a produção agrícola com metas globais de sustentabilidade.

No que se refere à segurança alimentar e nutricional, existem aproximadamente 30 mil espécies comestíveis no mundo. Metade da alimentação humana está baseada em cerca de 20 espécies, sendo apenas três delas responsáveis por metade da alimentação mundial: o arroz, o milho e o trigo (Brack & Kohler, 2024). De acordo com a Food and Agricultural Organization – FAO (1996), a segurança alimentar existe quando há acesso contínuo e seguro a alimentos nutritivos e suficientes para satisfazer as necessidades e preferências alimentares, sendo necessário estratégias coordenadas em todos os níveis e adaptadas para cada país.

A limitação do número de espécies cultivadas com o objetivo de padronizar a produção e atender às demandas da indústria, constitui um fator que agrava a insegurança alimentar e nutricional. Diversas espécies pertencentes ao grupo das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCS) apresentam um potencial significativo de cultivo, uma vez que são

mais rústicas em comparação com as espécies convencionais, possuindo requisitos nutricionais, hídricos e de insolação distintos. Ademais, essas espécies se adaptam melhor a determinadas épocas permitindo a produção contínua e diversificada ao longo do ano, o que contribui para a oferta de alimentos mais variada. Alimentos advindos das PANCS, tanto nativas quanto exóticas, estão amplamente distribuídos pelo território nacional, oferecendo não apenas segurança nutricional, devido à variação nos seus teores de nutrientes e na diversidade de plantas, mas também desempenham um papel importante na recuperação da biodiversidade. (Ranieri *et al.*, 1997).

Com a finalidade de se adaptar aos impactos causados à agricultura pelas mudanças climáticas, promover uma alimentação mais rica nutricionalmente e de reduzido custo de produção em relação a outras culturas e atender aos ODS, deve-se levar em consideração a incorporação de PANCS no sistema de produção agrícola brasileiro. O feijão-bambara (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) é uma planta nativa do continente africano, rústica, de baixo custo de produção e que pode ser incorporada como uma alternativa aos grãos mais utilizados, como a soja e o milho, e ao cereal mais utilizado, o trigo. Pode-se considerar suas alternativas de uso, como consumido tanto *in natura* quanto em diversos métodos de processamento, como o leite vegetal e a farinha a partir de seus grãos para o preparo de diversos alimentos, uma alternativa para os celíacos (Pahane *et al.*, 2017; Sanni *et al.*, 2024). A planta não se restringe somente ao consumo humano, uma vez que sua parte aérea também pode ser utilizada como alimento na produção animal (Linneman, 1987; Pahane *et al.*, 2017).

O latossolo é a classe de solo que predomina no cenário brasileiro, compondo cerca de 31,6% do território nacional. É um solo intemperizado, possuindo boa estrutura e teores elevados de argila, óxidos de ferro e óxidos de alumínio. Por conta disso, são necessárias altas doses de fertilizantes fosfatados, uma vez que parte do P adicionado na agricultura é imobilizado devido à formação de fosfatos de ferro e alumínio (em pH baixo) ou de cálcio (em pH elevado), ambos reduzindo a eficiência na utilização do nutriente pelas plantas. Assim, para melhorar a eficácia do P nesses solos, é necessário a correta recomendação de fertilização. (Silva & Delatorre, 2009; Santos *et al.*, 2011)

Estudos sobre adubação fosfatada para o feijão-bambara foram conduzidas em condições de solo diferentes do cenário agrícola brasileiro (Ntone, 1995; Ramolemana, 1999; Daniel *et al.*, 2011; Effa *et al.*, 2016; Ikenganyia *et al.*, 2017; Ellah *et al.*, 2018; Temegne *et al.*, 2019; Yaroson *et al.*, 2019; Agyeman *et al.*, 2023; Temegne *et al.*, 2024). Assim, por carecer de pesquisas em território nacional e em solos tropicais, faz-se necessário o estabelecimento de

protocolos produtivos para a cultura do feijão-bambara no Brasil, de princípio, na correta prática de manejo no que se refere à fertilização para o nutriente.

Em suma, com a finalidade de adaptar-se aos impactos causados pelas mudanças climáticas, de recuperar a diversidade alimentar, promover uma alimentação mais rica nutricionalmente e atender aos ODS, culturas subutilizadas que possuam mecanismos de adaptação frente às variações climáticas, boa resiliência e valor nutricional significativo devem ser introduzidas no sistema de produção agrícola brasileiro, além de também serem necessárias mudanças na cadeia de produção e nas práticas alimentares (Viana *et al.*, 2013; Mesquita & Bursztyn, 2018). Plantas cujas partes de interesse se desenvolvem abaixo da superfície do solo demonstram maior resistência às grandes amplitudes térmicas, pois os efeitos de geadas e intensa insolação são mitigados pela camada superficial e subsuperficial do solo, bem como pela matéria orgânica. Dessa forma, depreende-se que a adoção de espécies rústicas e adaptadas a variações climáticas extremas é fundamental para mitigar os efeitos negativos das mudanças climáticas no contexto agrícola. Para que essa incorporação se configure como uma alternativa economicamente viável, é necessário o desenvolvimento de protocolos produtivos, com ênfase na correta adubação e manejo do solo, para assegurar bons resultados e a viabilidade econômica da produção.

Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar as melhores combinações de N e P para os aspectos de componentes de produção, fisiológicos e para maior acúmulo de N e P na parte aérea, raízes e sementes do feijão-bambara.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 FEIJÃO-BAMBARA

O feijão-bambara pertence ao gênero *Vigna*, o mesmo gênero do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), espécie de relevante importância socioeconômica, especialmente em países de clima tropical devido às suas características adaptativas em condições de estresse hídrico, sendo classificada como moderadamente tolerante tanto à escassez quanto ao excesso de água (Nascimento *et al.*, 2011).

A planta atinge cerca de 30 cm de altura, possui porte herbáceo e suas folhas são trifolioladas. É considerada autógama, apesar de ter sido constatada a polinização cruzada por meio de formigas, e suas vagens se desenvolvem a partir da separação das sépalas e da turgescência do pedúnculo após o processo de polinização das flores, as quais possuem cor amarelada (Linneman, 1987; Hasan, 2018). As vagens do feijão-bambara, quando imaturas, apresentam textura lisa e coloração esverdeada (vide Apêndice A), e quando atingem a maturidade, apresentam textura enrugada e coloração amarronzada (vide Apêndice B).

Os grãos do feijão-bambara possuem uma alta porcentagem de carboidratos, proteínas e lipídeos, sendo considerada como equilibrada e essencial para a segurança alimentar nos locais onde é cultivado (Hasan *et al.*, 2018). O feijão-bambara é constituído de, aproximadamente, 63% de carboidratos, 21% de proteínas e 7% de lipídeos, e possui diversos aminoácidos essenciais como lisina, metionina e cisteína com teor superior ao amendoim (*Arachis hypogea* (L.)) e as quantidades são satisfatórias para o organismo humano (Nyau *et al.*, 2015; Hasan *et al.*, 2019; Adewumi *et al.*, 2021; De Paula *et al.*, 2024). É importante ressaltar que esses valores, assim como os teores nutricionais podem variar de acordo com as condições ambientais, variedade e local de plantio, assim como o seu tamanho, número de nódulos e quantidade de fósforo (P) necessária para o seu desenvolvimento (Amarteifio *et al.*, 2006; Agyeman *et al.*, 2022).

Também conhecido como amendoim-bambara, a espécie apresenta atributos notáveis diante do cenário de transformações climáticas, pois é considerada uma planta rústica, capaz de se desenvolver em solos de baixa fertilidade natural e em condições associadas à baixa disponibilidade hídrica (Linnemann, 1987; Anchirinah *et al.*, 2001). Além disso, por realizar a fixação biológica de N, o feijão bambara é frequentemente utilizado em sistemas de rotação de culturas e consórcios, especialmente com raízes tuberosas como a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott), bem como com grãos como o milho (*Zea mays* L.), milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). O feijão-

bambara integra um grupo de espécies negligenciadas e subutilizadas em diversas partes do mundo, apresentando alto valor alimentar e uma notável capacidade de adaptação aos estresses bióticos e abióticos relacionados às mudanças climáticas, tendo coevoluído e se adaptado ao longo dos anos sob forte pressão de seleção a partir de pragas, doenças, condições ambientais e antrópicas (Majola *et al.*, 2021; Agyeman *et al.*, 2023).

O feijão-bambara ocupa a terceira posição no ranking de áreas cultivadas com leguminosas em regiões semiáridas da África, sobressaindo acima dele apenas o amendoim e o feijão-caupi. A planta desempenha um importante papel no que se refere à subsistência da população local, contribuindo para a uma maior segurança alimentar. Por se tratar de uma planta de ciclo curto, entre 90 e 180 dias, dependendo da variedade, o feijão bambara é capaz de trazer um rápido retorno econômico, não apenas para a agricultura familiar e de subsistência, mas também para grandes propriedades, configurando-se assim, como uma alternativa às culturas mais comuns plantadas (Anchirinah *et al.*, 2001).

No que tange à viabilidade econômica, o feijão-bambara possui seu custo total de produção menor quando comparado ao amendoim, e por ser uma planta rústica com necessidade hídrica e baixa exigência nutricional, não é comum se utilizar da irrigação e de altas doses de fertilizantes. Em regiões onde é cultivado, o feijão-bambara carece de boas práticas de manejo e adubação e, embora apresente produtividade entre 500 e 800 kg.ha<sup>-1</sup> de sementes descascadas, pode ser que seu potencial máximo de produtividade ainda não tenha sido amplamente estudado (Majola *et al.*, 2021). De acordo com Hasan *et al.* (2018), os grãos originários da planta são, em algumas localidades, a principal fonte de renda de agricultores familiares.

O Feijão-Bambara pertence à família *Fabaceae*, caracterizada por realizar associações simbióticas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (Puozaa *et al.*, 2017). É afirmado por Bitire *et al.* (2023) o potencial de aumento no número de nódulos ao inocular diferentes cepas de *Bradyrhizobium japonicum* extraídas de soja e de feijão-bambara em comparação ao controle, obtido por meio adubação nitrogenada com 20 kg.ha<sup>-1</sup> de ureia. Os pesquisadores observaram que, em relação à adubação nitrogenada, a inoculação resultou em um maior conteúdo total de N na planta, análise que foi realizada após 50% das flores abrirem. Este período corresponde à fase em que a maior parte dos nutrientes necessários para dar origem aos grãos é concentrado pela planta para redirecionar aos novos órgãos, confirmando assim, que a inoculação de microorganismos também pode ser um mecanismo para otimizar o desenvolvimento e produção da cultura.

No que se refere aos tratos culturais, normalmente é utilizada a capina e majoritariamente feita a amontoa, uma vez que este trato cultural permite maior

desenvolvimento das sementes e promove proteção contra a radiação solar e controle de plantas daninhas (De Paula *et al.*, 2024).

## 2.2 NITROGÊNIO

O nitrogênio (N) é um componente essencial para que o metabolismo celular de qualquer ser vivo seja funcional. O N é constituinte de aminoácidos, ácido nucleicos, amidas, clorofilas, hormônios como auxina e citocinina entre outros diversos compostos e componentes que fazem parte de uma planta, e só está em menor quantidade em relação ao oxigênio, carbono e hidrogênio. O N é absorvido via xilema pelas plantas na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$  - mais absorvido em pH próximo ao neutro - ou nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) - mais absorvido em pH mais baixo - sendo seu transporte via floema exclusivamente feito na forma de  $\text{NO}_3^-$  (Wilkinson, 2000).

O N possui uma complexa dinâmica com o solo, participando de diversos processos, podendo ser fixado do ar para o solo pelas bactérias fixadoras de nitrogênio, imobilizado, nitrificado, mineralizado, amonificado, desnitrificado, entre outros. Por conta dessa complexa dinâmica, o N não é quantificado ao realizar-se uma análise de solo, pois está sempre em transformação com o meio, podendo ser influenciado pelo ambiente, como temperatura, umidade, insolação, atividade de microorganismos e presença de matéria orgânica. A adubação nitrogenada é fundamental para repor ao solo o N que é mineralizado a partir da matéria orgânica, e também fornecer diretamente o nutriente para a planta (Messias *et al.*, 2008).

Na agricultura, o N é indispensável para se obter bons resultados. Com exceção das culturas que realizam a fixação biológica de N, como a soja e o feijão, o N é amplamente utilizado para o cultivo, sendo a fonte mais utilizada no Brasil a uréia, uma vez que é o adubo nitrogenado comercial com maior percentual de N (46%) e de menor custo (Agrolink, 2023). Existe uma grande variedade de fertilizantes nitrogenados e são divididos em grupos. Os mais importantes do grupo amoniacal são sulfato de amônio (21% de N), fosfato monoamônio (9% de N) e fosfato diamônio (16% de N). Para o grupamento nítrico, destacam-se os nitratos, como nitrato de cálcio (16% de N) e nitrato de potássio (13% de N). Nitrato de amônio (32% de N), nitrato de amônio e cálcio (20% de N) e o nitrossulfocálcico (25% de N) compõe o grupamento dos fertilizantes nítrico-amoniacais. Por fim, a ureia e a ureia revestida com enxofre (39% de N) são considerados amídicos (Messias *et al.*, 2008).

Os estudos acerca da adubação nitrogenada para o feijão-bambara podem ser constatados. Ntone *et al.* (1995) afirma que não houve diferenças significativas para o número de galhos, altura e conteúdo de N ao testar diferentes doses do nutriente no crescimento do feijão-bambara. Ramolemana *et al.* (1999) constata que a aplicação de N na dosagem de 100

kg.ha<sup>-1</sup> não promoveu alteração no conteúdo de N na parte aérea e, em outro experimento, o autor afirma que a aplicação de 75 kg.ha<sup>-1</sup> de N não promoveu diferenças estatísticas significativas na matéria seca de parte aérea, na matéria seca das vagens e na produtividade do feijão-bambara. Por outro lado, Daniel *et al.* (2011) afirmam que a aplicação de 30 a 45 kg.ha<sup>-1</sup> de N levou a redução no número de vagens por planta, contudo, a interação na aplicação de 15 kg.ha<sup>-1</sup> de N e 60 kg.ha<sup>-1</sup> de P promoveu, entre todos os tratamentos testados, aumento do número de vagens por planta e levando a uma maior produtividade para a espécie. Hasan *et al.* (2019) estudou combinações de N e P e aplicação de composto orgânico para o feijão-bambara, afirmando que a combinação de 30 kg.ha<sup>-1</sup> de N com 60 kg.ha<sup>-1</sup> de P favoreceu o número de vagens por planta, peso de 100 sementes, peso das vagens e número de sementes por vagem, enquanto a adubação com 2,5 t.ha<sup>-1</sup> composto orgânico demonstrou menor peso de vagens, peso de 100 sementes e número de vagens em relação à adubação mineral. Hasan *et al.* (2021) testou combinações de N e P variando entre 0, 10, 20 e 30 kg.ha<sup>-1</sup> de N e 0, 20, 60 e 90 kg.ha<sup>-1</sup> de P, e afirmou que a combinação de 30 kg.ha<sup>-1</sup> de N com 60 kg.ha<sup>-1</sup> de P promoveu maior peso de nódulos e maiores teores de N nas folhas, raízes e sementes em relação às outras combinações.

Vale ressaltar que os autores conduziram essas pesquisas em cenários diferentes no que se refere às condições climáticas e tipo de solo, trazendo então a importância de se realizar pesquisas no cenário brasileiro e estudar o comportamento da planta para estabelecer o correto manejo no que se refere ao N.

### 2.3 FÓSFORO

O fósforo (P) é um nutriente essencial para que haja vida, participando diretamente no metabolismo de qualquer ser biológico. As frações de P no solo são tidas como P inorgânico (Pi) e P orgânico (Po), sendo a primeira altamente estável e regida por ligações fortes entre os colóides das argilas, dos óxidos e dos hidróxidos de ferro e alumínio (Ulloa *et al.*, 2021).

Na agricultura, o P é considerado um macronutriente essencial para um bom desenvolvimento das plantas, embora seja um dos macronutrientes com menor exigência (Rodrigues, 2018). Na planta, o P é encontrado em sua forma inorgânica, principalmente como H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, e majoritariamente armazenado no vacúolo na forma de ortofosfatos a fim de suprir possíveis deficiências. Esse macronutriente atua não apenas como componente da molécula carreadora de energia ATP (adenosina trifosfato), mas também está associado a algumas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos (Grant *et al.*, 2001). O P desempenha papel estrutural por participar da barreira central constituída pela bicamada fosfolipídica, atribuindo fluidez às membranas e contribuindo para a manutenção e integridade das paredes celulares. Também

participa da produção de cadeias de DNA e RNA. Por conta disso, o P é presente em maiores concentrações nos tecidos meristemáticos (Pandey, 2018). O P também está diretamente envolvido no processo de fotossíntese, participando do Ciclo de Calvin-Benson, onde integra a enzima RUBISCO (ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase), a enzima PEPcase (Fosfoenolpiruvato carboxilase) e contribui para a produção de energia e poder redutor sob a forma de ATP, NADP e FAD através do Ciclo do Ácido Cítrico (Pandey, 2018; Khan *et al.*, 2023).

Diversos fertilizantes são utilizados para realizar adubação fosfatada, como o fosfato natural, superfosfato simples, superfosfato triplo, termofosfato e fosfato monoamônico, cada um com características e exigências necessárias para sua aplicação (Fernandes, 2023).

Estudos sobre adubação fosfatada para o feijão-bambara foram conduzidas em condições de solo diferentes do cenário agrícola brasileiro. É afirmado por Daniel *et al.* (2011) que utilização de  $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de P estimulou a nodulação, número de vagens por planta e produtividade em relação às doses 0, 20 e  $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de P enquanto Effa *et al.* (2011) não encontrou diferenças significativas para altura de plantas, número de folhas, diâmetro do dossel, matéria seca total e dias de florescimento ao testar a aplicação de 0, 45, 60 e  $75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de P. De acordo com Ikenganyia *et al.* (2017), a aplicação de P na dosagem de  $75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  promoveu maior desenvolvimento dos nódulos, número de vagens, peso de vagens frescas e altura de plantas, enquanto Temegne *et al.* (2019) relata que dosagens de 150 e  $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de P aumentaram o peso de 100 sementes, número de galhos, peso de vagens e diâmetro das sementes ao testar o efeito de 0, 50, 100, 150 e  $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de P na cultura. O número de galhos, altura de plantas, e área foliar foi positivamente correlacionada com o aumento das doses de P nas dosagens de 20, 40, 60, 80 e  $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de superfosfato simples, enquanto a maior produtividade foi observada na dose de  $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  segundo Yaroson *et al.* (2019). O efeito de três variedades e três níveis de P (30, 45 e  $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) foi avaliado por Temegne *et al.* (2022), afirmando que a altura de plantas é afetada positivamente com as crescentes doses de P aplicadas, além da maior dosagem também ter promovido o desenvolvimento de maior número de nódulos, número de vagens e produtividade. Por fim, Temegne *et al.* (2024) avaliou a interação entre doses de P, genótipos e déficit hídrico, obtendo resultados em que a aplicação de P promoveu efeitos positivos na altura de plantas, aminoácidos e conteúdo de açúcares. Os trabalhos citados neste parágrafo, em sua totalidade, foram realizados utilizando solos franco-arenosos com teor de areia variando entre 73 e 86%.

Estudos acerca da adubação fosfatada para o feijão-bambara em solo nacional são escassas e devem ser conduzidas, principalmente no que se refere aos solos com elevado teor de argila e em clima tropical.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DO SOLO

O solo utilizado nesta pesquisa pertence à classe Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e foi coletado na Unidade de Pesquisa, Ensino e Extensão do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UEPE-Solos), sob as coordenadas 20°45'13.6"S 42°50'38.0"W. No local há predominância das plantas indicadoras capim-gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) e sapê (*Imperata brasiliensis* Trin.) em que, segundo Carmo (2015) a primeira está associada à ocorrência da segunda. O sapê é uma planta frequente e comumente encontrada em solos ácidos e secos (Agrolink, 2024). O solo foi coletado à profundidade de 0-20 cm e para isso, foi removida a camada de plantas e raízes superficiais.

A pesquisa foi realizada em casa de vegetação, sob as coordenadas 20°45'59.6" S, 42°52'9.9" W, localizada no Vale da Agronomia pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa

#### 3.2 ANÁLISE E PREPARO DO SOLO

O solo foi seco ao ar e peneirado para remover materiais indesejáveis, como pedras e material orgânico grosseiro. Todo o material peneirado foi separado e pesado em sacos plásticos contendo 10 kg de solo. As amostras de solo foram enviadas ao Laboratório de Análises Físicas e Químicas de solo da Universidade Federal de Viçosa, apresentando as seguintes características: pH (H<sub>2</sub>O) 4,88; P (Melich-1) 0 mg.dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> (KCl 1,0 mol.L<sup>-1</sup>) 0,36 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> (KCl 1,0 mol.L<sup>-1</sup>) 0,08 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> (KCl 1,0 mol.L<sup>-1</sup>) 0,73 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; CTC 3,99 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; matéria orgânica 1,98 dag.kg<sup>-1</sup>; argila 53,4%; silte 13,5%; areia fina 10,4%; areia grossa 22,7% e densidade do solo 1,03 g.cm<sup>-3</sup>. Para corrigir a acidez do solo adicionou-se 19,5g de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio preparados à proporção de 3,5 de CaCO<sub>3</sub> para 1,0 MgCO<sub>3</sub> em cada saco de 10 kg de solo, preenchidos com três litros de água para atingir 80% da capacidade de campo. O solo foi mantido incubado por 30 dias e, após isso, realizada a adubação.

As fontes de variação utilizadas foram as doses de N e de P, variando de 0 a 60 mg.dm<sup>-3</sup> de N e de 0 a 200 mg.dm<sup>-3</sup> de P, resultando em um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial N x P com as doses 0, 10, 30 e 60 mg.dm<sup>-3</sup> de N para cada dose de 0, 50, 100 e 200 mg.dm<sup>-3</sup> de P. As combinações obtidas foram: N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>, N<sub>0</sub>P<sub>50</sub>, N<sub>0</sub>P<sub>100</sub>, N<sub>0</sub>P<sub>200</sub>, N<sub>10</sub>P<sub>0</sub>, N<sub>10</sub>P<sub>50</sub>, N<sub>10</sub>P<sub>100</sub>, N<sub>10</sub>P<sub>200</sub>, N<sub>30</sub>P<sub>0</sub>, N<sub>30</sub>P<sub>50</sub>, N<sub>30</sub>P<sub>100</sub>, N<sub>30</sub>P<sub>200</sub>, N<sub>60</sub>P<sub>0</sub>, N<sub>60</sub>P<sub>50</sub>, N<sub>60</sub>P<sub>100</sub> e N<sub>60</sub>P<sub>200</sub>.

Para o N, foram preparadas três soluções de concentrações 10, 30 e 60 mg.dm<sup>-3</sup> que tiveram o volume de aplicação fixo em 10 mL por tratamento, sendo utilizada como fonte a

ureia contendo 44% de N diluída em água destilada. O P foi aplicado em formulação granulada como superfosfato triplo (TSP), contendo 41% de  $P_2O_5$ , incorporado e homogeneizado no solo.

As doses de potássio e enxofre foram divididas, aplicando-se metade da dose junto à semente e o restante junto às duas primeiras aplicações da solução de micronutrientes. Os micronutrientes foram divididos em quatro doses, a primeira 08/03/2024, 15 dias após emergência, a segunda aplicação dia 08/04/2024, a terceira dia 16/04/2024 e a última aplicação dia 02/05/2024. Para o potássio, a concentração e o volume foram fixos em todos os tratamentos, utilizando  $70 \text{ mg.dm}^{-3}$ , sendo utilizada a fonte KCl com 51% de K. Para o enxofre, a concentração e o volume também foram fixos em todos os tratamentos e foi utilizada a dose de  $40 \text{ mg.dm}^{-3}$ , utilizando  $MgSO_4$  com 13% de S. A solução de micronutrientes foi preparada no dia das aplicações, utilizando-se  $1,55 \text{ mg.dm}^{-3}$  de Fe,  $3,66 \text{ mg.dm}^{-3}$  de Mn,  $0,15 \text{ mg.dm}^{-3}$  de Mo,  $4 \text{ mg.dm}^{-3}$  de Zn,  $1 \text{ mg.dm}^{-3}$  de B e  $1,32 \text{ mg.dm}^{-3}$  de Cu, de acordo com a análise de solo. Todos os fertilizantes utilizados com exceção do P foram aplicados via solução com auxílio de uma pipeta eletrônica e os volumes foram fixados em 10 mL.

A variedade de feijão-bambara utilizada neste experimento foi a de cor creme, que de acordo com Ellah *et al.* (2018) apresenta maior susceptibilidade a patógenos, menor rendimento de grãos e maior tempo de maturação, mas, em contrapartida, Azam-Ali (2001) afirma que é a variedade com maior palatabilidade e mais escolhida pelos povos tradicionais onde é cultivada para alimentação e comércio.

A sementeira foi realizada utilizando quatro sementes por vaso, as quais após germinação e emergência, foram desbastadas deixando somente uma planta por vaso (vide Apêndice C).

A irrigação foi realizada manualmente aplicando uma lâmina homogênea em todas as plantas de  $300 \text{ mL.dia}^{-1}$ , aumentando de acordo com o progresso de crescimento da planta, atingindo cerca 800 mL por unidade experimental no período de enchimento de grãos, sempre que houvesse necessidade de irrigação.

### 3.3 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE SPAD

A determinação do Índice SPAD foi realizada aos 48 dias após a sementeira, utilizando o aparelho MultispeQ V 2.0 PhotosynQ® que reúne as funções de um fluorômetro portátil, um medidor de clorofila e um espectrômetro de bancada, cedido pela Embrapa Hortaliças – DF.

A leitura foi realizada no mesmo dia, selecionando uma folha desenvolvida no terço médio da planta, posicionada em direção ao sol após observar a abertura de 90% das flores em

todas as unidades experimentais. A leitura realizada foi enviada para o banco de dados da PhotosynQ® e posteriormente analisada.

### **3.4 ANÁLISES DAS VARIÁVEIS COMPONENTES DE PRODUÇÃO**

A semeadura foi realizada no dia 17/02/2024 e a emergência das plântulas foi constatada no dia 24/02/2024, sendo o desbaste realizado no dia 01/03/2024. O ciclo da planta durou 178 dias, e a colheita foi realizada manualmente, retirando-se as plantas dos vasos e separando a parte aérea, as raízes e as vagens. As sementes foram contadas manualmente, obtendo-se o número de sementes (NSEM). As raízes e a parte aérea foram lavadas em água corrente e secas à estufa em 65°C até obter peso constante, para então, serem pesadas e obtida a matéria seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSRA) e posterior determinação do acúmulo de N na parte aérea (CTNPA) e raízes (CTNRA) e de P na parte aérea (CTPPA) e raízes (CTPRA).

As análises de altura de plantas (ALTPL), comprimento (COMPF) e largura (LARGF) do folíolo e número de galhos (NGAL) foram realizadas durante o período de florescimento quando todas as plantas atingiram 90% de abertura das flores e foram medidas com o auxílio de uma régua milimetrada. O número de folhas foi contado manualmente.

As sementes foram coletadas e armazenadas à sombra por 21 dias para secarem naturalmente. Posteriormente, foram pesadas para avaliar o número de sementes por quilo (NSKG), a massa de 100 sementes (P100S), a produtividade (PROD) e o acúmulo de N (CTNSEM) e de P (CTPSEM).

### **3.5 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE N**

Após a secagem em estufa por 65°C até atingir o peso constante, o material foi moído em um moinho tipo Willye TE-650 para seguir para as análises laboratoriais. Para o N, foi realizado o método da digestão sulfúrica seguida da destilação de N pelo método Kjeldahl segundo Galvani & Gaertner (2006). Para isso, foi pesado aproximadamente 0,2g da amostra, acrescida de ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98%) e a mistura catalizadora composta por Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub> e Selênio metálico, e colocados em uma chapa aquecedora, aumentando a temperatura até 350°C por uma hora e meia, até que a solução atinja uma coloração verde-cristalina. As amostras foram levadas ao destilador de N, onde foi adicionado ao destilador 20 mL de NaOH 40% por amostra, para que basifique o meio e promova a transformação do N em amônia. No destilador, a amônia foi conduzida, resfriada e convertida em forma líquida e transferida para um erlenmeyer contendo a solução indicadora, contendo ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) juntamente com o indicador misto composto por verde bromocresol e vermelho de metila. Após o resfriamento, as amostras foram transferidas para a titulação com HCl 0,1 mol/L.

A determinação do N total seguiu a seguinte equação:

$$\% \text{ Nitrogênio total} = (V * M * f * 0,014 * 100) / p$$

Em que:

V = volume (mL) de ácido clorídrico 0,1 mol/L gastos na titulação;

p = massa da amostra (g);

f = fator de correção da solução do ácido clorídrico;

M = molaridade teórica da solução de ácido clorídrico.

### 3.6 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE P

Para a determinação do P, foi realizada a digestão nítrico-perclórica. Com o material seco e devidamente identificado, foi pesado 0,2g do material em um erlenmeyer de 50 mL e acrescentado 10 mL de solução de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) na proporção de 3:1, respectivamente, e deixado em pré-digestão por 12 horas. Após isso, o material foi posicionado em uma chapa aquecedora previamente aquecida a 90°C, aumentando a temperatura gradativamente até atingir 300°C e aguardando que a amostra se torne incolor. Após isso, a amostra foi transferida para um balão volumétrico de 25 mL acrescido de água destilada, seguindo então para a determinação do P pelo método da espectrometria. Para isso, foi construída a curva de calibração e foi pipetado 5 mL do extrato previamente preparado na digestão, adicionada a mistura indicadora, composta por molibdato e vanadato, e completado o volume para 20 mL para então, efetuar a leitura no espectrofotômetro UV-VIS a 420nm, segundo Carmo *et al.* (2000).

O cálculo para determinação do P seguiu a seguinte equação:

$$P \text{ (g/kg)} = \text{leitura em mg.L}^{-1} \times 0,2$$

### 3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para as análises estatísticas, foi realizada a análise de regressão linear múltipla. Para isso, foi utilizado o modelo de superfície de resposta (MSR), que permite que entendamos a relação entre uma variável dependente e duas ou mais variáveis independentes a partir de equações de primeiro grau ou polinomiais, permitindo assim, a otimização de uma resposta influenciada por diversos fatores. Os dados foram analisados utilizando o software SAEG – Sistema para Análises Estatísticas v9.1.

O MSR permite testar diferentes valores e adequar uma equação que otimize a variável dependente a partir de modelos definidos seguindo os respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>). As equações que mais se ajustaram foram escolhidas tendo como critério a significância

dos coeficientes de determinação e aplicado o teste “t” ao nível de 5% de probabilidade para verificar se existe diferença entre as médias. Para isso, utilizou-se a equação do modelo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1N + \beta_2N^2 + \beta_3P + \beta_4P^2 + \beta_5NP + \text{erro}$$

onde Y = variável dependente,  $\beta_0 - \beta_5$  = respectivos coeficientes, N = doses de N (mg/dm<sup>3</sup>) e P = doses de P (mg/dm<sup>3</sup>).

As equações obtidas segundo a MSR foram ajustadas e selecionadas a partir de seus coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>). As variáveis que tiveram o coeficiente de determinação menor que 50% não tiveram as equações adotadas, sendo a respectiva estimativa igual à média.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 VARIÁVEIS DE COMPONENTES DE PRODUÇÃO

Para a variável PROD, observou-se que a maior dose de ambos os nutrientes,  $N_{60}P_{200}$ , apresentou melhor desempenho, com valor de  $1745 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , enquanto a menor produtividade foi demonstrada na combinação  $N_0P_0$ , com valor de  $572,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  com uma redução de aproximadamente 200%. O valor de máxima eficiência encontrado pelo ajuste dos dados foi de  $1790,62 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  ao utilizar-se da combinação  $N = 60 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  e  $P = 158,62 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , conforme a Figura 1.

As variáveis NSEM, COMPF e LARGF apresentaram valores máximos de produção próximos a 43 sementes, 7 cm e 3,1 cm, respectivamente, para  $N_0P_{100}$  e valores mínimos de 19 sementes, 5,6 cm e 2,2 cm, respectivamente, para  $N_0P_0$ . Em contrapartida, NGAL demonstrou máximo potencial, 32,6 galhos, quando aplicada a dose  $N_0P_{200}$  e valor mínimo, 17,0 galhos, quando utilizada a dose  $N_0P_0$  (Tabela 1). NSEM, COMPF, LARGF e NGAL foram dependentes somente das doses de P aplicadas (Tabela 2).

No que se refere à MSPA e MSRA, os maiores valores observados foram obtidos ao utilizar-se a dose  $N_0P_{200}$  e  $N_{60}P_0$ , com valores de 11,47 g e 4,06 g, respectivamente. Não muito distante, as combinações  $N_0P_{200}$  e  $N_{10}P_{200}$  obtiveram valores próximos para MSRA em relação a  $N_{60}P_{200}$  (Tabela 1). Os mínimos valores observados para ambas as variáveis foram obtidos ao utilizar-se da combinação  $N_0P_0$ , na mesma sequência, os valores foram 3,98 g e 2,28 g, obtendo reduções de 188% para  $N_0P_{200}$  e 78% para  $N_{60}P_0$ . A demonstração visual da parte aérea das plantas a partir das doses de N e P podem ser observadas no Apêndice D, demonstrando que o tratamento sem aplicação de N e P promoveu reduções significativas para a parte aérea do feijão-bambara em relação às outras combinações.

Para P100S e NSKG observa-se uma relação inversa, ou seja, quanto menores os valores estimados em P100S, maior foi o NSKG. O menor valor para P100S deu-se ao utilizar da dose  $N_{30}P_0$ , com pesos estimados de 41,9 g acarretando uma produção de 2482 sementes por quilo. O contrário é válido ao aplicar  $N_{60}P_{200}$ , demonstrando 58,1 g a cada 100 sementes e 1757 sementes por quilo (Tabela 2). A diferença entre a dose  $N_{30}P_0$  e  $N_{60}P_{200}$  para as variáveis P100S e NSKG foi de aproximadamente 41%.

O modelo explicou menos de 50% do efeito das doses de N e P para variável ALTPL (Tabela 1), resultando em uma baixa confiabilidade, assim, os valores para todas as combinações não se diferiram da média de 20,82 cm (Tabela 2).

Observou-se um comportamento crescente nas médias das respostas ao aumentar as doses de P para as variáveis MSPA, MSRA, NSEM, P100S e PROD, e decrescente para NSKG (Tabela 2). Para a variável NSEM com as doses de  $P = 100 \text{ mg.dm}^{-3}$  e  $P = 200 \text{ mg.dm}^{-3}$ , percebeu-se um aumento de, aproximadamente, 110% em relação ao controle. Para a dose  $P = 50 \text{ mg.dm}^{-3}$ , este aumento foi de 78%. No mesmo raciocínio, a média do aumento de PROD para todos os tratamentos com dose de  $P = 0 \text{ mg.dm}^{-3}$  em relação à  $P = 200 \text{ mg.dm}^{-3}$ , foi de 107%. O número de galhos obteve incrementos de 91%, também para a maior dose de P em relação à menor.

A partir das equações estimadas pelo MSR, representadas na Tabela 1, pode-se observar os valores estimados para cada variável dependente na Tabela 2 nos intervalos de  $N = 0$  até  $60 \text{ mg.dm}^{-3}$  e  $P = 0$  até  $200 \text{ mg.dm}^{-3}$ .

**Tabela 1 - Equações de regressão ajustadas para MSPA, MSRA, NSEM, P100S, NSKG, PROD, ALTPL, COMPF, LARGF e NGAL em função das doses de nitrogênio e fósforo e seus respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>).**

Variáveis	Equações ajustadas	R <sup>2</sup> (%)
MSPA	$\hat{Y} = 3,9829 + 0,07686^{**}P - 0,000197^{*}P^2 - 0,0004767^{*}NP + 12,25^{**}N^2$	79,96
MSRA	$\hat{Y} = 2,2793 + 0,00049346^{**}N^2 - 0,0002222^{**}NP + 0,00004139^{**}P^2$	77,13
NSEM	$\hat{Y} = 19,1301 + 0,3529^{**}P - 0,001191^{**}P^2$	69,08
P100S	$\hat{Y} = 46,213 + 0,04027^{*}P + 0,006884^{*}N^2 - 0,34977^{*}N$	64,33
NSKG	$\hat{Y} = 2201 - 07,3172^{*}N^2 + 16,4770^{*}N - 0,01710^{*}P$	55,29
PROD	$\hat{Y} = 572,497 + 9,9404^{**}P + 0,11540^{*}N^2 - 0,030765^{*}P^2$	70,26
ALTPL	$\hat{Y} = \bar{Y} = 20,82$	-
COMPF	$\hat{Y} = 5,61494 + 0,0212^{**}P - 0,000074261^{**}P^2$	66,50
LARGF	$\hat{Y} = 2,22198 + 0,0131761^{**}P - 0,000046022^{**}P^2$	76,98
NGAL	$\hat{Y} = 16,9597 + 0,21840^{**}P - 0,0007005^{**}P^2$	82,49

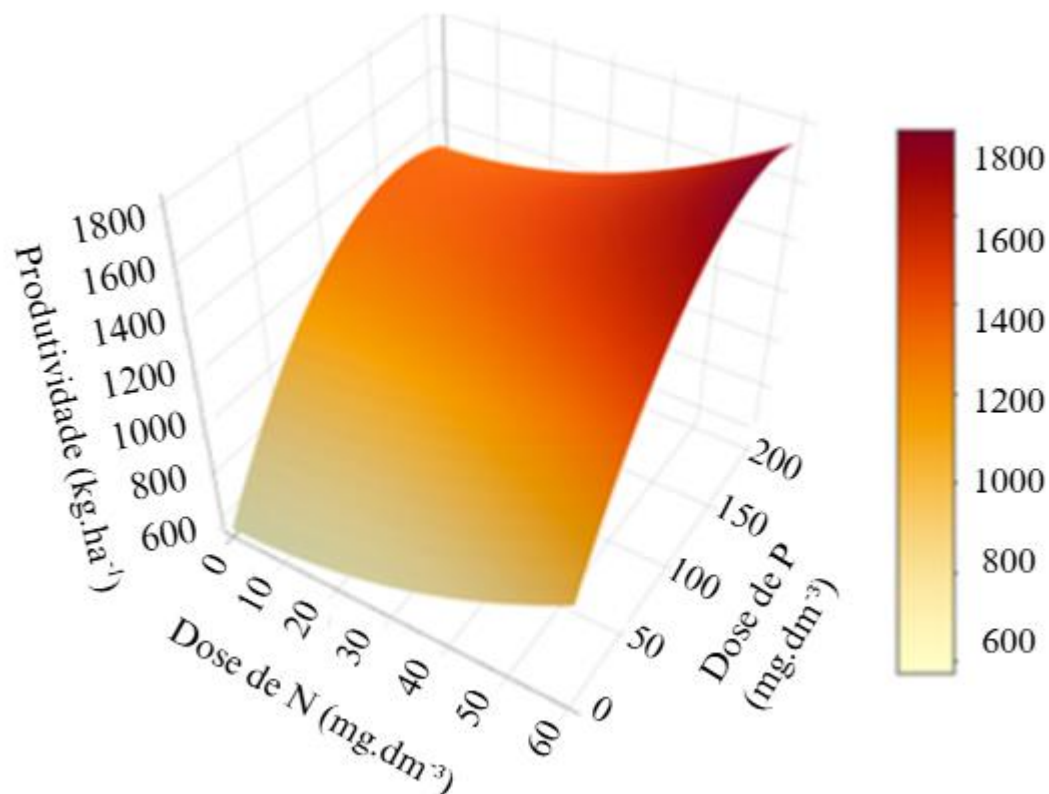
Fonte: autor. \*Significativo a 5% pelo teste “t”; \*\* significativo a 1% pelo teste “t”; ° significativo a 10% pelo teste “t”. MSPA = matéria seca da parte aérea; MSRA = matéria seca de raízes; NSEM = número de sementes; P100S = peso de 100 sementes; NSKG = número de sementes por quilo; PROD = produtividade; ALTPL = altura de plantas; COMPF = comprimento do folíolo; LARGF = largura do folíolo; NGAL = número de galhos.

**Tabela 2 - Respostas obtidas para MSPA, MSRA, NSEM, P100S, NSKG, PROD, ALTPL, COMPF, LARG e NGAL em função das doses de N e P a partir das equações de regressão ajustadas.**

Variáveis		Médias das respostas a partir das equações ajustadas pelo modelo									
N	P	MSP	MSRA	NSEM*	P100	NSK	PROD	ALTPL	COMPF*	LARGF*	NGAL*
		A	I	*	S	G	D	*	*	*	*
		g	g	-	g	-	kg/ha	cm	cm	cm	-
0	0	3,98	2,28	19,1	46,2	2273	573	20,82	5,6	2,2	17,0
0	50	7,33	2,38	33,8	48,2	2074	993	20,82	6,5	2,8	26,1
0	100	9,70	2,69	42,5	50,2	1948	1259	20,82	7,0	3,1	31,8
0	200	11,47	3,93	42,1	54,3	1910	1330	20,82	6,9	3,0	32,6
10	0	4,11	2,33	19,1	43,4	2406	584	20,82	5,6	2,2	17,0
10	50	7,22	2,32	33,8	45,4	2207	1004	20,82	6,5	2,8	26,1
10	100	9,34	2,52	42,5	47,4	2081	1270	20,82	7,0	3,1	31,8
10	200	10,64	3,54	42,1	51,5	2043	1342	20,82	6,9	3,0	32,6
30	0	5,09	2,72	19,1	41,9	2482	676	20,82	5,6	2,2	17,0
30	50	7,72	2,49	33,8	43,9	2283	1096	20,82	6,5	2,8	26,1
30	100	9,37	2,47	42,5	45,9	2157	1363	20,82	7,0	3,1	31,8
30	200	9,72	3,05	42,1	50,0	2119	1434	20,82	6,9	3,0	32,6
60	0	8,40	4,06	19,1	50,0	2120	988	20,82	5,6	2,2	17,0
60	50	10,32	3,49	33,8	52,0	1921	1408	20,82	6,5	2,8	26,1
60	100	11,25	3,14	42,5	54,0	1794	1674	20,82	7,0	3,1	31,8
60	200	10,17	3,04	42,1	58,1	1757	1745	20,82	6,9	3,0	32,6

**Fonte: autor. \* Valores estimados iguais à média; \*\* Dependente somente das doses de P; MSPA = matéria seca da parte aérea; MSRA = matéria seca de raízes; NSEM = número de sementes; P100S = peso de 100 sementes; NSKG = número de sementes por quilo; PROD = produtividade; ALTPL = altura de plantas; COMPF = comprimento do folíolo; LARGF = largura do folíolo; NGAL = número de galhos.**

**Figura 1 - Superfície de resposta para produtividade ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) ajustada pelo modelo em função das doses de N e P ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) aplicadas.**

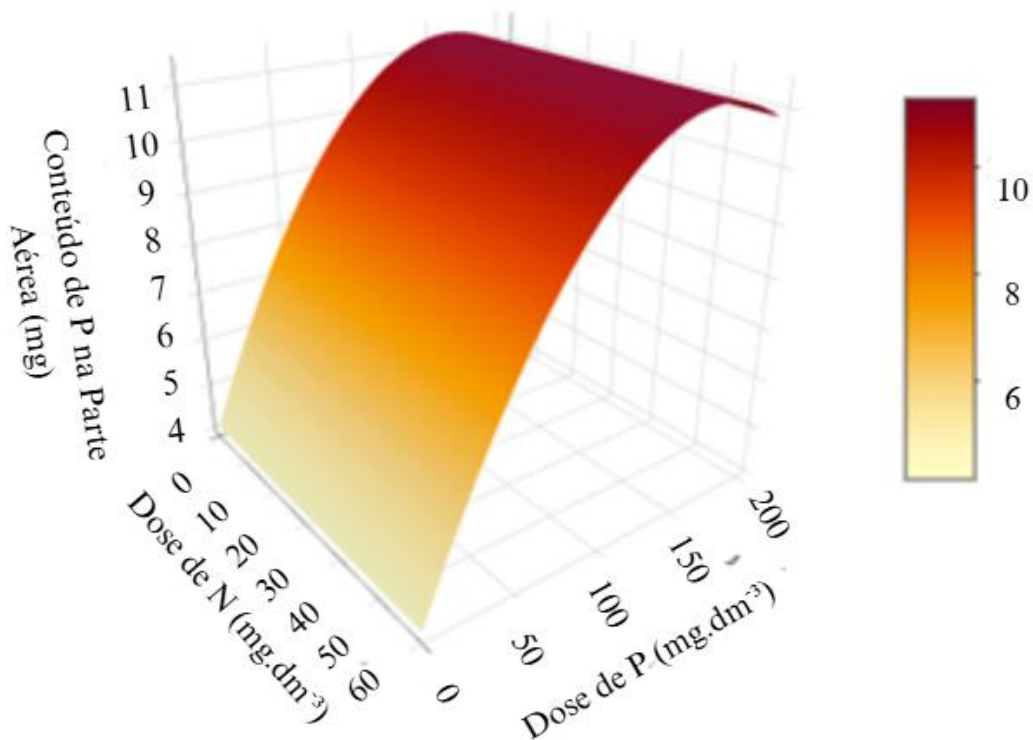


**Fonte: autor**

#### **4.2 CONTEÚDO DE N E P**

Os conteúdos de N e P para as variáveis estiveram relacionados tanto com as doses de N quanto às doses de P. Observou-se um valor crescente para CTPPA, sendo esta variável influenciada somente pelas doses de P aplicadas e apresentando um ponto de máxima segundo a equação (Tabela 3), representado graficamente na Figura 2. O valor de máxima eficiência encontrado pelo ajuste do modelo foi de 11,31 mg por planta ao utilizar-se da combinação  $N = 0 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  e  $P = 158,62 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , sendo essa a mesma dose de P em que se obteve a maior PROD.

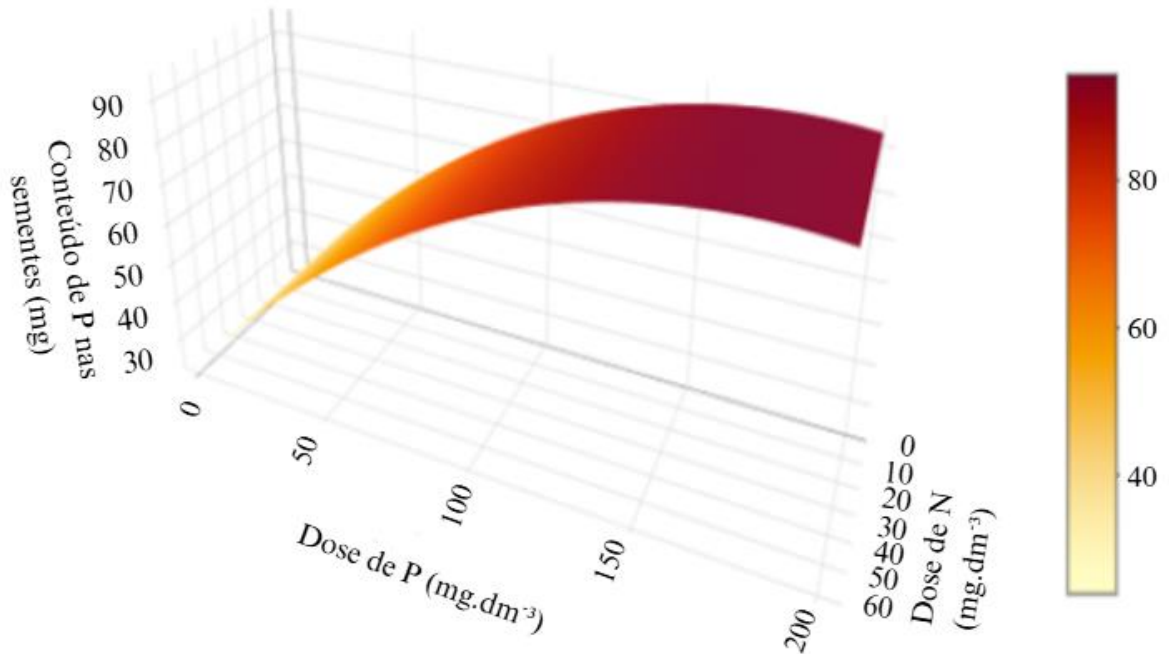
**Figura 2 - Superfície de resposta para conteúdo de P na parte aérea ( $\text{mg.planta}^{-1}$ ) ajustada pelo modelo em função das doses de N e P ( $\text{mg.dm}^{-3}$ ) aplicadas.**



**Fonte: autor**

Observou-se comportamento crescente (Figura 3) e dependente somente das doses de P (Tabela 3) para a variável CTPSEM, tendo assim o maior acúmulo estimado ao utilizar-se da dose de P = 200  $\text{mg.dm}^{-3}$  (Tabela 4). Segundo a equação ajustada pelo modelo, também pode-se observar um ponto de máxima, sendo a eficiência máxima para CTPSEM obtida ao utilizar-se da dose de P = 179,31  $\text{mg.dm}^{-3}$  apresentando valor de 94,23 mg por planta, e o mínimo valor para essa variável foi de 24,04 mg.

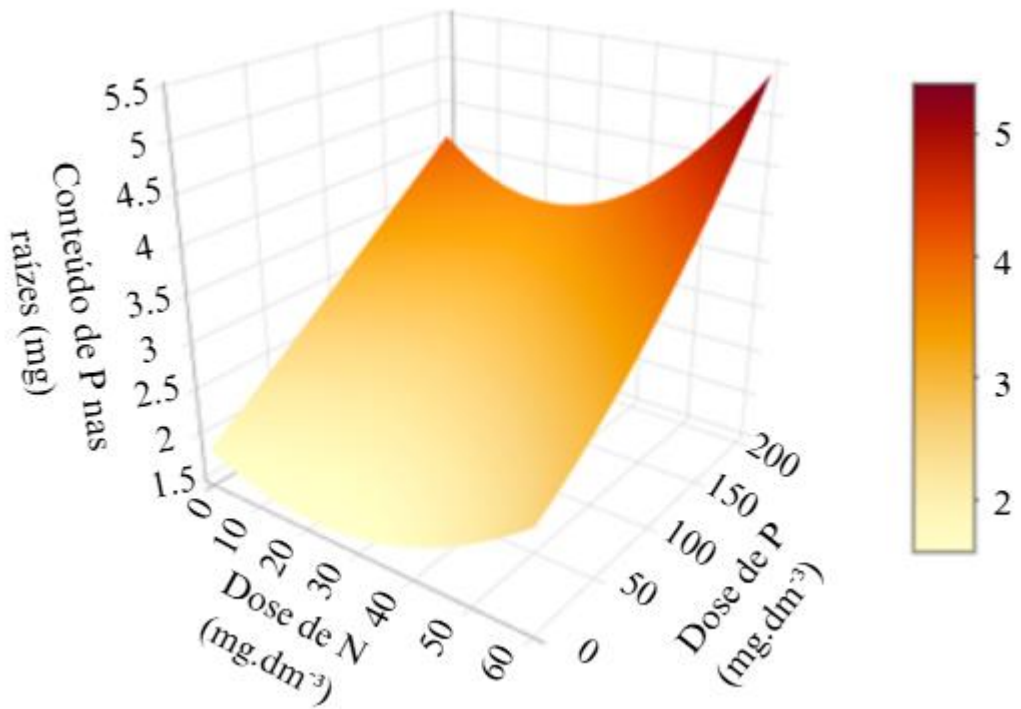
**Figura 3 - Superfície de resposta para conteúdo de P nas sementes ( $\text{mg.planta}^{-1}$ ) ajustada pelo modelo em função das doses de N e P ( $\text{mg.dm}^{-3}$ ) aplicadas.**



**Fonte: autor**

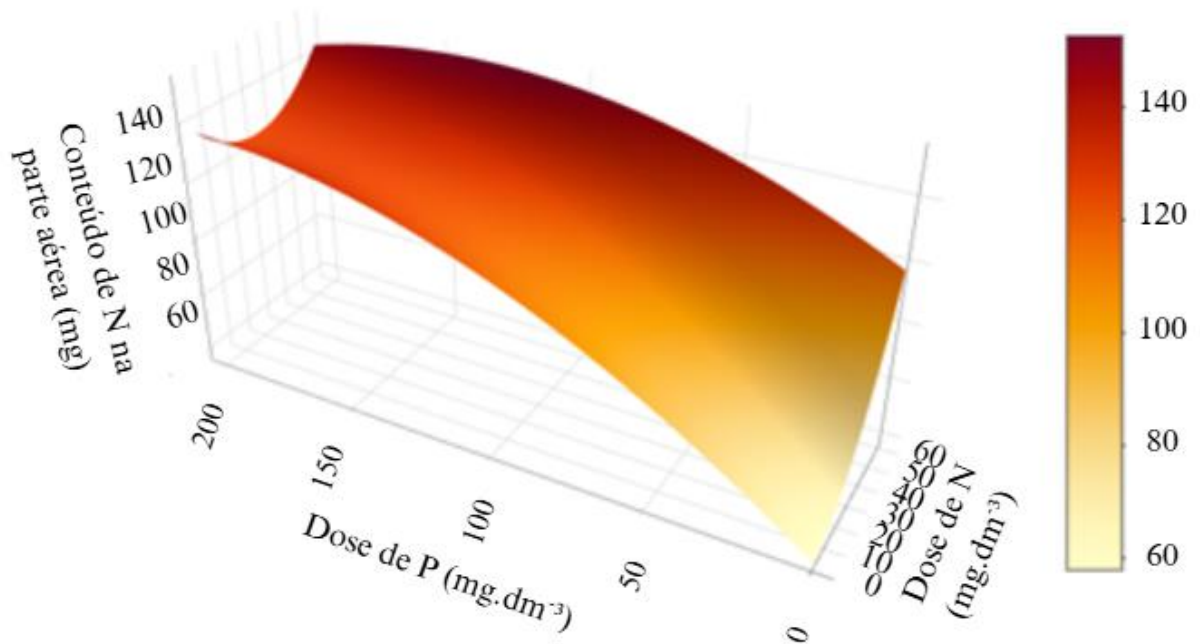
Para as variáveis CTPRA e CTNPA, ambas as equações ajustadas levaram em consideração as doses de N e as doses de P (Tabela 3), observando-se valores crescentes com o aumento das doses de ambos os nutrientes. Para CTPRA, o menor valor foi de 1,62 mg por planta para a combinação  $N_{30}P_0$  (Tabela 4). Seu ponto de máxima eficiência foi realizado ao utilizar-se da combinação  $N_{60}P_{200}$  obtendo valor de 5,41 mg, conforme representado na Figura 4. O menor valor observado para CTNPA foi 58,01 mg e maior de 150,13 mg por planta para  $N_0P_0$  e  $N_{60}P_{100}$ , respectivamente. O valor estimado pelo modelo que apresenta máxima eficiência para CTNPA foi de 152,75 mg ao utilizar-se da combinação  $P = 137,9 \text{ mg.dm}^{-3}$  e  $N = 60 \text{ mg.dm}^{-3}$ , representado graficamente na Figura 5.

Figura 4 - Superfície de resposta para conteúdo de P nas raízes ( $\text{mg.planta}^{-1}$ ) ajustada pelo modelo em função das doses de N e P aplicadas.



Fonte: autor

Figura 5 – Superfície de resposta para conteúdo de N na parte aérea ( $\text{mg.planta}^{-1}$ ) ajustada pelo modelo em função das doses de N ( $\text{mg.dm}^{-3}$ ) e P ( $\text{mg.dm}^{-3}$ ) aplicadas. Fonte: autor



Fonte: autor

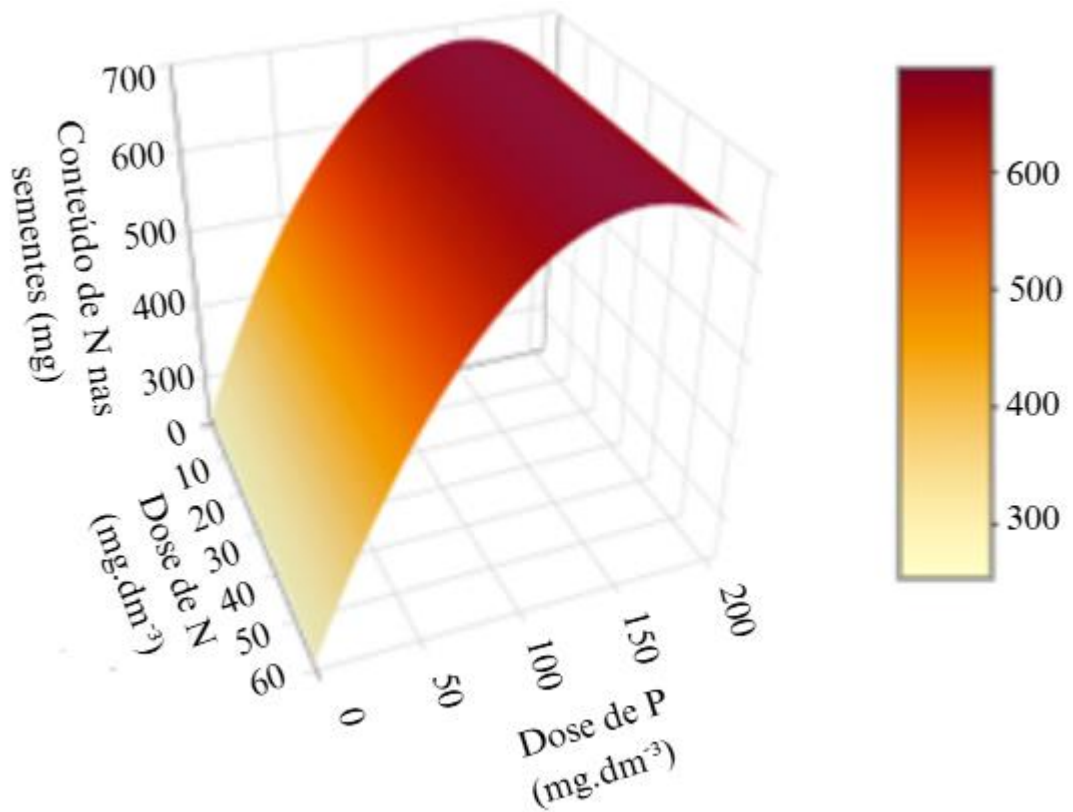
**Tabela 3 - Equações de regressão ajustadas para CTPPA, CTPRA, CTPSEM, CTNPA, CTNRA e CTNSEM em função das doses de nitrogênio e fósforo e seus respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>).**

Variáveis	Equações ajustadas	R <sup>2</sup> (%)
CTPPA	$\hat{Y} = 4,13237 + 0,08932^{**}P - 0,0002778^{**}P^2$	76,88
CTPRA	$\hat{Y} = 1,86259 + 0,0111011^{**}P - 0,027395^{\circ}N + 0,00083^{*}N^2 - 0,00019^{**}NP$	74,14
CTPSEM	$\hat{Y} = 24,0352 + 0,78598^{**}P - 0,00220^{**}P^2$	86,17
CTNPA	$\hat{Y} = 58,0138 + 0,77888^{**}P - 0,001876^{*}P^2 + 0,01648^{**}N^2 - 0,00439^{*}NP$	82,16
CTNRA	$\hat{Y} = \bar{Y} = 49,62$	-
CTNSEM	$\hat{Y} = 254,286 + 5,78973^{**}P - 0,01935^{**}P^2$	85,26

Fonte: autor. **\*\*Significativo a 1% pelo teste “t”**; **\*Significativo a 5% pelo teste “t”**; **°Significativo a 10% pelo teste “t”**; CTPPA = conteúdo de P na parte aérea; CTPRA = conteúdo de P nas raízes; CTPSEM = conteúdo de P nas sementes; CTNPA = conteúdo de N na parte aérea; CTNRA = conteúdo de N nas raízes; CTNSEM = conteúdo de N nas sementes.

O comportamento obtido para a variável CTNSEM foi similar a CTPPA, com inclinação crescente e valores máximos próximos a 640 mg.planta<sup>-1</sup> a partir da combinação N<sub>0</sub>P<sub>100</sub>, como pode ser observado na Tabela 4 e representado graficamente na Figura 6. O menor valor estimado para essa variável foi de, aproximadamente, 254 mg.planta<sup>-1</sup> para a combinação N<sub>0</sub>P<sub>0</sub> apresentando uma redução de aproximadamente 152% no conteúdo de N e observando um ponto de máxima na dose 178,63 mg.dm<sup>-3</sup> de P segundo a equação ajustada pelo modelo.

**Figura 6 - Superfície de resposta para conteúdo de N nas sementes ( $\text{mg.planta}^{-1}$ ) ajustada pelo modelo em função das doses de P ( $\text{mg.dm}^{-3}$ ) aplicadas.**



**Fonte: autor**

Nenhuma das equações ajustadas pelo modelo explicou mais de 50% do efeito nos resultados para a variável CTNRA, não se diferenciando então, da média. O valor estimado para essa variável para todos os tratamentos foi de 49,62 mg (Tabela 4).

**Tabela 4 - Respostas obtidas para CTPPA, CTPRA, CTPSEM, CTNPA, CTNRA e CTNSEM por planta em função das doses de nitrogênio e fósforo a partir das equações de regressão ajustadas.**

Variáveis		Médias das respostas a partir das equações ajustadas pelo modelo					
N	P	CTPPA	CTPRA	CTPSEM	CTNPA	CTNRA*	CTNSEM
		mg	mg	mg	mg	mg	mg
0	0	4,13	1,86	24,04	58,01	49,62	254,29
0	50	7,90	2,42	57,83	92,27	49,62	495,40
0	100	10,29	2,97	80,63	117,14	49,62	639,76
0	200	10,88	4,08	93,23	138,75	49,62	638,23
10	0	4,13	1,65	24,04	59,66	49,62	254,29
10	50	7,90	2,21	57,83	91,72	49,62	495,40
10	100	10,29	2,76	80,63	114,40	49,62	639,76
10	200	10,88	3,83	93,23	131,62	49,62	638,23
30	0	4,13	1,62	24,04	72,85	49,62	254,29
30	50	7,90	2,17	57,83	100,51	49,62	495,40
30	100	10,29	2,73	80,63	118,80	49,62	639,76
30	200	10,88	3,67	93,23	127,24	49,62	638,23
60	0	4,13	2,52	24,04	117,34	49,62	254,29
60	50	7,90	3,08	57,83	138,43	49,62	495,40
60	100	10,29	3,63	80,63	150,13	49,62	639,76
60	200	10,88	5,43	93,23	145,40	49,62	638,23

Fonte: autor. \*Valores estimados iguais à média; \*\*Dependente somente das doses de P; CTPPA = conteúdo de P na parte aérea; CTPRA = conteúdo de P nas raízes; CTPSEM = conteúdo de P nas sementes; CTNPA = conteúdo de N na parte aérea; CTNRA = conteúdo de N nas raízes; CTNSEM = conteúdo de N nas sementes.

### 4.3 ÍNDICE SPAD

O mínimo SPAD estimado na presente pesquisa foi de 54,45 unidades para a dose de P = 0 mg.dm<sup>-3</sup> independente da dose de N aplicada, enquanto o maior valor estimado foi de 62,81 unidades para a combinação máxima de ambos os nutrientes, N<sub>60</sub>P<sub>200</sub>. A equação ajustada pelo modelo determinou a influência tanto do N quanto do P para a estimativa dos valores obtidos (Tabela 5). Com exceção da combinação que contém N = 60 mg.dm<sup>-3</sup>, o valor máximo obtido para o SPAD foi observado ao adicionar-se a dose de P = 100 mg.dm<sup>-3</sup>, ou seja, as combinações N<sub>0</sub>P<sub>100</sub>, N<sub>10</sub>P<sub>100</sub> e N<sub>30</sub>P<sub>100</sub> apresentaram valores maiores do que as combinações N<sub>0</sub>P<sub>200</sub>, N<sub>10</sub>P<sub>200</sub> e N<sub>30</sub>P<sub>200</sub>, enquanto a combinação N<sub>60</sub>P<sub>200</sub> apresentou máximo valor obtido (Tabela 6).

**Tabela 5 – Equação de regressão ajustada para SPAD em função das doses de nitrogênio e fósforo e seus respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>).**

Variável	Equação ajustada	R <sup>2</sup>
SPAD	$\hat{Y} = 54,45 + 0,07374 * P - P,0003611 * P^2 + 0,00067094 * NP$	55,28%

\*Significativo a 5% pelo teste “t”

**Tabela 6. Respostas obtidas para SPAD em função das doses de nitrogênio e fósforo a partir das equações de regressão ajustadas.**

Variáveis		Valores estimados pelo modelo
N	P	SPAD
0	0	54,45
0	50	57,23
0	100	58,21
0	200	54,75
10	0	54,45
10	50	57,57
10	100	58,88
10	200	56,10
30	0	54,45
30	50	58,24
30	100	60,23
30	200	58,78
60	0	54,45
60	50	59,25
60	100	62,24
60	200	62,81

Fonte: autor. SPAD = Índice SPAD

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 VARIÁVEIS DE COMPONENTES DE PRODUÇÃO

O feijão bambara respondeu positivamente à adubação fosfatada na presente pesquisa, corroborando com Agyeman *et al.* (2022), que confirmou um aumento de até 52% na produtividade quando aplicada a maior dose de P de 60 kg.ha<sup>-1</sup> em um solo arenoso. Temegne *et al.* (2019) obteve diferenças entre produtividades entre as regiões de Mendong e Soa, em Camarões, mas tanto a dose de 150 como a de 200 kg.ha<sup>-1</sup> promoveram aumentos significativos e maximizaram a produtividade em comparação às menores doses e o tratamento controle sem aplicação. Seerat *et al.* (2023) confirmou incrementos de produtividade para o feijão-caupi ao adicionar doses de N e P, fato comprovado por este trabalho para o feijão-bambara. Os suprimentos ideais de N e P são fundamentais para suprir as necessidades da planta, principalmente no estágio reprodutivo, promovendo um incremento no número de vagens e consequentemente no número de sementes, aumentando a produtividade. Daniel *et al.* (2011) afirmou que de todas as variáveis testadas no feijão-bambara, apenas a produtividade respondeu positivamente para a adubação fosfatada, enquanto o número de vagens e o peso de 100 sementes não se diferiram estatisticamente. Espécies que realizam a fixação biológica de nitrogênio (FBN) geralmente não apresentam deficiência de N, sendo viável a aplicação nos primeiros estágios da planta para fornecer um crescimento inicial mais vigoroso, tendo as necessidades de N supridas ao longo do ciclo pela FBN, um dos fatores ao qual foi aplicado neste trabalho diferentes doses de N anterior à semeadura. Entretanto, altas concentrações de N podem inibir a atividade da nitrogenase, enzima a qual é responsável pela conversão do N atmosférico para amônio, nas bactérias, reduzindo então, a FBN (Pias *et al.*, 2022).

Para a variável NSEM, a adubação fosfatada demonstrou-se positiva, aumentando o número de sementes de acordo com o aumento das doses de P até a dose de P = 100 mg.dm<sup>-3</sup>, corroborando com Agyeman *et al.* (2022) em que o autor obteve um máximo valor de sementes.planta<sup>-1</sup> para a maior dose de P = 60 mg.dm<sup>-3</sup>. O aumento na produção de sementes demonstrado por essa pesquisa pode estar relacionado com o aumento da disponibilidade de P na solução do solo. É afirmado que o P está presente em maiores concentrações nos tecidos meristemáticos (Pandey, 2018) e que a aplicação de fertilizantes fosfatados pode influenciar positivamente na formação das vagens de leguminosas (Agyeman *et al.*, 2022), tendo a presente pesquisa, confirmado esse fato. Morish (2021) afirma que a acumulação de P constata uma correlação positiva com a produção de parte aérea e raízes, promovendo maior germinação e estabelecimento de plântulas. A adubação fosfatada promove o aumento na densidade de raízes

contribuindo para uma maior porosidade do solo e maior acesso aos nutrientes e água disponíveis no solo. De acordo com Temegne *et al.* (2019), a dose de 200 kg.ha<sup>-1</sup> de P levou ao maior peso de 100 sementes e conseqüentemente ao menor NSKG para o feijão-bambara, resultados similares aos observados neste trabalho. A adição do fertilizante fosfatado não influenciou na produtividade das variedades de feijão bambara nas pesquisas desenvolvidas por Effa *et al.* (2016) em que foi utilizado solo franco-arenoso com cerca de 12% de argila e 81% de areia e por Morish (2021) que, apesar de não ter especificado os teores de argila e areia em sua pesquisa, a região é caracterizada pela predominância de solo franco-arenoso (NARO, 2003). Vale ressaltar que o tipo de solo pode ser um fator de influência, uma vez que o solo utilizado na presente pesquisa é caracterizado por conter 53,4% de argila e 33,1% de areia. Para Morish (2021), o P100S também não foi influenciado com a adição de P ao solo. Como esta pesquisa foi realizada em vasos e em solo homogeneizado, é importante destacar que a experimentos com adubação localizada em campo devem ser realizados a fim de entender o comportamento nestas condições.

Ntone (1995) afirma que a aplicação de 0, 15, 30 e 60 kg.ha<sup>-1</sup> de N não alterou o número de galhos, altura e conteúdo de N, corroborando com este trabalho, em que não houve diferenças para essas variáveis. Vale ressaltar que o autor encontrou diferenças em relação ao ambiente em que foram conduzidas as pesquisas, os quais possuíam distintas taxas de insolação e pluviosidade, confirmando que este é um fator determinante para o crescimento e o desenvolvimento do feijão bambara. O presente trabalho foi realizado em um solo de textura argilosa, divergindo da maioria dos artigos citados nesta pesquisa relacionados à planta em que foram conduzidas pesquisas em solos com maior porcentagem de areia.

O NGAL também aumentou significativamente ao aumentar as doses de P, corroborando com Muhammad *et al.* (2023) ao observar um aumento crescente para o amendoim, fato que foi confirmado por esta pesquisa no feijão-bambara. Apesar de NGAL ter sido menor em comparação ao trabalho citado, vale ressaltar que esta pesquisa foi realizada em um solo com alto teor de argila o que leva à menor aeração, menor macroporosidade e maior impedimento para crescimento e desenvolvimento radicular e de vagens em relação a um solo arenoso.

Temegne *et al.* (2019) constatou efeito positivo ao utilizar diferentes doses de P nos distritos de Mendong e Soa, em Camarões. Em comparação ao presente trabalho, o número de galhos e o tamanho dos galhos foi maior ao utilizar-se de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, confirmando que a época de plantio e as condições edafoclimáticas do local podem influenciar tanto positivamente quanto negativamente no desenvolvimento da espécie. O P100S deste trabalho

foi menor em relação ao trabalho citado, contudo, observou-se que NSEM foi aproximadamente duas vezes maior. Assim, a produtividade máxima em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  apresentada pelo autor foi próxima à produtividade máxima aqui observada. Por outro lado, esta pesquisa discorda do aumento para ALTPL com o aumento das doses de P, confirmado pelo autor. Pode-se afirmar que a adição de P em um solo com baixa disponibilidade deste nutriente permite maior eficiência na expansão foliar a partir da contribuição do P na divisão celular, sendo aqui observado, maior COMPF e LARGF com o incremento de P. A adição de P também permite exploração de maior volume de solo pelas raízes, acessando água e nutrientes com maior eficácia, levando a uma maior área foliar e, conseqüentemente, maior produção de fotoassimilados.

Maior altura de plantas, número de vagens, massa de 100 sementes e produtividade de até  $2600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  foram positivamente correlacionadas com o aumento das doses de P, sendo a maior dose de  $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  mais responsiva para estas variáveis num solo franco-arenoso, constatadas por Agyeman *et al.* (2022). O autor também afirma que  $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  promoveu um aumento de até 52% na produtividade em relação às outras doses de P aplicadas. A presente pesquisa confirma o incremento de todas as variáveis acima, com exceção de ALTPL.

Este trabalho obteve resultados diferentes dos constatados por Hasan *et al.* (2018) em que o autor afirma que o feijão bambara responde positivamente à adubação nitrogenada, aumentando a altura e o número de folhas. Temegne *et al.* (2024) afirma que a aplicação de N e P promoveu acréscimos no número de folhas e a biomassa de parte aérea e raízes para o feijão-bambara, enquanto Seerat *et al.* (2023) afirma que a altura de plantas e o número de folhas aumentaram com a aplicação de N e P no feijão-caupi, planta que possui similaridades por ser mesmo gênero. Ambos os autores constataram que N e P influenciaram na produção de matéria seca, corroborando com a presente pesquisa. Esta pesquisa discorda de Ikenganyia *et al.* (2017) em que afirma que a altura de plantas aumentou a partir do incremento das doses de P aplicadas. De qualquer forma, as variáveis ALTPL e NGAL não tiveram efeito sob as doses de N e P aplicadas neste trabalho, talvez por limitação da época de plantio, menor fotoperíodo, redução da temperatura ao longo do ciclo e limitação física no crescimento das raízes pela utilização de vasos.

Ramolemana (1999) constatou que a adição de P aumentou significativamente a matéria seca da parte aérea, contudo, não promoveu diferenças significativas para o sistema radicular. O presente trabalho discorda do autor, observando-se o aumento tanto de MSPA quanto MSRA com a adição de P. Vale ressaltar que o autor citado observou diferentes resultados entre variedades. Enquanto a variedade “Diphiri Cream” aumentou significativamente o número de

folhas de 31 para 43, aproximadamente, com a adição de P, “Zimbabwe Red” teve um aumento bem reduzido em comparação à anterior, de 31 para 33. Esse fato confirma que há distintas respostas no que se refere à adubação para as diferentes variedades do feijão-bambara. O maior valor de MSRA observado para a combinação N<sub>60</sub>P<sub>0</sub> pode ser sido causado pela formação de raízes a fim de liberar exsudatos radiculares que removem o P adsorvido nas argilas, e/ou pela reutilização desse nutriente dos tecidos mais velhos ou reservas para favorecer o crescimento dos novos tecidos que necessitam desse nutriente (Zhong *et al.*, 2022). É válido dizer que o incremento de P promove maior desenvolvimento radicular, enquanto em solos não corrigidos ou não adubados, esse aumento é menor. De qualquer forma, não há alumínio tóxico para suprimir o crescimento radicular, uma vez que todo o alumínio foi neutralizado pela ação dos carbonatos de cálcio e magnésio utilizados como corretivo. Zhong *et al.* (2022) afirma que as plantas podem translocar P da parte aérea e das raízes para os nódulos. Como a adubação de 60 mg.dm<sup>-3</sup> de N pode ter sido capaz de reduzir a nodulação, pode ser que a planta tenha translocado P da parte aérea para suprir possíveis necessidades para o crescimento radicular. Estudos são necessários para confirmar essa hipótese.

Wafula *et al.* (2021) afirma que a baixa produtividade do feijão bambara nos locais onde é cultivado deve-se ao fato da baixa disponibilidade de P, principalmente nos solos ácidos, fato afirmado por conta do baixo desenvolvimento socioeconômico da região, uma vez que os produtores não utilizam de boas práticas de manejo como calagem e adubação fosfatada por questões econômicas. De acordo com Wafula *et al.* (2021), é afirmado que os grupos de plantas mais estudados são classificadas como eficientes, ineficientes, eficientes não-responsivas e ineficientes não-responsivas em relação ao P, mas este estudo é carente para a cultura do feijão-bambara.

A aplicação de P neste experimento pode ter estimulado a transformação do P de formas menos lábeis para formas mais lábeis a partir da maior produção de raízes e conseqüentemente maior exsudação de ácidos orgânicos, os quais auxiliam na remoção do P adsorvido nos colóides da argila e da matéria orgânica. Esse processo pode ter levado à elevação dos teores de P na rizosfera, aumentando a absorção pelas plantas. A disponibilidade de P pode ter favorecido a absorção de N pela plena produção de ATP, uma vez que o ATP é necessário para a realização do transporte de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> através da membrana plasmática, ou seja, transporte ativo contra um gradiente eletroquímico gerido por ATPases, e também para a conversão do amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) para glutamina, reação a qual ocorre gasto de ATP. Além do N fazer parte das moléculas de clorofila, a absorção do N é multiregulada pelo metabolismo geral da planta (Bredemeier & Mundstock, 2000). O P contribui para a ativação de enzimas, como a nitrato redutase,

dependentes de ATP para que realizem corretamente sua função. A aplicação do P provavelmente favoreceu o balanço nutricional contribuindo para um maior aproveitamento pela planta, desempenhando papel positivo no seu crescimento e desenvolvimento em quase todas as variáveis observadas. De qualquer forma, estudos acerca da cultura são necessários a fim de avaliar a interação entre genótipo, ambiente e adubação e suas possíveis respostas.

## 5.2 CONTEÚDO DE N E P

A baixa disponibilidade de P em solução é um fator que pode intensificar a redução nas produtividades. Menor biomassa de parte aérea pode contribuir com a redução da produção de fotoassimilados, levando a uma menor produção por planta e reduzindo os valores nutricionais pelo menor conteúdo de nutrientes. O P possui papel crucial na biossíntese de clorofila na forma de fosfatos, tendo sua aplicação resultado na elevação do conteúdo de P e na atividade fotossintética das plantas, levando à elevada translocação e acúmulo nas sementes (Morish, 2021). O conteúdo de P na parte aérea e nas sementes, assim como o conteúdo de N nas sementes foram dependentes das quantidades de P absorvida pelas plantas, como demonstrado pelas equações na Tabela 4. Temegne *et al.* (2019) observou que o conteúdo de P em suas amostras de sementes foi próxima a 0,43%, valor próximo ao observado neste trabalho que, após realizar as conversões, foi observado 0,41% no conteúdo de P para N<sub>0</sub>P<sub>200</sub>.

O suprimento adequado de P é necessário para a fase de nodulação e para a FBN (Wafula *et al.*, 2021). De acordo com Ramolemana (1999), a utilização de 50 kg de N.ha<sup>-1</sup> suprimiu a nodulação no feijão-bambara, enquanto Ikenganyia *et al.* (2017) relata que a disponibilidade de P é essencial para que ocorra uma eficaz FBN e contribui com o aumento do número de nódulos e desenvolvimento de sementes. Apesar da nodulação não ter sido avaliada neste trabalho, a adubação nitrogenada influenciou no desenvolvimento do feijão-bambara para MSPA, MSRA, P100S, NSKG, PROD, CTPRA, CTNPA e SPAD. Como o experimento foi conduzido em vasos que limitam o crescimento radicular, o aumento das doses de N pode ter levado a planta ao consumo de luxo, à redução da nodulação e à redistribuição do N assimilado para outras demandas metabólicas.

Com exceção de CTNRA, o conteúdo de N e P nesta pesquisa variou com as doses de P ou de N e P aplicadas (Tabela 5). Ramolemana (1999) afirma que o conteúdo de P tanto na parte aérea quanto nas raízes do feijão bambara diferiu significativamente com o aumento das doses de P, corroborando com este trabalho. Vale ressaltar que o autor realizou a análise aos 35, 76 e 115 dias após semeadura, obtendo valores mais altos em relação a este trabalho, em que as análises foram feitas pós-colheita. Os valores observados pelo autor foram mais altos

provavelmente por conta das vagens ainda não terem sido desenvolvidas, não havendo então, realocação dos nutrientes para as vagens e sementes, consideradas órgãos de maior dreno para a grande maioria das plantas. Além disso, o tipo de solo pode ter sido um fator que levou às alterações. Enquanto este trabalho foi conduzido sob latossolo vermelho-amarelo de baixa saturação de bases e alto teor de argila, o autor cultivou o feijão bambara em um solo com maior percentual de areia, o que pode ter contribuído para um melhor desenvolvimento de plantas a partir da reduzida adsorção de P pelo menor teor de argila. Esta pesquisa observou os maiores conteúdos de N e P para as sementes, seguido da parte aérea e raízes, confirmando a mobilidade do N e do P no interior da planta e sua realocação entre os órgãos vegetativos e reprodutivos para garantir que haja perpetuidade da espécie.

Zhong *et al.* (2022) aponta que uma FBN eficiente possui relação direta com a disponibilidade de P nos solos. A aplicação de P nos solos aumenta a disponibilidade do nutriente e promove melhorias na nodulação, como consequência, maior eficiência na absorção de N para a planta. Ao observar os valores de CTNPA, observa-se uma proximidade no conteúdo de N para as doses máximas de P, valores elevados em relação à combinação  $N_0P_0$ . Isso pode ter ocorrido por conta do papel que o P desempenha na absorção de N, sendo absorvido tanto pelas raízes diretamente quanto translocado pela planta até a parte aérea e também para os nódulos (Zhong *et al.*, 2022).

Wafula *et al.* (2021) afirma que diferentes genótipos do feijão bambara possuem distintas capacidades de acúmulo do nutriente, sendo umas mais eficazes que as outras. Resultados discordantes foram encontrados por Morish (2021) em relação à essa pesquisa, tendo o autor afirmado que não houve diferenças para o conteúdo de P no feijão-bambara com a aplicação exógena do nutriente.

Ramolemana (1999) sustenta que em condições em que há disponibilidade de P, a adição de fertilizantes nitrogenados pode promover um crescimento inicial mais acelerado do feijão-bambara até 11 semanas após o plantio. Contudo, afirma que há estagnação das plantas após este período devido ao esgotamento do N adicionado e que comprometeu a nodulação nos estágios iniciais da planta. O conteúdo de N da parte aérea nas plantas supridas com N mineral foi reduzido em relação ao N oriundo da fixação, promovendo uma maturação mais precoce. A presente pesquisa não apresentou diferenças em relação ao dia de maturação das plantas e nem crescimento acelerado.

### 5.3 VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS

O teor de clorofila pode se correlacionar positivamente com o teor foliar de N, uma vez que, aproximadamente, 70% do N estão presentes nos cloroplastos, os quais contêm as moléculas de clorofila. É possível estabelecer uma correlação positiva entre o índice SPAD e as variações nos teores de clorofila, seja em aumentos ou diminuições. No entanto, a linearidade dessa relação pode variar dependendo do genótipo da planta, do estágio de desenvolvimento e das condições edafoclimáticas e de crescimento.

De acordo com Kuhlert *et al.* (2016), o SPAD pode ser usado como um indicador do estado da planta no que se refere ao N, também podendo indicar doenças e estresses a nível fisiológico, anterior à demonstração visual pela planta, como observado pelo autor para *Fusarium virguliforme* em soja. Licea (2021) estimou o teor de clorofila no feijão bambara a partir do índice SPAD com valores que corroboram com este trabalho, entre 48 e 65 unidades, enquanto Beena *et al.* (2012) apresentou resultados inferiores para os seis genótipos testados de feijão bambara, com valor máximo de 44,7 unidades. Apesar dos índices SPAD terem tido pouca variação nesta pesquisa, observa-se que o menor valor do SPAD foi de, aproximadamente, 54 unidades. Pode-se correlacionar este valor com a rusticidade da planta. A combinação N<sub>0</sub>P<sub>0</sub> apresentou o valor de SPAD de 54 unidades, valor considerado bom e dentro dos limites para a planta não apresentar deficiência de N. Este fato também pode ser atribuído à FBN, garantindo que a não aplicação de N não seja um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento do feijão bambara.

## 6 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, afirma-se que o feijão bambara é uma espécie promissora e passível de incorporação no cenário agrícola nacional. A adubação fosfatada otimizou o NSEM, COMPF, LARGF, NGAL, CTPPA, CTPSEM e CTNSEM enquanto a combinação de N e P influenciou positivamente PROD, MSPA, MSRA, P10SS, NSKG CTPRA, CTNPA e SPAD.

A metodologia estatística utilizada permitiu identificar a melhor combinação de N e P para maximizar a produtividade, que atingiu  $1745 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  ao utilizar-se da combinação  $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N e  $158,62 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de P. Em condições de transformações climáticas onde estresses bióticos e abióticos podem prejudicar as culturas, o feijão bambara entra como uma alternativa de relevante importância, principalmente em climas tropicais onde o excesso de radiação solar e os longos períodos de estiagens podem ser percebidos. Estudos adicionais acerca da cultura são necessários a fim de otimizar o manejo nutricional, selecionar variedades mais eficientes e estimar a melhor época de plantio para a cultura em cenário nacional.

## 7 REFERÊNCIAS

- Adewumi, O.O.; Felix-Minnaar, J.V.; Jideani V.A. **Functional properties and Amino Acid Profile of Bambara Groundnut and Moringa oleifera Leaf Protein Complex**. *Processes*, v. 10, n. 2, p 205, 2022. <https://doi.org/10.3390/pr10020205>
- Agrolink. **Fertilizantes nitrogenados ainda são os mais usados no mundo**. 2023. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/noticias/fertilizantes-nitrogenados-ainda-sao-os-mais-usados-no-mundo\\_477001.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/fertilizantes-nitrogenados-ainda-sao-os-mais-usados-no-mundo_477001.html) . Acesso em: 10 de junho de 2024>
- Agrolink. **Sapé (Imperata brasiliensis)**. 2024. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/problemas/sape\\_179.html](https://www.agrolink.com.br/problemas/sape_179.html). Acesso em: 01 de junho de 2024.
- Agyeman, K.; Berchie, J. N.; Danquah, E. O.; Addy, S.; Keteku, A. K.; Marno, P.; Obeng, E. A.; Adomako, J.; Snr, P. A. P.; Addo-Sarkodie, J.; Sakyamah, B.; Quaye, M.O. **Enhancing the Productivity and Sustainability of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) Production Using Inorganic Phosphorus Fertilizer**. *Agricultural Sciences*, v. 13, p. 1117-1135, 2022. <https://doi.org/10.4236/as.2022.1310069>
- Agyeman, K.; Frimpong, F.; Amankwaa-Yeboah, P.; Osei-Bonsu, I.; Yeboah, S.; Keteku, A.; Marno, P.; Brempong, M. B.; Danquah, E. O.; Adjei, A. E.; Quaye, M. O.; Berchie, J. N. **Physiological Resilience of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc) Genotypes to Intermittent Periods of Drought Stress at Different Growth Stages**. *Agricultural Sciences*, v. 14, n. 11, p. 1573-1592, 2023. <https://doi.org/10.4236/as.2023.1411102> ISSN 2156-8553
- Amarteifio, J.O.; Tibe, O.; Njogu, R.M. **The mineral composition of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc. Grown in Southern Africa**. *African Journal of Biotechnology*, v. 23, n. 5, p. 2408-2411, 2006. eISSN: 1684-5315
- ANCHIRINAH, V. M.; YIRIDOE, E. K.; BENNETT-LARTEY, S. O. **Enhancing sustainable production and genetic resource conservation of bambara groundnut: A survey of indigenous agricultural knowledge systems**. *Outlook on Agriculture*, v. 30, n. 4, p. 281–287, 2011. <https://doi.org/10.5367/000000001101293788>.
- Azam-Ali, S. N.; Sesay, A.; Karikari, S. K. **Assessing The Potential Of An Underutilized Crop – A Case Study Using Bambara Groundnut**. *Experimental Agriculture*, v. 37, n. 4, p. 433-472, 2001. doi:10.1017/S0014479701000412
- Beena, R.; Sheshshayee, M. S.; Madhura, J. N.; Prasad, T. G.; Udayakumar, M. **Development of SSR Markers and Genetic Variability in Physiological Traits in Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc)**. *Prospects in Bioscience: Addressing the Issues*, p. 229–242, 2012. doi:10.1007/978-81-322-0810-5\_27
- Bitire, T. D.; Abberton, M.; Tella, E. O.; Edemodu, A.; Oyatomi, O.; Babalola, O. O. **Impact of nitrogen-fixation bacteria on nitrogen-fixation efficiency of Bambara groundnut [*Vigna subterranea* (L) Verdc] genotypes**. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, 2023. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1187250>
- Brack, P.; Kohler, M. **Entre a monotonia e a emergência da agrobiodiversidade alimentar**. 2024. Disponível em: [https://obha.fiocruz.br/?p=12#:~:text=Atualmente%2C%20somente%20vinte%20esp%C3%A9cies%20vegetais,metade%20\(WILSON%2C%202012\)](https://obha.fiocruz.br/?p=12#:~:text=Atualmente%2C%20somente%20vinte%20esp%C3%A9cies%20vegetais,metade%20(WILSON%2C%202012).). Acesso em: 01 de junho de 2024

Bredemeier, C.; Mundstock, C.M. **Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas**. Ciência Rural, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000. ISSN 0103-8478.

Câmara, G. M. S. **Fixação Biológica de Nitrogênio em Soja**. Informações Agronômicas, v. 147, 2014. ISSN 2311-5904.

Carmo, C. A. F. S.; Araújo, W. S.; Bernardi, A. C. C.; Saldanha, M. F. **Métodos de Análise de Tecidos Vegetais Utilizados na Embrapa Solos**. Circular Técnica v. 6, 2000. ISSN 1517-5146

Carmo, C. A. F. S. **Plantas denunciam a composição do solo**. 2015. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/plantas-denunciam-a-composicao-do-solo> Acesso em: 01 de junho de 2024.

Daniel, I.; Audu, I.; Abakura, J.B. **Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on the yield and yield components of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) in Mubi, Adamawa State**. Journal of Scientific Research, v. 1, n. 2, 2011. ISSN: 2251-0702

Dean, R.L. **Measuring light-dependent proton translocation in isolated thylakoids**. Journal of Laboratory Chemical Education, v. 2, n. 3, p. 33-43, 2014. DOI: 10.5923/j.jlce.20140203.01

Effa, E.B.; Nwagwu, F.A.; Osai, E.O.; Shiyam, J.O. **Growth and Yield Response of Bambara Groudnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc. To Varying Densities and Phosphate Fertilizer Rates in Calabar, South Eastern Nigeria**. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, v. 6, n. 16, p. 1-8, 2016. ISSN: 2225-093X.

Ellah, M. M.; Aondo, T. O.; Ellah, J. N.; Obasi, M. O. **Phosphorus rates, intra-rowing spacing and variety of Bambara Groundnut (*Vigna subterranean* (L.) Verdc.) in Makurdi Ecological Zone**. Asian Journal of Research in Crop Science, v. 1, n. 4, p. 1-6, 2018. <https://doi.org/10.9734/AJRCS/2018/41683>

Fernandes, D. **Fósforo nas plantas: qual a importância deste nutriente?**. 2023. Disponível em: <https://nutricaoadesafra.com.br/importancia-do-fosforo-nas-plantas> Acesso em: 01 de junho de 2024.

Food and Agriculture Organization – FAO. **Declaração de Roma Sobre a Segurança Alimentar Mundial e Plano de Acção da Cimeira Mundial da Alimentação**. 1996. Disponível em: <https://www.fao.org/4/w3613p/w3613p00.htm>. Acesso em: 01 de junho de 2024

Galvani, F.; Gaertner, E.; **Adequação da Metodologia Kjeldahl para determinação de Nitrogênio Total e Proteína Bruta**. Circular técnica, v. 63, 2006. ISSN 1517-1965.

GRANT, C. A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Informações Agronômicas, p. 95, 2001. Disponível em: <http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B70BBB24C44D200283257AA30063CAA6/%24FILE/Jornal%2095.pdf>. Acesso em: 02 de junho de 2024

Hasan, M. Uddin, M. K.; Tengku, M. M. M.; Tan, K. Z. A.; Motmainna, A.N.A.H. **Impact of chemical and organic fertilizer on the yield and nutritional composition of bambara**

**groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.).** Bangladesh Journal of Botany, v. 48, n. 4, p. 919-924, 2019. ISSN (Electronic) 2079-9926

Hasan, M.; Uddin, M. K.; Mohamed, M. T. M.; Zuan, A. T. K.; Motmainna, A.N.A.H. **Effect of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers on Growth, Yield, Nodulation and Nutritional Composition of Bambara Groundnut [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.].** Legume Research, v. 44, n. 12, p. 1437-1442, 2021. DOI: 10.18805/LR-617.

Hasan, M.; Uddin, M.K.; Mohamed, M.T.M.; Zuan, Tan, A.; Tan, K.Z. **Nitrogen and phosphorus management for Bambara groundnut (*Vigna subterranea*) production – A review.** Legume Research, v. 41, n. 4, p. 483-489, 2018. <https://doi.org/10.18805/lr-379>.

Ikenganyia, E.; Anikwe, M.A.N.; Ngwu, O. **Responses of Bambara groundnut [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.] to Phosphate Fertilizer Rates and Plant Spacing and Effects on Soil Nutrient Statuses in a Degraded Tropical Ultisol Agbani Enugu South East Nigeria.** International Journal of Plant & Soil Science, v. 17, n. 4, p. 1-17, 2017. DOI:10.9734/IJPSS/2017/32606

Khan F, Siddique A. B, Shabala S, Zhou M, Zhao C. **Phosphorus Plays Key Roles in Regulating Plants' Physiological Responses to Abiotic Stresses.** Plants (Basel), v. 2, n. 15, p. 2861, 2023. DOI: 10.3390/plants12152861. PMID: 37571014; PMCID: PMC10421280.

Krahmer, D.; Johnson, G.; Kiirats, O.; Edwards, G.E. **New fluorescence parameters for the determination of Q A Redox State and Excitation Energy Fluxes.** Photosynthesis Research, v. 79, p. 209-218, 2004. DOI: 10.1023/B:PRES.0000015391.99477.0d

Kuhlger, S.; Austic, G.; Zegarac, R.; Osei-Bonsu, I.; Hoh, D.; Chilvers, M.I.; Roth, M.G.; Bi, K.; TerAvest, D.; Weebadde, P.; Kramer, D.M. **MultispeQ Beta: a tool for large-scale plant phenotyping connected to the open PhotosynQ network.** Royal Society Open Science, v.3, n.10, p. 160592. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.160592>

Licea, L.C.S. **Understanding the genetic and physiological basis of drought resistance in Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.).** PhD Thesis, University of Nottingham. 2021. Disponível em: <https://eprints.nottingham.ac.uk/68956/>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2025

Lindsey, R.; Dalman L. **Climate change: global temperature.** 2024. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature#:~:text=According>. Acesso em: 28 de maio de 2024

Linnemann, A. 1987. Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) - a review. Abstracts Trop. Agriculture, v. 12, p. 9-25, 1987. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/40215229\\_Bambara\\_groundnut\\_Vigna\\_subterranea\\_L\\_Verdc\\_-\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/40215229_Bambara_groundnut_Vigna_subterranea_L_Verdc_-_a_review). Acesso em: 22 de julho de 2024.

Majola, N.G.; Gerrano, A.S.; Shimelis, H. **Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* [L.] Verdc.) Production, Utilisation and Genetic Improvement in Sub-Saharan Africa.** Agronomy, v. 11, p.1345, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071345>

Mesquita, P.S.; Bursztyn, M. **Food and climate change: Perceptions and the potential of behavioral changes towards mitigation.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 49, p. 1-16, 2018. <https://doi.org/10.5380/dma.v49i0.54835>

Messias, A.S.; Silva, D. J.; Freira, F. J., Silva, M. C. L. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2a. aproximação**, v. 3, p. 89-103, 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/161219/1/AdubacaoparaoEstadodePernambubopag89103.pdf>

Morish, O. **Effect of Phosphorus fertilizer rates and priming treatments on seed quality of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.)** MSc. Thesis. School of Agriculture and Biotechnology, University of Eldoret, Kenya. 2021. Disponível em: <http://41.89.164.27/handle/123456789/1034>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2025

Muhammad, I. I.; Abubakar, A. W.; Hamisu, A.; Iliya, A.; Ullah, S. K. **The effect of different concentrations of inorganic fertilizer on vegetative growth of groundnut (*Arachis hypogea* L.)**. International Journal of Plant Pathology and Microbiology (IJPPM), v. 3, n. 2, p. 104-110, 2023. E-ISSN 2789-3073

National Agricultural Research Organization – NARO. **Integrated Rural Resource management for smallholder farmers in Lira District, Uganda**. 2003. Disponível em: <https://naroinfohub.naro.go.ug/ViewPDF?id=1195&wh=rep>. Acesso em: 29 de abril de 2025.

Nascimento, S. P.; Bastos, E. A.; Araújo, E. C. E.; Filho, F. R. F.; Silva, E. M. **Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, p. 8, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800013>

National Aeronautics and Space Administration – NASA. **Carbon Dioxide**. 2024. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/?intent=121>. Acesso em: 27 de maio de 2024.

Temegne, N.C.; Stephanie, N.A.; Gouertoumbo, W.F.; Youmbi, E. **Effect of phosphorus fertilizer on Morpho-physiological, and biochemical traits of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.) plants under water déficit**. Asian Journal of Research in Crop Science, v. 9, n. 2, p. 142-155, 2024. DOI: 10.9734/ajrcs/2024/v9i2275

Ntone, K. **Determination of Nitrogen Fertilizer requirement in Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.)**. Master's thesis. University of Zambia, Zambia. 1995. Disponível em: <https://dspace.unza.zm/server/api/core/bitstreams/d1e50699-bc70-4ee1-ab11-883d09c4cca4/content>

Nyau, V.; Prakash, S.; Rodrigues, J.; Farrant, J. **Identification of Nutraceutical Phenolic Compounds in Bambara Groundnuts (*Vigna subterranea* L. Verdc.) by GPLC-PDA-ESI-MS**. British Journal of Applied Science & Technology, v. 6, n. 1, p. 77-85, 2015. ISSN 2231-0843

Pahane, M.M.; Tatsadjieu, L.N.; Bernard, C.; Njintang, N.Y. **Production, nutritional and biological value of bambara groundnut (*Vigna subterranea*) milk and yoghurt**. Journal of Food Measurement and Characterization, v. 11, n. 4, p. 1613-1622, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9541-2>

Pandey, N. **Role of Plant Nutrients in Plant Growth and Physiology**. Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance. Springer, Singapore. 2018. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_2)

Paula, F. C. M.; Lanza, T. R.; Castro, G. F.; Ming, L. **Evaluation of *Vigna subterranea*(L.) Verdc. development under different mounding periods in Viçosa, MG, Brazil.** Revista de Agricultura Neotropical, v. 11, n. 3, 2024. <https://doi.org/10.32404/rean.v11i3.8345>

Pellegrino, G.Q.; Assad, E.D.; Marin, F.R. **Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil.** Revista Multiciência, n. 8, p. 1-24. 2007. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/mc\\_agricultura\\_brasil.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/mc_agricultura_brasil.pdf). Acesso em: 05/04/2025.

Pias, O.H.C.; Welter, C.A.; Tiecher, T.; Cherubin, M.R.; Flores, J.P.M.; Alves, L.A.; Bayer, C. **Common bean yield responses to nitrogen fertilization in Brazilian no-till soils: a meta-analysis.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 46:e0220022, 2022. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20220022>

Puozaa, D. K.; Jaiswal, S. K.; Dakora, F. D. **African origin of Bradyrhizobium populations nodulating Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc) in Ghanaian and South African soils.** PLoS ONE, v. 12, n. 9:e0184943, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184943>

Ramolemana, G.M. **The phosphorus and nitrogen nutrition of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) in Botswana soils.** Tropical Research Management, v. 26, Wageningen Agricultural University, 1999. ISSN 0926-9495.

Ranieri, G. H.; Reiter, A. S.; Nascimento, V.; Borges, F. **Guia Prático de PANC – Plantas alimentícias não convencionais**, 1a. edição. Instituto Kairós, São Paulo, 1997. ISBN 978-85-99517-08-6

RODRIGUES, Marcos. **Legacy phosphorus in Brazilian agriculture and cover crops contribution to enhance this nutrient bioavailability in tropical Oxisols.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-29062018-091614/>. Acesso em: 19 de março de 2025

Royal Society. **Basics of climate change.** 2024. Disponível em: <https://royalsociety.org/news-resources/projects/climate-change-evidence-causes/basics-of-climate-change>. Acesso em: 27 de maio de 2024.

Sanni, L.O.; Alimi, J.P.; Jimoh, M.O.; Aremu, M.B.; Ihum, T.A.; Fashanu, T.A.; Okunade, S.O.; Akanni, A.A. **Quality Attributes of Chinchin Produced With Blends of Flour from Cassava (*Manihot Esculenta*) and Bambara Groundnut (*Vigna subterranea*).** European Journal of Nutrition & Food Safety, v. 16, n. 7, p. 134-150, 2024. <https://doi.org/10.9734/ejnfs/2024/v16i71463>.

SANTOS, H.G.; Junior, J.C.; Dart, R.O.; Aglio, M.L.D.; Souza, J.S.; Pares, J.G.; Fontana, A.; Martins, A.L.S.; Oliveira, A.P. **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada**, v. 67, 2011, Rio de Janeiro, Embrapa Solos. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/920267>. Acesso em: 07 de dezembro de 2024.

Shiyam, J.O. **Growth and Yield Responses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) to plant densities and phosphorus on an Ultisol in Southern Nigeria.** Libyan Agriculture Research Center Journal International, v. 1, n. 4, p. 211-214, 2010. ISSN 2219-4304

Silva, A. A.; Delatorre, C. A. **Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio.** Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 8, n. 2, p. 152-163, 2019. ISSN 1676-9732

Temegne, C.C. Taffouo, V.D.; Tados, T.C.; Gouertoumbo, W.F.; Wakem, G.A.; Nkow, F.T.D, Nuemsi, P.P.K, Youmbi, E. **Effect of phosphate fertilization on growth, yield and seed phosphorus content of bambara pea (*Vigna subterranea*) land races.** The Journal of Animal & Plant Sciences, v. 29, n. 3, p. 703-713, 2019. ISSN 1018-7081.

Ulloa, M.; Nunes-Nesi, A.; Fonseca-Pereira, P.; Poblete-Grant, P.; Reyes-Díaz, M.; Cartes, P. **The effect of silicon supply on photosynthesis and carbohydrate metabolism in two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars contrasting in response to phosphorus nutrition.** v. 169, n. 0, p. 236-248, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.022>

Vianna, J.N.S.; Pereira, M.C.; Duarte, L.M.G.; Wehrmann, ME. **Em busca de uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas no semiárido brasileiro.** Com Ciência [online], p. 149, 2013. Disponível em: [http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-76542013000500009&lng=pt&nrm=iso](http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542013000500009&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 01 de junho de 2024. ISSN 1519-77654

Wafula, J.S.; Nyongesa, B.O.; Were, B.A.; Gudu, S. **Genotypic variation of bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc) for phosphorus efficiency.** Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, v. 71, n. 1, p. 68-80, 2021. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1850852>

Wilkinson, R. E. **Plant-Environment Interactions**, Marcel Dekker, Inc. New York, 2000. <https://doi.org/10.1201/9780824746568>

Yarosan, A. Y.; Henry, U.I.; Adeniyi, T.O.; Ibrahim, Iro, I.; Rabi, S. **Effect of Single Super Phosphate (SSP) Fertilizer on The Growth And Yield of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc) in Jos North L.G.A of Plateau State.** International Journal of Scientific and Research Publications, v. 9, n. 2, p. 613-617, 2019. <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.9.02.2019.p8678>

**APÊNDICE**

**APÊNDICE A – PLANTA DE FEIJÃO BAMBARA NO ESTÁGIO REPRODUTIVO COM VAGENS IMATURAS, VALE DA AGRONOMIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, CAMPUS VIÇOSA, VIÇOSA, MG, BRASIL.**



**Fonte: autor**

**APÊNDICE B – PARTE AÉREA, VAGENS E RAÍZES DE FEIJÃO BAMBARA,  
VALE DA AGRONOMIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, CAMPUS  
VIÇOSA, VIÇOSA, MG, BRASIL.**



**Fonte: autor**

**APÊNDICE C – PLANTAS DE FEIJÃO BAMBARA SEGUINDO O  
DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, VALE DA AGRONOMIA, UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE VIÇOSA, CAMPUS VIÇOSA, VIÇOSA, MG, BRASIL.**



**Fonte: autor**

**APÊNDICE D – PLANTAS DE FEIJÃO-BAMBARA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE N E P EM MG.DM<sup>-3</sup>, 178 DIAS APÓS SEMEADURA, MOMENTO ANTERIOR À COLHEITA, VALE DA AGRONOMIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, CAMPUS VIÇOSA, VIÇOSA, MG, BRASIL.**



Fonte: autor