



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
Autorização Decreto nº 9237/86. DOU 18/07/96.
Reconhecimento: Portaria 909/95, DOU 01/08-95
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS – DTCS
CAMPUS III, JUAZEIRO-BA
Colegiado de Engenharia Agrônômica

MARCOS PAULO COSTA DE SOUZA

**CRESCIMENTO INICIAL DE MILHO (*Zea mays* L.) EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE FOSFATO NATURAL REATIVO**

JUAZEIRO
2025

MARCOS PAULO COSTA DE SOUZA

**CRESCIMENTO INICIAL DE MILHO (*Zea mays* L.) EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE FOSFATO NATURAL REATIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC apresentado a Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB/DTCS, Campus III, colegiado de Engenharia Agrônômica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Aleksandro Ferreira da Silva

JUAZEIRO
2025

MARCOS PAULO COSTA DE SOUZA

**CRESCIMENTO INICIAL DE MILHO (zea mays L) EM FUNÇÃO
DA APLICAÇÃO DE FOSFATO NATURAL REATIVO**

Monografia aprovada como pré-requisito parcial à obtenção ao grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica no curso de graduação em Engenharia Agrônômica do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais da Universidade do Estado da Bahia.

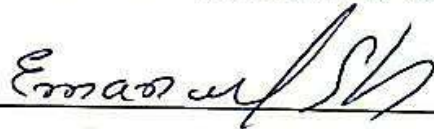
Aprovado em 29/12/2025.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Aleksandro Ferreira da Silva (Presidente/Orientador)

Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - III



Prof. Dr. Emanuel Ernesto Fernandes Santos (primeiro examinador)

Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - III



Mestranda Laíres Sales Reis - PPGHI/DTCS (segunda examinador)

Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - III

Juazeiro BA

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, cujo amor e cuidado sempre estiveram presentes em cada detalhe da minha história.

A minha esposa, Gabriela Santos, pelo companheirismo e apoio em todos esses anos.

A minha filha, Gilvane Uiara Santos Costa, por ser a minha motivação e força.

Aos meus avós/pais, Gilvando Moreira e Anita Costa, minha base e meu apoio de sempre.

Ao meu orientador, Dr Aleksandro Ferreira, por todo apoio durante o desenvolvimento desse trabalho.

Aos familiares e amigos, que estando perto ou distante, sempre torceram pelo meu sucesso.

A UNEB- Campus III, por me proporcionar conhecimento de qualidade.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse sonho.

Muito obrigado.

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais importantes do Brasil, apresentando elevada exigência nutricional, especialmente em relação ao fósforo, nutriente frequentemente limitante nos solos tropicais devido à sua alta capacidade de fixação. Assim, a dependência de fertilizantes fosfatados solúveis importados eleva os custos de produção, tornando necessária a busca por alternativas mais sustentáveis, como o fosfato natural reativo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento inicial de milho (*Zea mays* L.) em função da aplicação de fosfato natural reativo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e cinco repetições, utilizando doses crescentes de fosfato natural reativo. Foram avaliadas variáveis fitotécnicas da parte aérea e do sistema radicular, além do teor de fósforo disponível no solo. Os resultados demonstraram ausência de diferenças significativas entre os tratamentos para a maioria das variáveis analisadas, como biomassa da parte aérea e raiz, altura de plantas, número de folhas, comprimento e volume de raízes. Diferença significativa foi observada apenas para o diâmetro de colmo, com maior valor na dose mais elevada de fosfato natural reativo. Esses resultados indicam que, nas condições em que o experimento foi conduzido, o fosfato natural reativo não promoveu incrementos significativos no crescimento inicial do milho, evidenciando baixa eficiência no fornecimento imediato de fósforo.

Palavras-chave: Sustentabilidade agrícola; adubação fosfatada; fertilidade do solo; Crescimento vegetativo.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays L.*) is one of the most important crops in Brazil, showing high nutritional requirements, especially with respect to phosphorus, a nutrient that is often limiting in tropical soils due to their high phosphorus fixation capacity. Consequently, dependence on imported soluble phosphate fertilizers increases production costs, making it necessary to seek more sustainable alternatives, such as reactive natural phosphate. The objective of this study was to evaluate the initial growth of maize (*Zea mays L.*) as a function of the application of reactive natural phosphate. The experiment was conducted in a greenhouse under a completely randomized design, with six treatments and five replications, using increasing doses of reactive natural phosphate. Phytotechnical variables of the shoot and root system were evaluated, as well as the content of available phosphorus in the soil. The results showed no significant differences among treatments for most of the variables analyzed, such as shoot and root biomass, plant height, number of leaves, root length, and root volume. A significant difference was observed only for stem diameter, with the highest value recorded at the highest dose of reactive natural phosphate. These results indicate that, under the conditions in which the experiment was conducted, reactive natural phosphate did not promote significant increases in the initial growth of maize, demonstrating low efficiency in the immediate supply of phosphorus.

Keywords: Agricultural sustainability; phosphate fertilization; soil fertility; vegetative growth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases de desenvolvimento da cultura do milho.....	10
Figura 2 - Mapa de localização do ambiente de condução do experimento.....	15
Figura 3 - Avaliação do conteúdo de fósforo do solo pelo extrator Mehlich-1.....	18
Figura 4 - Sintoma de deficiência de fósforo em plantas de milho aos 17 dias após a germinação.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análises químicas do solo utilizado no experimento.....	17
Tabela 2 - Análise de variância para os resultados de biomassa fresca da parte aérea (MFPA), biomassa seca de parte aérea (MSPA), biomassa fresca de raízes (MFR), biomassa seca de raízes (MSR).....	19
Tabela 3 - Análise de variância para o resultado de clorofila A (CA).....	19
Tabela 4 - Análise de variância para os resultados altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), número de folhas (NF), comprimento de raiz (CR) e volume de raiz (VR).	20

LISTA DE QUADRO

Quadro 01 - Croqui do experimento	16
--	----

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1.	Aspectos gerais da cultura do milho.....	11
2.2.	Importância do fósforo (P) para a cultura do milho	12
2.3.	Fosfato natural reativo (FNR).....	13
3.	OBJETIVOS	15
3.1.	GERAL.....	15
3.2.	ESPECÍFICOS	15
4.	MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1.	Local de condução do experimento e classificação climática	16
4.2.	Delineamento experimental e tratamentos utilizados	16
4.3.	Definição dos tratamentos e recomendação de adubação.....	17
4.4.	Solo utilizado e análises químicas	18
4.5.	Montagem e condução do experimento.....	18
4.6.	Análise estatística	19
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6.	CONCLUSÃO.....	23
7.	REFERÊNCIAS.....	24

1. INTRODUÇÃO

O milho é uma cultura amplamente cultivada em todo o mundo, com grande destaque de produção no Brasil. O país ocupa a terceira posição como o maior produtor no cenário global, sendo essencial tanto para a alimentação humana quanto animal, além de apresentar ampla utilização industrial (Aragão; Contini, 2021).

O milho é cultivado em todas as regiões, devido à sua adaptabilidade climática e à importância econômica para o agronegócio nacional. As regiões Centro-Oeste e Nordeste destacam-se como importantes polos de produção, com o estado de Mato Grosso sendo o maior produtor do país, graças ao avanço tecnológico e à adoção de práticas mais sustentáveis de manejo e fertilidade do solo (Rocha *et al.*, 2024).

Entre os macronutrientes mais exigidos pela cultura, destaca-se o fósforo, elemento aplicado em grandes quantidades em razão de sua limitada disponibilidade no solo. Em solos tropicais, essa limitação ocorre principalmente devido à fixação do fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio, além da influência direta do pH do solo. Sua disponibilidade também é condicionada por fatores como umidade, teor de matéria orgânica, atividade microbiana e tipo de argila (Silva, 2025).

Outro fator importante, que pode comprometer a produção do grão no Brasil, é a dependência por insumos externos. Isso acontece porque grande parte das matérias-primas fundamentais para produção de fertilizantes, como cloreto de potássio, compostos nitrogenados e fosfatados, são demandados em 95%, 80% e 60%, respectivamente, o que encarece o custo de produção e torna o país dependente, com vulnerabilidade externa, afetando a oferta de alimentos e a capacidade competitiva no cenário global (Ogino; Gasques, 2023).

Havendo redução de matérias-primas nos poucos países fornecedores, por exemplo, são grandes as possibilidades de aumento dos preços desses produtos e estabelecimento de uma crise mundial de abastecimento, o que refletiria na economia do país em função das oscilações do mercado internacional.

Visualizando a situação atual, torna-se necessária a busca por produtos que sejam fontes alternativas de nutrientes para as plantas e que possam contribuir com a redução dos impactos ambientais nos cultivos. Assim, o fosfato natural reativo (FNR), oriundo de rochas fosfatadas de origem sedimentar, apresenta-se como uma alternativa para a manutenção de níveis adequados de fósforo disponível no solo, uma vez que possibilita a liberação gradual desse

nutriente ao longo do tempo, favorecendo maior eficiência de absorção pelas plantas (Almeida, 2022).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais da cultura do milho

O milho (*Zea mays L.*), pertencente à classe *Liliopsida*, família *Gramineae* e gênero *Zea*. Teve sua origem há mais de 7.000 anos na América do Norte, permanecendo até os dias atuais como um dos principais produtos agropecuários, com importante papel socioeconômico em todo o mundo (Silva *et al.*, 2020).

A espécie é classificada com uma planta C4, que tem como característica uma alta eficiência fotossintética em climas quentes, com temperatura ótima de 24°C a 30°C. É uma monocotiledônea com raízes fasciculadas e adventícias, colmo, folhas com bainha e lâmina, e inflorescências unissexuais separadas. Seu ciclo de vida tem duração média de 90 dias, sendo seu desenvolvimento dividido em duas fases (vegetativa (V) e reprodutiva (R)), conforme pode ser observado na Figura 1 (Guimarães, 2002).

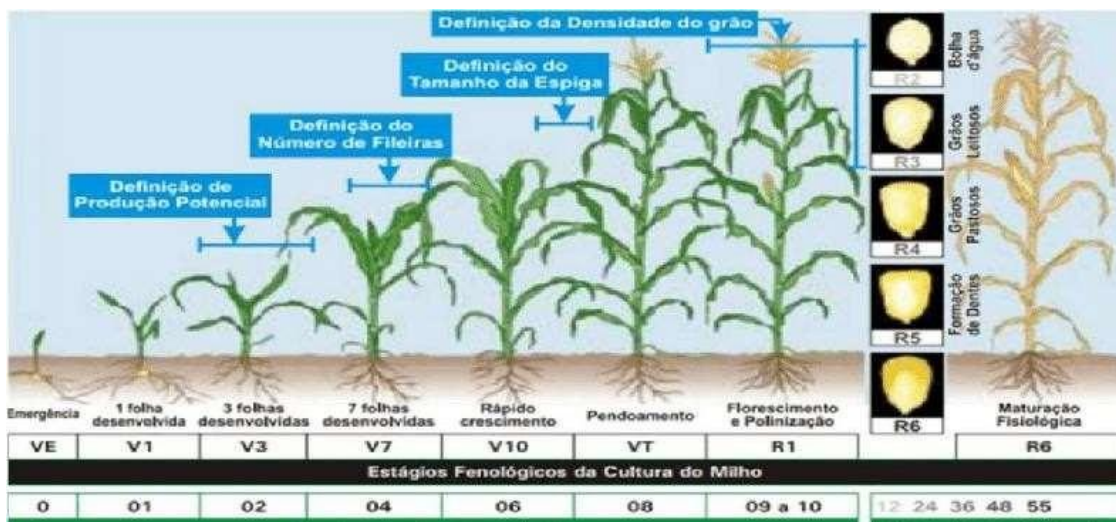


Figura 1 – Fases de desenvolvimento da cultura do milho (Adaptado de Fancelli (1986) e Iowa State University Extension (1993)).

No Brasil o milho é produzido em diferentes ambientes, de norte a sul do país, com produção de 131,89 milhões de toneladas (CONAB, 2022). A CONAB (2025), também trouxe dados de que, no Brasil, 4,5% da produção da cultura vem da região Nordeste, que contribuiu com aproximadamente 6 milhões de toneladas na safra 2024/2025, com destaque para os

estados do Maranhão, Bahia e Piauí, como os principais produtores. A região produtora é representada principalmente por agricultores familiares, com cultivo em áreas de sequeiro, que possuem grande vulnerabilidade climática (Araújo, 2025).

Segundo Freire (2024), é necessário que haja a prática de uma agricultura sustentável, visando garantir uma produção eficiente e adaptada às dificuldades climáticas. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2011), a média de produção de milho no Brasil é de 3.897 kg por hectare, valor considerado baixo diante da rentabilidade potencial da cultura. Para maximizar a produção, é fundamental realizar uma adubação adequada, que minimize os custos e os danos ambientais, bem como garanta o fornecimento de macro e micronutrientes.

2.2. Importância do fósforo (P) para a cultura do milho

O fósforo é um elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas pois está diretamente relacionado ao processo de transferência de energia das células vegetais, e tem grande impacto no desenvolvimento radicular e perfilhamento, além disso, está diretamente relacionado ao processo de fotossíntese e respiração celular, visto que é componente de ATP, DNA e RNA.

Na cultura do milho, é o terceiro elemento mais exigido. O contato íon/raiz ocorre por meio de difusão, onde o íon se move na solução do solo, a favor do gradiente de concentração. É um elemento pouco móvel no solo e bastante móvel nas plantas, sendo absorvido na forma de H_2PO_4^- (ortofosfato primário) e HPO_4^{2-} (ortofosfato secundário). Os sintomas de deficiência na cultura do milho surge nas folhas mais velhas que adquirem coloração arroxeada, em razão do acúmulo do pigmento antocianina, podendo evoluir para áreas necrosadas. (Coelho, 2025).

Estudos mostram que o Brasil possui solos com baixos níveis de fósforo disponíveis, isso devido ao pH do solo (que favorece processos de precipitação com outros elementos), bem como a fixação que ocorre em solos oxidicos. Bastos (2010) mostra que plantas com desenvolvimento intenso e de ciclo curto, como a cultura do milho, a exigência de fósforo é maior, devendo ter uma alta adubação fosfatada, uma vez que apenas 20-30% do fósforo é aproveitada pela cultura.

Sasabuchi *et al.* (2023) traz uma previsão alarmante relacionada ao aumento populacional, evidenciando que haverá um grande comprometimento no setor alimentício até

2050, devendo o setor agrário buscar soluções urgentes, visto que, até 2035 a demanda por fósforo será maior que a sua disponibilidade.

Segundo Carvalho (2022), 67% dos solos brasileiros possuem baixo teor de fósforo, necessitando importar no ano de 2018, 4,8 milhões de toneladas de fósforo, o que veio a refletir no aumento dos custos de produção. Esse fato evidencia a necessidade de buscar por alternativas economicamente viáveis e sustentáveis, com o intuito de reduzir o uso de fertilizantes químicos industrializados. Para isso, são necessários estudos que identifiquem ferramentas que possam reduzir o uso desses produtos e aumentar a eficiência de uso pelas plantas, como o uso de fosfato natural reativo (FNR).

2.3. Fosfato natural reativo (FNR)

O fosfato natural reativo (FNR) é proveniente de rocha fosfática de origem sedimentar e surge como uma fonte alternativa viável para manter o teor de fósforo disponível em níveis adequados ao crescimento das culturas. Essa fonte apresenta como principal característica a liberação gradual de fósforo no solo, facilitando sua absorção pelas plantas e contribuindo para a melhoria das propriedades físico-químicas e biológicas do solo. Além disso, o FNR possui elevada concentração de cálcio, o que favorece maior estabilidade estrutural do solo e adequada fisiologia das plantas (Almeida, 2022).

O fosfato natural reativo (FNR) é um produto de baixo custo quando comparado às formulações aciduladas, em função de sua forma de fabricação, uma vez que é apenas moído, não necessitando receber nenhum tratamento específico para aumento de solubilidade, como a aplicação de ácidos ou tratamentos térmicos (César, 2019).

Comumente confundidos, existe uma diferença entre fosfato natural reativo, remineralizadores e fosfato não reativo, apesar de serem fontes de fósforo, se distinguem pela rocha de origem, granulometria e formulação. Os remineralizadores possuem capacidade de rejuvenescer e/ou remineralizar o solo, o fosfato não reativo contém no mínimo 5% P_2O_5 e ao menos 85% das partículas devem passar na peneira de 0,075 mm (Borges, 2023). Já o fosfato natural reativo deve atender as exigências previstas na Instrução Normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018 que diz:

“ (...)O fosfato natural reativo deve conter um teor total de 27% de P_2O_5 e 28% de Ca. Em relação a granulometria, 100% do material

deve passar na peneira de malha 4,8 mm e no mínimo 80% deve passar em peneira de malha 2,8 mm”

Apesar do FNR ser um material com baixa solubilidade no solo, possui vantagens por ser um produto natural, sem incremento de processos químicos agressivos, que o torna mais sustentável, além de fornecer fosforo gradativamente as plantas, ser fonte de cálcio, e economicamente mais acessível. No entanto, é necessário se atentar ao ciclo da cultura, por se tratar de um produto de liberação lenta, bem como ao pH do solo.

3. OBJETIVOS

3.1. GERAL:

Avaliar o crescimento inicial de milho (*Zea mays* L.) em função da aplicação de fosfato natural reativo.

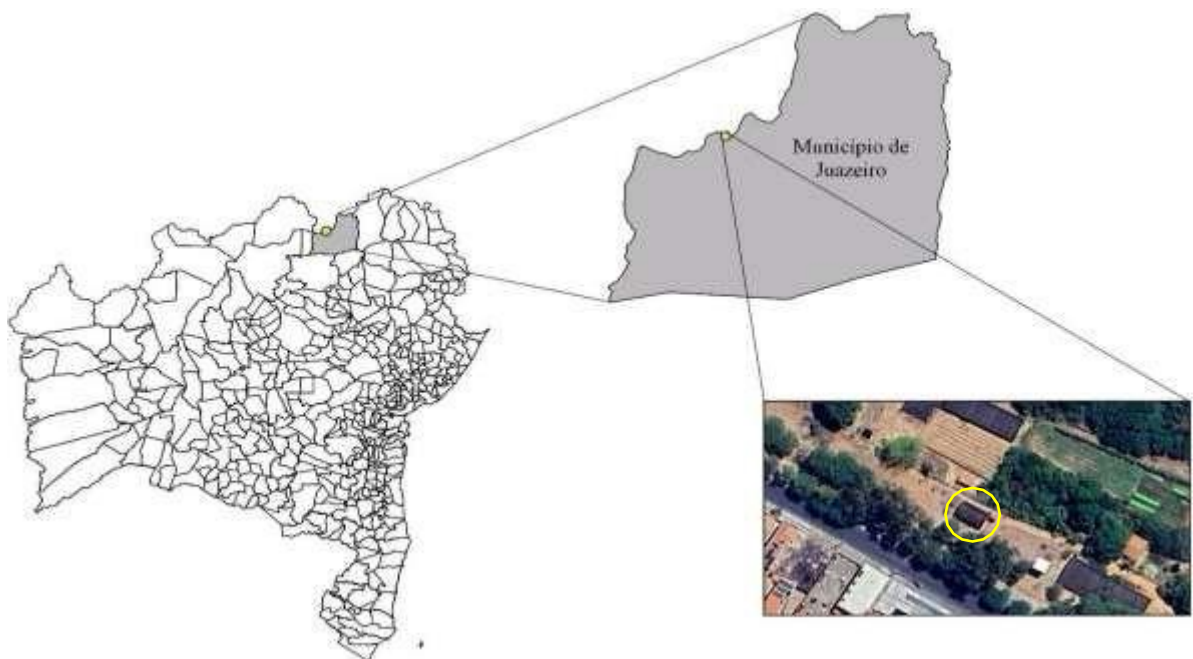
3.2. ESPECÍFICOS:

- Selecionar um solo com baixo conteúdo de fósforo (P);
- Avaliar o conteúdo de fósforo do solo utilizado;
- Estabelecer as doses de FNR com base no conteúdo de fósforo (P) do solo;
- Realizar avaliações fitotécnicas;
- Estabelecer a melhor dose de fosfato natural reativo para a cultura do milho.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local de condução do experimento e classificação climática

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (sombreamento de 50%) pertence ao Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais – DTCS da Universidade do Estado da Bahia - UNEB, campus III, Juazeiro – Bahia (**Figura 2**). O clima local, conforme classificação de Köppen-Geiger, é do tipo BSh (semiárido quente). Reduzidas precipitações pluviométricas (média anual de 429,0 mm (Santos Junqueira, 2020)), baixa nebulosidade, elevados índices de evaporação, elevadas temperaturas (23° e 27°C) e forte insolação, são características das condições climáticas locais.



Fonte: Google Maps, 2025.

Figura 2: Mapa de localização do ambiente de condução do experimento.

4.2. Delineamento experimental e tratamentos utilizados

Foi adotado o Delineamento Inteiramente Casualizado – DIC com seis (6) tratamentos e 5 repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi representada por uma única planta e os tratamentos distribuídos da seguinte forma: T1: Testemunha absoluta (sem aplicação de Fosfato Natural Reativo - FNR); T2: 5g de FNR/planta

(equivalente a dose recomendada para a cultura); T3: 6,25g de FNR/planta; T4: 8,34g de FNR/planta; T5: 12,5g de FNR/planta; T6: 25g de FNR/planta. Após a casualização, as unidades experimentais ficaram distribuídas conforme croqui abaixo (Quadro 1).

Quadro 01: Croqui do experimento.

T2R3	T3R4	T5R4	T1R2	T6R1
T6R3	T4R5	T3R1	T2R2	T1R4
T1R5	T2R1	T3R5	T5R3	T3R3
T6R5	T4R1	T2R5	T4R2	T5R2
T4R3	T5R5	T6R2	T1R1	T3R2
T2R4	T6R4	T4R4	T5R1	T1R3

4.3. Definição dos tratamentos e recomendação de adubação

As doses crescentes de Fosfato Natural Reativo (FNR) foram definidas a partir da dose recomendada (T2), adotando-se níveis correspondentes a eficiências de 80% (T3), 60% (T4), 40% (T5) e 20% (T6). A adubação com FNR foi realizada em aplicação única no momento do plantio. O nitrogênio (N) foi aplicado no plantio e em cobertura, enquanto o potássio (K) foi aplicado exclusivamente em cobertura. As adubações de cobertura foram parceladas em três aplicações, realizadas semanalmente. As doses de todos os nutrientes (N, P e K) foram estabelecidas de acordo com Coelho (2006), considerando os teores dos elementos no solo e a produtividade esperada.

A dose recomendada de FNR foi de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Considerando o espaçamento de 0,70 m × 0,25 m, adotado como base de cálculo (equivalente a 57.143 plantas.ha⁻¹), a dose foi posteriormente convertida para g.planta⁻¹. A adubação nitrogenada correspondeu à aplicação de 30 e 60 kg ha⁻¹ de N no plantio e na cobertura, respectivamente. Para o potássio, a dose aplicada foi equivalente a 50 kg ha⁻¹ de K₂O. As fontes de nutrientes utilizadas foram ureia (45% de N), cloreto de potássio (61% de K₂O) e fosfato natural reativo (FNR) da Fertipar (28% de P₂O₅). As adubações de cobertura tiveram início no momento em que o milho estava na fase vegetativa (V2).

4.4. Solo utilizado e análises químicas

O solo utilizado foi um Neossolo Flúvico obtido na área experimental da própria instituição na profundidade de 0-30 cm, tendo sido passado, previamente, por uma peneira com malha de abertura de 6 mm, a fim de eliminar pedaços de rochas e fragmentos maiores de matéria orgânica. Após homogeneização, uma amostra composta do solo foi acondicionada em saco plástico, identificada e posteriormente encaminhada para se proceder com as análises químicas no LASP, cujo o resultado pode ser observado na tabela 1.

Tabela 1: Tabela de análises químicas do solo utilizado no experimento.

	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SB	Al ³⁺	H+ Al	CTC	V	P	CE
Prof.	H ₂ O		cmolc.dm ⁻³							%	mg.dm ⁻³	dS.m ⁻¹
0-30 Cm	6,7	1,9	0,8	0,05	0,15	2,9	0,00	0,62	3,52	82	8,29	0,24

Montagem e condução do experimento

Foram utilizados vasos com capacidade para 3,5 kg de solo, dispostos conforme o espaçamento previamente descrito.

O plantio foi realizado no dia 10/11/2025, de forma manual, diretamente nos vasos. Três (3) sementes foram plantadas por recipiente, na profundidade de 1 cm, visando garantir ao menos uma planta por unidade experimental. Feroz Vip 3 foi o híbrido de milho utilizado, o qual é indicado tanto para a produção de grãos quanto silagem, sendo obtido no comércio local. A emergência do milho ocorreu no dia 14/11/2025, quatro dias após a semeadura. O desbaste, ocorreu 7 dias após emergência (DAE), deixando-se uma única planta por vaso. O experimento teve duração de 33 dias, sendo recolhido no dia 13/12/2025, quando as plantas estavam no estágio fenológico (V7).

Durante a coleta, foram obtidas amostras de solo de todas as unidades experimentais para a realização das análises de fósforo, com o objetivo de compreender, de forma mais efetiva, a contribuição do FNR no conteúdo de fósforo do solo, (Figura 3). A análise desse elemento foi realizada no laboratório de análise de solo do Centro de Agroecologia, Energias Renováveis e

Desenvolvimento Sustentável – CAERDES. Quanto ao material vegetal, a parte aérea e as raízes foram colhidas e acondicionadas em sacos de papel para posterior avaliação.



Figura 3: Avaliação do conteúdo de fósforo do solo pelo extrator Mehlich-1.

As análises das plantas constaram de: altura de plantas (cm) (mensurada com auxílio de régua graduada); volume de raiz (cm^3); comprimento de raiz (cm); diâmetro do colmo (mm) (determinado com paquímetro digital); número de folhas; biomassa seca e fresca da parte aérea e raiz (g) e clorofila A. Para a obtenção do peso seco da parte aérea e raiz, todo material foi submetido a secagem em estufa de circulação forçada de ar ($65^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) por um período de 48 horas sendo, posteriormente, pesados em balança digital.

4.5. Análise estatística

A análise estatística foi realizada fazendo-se uso do programa computacional SISVAR em que as variáveis foram submetidas à análise de variância (ANOVA), comparando-se as médias pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$) (Ferreira, 2008). A casualização do experimento também foi realizada via SISVAR para evitar possíveis problemas na distribuição dos tratamentos em cada unidade experimental.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (ANOVA) indicou ausência de diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis de biomassa fresca e seca da parte aérea (BFPA e MSPA) e raiz (BFR e BSR) (Tabela 2). Resultados semelhantes foram observados para clorofila A (CA) (Tabela 3) e para altura de planta (AP), número de folhas (NF), comprimento de raiz (CR) e volume de raiz (VR). Diferença significativa foi verificada para o diâmetro de colmo (DC) (Tabela 4).

Tabela 2 – Análise de variância para os resultados de biomassa fresca da parte aérea (MFPA), biomassa seca da parte aérea (MSPA), biomassa fresca de raízes (MFR) e biomassa seca de raízes (MSR).

Fontes de variação	BFPA	BSPA	BFR	BSR
Tratamentos	(g)	(g)	(g)	(g)
T1 (Testemunha)	17,05 a	1,56 a	7,84 a	2,44 a
T2 (5g de FNR)	22,28 a	2,92 a	10,33 a	3,22 a
T3 (6,25g FNR)	20,28 a	2,24 a	8,18 a	2,38 a
T4 (8,34g FNR)	22,03 a	2,02 a	11,03 a	2,50 a
T5 (12,5g FNR)	22,10 a	2,6 a	10,48 a	2,48 a
T6 (25g FNR)	25,2 a	3,08 a	16,86 a	4,26 a
CV%	33,75	33,39	51,45	44,59

Tabela 3 – Análise de variância para o resultado de clorofila A (CA).

Tratamentos	CA
	(un spad)
T1 (Testemunha)	26,16 a
T2 (5g de FNR)	23,76 a
T3 (6,25g FNR)	23,18 a
T4 (8,34g FNR)	28,10 a
T5 (12,5g FNR)	26,16 a
T6 (25g FNR)	30,42 a
CV%	16,23

Tabela 4 – Análise de variância para os resultados de altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), número de folhas (NF), comprimento de raiz (CR) e volume de raiz (VR).

Tratamentos	AP (cm)	DC (mm)	NF (un)	CR (cm)	VR (cm ³)
T1 (Testemunha)	71,0 a	9,23 a	6,8 a	48,8 a	3,94 a
T2 (5g de FNR)	73,0 a	10,71 a	7,4 a	49,4 a	4,22 a
T3 (6,25g FNR)	71,0 a	10,57 a	6,8 a	52,0 a	4,3 a
T4 (8,34g FNR)	74,6 a	9,26 a	6,2 a	47,6 a	5,54 a
T5 (12,5g FNR)	75,4 a	9,77 a	7,0 a	46,8 a	5,18 a
T6 (25g FNR)	79,0 a	12,58 b	7,0 a	53,2 a	7,46 a
CV%	15,09	14,41	12,39	17,27	41,36

De maneira geral, com exceção do diâmetro de colmo, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas. No entanto, pode-se observar valores maiores no tratamento 6 para altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento de raiz e valores de biomassa.

No diâmetro de colmo (DC), única variável com diferença estatística, o tratamento T6 foi superior em relação aos demais, evidenciando que a dose de 25g de FNR foi suficiente para promover incremento nesta variável. Trabalhos semelhantes, como o de Silva (2025), afirmam a importância do FNR no incremento do DC, o que favorece a resistência das plantas ao acamamento.

Brito *et al.* (2022), desenvolveram um experimento utilizando duas fontes de fósforo (FNR e superfosfato triplo), com e sem inoculação de microrganismos na cultura do milho. Após a colheita do experimento no estádio V6, observaram resultado significativo para o DC, com resultados inferiores para as demais variáveis quando comparados à análise com superfosfato triplo ou FNR associado a microrganismos.

Para as demais variáveis, a ausência de resposta é um indicativo de que as doses de FNR não representaram um fator limitante. Ou seja, as diferentes dosagens de FNR não influenciaram de forma significativa os tratamentos quando comparados à testemunha, não promovendo crescimento significativo da parte aérea nem desenvolvimento das raízes durante o experimento. O fosfato natural reativo é um produto de solubilidade lenta, o que provavelmente influenciou na disponibilidade de fósforo durante o período de desenvolvimento deste trabalho (Brito *et al.*, 2022).

Por outro lado, Júnior *et al.* (2024), avaliando a eficiência de diferentes fontes de fósforo no desenvolvimento do milho, o fosfato natural apresentou, de maneira inesperada, uma

variação de valor significativa, com pico de liberação de fósforo na segunda semana após a aplicação, seguido por equilíbrio de liberação nos dias subsequentes. Esse pico inicial de liberação de fósforo, seguido por um padrão mais lento, acentua o efeito de fixação do fósforo, tornando-o indisponível para as plantas.

Os resultados do presente estudo indicam que a disponibilidade de fósforo foi insuficiente para atender às exigências da cultura. Essa constatação é evidenciada pela ocorrência de sintomas de deficiência do nutriente em todos os tratamentos, os quais se tornaram visíveis a partir da segunda semana após a aplicação do fosfato natural reativo (Figura 5). Esse comportamento pode estar associado a reações de indisponibilização do fósforo no solo ou, alternativamente, ao lento fornecimento do fósforo pelo fosfato natural reativo.



Figura 4: Sintoma de deficiência de fósforo em plantas de milho aos 17 dias após a germinação.

Segundo Miranda (2023), o FNR, na substituição das fontes solúveis, ainda gera dúvidas quanto ao seu melhor manejo, apresentando menor eficiência quando comparado a fontes de fosfato mais solúveis. De acordo com o autor, em sua pesquisa comparando a eficiência de extração de fósforo pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-2 e Resina de Troca Aniônica, ao avaliar o teor de fósforo utilizando o fosfato natural reativo como fonte, a extração por Mehlich trouxe uma superestimativa dos teores de P disponível. Tal fato é justificado em decorrência do caráter ácido do extrator, que possui ácidos fortes em sua composição (HCl e H₂SO₄), o que pode influenciar diretamente o resultado da leitura.

No presente estudo, a realização das análises de fósforo de todas as unidades experimentais, após condução do experimento, foi comprometida por falta de ácido sulfúrico (utilizado para o preparo da solução de molibdato de amônio). Como a concentração de fósforo, a partir do tratamento T3, apresentou colocação superior ao último ponto da curva, não foi possível diluir as amostras para refazer as avaliações. Porém, mesmo sem conseguir realizar as análises, ficou

evidenciado o incremento de fósforo vindo do FNR em função da alteração de cor, conforme visualizado na Figura 3.

6. CONCLUSÕES

O fosfato natural reativo não promoveu incrementos significativos no crescimento inicial das plantas de milho.

Diferença significativa foi observada apenas para o diâmetro de colmo, com destaque para o tratamento T6 que recebeu a maior dose de fosfato natural reativo.

A ausência de respostas mais expressivas para as demais variáveis pode ser atribuída à baixa solubilidade do fosfato natural reativo, característica que limita a liberação imediata de fósforo no solo.

Recomenda-se a realização de novos estudos, com maior tempo de avaliação, visando melhor compreender a eficiência agrônômica desse produto na cultura do milho.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. J. et al. **Fosfato natural reativo como remineralizador de solo utilizado na cultura da soja na região de Cerrado.** *Conjecturas*, v. 22, n. 1, p. 1–15, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.53660/CONJ-1288-X56>.

ARAÚJO, J. P. R. **Análise do crescimento vegetativo do milho em resposta a diferentes doses de sulfato de amônio.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/36684>. Acesso em: 23 dez. 2025.

ARAGÃO, A.; CONTINI, E. O agro no Brasil e no mundo: uma síntese do período de 2000 a 2020. Brasília, DF: Embrapa SIRE, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/62618376/O+AGRO+NO+BRASIL+E+NO+MUNDO.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2025.

BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W. C.; OLIVEIRA, F. A.; ALBUQUERQUE, A. W. **Resposta do milho a doses de fósforo.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 485–491, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6syzRbC8MggbZyS7wTzHWJm/?lang=pt>. Acesso em: 23 dez. 2025.

BORGES, P. A. A. **Atributos físicos de solos tratados com Fosfato Natural.** 2023. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/39754>. Acesso em: 23 dez. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020.** Aprova o regulamento técnico para os biofertilizantes. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 2, 15 jul. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em: 10 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Nacional de**

Bioinsumos. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/marco-regulatorio-1/biofertilizantes>. Acesso em: 10 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Milho.** Brasília, DF, 20 maio 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/relacoes-internacionais/documentos/Milho.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Protocolo para avaliação de remineralizadores de solo.** Brasília: MAPA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/fertilizantes/remineralizadores/protocolo-remineralizadores.pdf>. Acesso em: 24 set. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 dez. 2013. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/?id=262639>. Acesso em: 24 set. 2025.

BRITO, L. E. M.; REZENDE, A. L. A. M.; SILVA, C. O. C.; SILVA, H. D.; SILVA, C. D. R.; LUZ, J. H. S. **Desenvolvimento e nutrição inicial do milho com inoculação do BiomaPhos® associado a fontes fosfatadas.** Agri-Environmental Sciences, Palmas-TO, v. 8, Ed. Especial, p. 1-12, 2022. DOI: 10.36725/agries.v8i2.7926.

CARVALHO, P. H. G. **Uso de bactérias para reduzir adubação fosfatada na cultura do milho no cerrado.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Ilha Solteira, 26 jul. 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/37676927-f4a3-4676-a718-7721b1e5223c>. Acesso em: 22 dez. 2025.

CÉSER, L. G.; DUARTE, I. N. **Fosfato natural reativo em combinação com superfosfato triplo no plantio do milho em vasos.** Monte Carmelo, MG: Fundação Carmelitana Mário Palmério (FUCAMP), 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Disponível em: <http://repositorio.fucamp.com.br/handle/FUCAMP/452>. Acesso em: 21 dez. 2025.

COELHO, A. M.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; FRANÇA, G. E. **Diagnose foliar. Embrapa Milho e Sorgo**, Agência de Informação Tecnológica. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/adubacao-e-fertilidade-do-solo/diagnose-foliar>. Acesso em: 20 dez. 2025.

SILVA, G. N. **Fosfato natural e bioestimulantes solubilizadores de fósforo no desenvolvimento do milho**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/11564>. Acesso em: 19 dez. 2025.

EMBRAPA. **Milho: produção**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao>. Acesso em: 10 maio 2025.

JÚNIOR, K. S. F.; DIAS, M. S.; RIBEIRO, V. M. **Curva de disponibilidade de fósforo no solo**. Research, Society and Development, v. 13, n. 10, p. e86131047146-e86131047146, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i10.47146>.

JUNQUEIRA, H. S.; ALMEIDA, L. M. F.; SOUZA, T. S.; NASCIMENTO, P. S. **Análise da Variação Sazonal e de Tendências na Precipitação Pluviométrica no Município de Juazeiro- BA**. Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.], v. 13, n. 6, p. 2641–2649, 2020. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/68858051/37211.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2025.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**, Circular Técnica 22, 2002. 23 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/486995>. Acesso em: 19 dez. 2025.

MIRANDA, L. C. **Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados de diferentes tempos de liberação aplicados em solos de textura contrastante**. 2023. 67 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina-MG, 2023. Disponível em: https://sgppg.com.br/files/banco_de_teses/492.pdf. Acesso em: 20 dez. 2025.

OGINO, C. M.; GASQUES, J. G.. **Fertilizantes: dependência externa e impacto produtivo**. In: VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro; GASQUES, José Garcia (orgs.) *Agropecuária brasileira: evolução, resiliência e oportunidades*. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa

Econômica Aplicada (IPEA), 2023. Cap. 5, p. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/9786556350530cap5>.

PEREIRA, A. V. **Solubilizadores de fosfatos associados a fontes de fósforo na cultura do milho**. 2024. Dissertação (Pós-Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, 28 ago. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/4875>. Acesso em: 21 dez. 2025.

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina, PE: EMBRAPA/CPATSA, 1983. 280p.

ROCHA, J. C. **Análise da produção e estoque de milho: tendências e desafios**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade Facmais (FACMAIS), Brasil, jun. 2024. Disponível em: <http://65.108.49.104:80/xmlui/handle/123456789/933>. Acesso em: 20 dez. 2025.

SASABUCHI, I. T. M.; KRIEGER, K. S.; NUNES, R. S.; FERREIRA, A. C.; XAVIER, G. T. M.; URZEDO, A. L.; CARVALHO, W. A.; FADINI, P. S. **Sustentabilidade no uso de fósforo: uma revisão bibliográfica com foco na situação atual do estado de São Paulo, Brasil**. Química Nova, São Paulo, **v. 46, n. 2, p. 185-198, 2023. DOI: 10.21577/0100-4042.

SILVA, L. E. B.; SILVA, J. C. S.; SOUZA, W. C. L.; LIMA, L. L. C.; SANTOS, R. L. V. **Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays L.*): revisão de literatura**. Diversitas Journal, v. 5, n. 3, p. 1636–1657, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i3-869>

SILVEIRA, C. A. P.; BAMBERG, A. L.; MARTINAZZO, R.; PILLON, C. N.; MARTINS, E. S. **Protocolo para avaliação de remineralizadores de solo**. Brasília: MAPA, 2016. Acesso em: 25 set. 2025.

ZAMUNER, L. F. I.; VILLELA, B. B. **Novo mercado de gás natural: um estudo de caso sobre o uso não energético na cadeia de fertilizantes nitrogenados no Brasil**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/23465/1/LFIZamuner.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2025.