

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA
CAMPUS AGRÍCOLA PORTO GRANDE

DIOMAX PICANÇO TEIXEIRA

**PRODUTIVIDADE DE MILHO CULTIVADO EM SOLO DE CERRADO
AMAPAENSE SUBMETIDO A ADUBAÇÃO POTÁSSICA E FOSFATADA**

PORTO GRANDE-AP

2025

DIOMAX PICANÇO TEIXEIRA

**PRODUTIVIDADE DE MILHO CULTIVADO EM SOLO DE CERRADO
AMAPAENSE SUBMETIDO A ADUBAÇÃO POTÁSSICA E FOSFATADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, *Campus* Agrícola Porto Grande, como requisito avaliativo para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo

PORTO GRANDE-AP

2025

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

- T278p Teixeira , Diomax Picanço Teixeira
 Produtividade de milho cultivado em solo de cerrado amapaense submetido a adubação potássica e fosfatada / Diomax Picanço Teixeira Teixeira - Porto Grande, 2025.
 36 f.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Porto Grande, Bacharelado em Engenharia Agrônômica, 2025.
- Orientador: Nilvan Carvalho Melo Melo .
1. Zea mays L . 2. Macronutrientes . 3. Componentes de produção . I. Melo , Nilvan Carvalho Melo , orient. II. Título.
-

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

DIOMAX PICANÇO TEIXEIRA

**PRODUTIVIDADE DE MILHO CULTIVADO EM SOLO DE CERRADO
AMAPAENSE SUBMETIDO A ADUBAÇÃO POTÁSSICA E FOSFATADA**

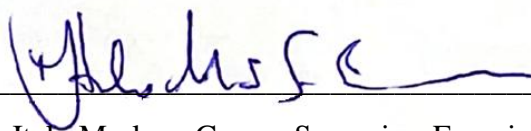
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, *Campus* Agrícola Porto Grande, como requisito avaliativo para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo

BANCA EXAMINADORA



Orientador, Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo - Presidente
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – IFAP



Prof. Dr. Italo Marlone Gomes Sampaio - Examinador Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – IFAP



Prof. Dr. Fernando Barnabé Cerqueira - Examinador Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – IFAP

Apresentado em: 17/12/2025.

Conceito/Nota: APROVADO/9,6

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder a vida, saúde, sabedoria e perseverança para superar todos os obstáculos e alcançar este objetivo. Agradeço profundamente à minha mãe, Ronelis Bousse Picanço, pelo amor incondicional, apoio irrestrito e por ser minha maior inspiração. Seu esforço e confiança foram o combustível desta jornada. À minha namorada e futura esposa, Liandra Cunha Aranha, pelo seu amor, compreensão e por ser meu porto seguro; seu incentivo inabalável foi essencial para a conclusão deste trabalho. Estendo meus agradecimentos aos meus irmãos Gabriel Bousse Picanço, Diego Picanço Teixeira e Daiane Bousse Picanço Mourão e aos meus sobrinhos Júlia Nogueira e Antony Gael. Aos meus amigos Arthur Pires, Madson Melo, Cleverton, Carol, Giselli, Adrielin, Karla Samili, Samyra, Ruthi e Clara Castro, pela amizade e pelos momentos de descontração. Aos meus professores do curso, pelas bases teóricas e práticas que construíram minha formação e que foram essenciais para a minha pesquisa. Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, pela oportunidade de crescimento acadêmico e pela excelência do ensino. Por fim, agradeço em especial ao meu Orientador, Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo, pela fundamental orientação, paciência incansável e por compartilhar o conhecimento que moldou este trabalho. Seu apoio e confiança foram decisivos.

RESUMO

A nutrição mineral, especialmente com fósforo (P) e potássio (K), é fundamental para o aumento da produtividade de culturas como o milho. O potássio é essencial para a qualidade dos grãos, enquanto o P é frequentemente limitante nos solos de Cerrado, tornando a adubação fosfatada indispensável. Nesse contexto, pesquisas que avaliem doses adequadas desses nutrientes são necessárias para viabilizar e incrementar a produção de milho em solos de baixa fertilidade. Objetivou-se avaliar a produtividade do milho cultivado em solo de Cerrado amapaense submetido à adubação potássica e fosfatada. O experimento foi conduzido na fazenda experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP), Campus Agrícola de Porto Grande. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 4×4 , com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em quatro doses de K (35, 70, 140 e 280 kg ha⁻¹ de K₂O), na forma de cloreto de potássio (KCl), e quatro doses de P (45, 90, 180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na forma de superfosfato simples. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, sendo realizada calagem 30 dias antes da semeadura. Aos 76 dias após o cultivo, avaliaram-se a altura das plantas, o número de grãos por espiga, a massa de 100 grãos e o peso total dos grãos por parcela. Os resultados indicaram interação significativa entre as doses de P e K. O fósforo foi o nutriente mais limitante, exigindo doses elevadas para superar a fixação no solo e viabilizar a produção de milho no Cerrado amapaense. As doses de P influenciaram significativamente todas as variáveis agrônomicas avaliadas, enquanto o K apresentou efeito significativo sobre a altura das plantas e a produtividade. A maior produtividade foi obtida com a combinação de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 280 kg ha⁻¹ de K₂O, evidenciando a eficiência do manejo integrado desses nutrientes. Recomenda-se, portanto, a adoção dessa combinação para maximizar o potencial produtivo da cultura na região.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; crescimento vegetal; macronutrientes; componentes de produção.

ABSTRACT

Mineral nutrition, especially phosphorus (P) and potassium (K), is essential for increasing the productivity of crops such as maize. Potassium plays a key role in grain quality, while phosphorus is often a limiting nutrient in Cerrado soils, making phosphate fertilization indispensable. In this context, studies evaluating appropriate doses of these nutrients are necessary to enable and enhance maize production in low-fertility soils. This study aimed to evaluate the productivity of maize cultivated in Cerrado soil from Amapá under potassium and phosphorus fertilization. The experiment was conducted at the experimental farm of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Amapá (IFAP), Porto Grande Agricultural Campus. A randomized complete block design was used, arranged in a 4×4 factorial scheme with four replications, totaling 64 experimental units. Treatments consisted of four potassium doses (35, 70, 140, and 280 kg ha⁻¹ of K₂O) applied as potassium chloride (KCl) and four phosphorus doses (45, 90, 180, and 360 kg ha⁻¹ of P₂O₅) applied as single superphosphate. The soil of the experimental area was classified as a dystrophic Yellow Latosol, and liming was performed 30 days before sowing. At 76 days after cultivation, plant height, number of grains per ear, 100-grain weight, and total grain weight per plot were evaluated. The results showed a significant interaction between phosphorus and potassium doses. Phosphorus was the most limiting nutrient, requiring high application rates to overcome soil fixation and enable maize production in the Cerrado of Amapá. Phosphorus doses significantly influenced all evaluated agronomic variables, whereas potassium had a significant effect on plant height and grain yield. The highest productivity was achieved with the combined application of 180 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and 280 kg ha⁻¹ of K₂O, highlighting the efficiency of integrated nutrient management. Therefore, this combination is recommended to maximize the productive potential of maize in the region.

Keywords: *Zea mays*; plant growth; macronutrients; yield components.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área da fazenda experimental do IFAP, <i>Campus</i> Agrícola Porto Grande, Amapá, Brasil.....	17
Figura 2 - Croqui de conformação da área experimental e distribuição dos tratamentos.	18
Figura 3 - Preparo do solo e aplicação de calcário com auxílio de trator e implemento agrícola. Porto Grande, Amapá, Brasil.....	19
Figura 4 – Demarcação da área experimental (a) e adubação de base com macro e micronutrientes (b). Porto Grande, Amapá, Brasil.....	20
Figura 5 - Coleta dos dados biométricos de altura da cultura do milho submetido a adubação potássica e fosfatada em solos de cerrado amapaense, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	21
Figura 6 - Espigas por planta (a), trilhagem das espigas (b) e peso de 100 grãos (c) das plantas de milho cultivadas em solo de cerrado amapaense submetido a doses de K e P em campo submetido a doses de P e K, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	21
Figura 7 – Número de grãos espiga submetidos a adubação potássica e fosfatada em solos de cerrado amapaense, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	24
Figura 8 - Altura da planta submetidos a adubação potássica e fosfatada em solos de cerrado amapaense, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	25
Figura 9 – Massa de 100 grãos (a) e Espigas por planta (b) submetidos a adubação potássica e fosfatada em solos de cerrado amapaense, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	27
Figura 10 – Produtividade de grãos kg/ha submetidos a adubação potássica e fosfatada em solos de cerrado amapaense, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	28

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

BRS	Marca de cultivares desenvolvidas pela Embrapa: Brasil (ou Brasileira)
°C	Grau Celsius
P	Fósforo
K	Potássio
CaO	Cálcio
MgO	Magnésio
ha	Hectares
ATP	Adenosina Trifosfato
DMET	Dose de Máxima Eficiência Técnica
FTE	Fritzche Trace Elements (fonte comercial padronizada de micronutrientes)
IFAP	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
AP	Altura da Planta
M100	Massa de cem sementes
NEP	Número de espigas por planta
NGE	Número de grãos por espiga
PROD	Produtividade
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
DBC	Blocos Casualizados
DAP	Dias após plantio
NV	Número de Vagem
G.L.	Graus de liberdade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Geral	13
2.2 Específicos.....	13
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1 Bioma cerrado amapaense	14
3.2 Solos do cerrado amapaense.....	14
3.3 Cultura do milho.....	15
3.4 Potássio e fósforo na nutrição do milho	16
4 MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 Localização da área experimental.....	17
4.2 Caracterização química e granulométrica do solo.....	17
4.3 Delineamento experimental e tratamentos	18
4.4 Preparo do solo e semeio do milho.....	19
4.5 Análises biométricas.....	20
4.6 Componentes de produção	21
4.7 Análise estatística	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é uma cultura de importante relevância econômica e social para o mundo, sendo cultivado em diversos países do mundo, servindo como alimentação humana e animal (EMBRAPA, 2019). O milho é cultivado em 22,19 milhões de hectares no Brasil, com produtividade de 5.8 t/ha e produção 129.961,6 mil/t (CONAB, 2023). Quando o solo tem baixa disponibilidade de nutrientes, a produtividade do milho pode ser reduzida, resultando em plantas menos vigorosas, uma colheita menor e conseqüentemente produtividade reduzida (EMBRAPA, 2019).

O Cerrado é o bioma que ocupa cerca de 25% do território brasileiro, e é o segundo maior em extensão, com uma área de 2.045.000 km² (Bandeira, 2018). O Amapá possui 900.000 hectares de cerrado, o que corresponde a 6,9% do território estadual (Melém Júnior *et al.*, 2008). Geralmente os solos dessa região baixa fertilidade, geralmente são ácidos e pobres em nutrientes, onde predomina as classes dos Latossolos Amarelos, Latossolo Vermelho Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo e Gleissolos (Alves; Alves; Mochiutti, 1992).

A baixa produtividade das lavouras de milho sofre influência de vários fatores, entre os quais podem-se citar aspectos relacionados à nutrição mineral, sendo de fundamental importância para a melhoria da produtividade e redução de custos de produção (Melo *et al.*, 2024). Assim, para suprir as necessidades nutricionais das culturas faz-se o uso da adubação, principalmente com macronutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (Pereira *et al.*, 2013).

O Brasil é um dos países com forte aumento nas importações de fertilizantes. Segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2021), em 2020, a importação de fertilizantes totalizou 32.872.543 toneladas (MAPA, 2022) Depois do N, o K é o elemento mais absorvido pela cultura do milho, sendo que em média, 30% são exportados para os grãos (Valderrama *et al.*, 2011). Há alguns anos, as respostas que se tinha sobre o K em ensaios de campo com o milho, eram em geral menos frequentes, se observa apenas os teores para P e N, devido às baixas produtividades causadas pela baixa fertilidade dos solos em P e N (Coelho, 2006). O K para a cultura do milho tem um grande impacto na qualidade do produto colhido, influencia positivamente no aumento da massa de grãos por espiga, além de ter grande importância em vários processos bioquímicos, como a fotossíntese, a respiração e a translocação orgânica, sendo um dos nutrientes mais extraídos pela cultura.

A disponibilidade de K para a cultura do milho varia conforme o tipo do solo, o nível inicial de K no solo, a saturação de cálcio e magnésio na solução do solo e o potencial do

material genético da planta (Andreotti *et al.*, 2001). Apesar do milho ter menor exigência em K em comparação a outros nutrientes, a exigência de doses recomendadas são bem altas, levando em consideração que este nutriente é bastante lixiviado, por ser altamente móvel no solo, apresentando neste caso baixa eficiência de aproveitamento pelas culturas, que em alguns casos chega a ser de 20% a 30% (Coelho; França, 1995).

Além disso, outro macronutriente que merece atenção é o P, pois desempenha funções de armazenamento e transferência de energia para o crescimento e desenvolvimento das culturas. No entanto, os solos do cerrado apresentam baixos teores P de forma lábil, ou seja, disponíveis (Bender, 2013).

O adequado suprimento de P torna-se indispensável para a obtenção de maiores produtividades do milho, além de ser fundamental para suprir a deficiência de P do solo e eventuais condições de estresse hídrico (Sousa *et al.*, 2016). Desse modo, evidencia-se que o P é um dos nutrientes mais limitantes para a produção agrícola nos solos da região do Cerrado. Nesse sentido, a adubação fosfatada é uma prática fundamental no estabelecimento e manutenção de qualquer sistema agrícola nessas zonas onde está estabelecido o cerrado (França, 2020).

Neste contexto, se faz necessário os estudos de doses em ação conjunta de P e K que promovam maior crescimento e produtividade do milho em solos com baixa fertilidade natural como são os solos do cerrado amapaense.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito das doses de K e P sobre a produtividade do milho cultivado em solo de cerrado amapaense.

2.2 Específicos

- Realizar análises de crescimento do milho submetido às doses de P e K.
- Avaliar os componentes de produção do milho submetido às doses de P e K.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Bioma cerrado amapaense

O Cerrado abriga um rico patrimônio de recursos naturais renováveis adaptados às duras condições climáticas, edáficas e hídricas que determinam sua própria existência (Martorelli, 2003). O Cerrado brasileiro apresenta uma dimensão de aproximadamente 2,04 milhões de quilômetros quadrados, o que equivale a cerca de 22% do território nacional, ou seja, é o segundo maior bioma do Brasil, somente superado pela Amazônia. No Estado do Amapá, o território ocupa cerca de 900.000 hectares, o que corresponde a 6,9% da superfície deste Estado (Melém Júnior *et al.*, 2008). O cerrado amapaense mede 374 km de extensão e engloba os municípios de Macapá, Santana, Porto Grande, Itaubal e Calçoene (Yokomizo *et al.*, 2016).

Em virtude disto, o Amapá é considerado uma das últimas fronteiras agrícolas e, portanto, a produção agrícola em grande escala encontra-se ainda em processo de adaptação, transportando-se metodologias desenvolvidas em outras regiões, principalmente do Centro Oeste do Brasil, devendo-se atentar em adotar as boas práticas existentes e evitar os problemas causados pela agricultura comercial já conhecidos (Yokomizo *et al.*, 2016).

O cenário agrícola amapaense vem se aproximando da realidade brasileira, pois na última década a produção de grãos cresceu no Estado do Amapá. Segundo Yokomizo (2004), o município de Macapá, no Estado do Amapá, tem a atividade da agricultura como uma de suas principais atividades socioeconômicas, destacando-se as culturas do feijão, milho e da soja. Em 2019, Macapá foi o terceiro município do Amapá que mais produziu feijão e milho e foi o maior produtor de soja, com produção média de 100, 175,5 e 24352 t por ano, respectivamente, e apesar da consolidação do agronegócio na região, sua expansão é relativamente recente, intensificando-se nos últimos 12 anos (IBGE, 2020).

3.2 Solos do cerrado amapaense

Os solos do cerrado amapaense apresentam características edáficas específicas que os diferenciam de outras regiões, influenciando diretamente o desenvolvimento e a produtividade agrícola e agropecuária, uma vez que está localizada em uma área de transição com a Amazônia, apresenta uma combinação única de fatores ambientais que moldam as características dos solos (Valente; Campos; Watrin, 2015). Os solos dominantes nos cerrados e floresta equatorial do estado do Amapá são os Latossolos Amarelo e Vermelho-Amarelo (Rodrigues *et al.*, 2000).

São solos altamente intemperizados e de baixa fertilidade; grande parte deles encontram-se degradados devido sua utilização inadequada, que provoca a perda da sua capacidade produtiva, principalmente devido a urbanização e atividades agrícolas, com a utilização de práticas de manejo inadequadas (Rodrigues *et al.*, 2000; Lopes *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2021). A estrutura do solo, que se refere à forma como as partículas se agrega, afeta a porosidade, a aeração e a resistência do solo à erosão. A densidade do solo, que se refere à massa de solo por unidade de volume, influencia a porosidade e a capacidade de armazenamento de água e ar. Em geral, os solos de Cerrado apresentam baixa densidade e boa porosidade, o que favorece o desenvolvimento radicular das plantas (Falcão *et al.*, 2020).

Um dos atributos do solo que contribui para a redução da produtividade das culturas é a acidez do solo, que é potencializada em ambientes que apresentam elevados índices de precipitação pluviométrica e elevada intemperização, como é a condição dos solos do cerrado amazônico (Araújo *et al.*, 2014). Além disso, a baixa fertilidade natural desses solos, devido ao seu processo de formação, contribui para a sua baixa capacidade produtiva, sendo fator limitante para a produtividade das culturas, como o exemplo do milho que é bastante exigido em nutrientes (Melém Júnior *et al.*, 2008).

3.3 Cultura do milho

O milho (*Zea mays*) é um vegetal pertencente à família das gramíneas, ou Poaceae, constituindo-se como uma cultura marcante no Brasil, possuindo o segundo lugar como o cereal mais produzido no país (CONAB, 2019). O seu ciclo se apresenta entre 100 e 180 dias de acordo com o genótipo (superprecoce, precoce e tardio) tendo potencial de apresentar modificações em relação à temperatura do ar (Lozada *et al.*, 1999; Rezende *et al.*, 2004).

No Brasil o milho é cultivado, geralmente, em dois períodos no ano, sendo denominados de safra e safrinha, resultado da entressafra. É importante notar que o milho é uma cultura estratégica para a economia brasileira, sendo cultivado em regiões com pluviosidade variando de 300 a 5000 mm anuais, sendo consumido durante seu ciclo por volta de 600 mm (Magalhães *et al.*, 2006).

Além da importância da cultura do milho em termos de produção, a cultura se destaca pela diversa utilidade que possui. Além de atuar na alimentação humana e animal de maneira direta, é possível produzir uma infinidade de produtos, tais como bebidas, polímeros, combustíveis, entre outros (Miranda, 2018).

A safra de milho em todo o mundo subiu de 591 milhões para 1 bilhão de toneladas

desde as safras de 2000 até 2018, constituindo um aumento de 82% na área, um dos motivos desse aumento é o uso do grão com na constituição de ração animal na produção de frangos e suínos (Contini *et al.*, 2019).

A safra total de milho do Brasil 2023/24 foi estimada em 114,14 milhões de toneladas, um acréscimo de 2,5 milhões de toneladas em relação ao previsto no mês passado, segundo levantamento divulgado pela CONAB (2023).

Solos pouco férteis tornam-se problemáticos para alcançar produtividades mais elevadas, pois culturas como o milho, que possuem um desenvolvimento mais intenso e ciclo curto, possuem como um de seus requisitos maiores taxas de fósforo em solução e mais rápida reposição de fósforo que é adsorvido, em comparação com culturas perenes (Bastos *et al.*, 2010).

3.4 Potássio e fósforo na nutrição do milho

O fósforo e o potássio são nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, pois depois do N são os nutrientes mais exigidos pela cultura do milho (Barber, 1984). Incrementos no rendimento das culturas são obtidos com o aumento de fertilizantes, principalmente, potássicos e fosfatados, além de outras práticas culturais. Entre outros fatores, o estande inicial adequado é fundamental para alcançar o rendimento máximo da lavoura (Toledo; Filho, 1977).

Após o nitrogênio, o potássio é o nutriente mais requisitado pela cultura de milho, onde é crucial para o desenvolvimento de ótimos grãos, sendo que, cerca de trinta por cento do potássio que a planta consegue absorver é direcionado para os grãos (Coelho, 2011). E onde se há adubação rica em potássio, os cultivos possuem a tendência de ter frutos de qualidade mais efetiva, onde o K é tido como o nutriente que auxilia na qualidade dos grãos (Serafim *et al.*, 2012).

Em estudo avaliando duas doses do formulado 07-25-25 (200 e 260 kg ha⁻¹) no cultivo do milho, Rodrigues *et al.* (2014) observaram efeitos positivos da adubação potássica. Os autores verificaram que o número de grãos por planta e o rendimento foram influenciados pela maior dose de K aplicada na adubação de base, correspondente a 65 kg ha⁻¹ de K₂O.

O fósforo é um dos nutrientes mais limitante para a produção agrícola, por apresentar baixa mobilidade no solo, registrando o crescimento de plantas (López *et al.*, 2000; Hinsinger, 2001). Embora as exigências do milho em P seja em quantidades bem menores em comparação com o N e o K, as doses recomendadas de P normalmente são altas, em função da baixa eficiência (20 a 30%) de aproveitamento desse nutriente pelas culturas (Bastos *et al.*, 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área experimental

O experimento foi realizado no período de abril de 2024 a agosto de 2024, na Fazenda Experimental, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP), Campus Agrícola Porto Grande, com latitude 0°48'58.30" e longitude 51° 23' 38.18" (Figura 1).

Figura 1 - Área da fazenda experimental do IFAP, *Campus Agrícola Porto Grande*, Amapá, Brasil.



Fonte: Autor (2024).

O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (Santos *et al.*, 2018), de cerrado amapaense. Segundo Melém Júnior, Farias Neto, Yokomizo, (2003) o tipo climático do estado do Amapá é Ami, predominantemente tropical chuvoso (2700 mm/ ano) com curta estação seca nos meses de agosto a novembro, período em que chove apenas 197 mm ou pouco mais de 7% em relação ao ano todo.

4.2 Caracterização química e granulométrica do solo

Para a caracterização química e granulométrica do solo, foi realizada a coleta de 10 (dez) amostras simples, que foram homogeneizadas para a formação de uma amostra composta que foi enviada ao laboratório para posterior análises. A granulometria foi realizada segundo a metodologia descrita por Claessen (1997) e a caracterização química de acordo com Raij *et al.*

(2001), sendo o teor de carbono orgânico (CO) determinado conforme Yeomans e Bremner (1988). O solo amostrado da camada de 0-20 cm, apresentou os seguintes resultados:

Tabela 1 - Análise química e granulométrica do solo amostrado.

Propriedades	Teores
pH	4,4
Carbono orgânico	9,72 g ka ⁻¹
P	17 mg dm ⁻³
K	0,02 cmol _c dm ⁻³
Ca + Mg	0,35 cmol _c dm ⁻³
H + Al	5,25 cmol _c dm ⁻³
SB	0,35 cmol _c dm ⁻³
CTC	5,5 cmol _c dm ⁻³
Argila	194 g ka ⁻¹
Areia	769 g ka ⁻¹
Silte	37 g ka ⁻¹

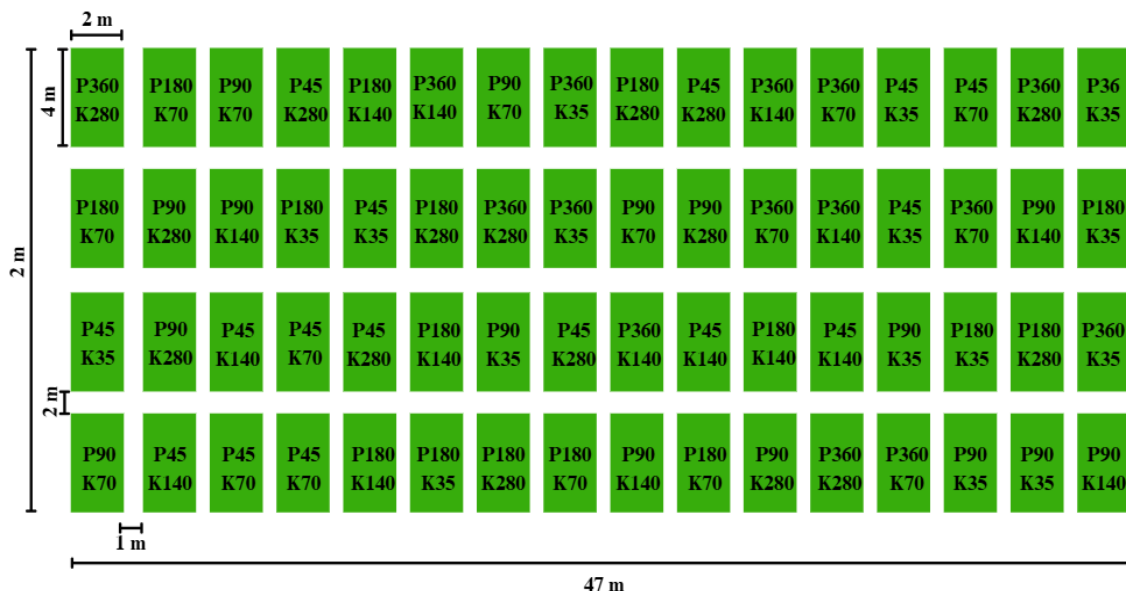
Fonte: Autor (2025).

4.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), arranjado em esquema fatorial 4x4, com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais (Figura 2).

Os fatores foram constituídos de quatro doses de K (35, 70, 140 e 280 kg ha⁻¹ de K) na forma de cloreto de potássio (KCl) e quatro doses de P (45, 90, 180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅) na forma de superfosfato simples, conforme (Jonas *et al.*, 2023).

Figura 2 - Croqui de conformação da área experimental e distribuição dos tratamentos.



Fonte: Autor (2024).

4.4 Preparo do solo e semeio do milho

O preparo do solo foi realizado com grade aradora e aplicação e incorporação de de calcário dolomítico, 30 dias antes do semeio do milho cultivar Morgan MG 607[®], utilizando-se o equivalente a 3,8 t ha⁻¹, com 45% de CaO, 5% de MgO e PRNT de 80%, para elevar a saturação por bases a 60% (Raij *et al.*, 2001; Brasil *et al.*, 2020) (Figura 3).

Figura 3 - Preparo do solo e aplicação de calcário com auxílio de trator e implemento agrícola. Porto Grande, Amapá, Brasil.



Fonte: Autor (2024).

A área total do experimento foi de 1.034 m², sendo dividida em 64 parcelas com 2 metros de comprimento e 4 de largura, com uma área útil de 512 m². Cada parcela foi composta por quatro fileiras de 1 metro entre si e 2 metros de comprimento, perfazendo uma área de 8 m² (Figura 4a).

A semeadura do milho foi realizada manualmente utilizando o híbrido Morgan MG607PWU de ciclo precoce na densidade de 60,2 mil plantas por hectare concomitante ao semeio foi efetuada uma adubação de base, em linhas por parcela com macro e micronutrientes (Figura 4b) conforme recomendações de calagem e adubação para o Estado do Pará (Brasil *et al.*, 2020) e conforme Malavolta (2006). Sendo 30 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de FTE BR 12, correspondendo a 62 kg ha⁻¹ de ureia e 50 kg ha⁻¹ de micronutrientes, na frita de FTE BR12.

Figura 4 – Demarcação da área experimental (a) e adubação de base com macro e micronutrientes (b). Porto Grande, Amapá, Brasil.



Fonte: Autor (2024).

Para a adubação de cobertura que foi realizada 35 dias após o plantio (DAP) no estágio fenológico V4, utilizou-se 100 kg de N, correspondendo a 227,3 kg ha⁻¹ de ureia. As doses de P e K foram aplicadas de acordo com os tratamentos. Para o semeio do milho, utilizou-se por linhas, 12 (doze) sementes com espaçamento de 0,15 m entre sementes e 1 m entre fileiras, com um total de 48 sementes por parcela.

4.5 Análises biométricas

As análises de crescimento foram feitas 31, 46, 61 e 76 dias após o plantio DAP, antes da colheita do milho, com a mensuração da altura da planta (medida com fita métrica, do colo da planta à extremidade final da última folha) (Figura 5).

Figura 5 - Coleta dos dados biométricos de altura da cultura do milho submetido a adubação potássica e fosfatada em solos de cerrado amapaense, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

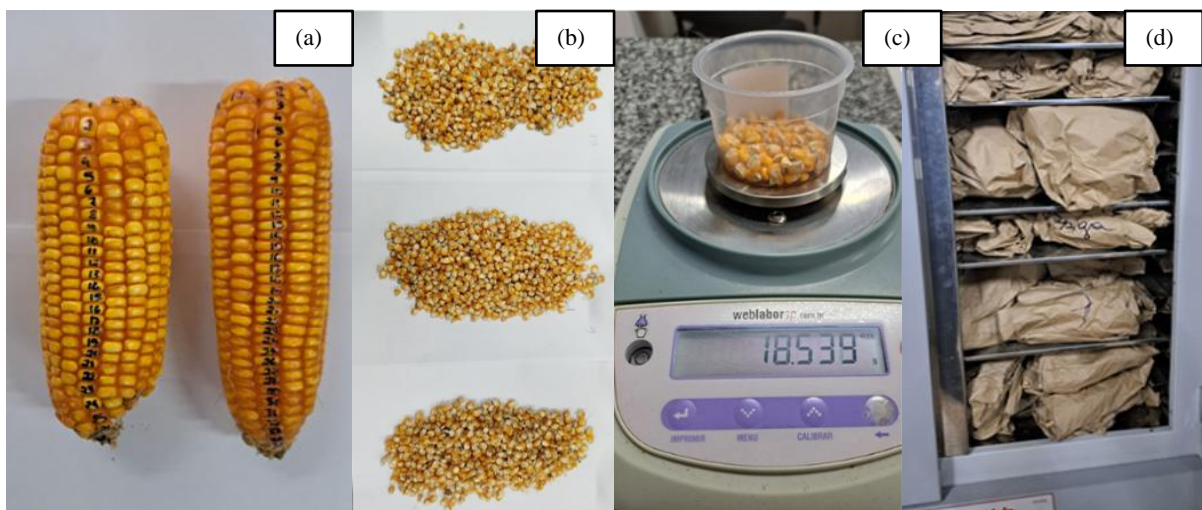


Fonte: Autor (2024).

4.6 Componentes de produção

Na colheita do milho foram determinados os parâmetros de produção, como: número de espigas por planta, número de grãos por espiga, peso de 100 grãos (Figura 6).

Figura 6 - Espigas por planta (a), trilhagem das espigas (b) e peso de 100 grãos (c) das plantas de milho cultivadas em solo de cerrado amapaense submetido a doses de K e P em campo submetido a doses de P e K, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Fonte: Autor (2024).

Foram coletadas duas plantas centrais de cada parcela separando-as da espiga da planta (Figura 6a) em seguida foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C (Figura 6d)

até atingirem peso constante. As espigas foram trilhadas (Figura 6b) e após pesagem converteram o valor para 13% de umidade, sendo a massa de 100 grãos determinada com base na pesagem de 100 grãos de cada parcela (Figura 6c).

4.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância; quando significativo pelo teste F e o efeito das doses de K e P analisado por gráfico superfície de resposta, ajustando-se às equações para expressar o comportamento das variáveis. Para a análise estatística foi utilizado o programa estatístico AgroEstat (Barbosa; Maldonado Junior, 2009).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa ($p < 0,01$) para as doses P e K, bem como para a interação entre esses dois fatores (P x K), (Tabela 2). Particularmente importante foi a interação significativa (P x K), verificada para altura da planta (AP), número de espigas por planta (NEP), massa de cem grãos (M100) e, crucialmente, para a produtividade (PROD). Os resultados do estudo no cerrado amapaense, que apontam para a necessidade de um manejo balanceado entre P e K, estão alinhados com a literatura científica que destaca a influência do K na produtividade do milho em solos de Cerrado (PETTER et al., 2016).

Tabela 2 - Análise de variância para altura da planta (AP), número de espiga por planta (NEP), massa de cem sementes (M100), Número de grãos espiga (NGE), produtividade (PROD) de milho submetidos a doses de fósforo(P) e potássio (K) no cerrado Amapaense, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

Fonte de variação	G.L	Quadrado Médio				
		AP	NEP	M100	NGE	PROD
Blocos	3	7.67	0.04	1.71	2067.73	0.35
K	3	437.05**	0.07 ^{NS}	5.55 ^{NS}	2696.14 ^{NS}	6.05**
P	3	758.70**	0.18**	39.50**	31984.63**	15.66**
P x K	9	255.80**	0.10**	18.51**	2877.09 ^{NS}	0.99**
Erro	-	31.38	0.03	2.12	1398.10	0.21
CV%		3.00	16.37	7	13.14	12.53

G.L = Grau de liberdade; CV = Coeficiente de variação; ns = não significativo; ** e * = significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$, respectivamente, pelo teste F. Fonte: Autor, 2024.

Tanto as doses de P quanto as de K, assim como a interação entre esses dois fatores (P x K), exerceram influência significativa sobre a maioria das características agrônômicas do milho, indicando a importância do manejo balanceado desses macronutrientes (Tabela 2).

A resposta positiva do milho à adubação potássica é esperada, pois o K é um dos nutrientes extraídos em maior quantidade pela cultura, atrás apenas do Nitrogênio, sendo essencial para a regulação osmótica e o enchimento de grãos (Coelho, 2006). Contudo, o K não teve efeito significativo (NS) sobre o número de espigas por planta (NEP), a massa de cem grãos (M100) e o número de grãos por espiga (NGE), sugerindo que o nível de K pode ter influenciado o potencial produtivo da planta, mas não o estabelecimento desses componentes.

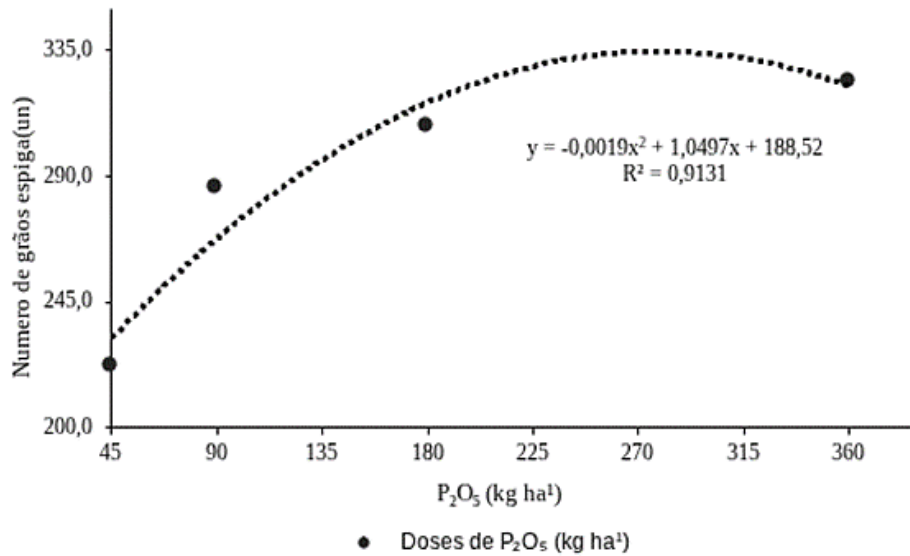
Em contrapartida, as doses de P influenciaram significativamente ($p < 0,01$) todos os parâmetros avaliados no experimento: AP, NEP, M100, NGE e PROD. Este resultado confirma o papel central do P como elemento limitante em solos de Cerrado, como o Amapaense. O fósforo é vital para o armazenamento e transferência de energia (ATP) e para o desenvolvimento radicular inicial, e sua exigência é alta em função da baixa eficiência de aproveitamento pela cultura (Karlen *et al.*, 1987).

O fato de a interação ser significativa para a maioria dos componentes de produção demonstra que a resposta do milho a uma dose de P depende da dose de K aplicada, e vice-versa. Esse efeito de interação pode também ser chamado de sinergismo e é comum na nutrição de plantas e significa que a eficiência de uso de um nutriente é maximizada apenas quando o outro nutriente não é fator limitante (Gamboa, 1980). Portanto, os resultados reforçam a necessidade de um manejo integrado desses nutrientes, onde a adubação não deve considerar P e K de forma isolada, mas sim como elementos que atuam em conjunto para otimizar o desempenho agrônômico do milho, no município de Porto Grande.

Apenas o número de grãos por espiga (NGE) não apresentou interação significativa (NS) entre P e K. Este padrão é suportado por pesquisas que mostram variabilidade na resposta de componentes individuais do rendimento à interação de nutrientes. Por exemplo, em estudos com culturas anuais, a interação de nutrientes pode ser significativa para algumas variáveis, mas não para todas as variáveis de rendimento (Giannini *et al.*, 2012).

A Figura 7 apresenta a relação entre as doses de P (45, 90, 180 e 360 kg ha) com o número de grãos por espiga, em solos de cerrado amapaense.

Figura 7 – Número de grãos espiga submetidos a adubação potássica e fosfatada em solos de cerrado amapaense, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



* = $p < 0,05$ significativo pelo teste t. Fonte: Autor, 2024.

O número de grãos por espiga foi significativamente influenciado ($p < 0,05$) pelas doses aplicadas, conforme indicado pela presença das barras de erro e o ajuste estatístico da curva. Quanto ao efeito das doses de P, observa-se que o incremento da adubação fosfatada promoveu um aumento expressivo no número de grãos por espiga. Esse resultado é esperado e pode ser explicado pelo papel fundamental do P na fisiologia vegetal, sendo o nutriente essencial para a transferência e armazenamento de energia (ATP), a divisão celular e, crucialmente, para o desenvolvimento de órgãos reprodutivos e o enchimento de grãos (Taiz *et al.*, 2017).

Em relação ao efeito geral das doses, o número de grãos por espiga aumentou com o incremento da adubação fosfatada, atingindo um ponto de máxima eficiência técnica (PMET), a partir do qual tendeu à estabilização e posterior declínio.

A dose de 276,24 kg ha de P representou o ponto de máxima eficiência de uso do nutriente para a formação de grãos por espiga nesta cultura, sob as condições do presente estudo, atingindo o pico de aproximadamente 335 grãos por espiga.

Esse comportamento de platô produtivo é um padrão clássico da resposta das culturas aos nutrientes, conforme descrito por Novais *et al.* (2007) e Fageria (2014). Inicialmente, o aumento da disponibilidade de P no solo do Cerrado, que é naturalmente carente neste nutriente, estimula a produção. No entanto, a partir do ponto ótimo, outros fatores se tornam limitantes ao crescimento e à formação de grãos, como a capacidade genética da cultivar, ou a disponibilidade de outros nutrientes (nitrogênio, potássio) e água. Adicionalmente, a necessidade de uma dose elevada de P (cerca de 276 kg ha) é uma característica agrônômica

dos solos de Cerrado que possuem alta capacidade de fixação de P por óxidos de ferro e alumínio, exigindo altas doses para saturar os sítios de adsorção e garantir o suprimento adequado à planta. Doses excessivas, embora raras em causar toxidez direta por P, podem levar a um desequilíbrio metabólico ou causar efeitos de antagonismo com micronutrientes, como o Zinco, que são importantes para o desenvolvimento dos grãos (Havlin *et al.*, 2021).

A dose ótima de P (276,24 kg ha) identificada neste trabalho dialoga com a literatura e as recomendações para solos de Cerrado e Amazônia Oriental, que frequentemente sugerem doses corretivas e de manutenção elevadas de P para superar os problemas de baixa disponibilidade e alta fixação, o que é atribuído ao alto potencial de resposta da cultura em ambiente controlado e à baixa fertilidade natural do solo (Brasil; Cravo; Viegas, 2020).

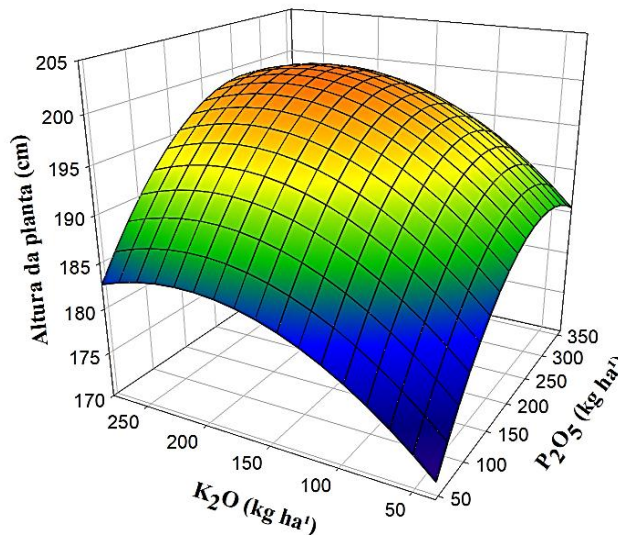
Com base na análise da altura da planta, verificou-se que o crescimento vegetativo foi fortemente modulado pela adubação, sendo significativamente afetado pelas doses de P e K, de forma crucial, pela interação sinérgica entre esses dois fatores (Figura 8).

A Análise de Variância (ANOVA) indicou que a interação P_2O_5 e K_2O foi altamente significativa, o que confirma a dependência mútua entre os nutrientes (Malavolta, 1980). A superfície de resposta (Figura 8), com um $R^2 = 0,99$, visualiza essa interação, mostrando que a altura máxima da planta (202 cm) foi atingida apenas no pico central da superfície, correspondendo a um balanço ideal em torno de 270 kg ha de P_2O_5 e 150 kg ha de K_2O .

Figura 8 - Altura da planta submetidos a adubação potássica e fosfatada em solos de cerrado amapaense, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

$$f = 173,823 + 0,172571 * x + 0,167942 * y - 0,000318723 * x^2 - 0,000392185 * y^2$$

$$R^2 = 0,99$$



Fonte: Autor (2024).

O desdobramento da interação confirmou que a máxima eficiência dos nutrientes é atingida sob esse balanço. Em doses baixas de K (35 kg ha), este nutriente atuou como fator limitante, anulando qualquer resposta ao aumento das doses de P. Essa limitação está em conformidade com a Lei do Mínimo, onde a produtividade é determinada pelo nutriente em menor disponibilidade (Raij, 1991).

Por outro lado, no nível de 140 kg ha de K (ideal), a dose de 360 kg ha de P resultou na maior média (202 cm), demonstrando que este nível de K permitiu a expressão máxima do P. O Fósforo é essencial para a divisão celular, e o K para a expansão celular, sendo ambos os processos vitais para o ganho em altura (Marschner, 2012). A necessidade dessas altas doses de P reflete a severa restrição imposta pelos solos de Cerrado amapaense, que exigem a saturação dos sítios de fixação do P devido à alta concentração de óxidos de ferro e alumínio (Lopes; Guilherme, 2016).

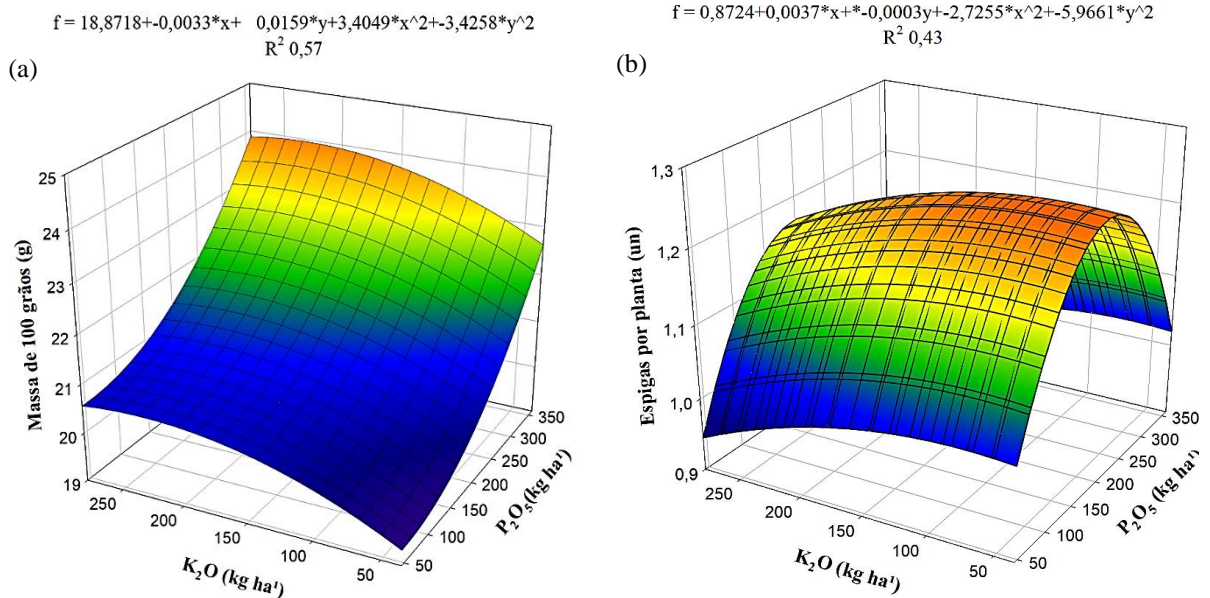
Inversamente, o nível de 280 kg ha de K₂O (alto) eliminou a diferença entre as doses de P. Essa perda de significância pode ser atribuída a um desbalanço iônico causado pelo excesso de K, que pode ter inibido a absorção de outros cátions essenciais, como Ca²⁺ e Mg²⁺, por antagonismo iônico (Raij, 1991).

Em síntese, o crescimento em altura é otimizado pela combinação de altas doses de P₂O₅ para superar a fixação no solo e doses adequadas de K₂O para suprir a demanda fisiológica, comprovando que o sucesso da adubação reside no balanço nutricional, e não apenas no acúmulo de nutrientes de forma isolada.

A massa de 100 grãos (Figura 9a) e o número de espigas por planta (Figura 9b) demonstraram uma relação significativa com as doses de P e K aplicadas, havendo interação significativa entre os dois fatores ($p < 0,01$) para ambas as variáveis (Tabela 2).

A massa de 100 grãos (Figura 9a) foi significativamente influenciada pela interação entre as doses de P e K ($p < 0,01$). A análise de superfície de resposta revelou um modelo quadrático complexo que pode ser descrito pela equação $y = -18,8718 - 0,0033x^2 + 0,0159x^2y + 3,4049x^2 - 3,4258y^2$ $R^2 = 0,57$, indicando que o incremento da M100 é fortemente dependente da combinação balanceada dos dois nutrientes.

Figura 9 – Massa de 100 grãos (a) e Espigas por planta (b) submetidos a adubação potássica e fosfatada em solos de cerrado amapaense, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Fonte: Autor (2024).

Quanto ao efeito das doses, observa-se que a M100 demonstrou um comportamento de aumento contínuo na superfície de resposta, alcançando os valores máximos estimados próximos a 25g/espiga na combinação das doses estimadas, 240 kg/ha¹ de K₂O e 360 kg/ha¹ de P.

Essa resposta de não atingir um ponto nas doses máximas testadas pode ser explicada pela baixa disponibilidade natural de P e K nos solos de Cerrado amapaense, o que leva a uma alta demanda da cultura por esses nutrientes, especialmente para processos fisiológicos tardios. O fósforo é essencial para o metabolismo geral da planta, enquanto o K atua na regulação osmótica e, crucialmente, no transporte de fotoassimilados das folhas para os grãos, processo que determina o peso final da semente (Taiz *et al.*, 2017; Fageria, 2014).

O número de espigas por planta (Figura 9b) também foi influenciado pela interação P x K, ($p < 0,01$), porém, com um comportamento distinto da M100. A análise de regressão revelou um modelo quadrático com a seguinte equação: $y = 0,8724 + 0,0037x^1 - 0,0003y^2 - 2,7255x^2 - 5,9661y^2$ $R^2 = 0,43$).

Em relação ao efeito geral das doses, o NEP aumentou com o incremento da adubação, atingindo um ponto máximo estimado em torno de 1,2 na combinação de doses intermediárias, aproximadamente 150 kg/ha¹ de K₂O e 150 kg/ha¹ de P₂O₅, a partir do qual tendeu à estabilização ou ligeira queda. Esse comportamento produtivo é um padrão clássico da resposta

das culturas aos nutrientes, conforme descrito por Novais *et al.* (2007) e Fageria (2014), e pode ser explicado por mecanismos fisiológicos intrínsecos à planta.

Inicialmente, o aumento da disponibilidade de P e K estimula a diferenciação floral e a formação de estruturas reprodutivas. O fósforo é crucial para a formação de sementes e o desenvolvimento radicular, enquanto o potássio é vital para a ativação de enzimas e a síntese proteica que suportam o crescimento das espigas. No entanto, a partir de um determinado nível, outros fatores se tornam limitantes ao crescimento, como a capacidade genética da cultivar, ou o excesso de sais no solo, o que pode aumentar a pressão osmótica e dificultar a absorção de água e nutrientes, limitando a capacidade da planta de formar mais espigas. Desta forma, a combinação de doses intermediárias representou o ponto de máxima eficiência de uso do nutriente para a formação de espigas, sob as condições do presente estudo.

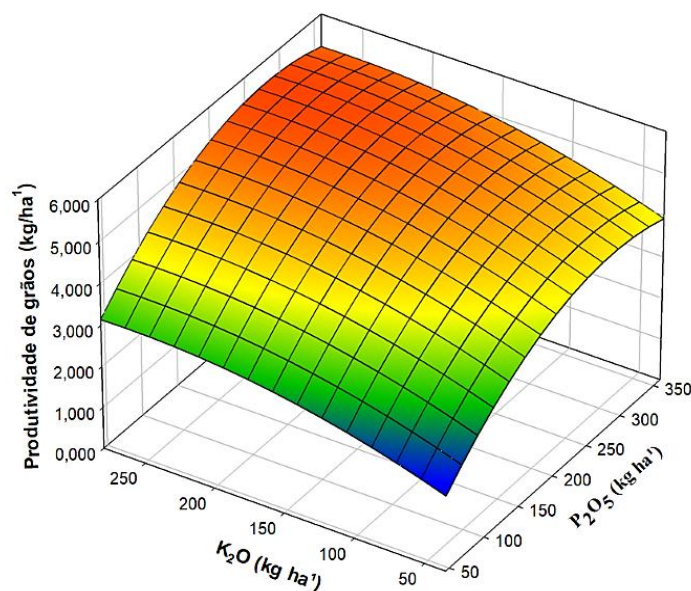
Os resultados do teste de Tukey confirmaram que a combinação P = 180 kg/ha¹ e K₂O = 70 kg/ha¹ (ou vice-versa, com média de 1,6) foi significativamente superior na promoção de espigas, validando a faixa de doses ótimas revelada pelo modelo de superfície de resposta.

Quanto à produtividade (Figura 10), observou-se influência significativa das doses de P e K, bem como da interação entre esses nutrientes, como mostra a Tabela 2.

Figura 10 – Produtividade de grãos kg/ha submetidos a adubação potássica e fosfatada em solos de cerrado amapaense, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

$$f = 1,52292 + 0,0232231 * x + 0,0132725 * y - 4,09863e-005 * x^2 - 2,52633e-005 * y^2$$

$$R^2 = 0,73$$



Fonte: Autor (2024).

A produtividade de grãos é uma característica complexa, e os resultados obtidos neste experimento evidenciaram claramente que o manejo da adubação deve ser otimizado através da avaliação conjunta dos nutrientes. A superfície de resposta modelada ($R^2 = 0,73$) sintetizou esse achado, demonstrando uma clara combinação: a máxima produtividade só foi atingida quando ambos os nutrientes estavam em suas doses mais elevadas. Visualmente, a região de pico de produtividade acima de 5.000 kg/ha¹ no gráfico de superfície corresponde ao ponto onde as doses de P e K se aproximam dos limites superiores testados, reforçando a necessidade de altas disponibilidades de ambos os íons para a cultura expressar seu máximo potencial produtivo (Crusciol *et al.*, 2022). A nutrição mineral da cultura do milho é fundamental, sendo P e K, os dois dos macronutrientes mais requeridos (Coelho, 2006). O Potássio, em particular, é o cátion mais abundante na planta e está ligado à regulação osmótica, ativação de enzimas e enchimento de grãos (Argandona *et al.*, 2024), com sua máxima taxa de absorção ocorrendo frequentemente na fase vegetativa inicial. Já o P atuando como a "moeda energética" da planta, é crucial para o desenvolvimento do sistema radicular e a transferência de energia, embora seja requerido em quantidades menores que o N e K, suas doses recomendadas são elevadas devido à sua baixa eficiência de aproveitamento e alta fixação no solo, especialmente em solos tropicais (Malavolta *et al.*, 1997; Büll, 2020)

O desdobramento da interação pelo Teste de Tukey detalhou essa ação conjunta ao se avaliar o efeito das doses de P em cada nível de K, observou-se que as doses de 180 e 360, foram consistentemente as melhores. No entanto, o melhor desempenho numérico de 180 dentro do nível mais alto de K 280 sugere que, embora a cultura responda positivamente a dose 360, a dose de 180 é a mais eficiente em termos de uso do nutriente, atingindo o topo da produtividade sem a necessidade da dose máxima.

De forma recíproca, a análise das doses de K em diferentes níveis de P mostrou que a resposta à adubação potássica era diretamente dependente da dose de P aplicada. Quando o P estava limitado a 45, a variação do K não gerou um ganho significativo, indicando que o P era o fator restritivo primário, este fenômeno é conhecido como Lei do Mínimo de Liebig, onde o nutriente em menor disponibilidade, neste caso o P, limita o potencial de produtividade da cultura, independentemente do suprimento dos demais nutrientes (Souza *et al.*, 2012) Contudo, ao fornecer o P adequado 180 e 360, a Dose de 280 se destacou de forma clara e estatisticamente superior às doses mais baixas, estabelecendo-se como a condição ideal de K para maximizar a produtividade na ausência de limitações fosfatadas.

Em síntese, os resultados sugerem que a estratégia de manejo mais eficiente e produtiva para esta cultura é a aplicação combinada de 180 kg/ha¹ de P₂O₅, com 280 kg/ha¹ de K₂O. Esta

combinação maximiza a produtividade, atingindo 5,7 t/ha e otimizando o insumo fosfatado, garantindo que nenhum dos nutrientes atue como fator limitante para a expressão do potencial genético da cultura.

CONCLUSÃO

- O fósforo é o nutriente mais limitante, exigindo altas doses para superar a fixação do solo e viabilizar a produção de milho no cerrado amapaense.
- A maior produtividade é alcançada com a dose combinada de P-180 e K-280.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. N.; ALVES, E. S.; MOCHIUTTI, S. **Solos do Amapá e Roraima**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1992. 24 p.
- ANDA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico de 2021**. São Paulo: ANDA, 2021. Disponível em: <https://anda.org.br/estatisticas/.br>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- ANDREOTI, M. V. *et al.* Comportamento do potássio em diferentes classes de solo cultivado com milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 307-317, 2001.
- ARAÚJO, G. A. *et al.* Calagem e adubação para o cultivo de milho em solos ácidos do Cerrado Amazônico. **Revista Agropecuária Técnica (RAT)**, Areia, v. 35, n. 1, p. 1-13, 2014.
- ARGANDONA, R. *et al.* Papel do Potássio na regulação osmótica e no enchimento de grãos em plantas de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 28, n. 4, p. 110-118, 2024.
- BANDEIRA, G. S. O bioma Cerrado: características e importância. **Revista Brasileira de Geografia**, 2018.
- BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 398 p.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **AgroEstat: Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: UNESP, 2009.
- BASTOS, T. R. *et al.* **A cultura do milho na Amazônia Oriental**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 18 p. (Comunicado Técnico, 240).
- BENDER, P. C. Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na cultura do milho no cerrado do Piauí. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.
- BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa); CRAVO, M. S.; VIEGAS, I. J. M. (Eds.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2020.
- BÜLL, L. T. **Nutrição e Adubação do Milho**. Botucatu: FEPAF, 2020.
- CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.
- COELHO, A. M. Potássio na cultura do milho. **Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**, 2006. 10 p. (Circular Técnica, 78).

COELHO, A. M. A cultura do milho e o potássio. **Sete Lagoas**: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 10 p. (Circular Técnica, 151).

COELHO, A. M. Doses de potássio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 55-63, 1995.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2018/19**. Brasília: CONAB, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos.br>. Acesso em: 12 nov. 2025.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Quarto levantamento**. Brasília: CONAB, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos.br>. Acesso em: 12 nov. 2025.

CONTINI, E. *et al.* **A produção de milho no Brasil: desafios e oportunidades**. Brasília: Embrapa, 2019. (Boletim Técnico, 248).

CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Manejo de fósforo e potássio para máxima produtividade de milho em sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 52, e20210211, 2022.

ECOTUMUCUMAQUE. **Zoneamento ecológico-econômico do Amapá**. Macapá: Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA), 2010.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agropensa/cultivo-do-milho.br>. Acesso em: 18 nov. 2025.

FAGERIA, N. K. **Nutrient interaction in crop plants**. New York: CRC Press, 2014.

FALCÃO, M. P. G. *et al.* Atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 44, 2020.

FRANÇA, G. E. **Uso eficiente do fósforo em solos de Cerrado**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Circular Técnica, 258).

GAMBOA, J. L. F. Interação de nutrientes no crescimento de plantas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 6, n. 66, p. 3-8, 1980.

GIANNINI, G. S. *et al.* Interação da adubação nitrogenada e potássica em diferentes épocas de aplicação na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1198-1207, 2012.

HAVLIN, J. L. *et al.* **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 9th ed. Long Grove: Waveland Press, 2021.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere and non-rhizosphere soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 237, n. 2, p. 173-195, 2001.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

JONAS, A. M. *et al.* Doses de fósforo e potássio no cultivo de milho em condições de várzea no Amapá. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 47, e0220108, 2023.

KARLEN, D. L. *et al.* Fertilizer efficiency in grain production systems. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 1, n. 2, p. 147-154, 1987.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **O Cerrado e seus solos: o que a pesquisa diz sobre o seu uso e manejo**. 4. ed. Piracicaba: Potafos, 2016.

LOPES, S. A. *et al.* Caracterização, manejo e uso dos solos da região nordeste do Amapá. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 4, p. 488-494, 2017.

LÓPEZ, A. T. *et al.* Respostas da cultura do milho à aplicação de fósforo em solos de baixa fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 325-333, 2000.

LOZADA, F. P. M. *et al.* **Fisiologia da produção de milho**. Santa Maria: UFSM, 1999.

MAGALHÃES, P. C. *et al.* **Fisiologia da produção de milho em condições de estresse**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 16 p. (Circular Técnica, 80).

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E. *et al.* **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Dados do comércio exterior de fertilizantes em 2021**. Brasília: MAPA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/2022/mapa-lanca-painel-de-comercio-exterior-no-observatorio-da-agropecuaria-brasileira>. Acesso em: 15 nov. 2025.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. Amsterdam: Academic Press, 2012.

MAROUELLI, W. A. **Clima e produção de milho no Cerrado**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. (Circular Técnica, 38).

MELÉM JÚNIOR, F. M. *et al.* Caracterização dos solos e aptidão agrícola da região de Cerrado do Amapá. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1109-1118, 2008.

MELÉM JÚNIOR, N. J.; FARIAS NETO, J. T. D.; YOKOMIZO, G. K. I. **Caracterização dos cerrados do Amapá**. Macapá: Embrapa Amapá, 2003. (Comunicado Técnico, 105).

- MELO, D. N. *et al.* **Manejo da nutrição do milho para alta produtividade**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2024.
- MIRANDA, R. G. **O milho na economia e na alimentação**. Brasília: Embrapa, 2018.
- NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- OLIVEIRA, L. R. *et al.* Degradação de Latossolos no Cerrado Amapaense sob uso e manejo inadequado. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 52, n. 1, e20207435, 2021.
- PEREIRA, H. S. *et al.* Adubação com N, P e K em plantio direto e convencional de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 8, p. 959-967, 2013.
- PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; ZUFFO, A. M.; MONTEIRO, M. M. S.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. **Doses e épocas de aplicação de potássio no desempenho agrônomo do milho no cerrado piauiense**. *Comunicata Scientiae*, Bom Jesus, v. 7, n. 3, p. 355-364, 2016.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: Potafos, 1991.
- RAIJ, B. van *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.
- REZENDE, G. M. *et al.* Estádio de desenvolvimento da cultura do milho em diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 301-308, 2004.
- RODRIGUES, L. A. *et al.* Efeito de doses de cloreto de potássio e sulfato de potássio na produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 135-143, 2014.
- RODRIGUES, T. E. *et al.* **Solos do Estado do Amapá: caracterização e manejo**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 104 p.
- SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018.
- SERAFIM, M. E. *et al.* Qualidade do milho em função da aplicação de potássio e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1208-1216, 2012.
- SOUSA, P. R. de *et al.* Adubação fosfatada na cultura do milho no Cerrado. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 6, p. 770-776, 2016.
- SOUZA, A. L. de *et al.* Lei do Mínimo de Liebig e o manejo da fertilidade do solo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 450-460, 2012.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TOLEDO, P. E. N. F.; FILHO, E. P. Efeito da população e da adubação sobre a produtividade do milho. **Bragantia**, Campinas, v. 36, n. 1, p. 157-164, 1977.

VALDERRAMA, M. *et al.* Exportação de nutrientes por híbridos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2011-2020, 2011.

VALENTE, J. E.; CAMPOS, J. B.; WATRIN, O. S. O. Dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra no cerrado do Amapá: subsídios para o planejamento ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 3, p. 556-574, 2015.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

YOKOMIZO, G. K. **Potencialidades e limitações da atividade agrícola no município de Macapá-AP**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

YOKOMIZO, G. K. *et al.* A expansão da fronteira agrícola no Amapá: impactos socioeconômicos e ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 5, p. 1489-1502, 2016.