

Produção de milho em função do manejo do solo e adubação fosfatada no Vale do Juruá (AC)

Jozângelo Fernandes da Cruz ⁽¹⁾,
Renato Epifânio de Souza ⁽²⁾,
Albejamere Pereira de Castro ⁽³⁾ e
Romário Lima de Souza ⁽⁴⁾

Data de submissão: 8/5/2023. Data de aprovação: 20/9/2023.

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico de milho variedade em dois sistemas de manejo do solo e níveis de adubação fosfatada em um Latossolo Amarelo distrófico típico (textura arenosa) no município de Mâncio Lima (AC). O trabalho foi realizado no município mencionado, numa área de Latossolo Amarelo distrófico típico (textura arenosa) em estágio de degradação agrícola. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos na parcela consistiram em dois sistemas de manejo do solo: cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM). Os tratamentos na subparcela consistiram em quatro níveis de adubação fosfatada: Tratamento 1 (P1) = 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Tratamento 2 (P2) = 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Tratamento 3 (P3) = 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Tratamento 4 (P4) = 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Foram avaliadas variáveis morfológicas e de produção. Os dados observados foram submetidos ao teste F (p<0,05). Para os tratamentos qualitativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05), e para os tratamentos quantitativos foi realizada análise de regressão. O manejo do solo influencia a produção de matéria seca, o diâmetro do colmo e a altura de inserção da espiga, que são maiores no sistema de manejo convencional. Nas condições edafoclimáticas em que este trabalho foi desenvolvido, a produtividade de grãos aumentou linearmente em função da adubação fosfatada até a dose de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, independentemente do sistema de manejo do solo.

Palavras-chave: Cultivo convencional. Cultivo mínimo. Fósforo. Produtividade. *Zea mays*.

Corn production as a function of soil management and phosphorus fertilization in Vale do Juruá (AC)

Abstract – The objective of this work was to evaluate the agronomic performance of corn variety in two soil management systems and phosphate fertilization levels in a typical dystrophic Yellow Oxisol (sandy texture) in the municipality of Mâncio Lima, Acre. The work was carried out in the mentioned municipality, in an area of typical dystrophic Yellow Oxisol (sandy texture) in a stage of agricultural degradation. The experimental design adopted was randomized blocks in a split-plot scheme, with four replications. The treatments on the plot consisted of two soil management systems: conventional cultivation (CC) and minimum cultivation (CM). The treatments in the subplot consisted of four levels of phosphate fertilizer: Treatment 1 (P1) = 40 kg ha⁻¹ of P₂O₅; Treatment 2 (P2) = 80 kg ha⁻¹ of P₂O₅; Treatment 3 (P3) = 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅; Treatment 4 (P4) = 160 kg ha⁻¹ of P₂O₅. Morphological and production

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas - UFAM. *jozangelo.cruz@ifac.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8116-520X>.

² Professor doutor na área de ciências agrárias e ambientais do *Campus* Cruzeiro do Sul, do Instituto Federal do Acre - IFAC. renato.souza@ifac.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8799-0355>.

³ Professora doutora do Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas - UFAM. *albejamere@ufam.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4850-8463>.

⁴ Graduando do curso de Agroecologia do *Campus* Cruzeiro do Sul, do Instituto Federal do Acre - IFAC. *b.araujo1107@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1433-5605>.

variables were evaluated. The observed data were subjected to the F test ($p < 0.05$). For qualitative treatments, the means were compared using the Tukey test ($p < 0.05$) and for quantitative treatments, regression analysis was performed. Soil management influences dry matter production, stem diameter and ear insertion height, which are greater in the conventional management system. Under the soil and climate conditions in which this work was developed, grain productivity increased linearly as a result of phosphate fertilization up to a dose of 160 kg ha^{-1} of P_2O_5 , regardless of the soil management system.

Keywords: Conventional tillage. Minimum tillage. Phosphor. Productivity. *Zea mays*.

Introdução

No ranking mundial, o Brasil é o terceiro maior produtor e o quarto maior consumidor de milho (FIESP, 2023). No ano de 2021, foram colhidos cerca 19 milhões de hectares, obtendo-se uma produção de grãos de aproximadamente 88,46 milhões de toneladas, produtividade média equivalente a 4.650 kg ha^{-1} . No mesmo ano, a produção de grãos no estado do Acre foi de apenas 105.885 t, o que representa apenas 0,0012% da produção nacional, com produtividade também inferior, de 3.105 kg ha^{-1} (IBGE, 2023).

A baixa produtividade obtida no Acre, assim como em outros estados da região Norte, é inferior à média nacional devido, principalmente, ao baixo investimento de capital praticado pelos agricultores familiares, que detêm a maior área de cultivo distribuída em pequenas propriedades rurais. Outro aspecto importante que limita o cultivo tecnificado no estado é a aptidão agrícola dos solos. No Acre, os solos com melhor aptidão agrícola são os Latossolos, que representam apenas 3,15% da área total do estado. Esses solos possuem características físicas que propiciam o uso de mecanização, no entanto as principais classes ocorrentes no Acre são quimicamente pobres, com acidez elevada, teor de alumínio alto e baixa saturação por bases, podendo estar associados a Espodossolos, que, além do caráter distrófico, apresentam textura arenosa (Acre, 2010; Queiroz *et al.*, 2015).

Os Latossolos encontrados no Oeste da Amazônia se caracterizam pelo alto grau de intemperismo, com predominância de mineralogia 1:1 e óxidos hidratados de ferro e alumínio. Essas características aumentam o potencial de adsorção de fósforo nesses solos, o que resulta em um baixo teor de fósforo disponível para as plantas, tornando esse elemento um dos principais limitadores da produtividade da cultura do milho (Embrapa, 2013; Raij, 2010; Vieira *et al.*, 2021).

A prática de adubação fosfatada considera múltiplos fatores, como o nível tecnológico adotado, a produtividade esperada, a textura do solo e os teores de fósforo disponível e remanescente. No entanto, só é possível estimar a dose de adubação fosfatada para uma determinada cultura quando essas informações estão disponíveis em trabalhos acadêmicos, artigos científicos e documentos técnicos. Quando essas informações não estão disponíveis, via de regra, as adubações fosfatadas nos solos tropicais são feitas em grandes quantidades, devido sua baixa eficiência. Essa prática implica em outros problemas nos sistemas de produção, como a elevação dos custos e a eutrofização dos ambientes (Bera *et al.*, 2018).

O manejo do solo e da adubação nitrogenada é outro fator que afeta a disponibilidade de fósforo para as plantas. Estudando as taxas e formas de absorção de fósforo pelo milho, Silva *et al.* (2011) verificaram que a dose nitrogenada e o tipo de plantas de cobertura afetam a absorção desse elemento, de modo que o P absorvido pelas plantas na forma orgânica (P orgânico), através dos resíduos das plantas de cobertura, pode chegar a até 13,12% do total fornecido na forma mineral, variando em função da espécie de adubo verde. Nesse estudo, a adubação nitrogenada melhorou a eficiência de absorção de P em até duas vezes em relação ao tratamento controle. Carvalho *et al.* (2014) também verificaram que a forma de manejo do solo influencia a forma e a disponibilidade de fósforo, de modo que a fração orgânica, fornecida

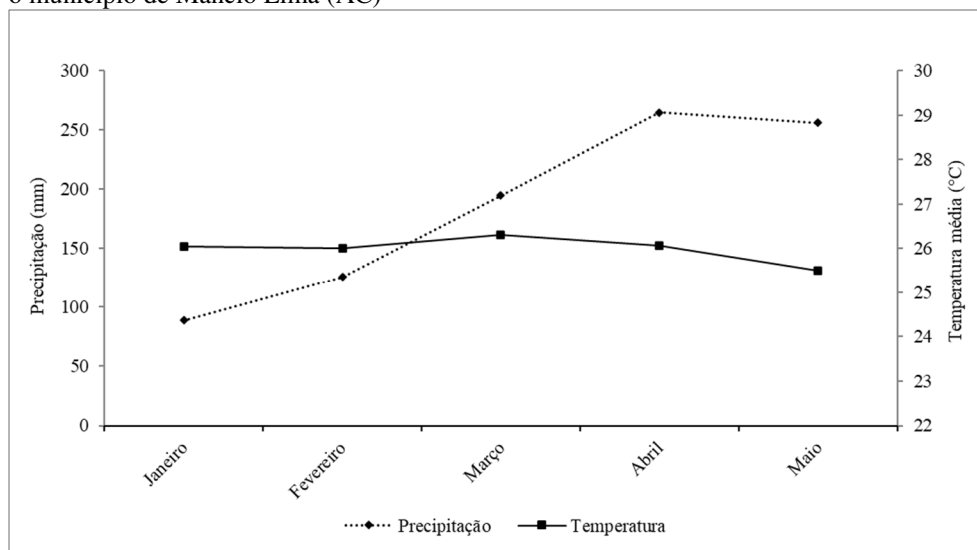
pelos resíduos das plantas de cobertura, pode representar até 70% do P lábil nas estações mais secas sob plantio direto, em comparação com a fonte mineral.

Os ensaios de campo visando ajustar a melhor adubação em diferentes condições edafoclimáticas são fundamentais para o bom manejo nutricional das culturas. Esses trabalhos, aliados ao conhecimento produzido sobre a dinâmica de absorção e disponibilidade de fósforo no solo, permitem a melhor gestão da adubação através da aplicação da fonte certa, na dose certa, no lugar certo e na época certa (Casarin; Stipp, 2013; Grant; Flaten, 2019). Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo de milho em dois sistemas de manejo do solo e níveis de adubação fosfatada numa área de Latossolo Amarelo distrófico típico (textura arenosa) no município de Mâncio Lima (AC).

Materiais e métodos

O trabalho foi realizado numa propriedade rural situada no Ramal do Banho, Km 6, no município de Mâncio Lima (AC), sob as coordenadas geográficas 7°36'56"S e 72°57'06"W. O clima regional é do tipo Af (classificação Köppen), quente e úmido, com temperatura média anual em torno de 24,5 °C, umidade relativa do ar de 84% e precipitação de 1.700 a 2.400 mm (Acre, 2010). No Gráfico 1 estão apresentados os dados para temperatura média e precipitação mensal acumulada no período de janeiro a maio de 2018.

Gráfico 1 – Precipitação mensal acumulada e temperatura média do ar, no período de janeiro a maio de 2018, para o município de Mâncio Lima (AC)

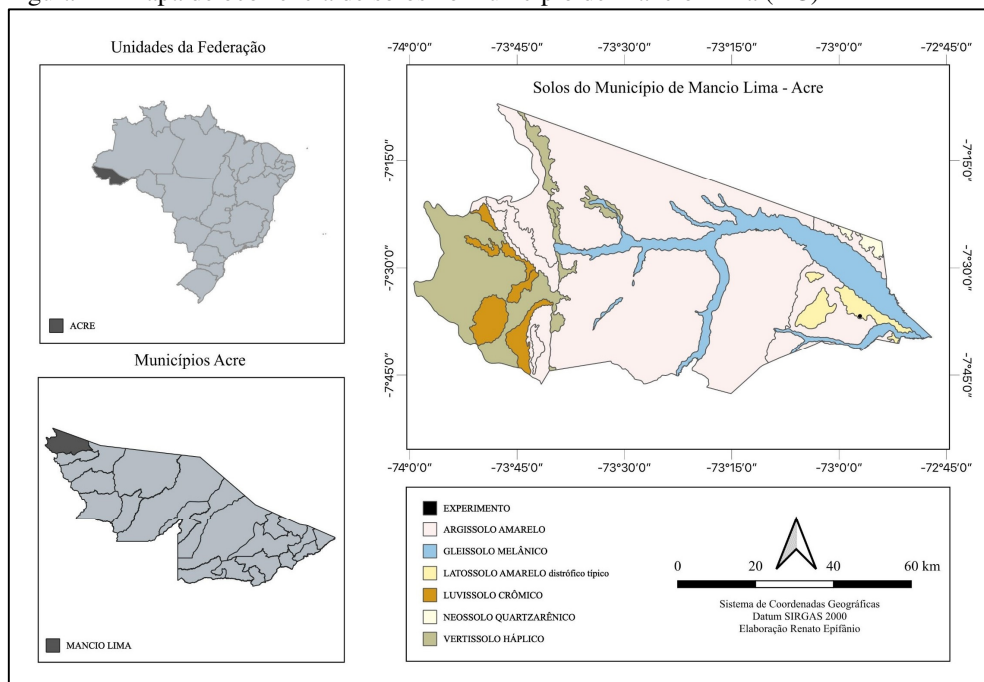


Fonte: Agritempo (2020)

O experimento foi implantado numa área de pasto degradado de capim Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu), com ocorrência frequente de uma espécie de samambaia, regionalmente conhecida como pluma (*Pteridium aquilinum*). O solo do local do experimento é classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico (textura arenosa) (Acre, 2010). A Figura 1 indica a localização geográfica da área do experimento e as possíveis classes de solos que ocorrem no município de Mâncio Lima (AC).

A análise do solo na camada de 0-20 cm antes do revolvimento do solo apresentou os seguintes resultados: pH (H₂O) = 4,6; Ca²⁺ = 0,4 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 0,23 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 0,06 cmol_c dm⁻³; H + Al = 3,65 cmol_c dm⁻³; P = 1,25 mg dm⁻³; CTC = 4,34 cmol_c dm⁻³; V% = 15,9%. A análise granulométrica apresentou os seguintes resultados: areia = 824 g kg⁻¹; argila = 52 g kg⁻¹; e silte = 124 g kg⁻¹, o que caracteriza textura arenosa. Possivelmente, a mancha de solo no local do experimento é um solo em transição de Latossolo para Espodosolo, o que explica sua textura.

Figura 1 – Mapa de ocorrência de solos no município de Mâncio Lima (AC)



Fonte: Acre (2010)

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por uma área de cultivo de 20 m², com dimensão de 4 x 5 m. A variedade de milho cultivada foi a AL Bandeirante.

O tratamento na parcela consistiu em dois sistemas de manejo do solo: sistema de cultivo convencional (CC) e sistema de cultivo mínimo (CM). Os tratamentos na subparcela consistiram em quatro diferentes doses de adubação fosfatada, sendo assim distribuídas: Tratamento 1 (P1) = 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Tratamento 2 (P2) = 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Tratamento 3 (P3) = 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅; Tratamento 4 (P4) = 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A escolha das doses de adubação fosfatada levou em consideração a recomendação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para adubação de plantio do milho em solo de baixo teor de fósforo disponível e para uma produtividade esperada de 4.000 a 6.000 kg ha⁻¹ (Wadt, 2005).

O preparo da área foi realizado em novembro de 2017, revolvendo-se o solo com grade aradora. Na mesma operação, foi realizada a calagem do solo na área total do experimento. A necessidade de calagem foi calculada pelo método da elevação de saturação por bases, considerando a saturação por bases desejada de 60%, conforme equação 1, recomendado por Wadt (2002). Para calagem foi utilizado calcário dolomítico com PRNT de 85%, numa quantidade de 2,25 t ha⁻¹, suficiente para atender a necessidade de calagem calculada a partir da Equação 1.

Equação 1 – Equação para cálculo da necessidade de calagem pelo método da elevação de saturação por bases

$$NC = CTC_{pH7} \frac{V_d - V_a}{100}$$

Em que: NC = necessidade de calagem para cultura (em t ha⁻¹) para uma incorporação a 20 cm de profundidade e calcário de PRNT = 100%; CTC_{pH7} = capacidade de troca catiônica do solo calculada pela soma dos teores de K, Ca, Mg e Al+H (em cmol_c dm⁻³); V_d = saturação de bases desejada no solo, de acordo com a cultura agrícola e tipo de solo; V_a = saturação de bases atual no solo. Fonte: Wadt (2002).

Em janeiro de 2018, a vegetação foi dessecada com glifosato na dose de 1,11 L ha⁻¹ do princípio ativo, adotando-se um volume de 200 L ha⁻¹ de calda. A aplicação foi manual com bomba costal. Na área de cultivo mínimo, a vegetação foi incorporada com cultivador mecanizado do tipo enxada rotativa na profundidade aproximada de 10 cm. Na área de cultivo convencional foi realizada uma nova gradagem na profundidade de 20 cm.

A semeadura foi realizada em janeiro de 2018, com uma semeadora adubadora manual regulada, para colocar 2 a 3 sementes por cova e a quantidade de adubo de acordo com o tratamento. O espaçamento adotado foi de 0,9 m entre linhas, com 6 plantas por metro linear, para um estande de 66.667 plantas ha⁻¹.

A adubação de plantio com N e K para todos os tratamentos seguiu a recomendação de Wadt (2005), com 20 kg ha⁻¹ de N, utilizando-se a ureia (45% de N) e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se cloreto de potássio (60% de K₂O). A adubação fosfatada dos tratamentos na subparcela foi feita com o adubo superfosfato triplo, com 45% de P₂O₅.

Aos 15 dias após a semeadura foi realizado o desbaste de plantas quando a cultura estava no estágio de três a quatro folhas expandidas (V₃/V₄). A adubação de cobertura foi realizada 30 dias após a emergência, nas doses de 80 kg ha⁻¹ de N (ureia) e 50 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio), quando as plantas apresentavam seis a sete folhas desenvolvidas.

As variáveis foram mesuradas somente na ocasião da colheita, que ocorreu no mês de maio de 2018, 120 dias após a semeadura. Foram analisados dados sobre a morfologia: altura da planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE) e diâmetro do colmo (DC); e agrônômicos: massa da matéria seca da parte aérea (MMS), índice de espiga (IE), número de grãos por espiga (NGE), diâmetro médio da espiga (DE), comprimento da espiga (CE), peso médio do grão (PMG) e produtividade de grãos (PROD) com umidade corrigida para 13%. Foram amostradas as duas linhas centrais de cada parcela, excluindo-se 1 m de borda de cada lado na linha de plantio, obtendo-se uma área útil de 6,4 m². Para correção da umidade de grãos, foi considerada a Equação 2:

Equação 2 – Equação para correção da umidade de grãos em função da massa, umidade inicial e final

$$Pf = Mtg \frac{(100 - Ui)}{(100 - Uf)}$$

Em que: Pf=Peso final dos grãos para a umidade requerida (peso corrigido); Mtg=Massa total de grãos em peso; Ui=Umidade inicial por ocasião da pesagem; Uf=Umidade final requerida para correção. Fonte: Adaptada de Mantovani *et al.* (2015).

As variáveis AP e AIE foram obtidas a partir do nível do solo até a inserção da última folha e da primeira espiga, respectivamente, utilizando-se uma régua graduada. O DC foi medido no segundo internódio a partir da base da planta, com uso de paquímetro digital (0,1 mm).

Para as variáveis AP, AIE e DC, foram avaliadas todas as plantas da área útil da parcela. As variáveis agrônômicas IE, CE, DE, NGE, PMG e MMS foram obtidas a partir da média de 10 plantas de cada parcela. Para o cálculo do PMG, foi coletada ao acaso uma subamostra de 1.000 grãos. O índice de espiga (IE) foi obtido a partir da razão entre número de espigas comerciais e número de plantas amostradas.

A massa da matéria seca da parte aérea foi obtida pela soma da matéria seca da planta (colmo + folhas), matéria seca da palha da espiga e matéria seca do sabugo. Todo o material foi seco em estufa com temperatura de 60 °C, até massa constante, para obtenção da massa da matéria seca.

Os dados coletados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$), para verificação da normalidade dos resíduos, e teste de Bartlett ($p < 0,05$), para verificação da homogeneidade

das variâncias. A análise de variância foi realizada pelo teste F ($p < 0,05$). Para os tratamentos na parcela, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Para os tratamentos na subparcela, os dados foram submetidos à análise de regressão polinomial.

Resultados e discussões

O manejo do solo influenciou as características morfológicas diâmetro do colmo, altura de inserção da espiga e massa da matéria seca. Os níveis de adubação fosfatada não alteraram as características morfológicas analisadas, mas houve interação entre os tratamentos para altura da planta e altura de inserção da espiga (Tabela 1).

Tabela 1 – Quadrados médios para as características morfológicas de milho da variedade AL Bandeirante cultivado com diferentes doses de P_2O_5 em Latossolo Amarelo distrófico típico (textura arenosa) no município de Mâncio Lima (AC)

Quadrados médios						
Fontes de Variação	AP (cm)	DC (mm)	MMS (kg ha ⁻¹)	AIE (cm)	CE (mm)	DE (mm)
Manejo	170,98 ^{ns}	8,44 [*]	2378167,86 [*]	170,20 [*]	192,20 ^{ns}	22,95 ^{ns}
Bloco	114,74 ^{ns}	0,27 ^{ns}	505782,55 ^{ns}	23,35 ^{ns}	75,75 ^{ns}	2,79 ^{ns}
Adubação	29,97 ^{ns}	0,37 ^{ns}	96417,79 ^{ns}	47,95 ^{ns}	188,13 ^{ns}	12,38 ^{ns}
Manejo x Adubação	173,29 [*]	0,32 ^{ns}	353323,90 ^{ns}	116,38 ^{**}	101,46 ^{ns}	0,93 ^{ns}
Média Geral	139,40	10,02	4.006,89	68,59	107,62	37,80
CV _{Manejo} (%)	3,22	5,09	9,87	2,36	5,91	6,91
CV _{Adubação} (%)	4,63	5,07	16,91	6,97	8,84	8,48

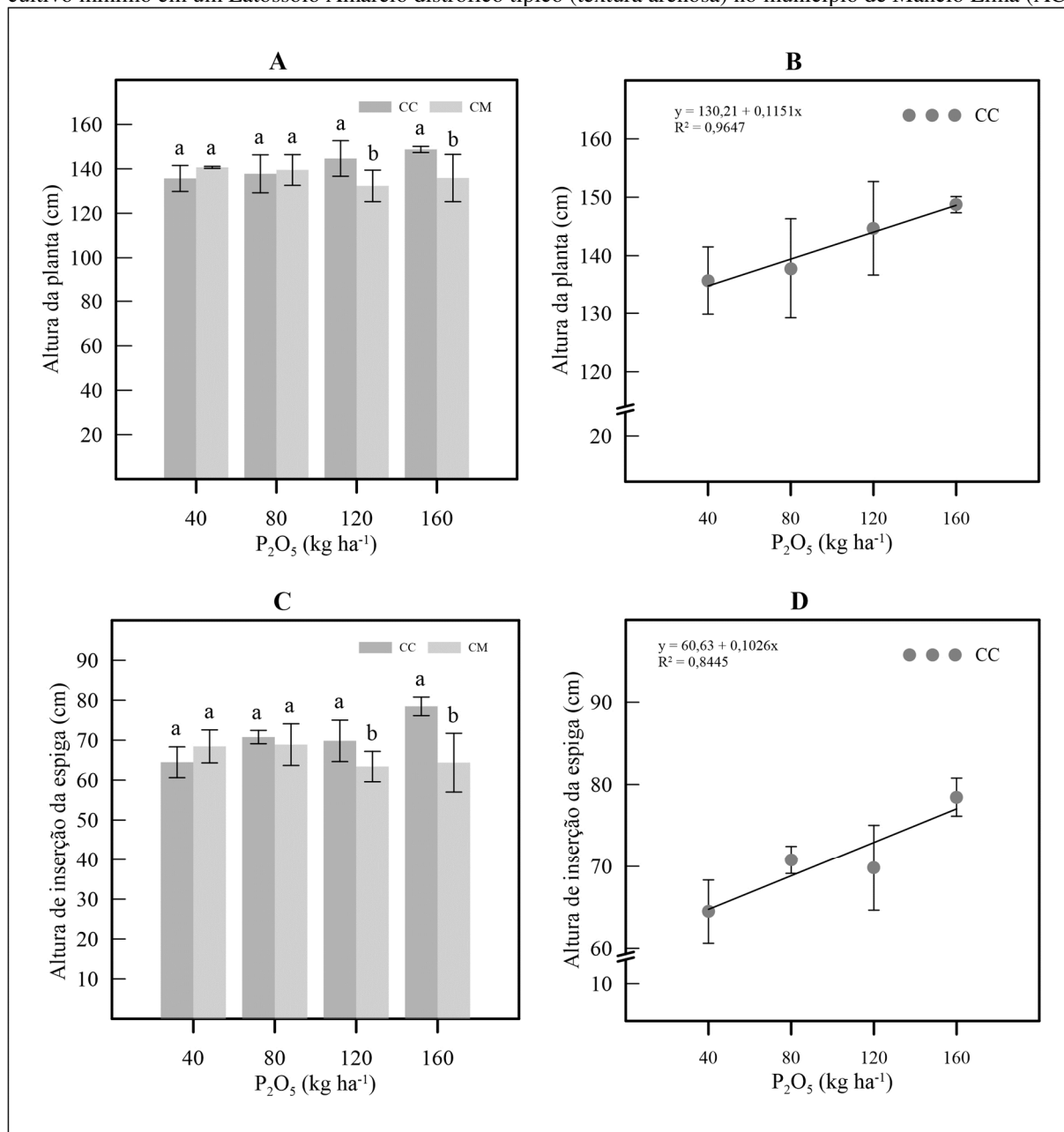
*Significativo ($p < 0,05$); **significativo ($p < 0,01$); ^{ns}não significativo pelo teste F. CV=coeficiente de variação; AP=altura da planta; DC=diâmetro do colmo; MMS=massa da matéria seca da parte aérea; AIE=altura da inserção da espiga; CE=comprimento da espiga; DE=diâmetro da espiga.

Fonte: Autores (2023).

Os desdobramentos para as interações entre manejo do solo e doses de fósforo para altura da planta e inserção da espiga podem ser observados no Gráfico 2. As maiores altura de plantas foram observadas dentro do manejo convencional do solo nas doses de 120 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (AP=144,68 cm) e 160 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (AP=148,73 cm) (Gráfico 2-A). A adubação fosfatada teve efeito apenas dentro do manejo convencional, apresentando tendência linear, podendo ser estimada pela equação $y=130,21+0,1151x$, $R^2=0,9647$ (Gráfico 2-B). Pedersen *et al.* (2022), trabalhando com adubação fosfatada e nitrogenada na cultura do milho num solo franco-arenoso na Dinamarca, observaram que doses subótimas de fósforo nos estádios iniciais da cultura do milho adiam o crescimento em altura e reduzem o rendimento final, enquanto o suprimento adequado de P permite um desenvolvimento inicial mais rápido e aumenta o potencial de absorção de nutrientes e água, resultando em melhores produtividades.

A altura da inserção da primeira espiga seguiu a mesma tendência observada para a altura da planta. As maiores AIE foram observadas nas adubações de 120 e 160 kg ha⁻¹ de P_2O_5 dentro do sistema de manejo convencional, com médias de 69,84 cm e 78,46 cm, respectivamente (Gráfico 2-C). As doses de P_2O_5 aplicadas na ocasião da semeadura influenciaram a AIE somente dentro do manejo convencional, seguindo tendência linear, expressa pela equação $y=60,63+0,1026x$, $R^2=0,8445$ (Gráfico 2-D). Essa tendência também foi observada por Santos *et al.* (2021), que observaram maiores altura de planta e inserção de espiga nas maiores doses de P aplicadas e menores valores dessas variáveis para os tratamentos com adubação subótima de P.

Gráfico 2 – Altura da planta e inserção da espiga de milho em resposta a doses P_2O_5 em cultivo convencional e cultivo mínimo em um Latossolo Amarelo distrófico típico (textura arenosa) no município de Mâncio Lima (AC)



Médias seguidas de mesma letra dentro do nível de P_2O_5 não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CC = cultivo convencional. CM = cultivo mínimo.

Fonte: Autores (2023).

A média geral para AP (139 cm) e AIE (69 cm) observadas neste trabalho são inferiores aos padrões da variedade, que apresentam, em média, altura da planta de 230 cm e altura de inserção da espiga de 125 cm (CATI, 2023). Plantas mais baixas aliadas ao menor diâmetro do colmo resultam em menor produtividade de matéria seca da parte aérea (colmo e folhas) e, consequentemente, menor exportação de fotoassimilados para as estruturas reprodutivas, influenciando negativamente a produtividade de grãos (Magalhães; Souza, 2015; Peixoto; Cruz; Peixoto, 2011; Ramos *et al.*, 2020), além de reduzirem a resistência à quebra e ao tombamento das plantas, aumentando as perdas na colheita (Buso *et al.*, 2017).

A maior produção de matéria seca no sistema de cultivo convencional (Tabela 2) está relacionada, possivelmente, com as maiores médias observadas para diâmetro do colmo devido

ao efeito da adubação dentro do sistema de cultivo convencional. Alamnie Asrade *et al.* (2022) verificaram uma forte relação entre o aumento da produção de matéria seca da parte aérea de milho para silagem em função da adubação fosfatada e das fontes aplicadas em estudo de longa duração.

Tabela 2 – Efeito do manejo do solo cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) nas características morfológicas da variedade AL Bandeirante cultivado com diferentes doses de P_2O_5 em Latossolo Amarelo distrófico típico (textura arenosa) no município de Mâncio Lima (AC)

Manejo do solo	AP	DC	MMS	AIE	CE	DE
	(cm)	(mm)	(Kg ha ⁻¹)	(cm)	(mm)	(mm)
CC	141,72a	10,53a	4.279,50a	70,89a	109,13a	38,65a
CM	137,09a	9,51b	3.734,27b	66,28b	106,11a	36,95a
dms	5,045	0,57	445,06	1,82	7,16	2,94

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). dms=diferença mínima significativa ($p < 0,05$); AP=altura da planta; DC=diâmetro do colmo; MMS=massa da matéria seca da parte aérea; AIE=altura da inserção da espiga; CE=comprimento da espiga; DE=diâmetro da espiga.

Fonte: Autores (2023).

A menor produção de matéria seca das plantas sob cultivo mínimo observada neste trabalho pode estar relacionada à dinâmica de imobilização e mineralização de nutrientes. Em sistemas conservacionistas, como o cultivo mínimo, há uma tendência de imobilização, pela massa microbiana, dos minerais aplicados via adubação, além da mineralização mais lenta dos nutrientes presentes nos resíduos da cultura anterior (Vargas *et al.*, 2005). De acordo com Xu *et al.* (2020), cerca de 70 a 90% do P aplicado no solo via adubação é convertido em formas fixas, não lábeis, e, desse total, aproximadamente 50% é complexado em formas orgânicas, podendo eventualmente ser utilizado pelas plantas após o ciclo de mineralização (Suliman; Mühling, 2021).

Saldanha *et al.* (2017) verificaram uma tendência quadrática para a altura de plantas de milho em função da adubação fosfatada em solo com textura franco-arenosa sob cultivo convencional. Neste trabalho, os autores estimaram que a dose de fósforo necessária para se obter uma maior altura de planta (142 cm) é de 142,1 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Vários fatores podem influenciar a disponibilidade de fósforo para as plantas. Entre eles, a dose aplicada, a forma de aplicação, a textura do solo, a mineralogia da fração argila e o sistema de manejo do solo são os principais fatores que controlam a fração de fósforo que ficará disponível para absorção pelas plantas e a fração que ficará indisponível, adsorvida na fase sólida, formando compostos pouco solúveis (Casarin; Stipp, 2003; Kulhánek *et al.*, 2007; Lemos; Mello Prado, 2017; Resende *et al.*, 2006).

Os componentes de produção e a produtividade de grãos não foram afetados pelo manejo do solo, mas o rendimento de grãos foi influenciado pela adubação fosfatada, não havendo interação entre os tratamentos testados (Tabela 3).

Cruz *et al.* (2020), utilizando a mesma cultivar, nas mesmas condições edafoclimáticas, observaram médias de 194,94 grãos espiga⁻¹ e 231,43 mg para o número de grãos por espiga e peso do grão, respectivamente, valores semelhantes aos achados neste trabalho. No entanto, Castro *et al.* (2016), utilizando a adubação fosfatada para a variedade Bandeirante num Latossolo vermelho amarelo de textura argilosa, encontraram modelo de regressão quadrática para número de grãos, com máxima estimativa de 421 grãos espiga⁻¹ para a dose de 145 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e modelo linear para massa de grãos estimada em 386 mg para uma dose de 150 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Os baixos valores obtidos para NGE (197,62 grãos espiga⁻¹) e PMG (265,15 mg), aliados a um reduzido IE (0,76 espiga planta⁻¹), condicionaram as baixas produtividades de grãos obtidas para os dois sistemas de manejo do solo, com média geral de 2.672,99 kg ha⁻¹.

Tabela 3 – Quadrados médios para as características de produção de milho, variedade AL Bandeirante, cultivado em função do manejo do solo e níveis de adubação de P_2O_5 em Latossolo Amarelo distrófico típico (textura arenosa) no município de Mâncio Lima (AC)

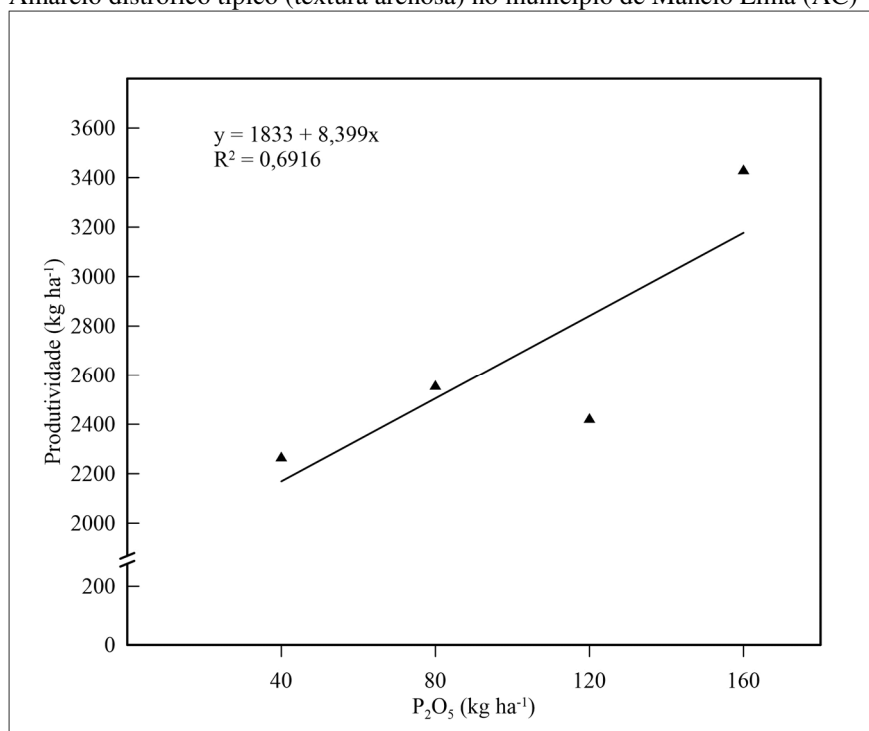
Quadrados médios				
FV	IE (espiga planta ⁻¹)	NGE (grãos espiga ⁻¹)	PMG (mg)	PROD (kg ha ⁻¹)
Manejo	0,005	6504,27 ^{ns}	235,50 ^{ns}	589426,53 ^{ns}
Bloco	0,039	46,48 ^{ns}	104,51 ^{ns}	6186,89 ^{ns}
Adubação	0,033	1444,90 ^{ns}	2912,20 ^{ns}	2176429,80*
Manejo x Adubação	0,017	988,23 ^{ns}	1807,92 ^{ns}	979930,39 ^{ns}
Média Geral	0,76	197,62	265,15	2.672,99
CV _{Manejo} (%)	15,7	14,98	17,57	14,71
CV _{Adubação} (%)	18,94	12,27	12,42	26,53

IE=índice de espiga; NGE=número de grãos por espiga; PMG=peso médio do grão; PROD = produtividade.

Fonte: Autores (2023).

De forma geral, a produtividade de grãos aumentou linearmente com a adubação fosfatada, independentemente do sistema de manejo do solo, obedecendo à equação $y = 1.833 + 8,399x$ ($R^2=0,6916$) (Gráfico 3). Para a máxima adubação testada neste trabalho (160 kg ha⁻¹ de P_2O_5), a produtividade estimada é de 3.177 kg ha⁻¹, ligeiramente superior à média geral para o estado do Acre (3.105 kg ha⁻¹), mas inferior à média nacional (4.650 kg ha⁻¹) para o ano agrícola de 2021.

Gráfico 3 – Produtividade de grãos de milho em resposta a dose P_2O_5 em cultivo convencional em um Latossolo Amarelo distrófico típico (textura arenosa) no município de Mâncio Lima (AC)



Fonte: Autores (2023).

Em condições edafoclimáticas similares, em Latossolo amarelo distrófico, com textura areno-argilosa e adubação fosfatada de 120 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , Silva *et al.* (2020) verificaram resultados próximos aos achados deste trabalho. Eles verificaram que, em monocultivo, a variedade AL Bandeirante apresentou as seguintes características: altura média de 151 cm;

altura média da espiga de 63 cm; produção de matéria seca de 3.604 kg ha⁻¹; peso médio do grão de 270 mg; e produtividade de 4.002 kg ha⁻¹. Esses resultados indicam que os solos de baixa fertilidade influenciam negativamente nas características morfológicas e nos componentes de produção da variedade, quando comparados com as médias descritas nas fichas técnicas da variedade e nos achados por outros autores.

É importante ressaltar que o solo em que foi realizado este experimento está localizado numa zona de transição de Latossolo para Espodosolo e apresenta textura arenosa e baixa saturação por bases. Com a operação de calagem, elevou-se a saturação por bases para 62%, no entanto o aumento na CTC potencial foi de apenas 0,5 cmol_c dm⁻³. Nessas condições, é possível que a adubação com macro e micronutrientes não tenha sido suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas, uma vez que não houve período de estresse hídrico durante o cultivo.

Entretanto, em condições de fertilidade natural, essas áreas têm baixa capacidade produtiva e, geralmente são abandonadas pelo produtor rural para o processo de regeneração natural, sendo consideradas áreas degradadas. A partir dos resultados deste trabalho, é possível afirmar que essas áreas podem ser cultivadas a partir do uso de tecnologias de produção, como o manejo adequado do solo, calagem e adubação. No longo prazo, a adoção de manejo conservacionista como cultivo mínimo e plantio direto pode recuperar a matéria orgânica desses solos e aumentar sua capacidade de retenção de nutrientes e água, proporcionando melhores rendimentos das culturas agrícolas (Craswell; Lefroy, 2001; Shokati; Ahangar, 2014).

Considerações finais

Para o primeiro ano de cultivo, o diâmetro do colmo, a altura de inserção da espiga e a produção de matéria seca das plantas são maiores no sistema de manejo convencional em comparação ao cultivo mínimo.

A interação entre adubação e sistema de manejo do solo para as características altura da planta e altura de inserção da espiga indica que as plantas crescem mais em altura no sistema de manejo convencional quando se consideram as maiores adubações fosfatadas.

A produtividade de grãos de milho aumenta linearmente em função da adubação fosfatada até a dose de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, não sendo influenciada pelos sistemas de manejo do solo testados.

Referências

ACRE. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000)**: Documento Síntese. 2. ed. Rio Branco: SEMA, 2010.

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2020. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/sobre.jsp>. Acesso em: 20 mar. 2020.

ALAMNIE ASRADE, D. *et al.* Effects of long-term mineral fertilization on silage maize monoculture yield, phosphorus uptake and its dynamic in soil. **Field Crops Research**, [s. l.], v. 280, 2022.

BERA, T. *et al.* Identification of a maize (*Zea Mays* L.) inbred line adapted to low-P conditions via analyses of phosphorus utilization, root acidification, and calcium influx. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [s. l.], v. 181, p. 275-286, 2018.

BUSO, W. H. D. *et al.* Desempenho agrônômico de híbridos de milho em três épocas de semeadura no cerrado goiano. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 4, p. 46-52, 2017.

CARVALHO, A. M. *et al.*; Forms of phosphorus in na oxisol under different soil tillage systems and cover plants in rotation with maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 38, p. 972-979, 2014.

CASARIN, V.; STIPP, S. R. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. **Informações Agronômicas**, [s. l.], n. 102, p. 1-16, 2003.

CASARIN, V.; STIPP, S. R. Quatro medidas corretas que levam ao uso eficiente dos fertilizantes. **Informações Agronômicas**, [s. l.], n. 142, p. 14-20, 2013.

CASTRO, R. L. *et al.* Doses e formas de aplicação de fósforo na cultura do milho. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 31, p. 47- 54, 2016.

CATI. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Milho AL Bandeirante**, São Paulo: CATI, 2023. Disponível em: <https://www.cati.sp.gov.br/portal/themes/unify/arquivos/produtos-e-servicos/MILHO-AL-BANDEIRANTE.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2023.

CRASWELL, E. T.; LEFROY, R. D. B. The role and function of organic matter in tropical soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], v. 61, p. 7-18, 2001.

CRUZ, J. F. *et al.* Diferentes níveis de adubação fosfatada na cultura do milho em um latossolo amarelo no município de Mâncio Lima, Acre. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 6, p.41587-41601, 2020.

EMBRAPA. **Guia de campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2013.

FIESP. **Safra Mundial de Milho 2022/23 - 10º Levantamento do USDA**. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=288086>. Acesso em: 12 abr. 2023.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N. 4R Management of phosphorus fertilizer in the Northern Great Plains. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 48, n. 5, p. 1356–1369, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal 2021**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-epermanentes.html?=&t=destaques>. Acesso em: 10 fev. 2023.

KULHÁNEK, M. *et al.* The influence of different intensities of phosphorus fertilizing on available phosphorus contents in soils and uptake by plants. **Plant, Soil and Environment**, [s. l.], n. 53, n. 9, p. 382–387, 2007.

LEMOS, E. F.; MELLO PRADO, R. Relationships between doses and application methods of phosphorus and corn nutrition status and grain yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s. l.], v. 48, n. 20, p. 2402-2411, 2017.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. Ecofisiologia. In: PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **Cultivo do milho**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/486917>. Acesso em: 2 set. 2022.

MANTOVANI, E. C. *et al.* Colheita e pós-colheita. In: PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **Cultivo do milho**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/486917>. Acesso em: 2 set. 2022.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, 2011.

PEDERSEN, I. *et al.* Early plant height: A defining factor for yields of silage maize with contrasting phosphorus supply. **Soil Use and Management**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 537-548, 2022.

QUEIROZ, L. R. *et al.* **Aspectos da cultura do milho no Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2015. (Embrapa Acre. Documentos, 136). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/133145/1/25759.pdf>. Acesso em: 2 set. 2022.

RAIJ, B. van. Acidez e calagem. In: VALE, D. W. *et al.* **Manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Jaboticabal: FCAV, 2010.

RAMOS, L. N. *et al.* Agronomic parameters and morpho-agronomic characteristics of genetically modified maize hybrids compared to conventional maize hybrids. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 36, n. 4, p. 1156-1166, 2020.

RESENDE, A. V. *et al.* Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 453-466, 2006.

SALDANHA, E. C. M. *et al.* Adubação fosfatada na cultura do milho no nordeste paraense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 4, p. 441-448, 2017.

SANTOS, C. *et al.* Uso de bioativador associado à dosagens de fertilizante fosfatado na cultura do milho. **Nativa**, Sinop, v. 9, n. 1, 16-22, 2021.

SHOKATI, B.; AHANGAR, A. G. Effect of conservation tillage on soil fertility factors: A review. **International Journal of Biosciences (IJB)**, [s. l.], v. 1, p. 144-156, 2014.

SILVA, M. A. L. *et al.* Intercropping maize and cowpea cultivars: II. Dry grain yield. **Revista Ciência Agronômica**, [s. l.], v. 51, n. 4, e20186552, 2020.

SILVA, M. G. O. *et al.* Rendimento de grãos de cultivares de milho em consórcio com *Brachiaria brizantha*. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 23-29, 2011.

SULIEMAN, S.; MÜHLING, K. H. Utilization of soil organic phosphorus as a strategic approach for sustainable agriculture. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [s. l.], v. 184, n. 3, p. 311–319, 2021.

VARGAS, L. K. *et al.* Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 76-83, 2005.

VIEIRA, M. D. S. *et al.* Phosphorus sorption isotherms in soils of the semiarid region of Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 34, n. 1, p. 166 – 176, jan. - mar., 2021.

WADT, P. G. S. Recomendação de adubação para as principais culturas. In: WADT, P.G.S. (ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. p. 491-635.

WADT, P. G. S. **Manejo de solos ácidos do Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2002. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 79). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/495854>. Acesso em: 2 set. 2022.

XU, X. *et al.* Soil phosphorus storage capacity as affected by repeated phosphorus addition in an Ultisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s. l.], v. 51, n. 14, p. 1960–1968, 2020.