

Campus Colorado do Oeste
Coordenação do Curso Engenharia Agrônoma

STEFANY DAIANY TEODORO LUNELLI

**CORRELAÇÃO MATEMÁTICA ENTRE O PESO DE GRÃOS DA
CULTURA DO MILHO COM MICRONUTRIENTES EM UM
ARGISSOLO VERMELHO**

STEFANY DAIANY TEODORO LUNELLI

**CORRELAÇÃO MATEMÁTICA ENTRE O PESO DE GRÃOS DA
CULTURA DO MILHO COM MICRONUTRIENTES EM UM
ARGISSOLO VERMELHO**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus Colorado do Oeste*, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel, junto ao Curso Engenharia Agrônômica sob a orientação do professor Jessé Alves Batista.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Lunelli, Stefany Daiany Teodoro.

Correlação matemática entre o peso de grãos da cultura do milho com micronutrientes em um argissolo vermelho / Stefany Daiany Teodoro Lunelli. - Colorado do Oeste, 2026.
19 f.

Orientador(a): Prof. Jessé Alves Batista.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Colorado do Oeste, 2026.

1. Milho. 2. Micronutrientes. 3. Fertilidade do solo. 4. Peso de grãos. I. Batista, Jessé Alves (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Roseni Santos Rodrigues, CRB-11/916

STEFANY DAIANY TEODORO LUNELLI

**CORRELAÇÃO MATEMÁTICA ENTRE O PESO DE GRÃOS DA
CULTURA DO MILHO COM MICRONUTRIENTES EM UM
ARGISSOLO VERMELHO**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus Colorado do Oeste*, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel junto ao Curso Engenharia Agrônômica sob a orientação do professor Jessé Alves Batista.

Aprovado em: 14/11/2025 pela banca examinadora.

Membro da Banca

Documento assinado digitalmente



VALDIQUE GILBERTO DE LIMA

Data: 03/02/2026 14:41:56-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro da Banca

Documento assinado digitalmente



FRANK WILLIAM PIRES DE PAULA

Data: 02/02/2026 16:57:20-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro da Banca

Documento assinado digitalmente



JESSE ALVES BATISTA

Data: 31/01/2026 19:14:12-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador

CORRELAÇÃO MATEMÁTICA ENTRE O PESO DE GRÃOS DA CULTURA DO MILHO COM MICRONUTRIENTES EM UM ARGISSOLO VERMELHO

RESUMO: O milho (*Zea mays* L.) está entre as commodities agrícolas mais produzidas e comercializadas no mundo. O Brasil, com grande relevância no cenário agrícola global, ocupa a terceira posição como produtor e a segunda como exportador desse cereal. O milho é a principal fonte de energia em rações animais, base alimentar em diversos países e matéria-prima na produção de biocombustíveis renováveis. Sua produtividade, assim como a de outras culturas, depende diretamente das condições do solo, especialmente da sua fertilidade. Embora apresente elevado requerimento por macronutrientes, é fundamental considerar a importância dos micronutrientes, que, mesmo exigidos em menores quantidades, quando deficientes, podem ocasionar desequilíbrios metabólicos limitando significativamente o crescimento e a produtividade da cultura. Para que as o milho atinja seu pleno potencial, é essencial que todos os nutrientes estejam disponíveis em quantidades adequadas e proporcionais. Este trabalho teve como objetivo avaliar a correlação entre os teores de micronutrientes presentes no solo, na camada de 0–0,20 m, e o peso de grãos da cultura do milho, por meio de análises estatísticas. A área experimental está localizada no município de Colorado do Oeste – RO, com extensão de 5 hectares, em um solo classificado como Argissolo Vermelho.

PALAVRAS-CHAVE: Milho; micronutrientes; fertilidade do solo; peso de grãos.

ABSTRACT: Maize (*Zea mays* L.) is among the most widely produced and traded agricultural commodities worldwide. Brazil, with a strong presence in the global agricultural sector, ranks third in production and second in exports of this cereal. In addition to being the main energy source in animal feed, corn is widely used in human nutrition and serves as an important raw material in the production of renewable biofuels. Corn productivity, as with other crops, is directly related to soil conditions, particularly soil fertility. Although corn has a high demand for macronutrients, the adequate availability of micronutrients is equally essential, as they play vital roles in plant metabolism despite being required in smaller quantities. Deficiencies in these elements can cause physiological imbalances, significantly limiting plant growth and reducing crop yield. For corn to reach its full productive potential, it is essential that all nutrients are available in balanced amounts. In this context, the present study aimed to evaluate the correlation between soil micronutrient levels in the 0–0.20 m layer and corn grain weight through statistical analyses. The experimental area comprises 5 hectares and is located in the municipality of Colorado do Oeste, Rondônia (Brazil), in a soil classified as a Red Argisol.

KEYWORDS: Maize; micronutrients; soil fertility; grain weight.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays L.*) é um importante commodity, com grande relevância social e econômica em nível mundial. Seu valor econômico está associado ao alto potencial produtivo e à ampla utilização na alimentação humana e animal, além de seu uso na produção de biocombustíveis, como o etanol. Do ponto de vista social, destaca-se por ser um alimento de baixo custo, viável e base de diversas cadeias agroindustriais (CONAB, 2014). Impulsionada pelo crescimento contínuo do consumo global de proteína animal (CONAB, 2019), a maior parte da demanda por esse cereal é direcionada à indústria de ração animal (COELHO, 2021).

O milho é o segundo grão mais produzido no Brasil, país que ocupa a terceira posição entre os maiores produtores mundiais e é o segundo maior exportador desse cereal (COELHO, 2024). Esses dados evidenciam a relevância da cultura do milho para a agricultura Brasileira. Na safra 2024/25, conforme o 12º levantamento da produção brasileira de grãos da Conab, o país cultivou aproximadamente 21,86 milhões de hectares, com produtividade média de 6.391 kg por hectare e uma produção total prevista de cerca de 139,70 milhões de toneladas. Especificamente em Rondônia, foram plantados cerca de 493,3 mil hectares com produtividade média de 5.273 kg por hectare, resultando em uma produção estimada de aproximadamente 2,6 milhões de toneladas de milho (CONAB, 2025).

Uma maior produtividade do milho, depende diretamente da condição do solo, especialmente de sua fertilidade. Portanto relação entre fertilidade do solo e desempenho da lavoura é indissociável (LOPES 2007). Não há como manter altas produtividades às custas das pequenas reservas de nutrientes presentes na maioria dos solos, especialmente os tropicais (UFMS, 2010). A deficiência de macro ou micronutriente afeta diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas (FERREIRA, 2012).

O milho exige altos níveis de macronutrientes, mas é igualmente importante considerar a necessidade de micronutrientes. Embora requeridos em menores quantidades, a deficiência pode comprometer a eficiência dos fertilizantes aplicados e limitar o crescimento e a produtividade (COELHO, 2006). Para que as culturas atinjam seu pleno potencial, é essencial que todos os nutrientes estejam disponíveis em quantidades adequadas. Seu desequilíbrio no solo, seja por deficiência, ou em alguns

casos, por toxicidade, pode comprometer o desenvolvimento da cultura (LOPES, 1998).

A exigência de alcançar elevados patamares de produção tem levado a uma crescente preocupação com o uso de micronutrientes na adubação. A sensibilidade à deficiência varia conforme a espécie, o milho tem alta sensibilidade de zinco, média a de cobre, ferro e manganês e baixa de boro (EMBRAPA 2008). Os benefícios do fornecimento desses elementos podem não refletir diretamente em aumentos expressivos de produtividade, mas sim no maior vigor das plantas, na maior tolerância a doenças e pragas, tal como na melhoria da qualidade do produto colhido (SANTOS, 2013).

Micronutrientes são essenciais para o crescimento desenvolvimento, possui funções vitais na fisiologia das plantas. O zinco contribui para a estrutura das membranas celulares e atua como ativador enzimático, enquanto ferro, manganês e cobre são constituintes de diversas enzimas envolvidas na fotossíntese e no metabolismo do nitrogênio. Na fase reprodutiva, cobre, manganês e zinco influenciam diretamente a produtividade e a qualidade da cultura colhida. Além disso, manganês e zinco auxiliam na resistência a pragas, doenças e estresses ambientais (KIRKBY et al., 2007). Estudos como o de Lana et al. (2008) evidenciam os benefícios da suplementação com micronutrientes. A aplicação de zinco e manganês, tanto via tratamento de sementes quanto por pulverização foliar, proporcionou incrementos na produtividade de grãos de milho.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de análises de correlação linear de Pearson e regressão, a influência dos micronutrientes na produtividade do milho cultivado em um Argissolo Vermelho no município de Colorado do Oeste-RO.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no município de Colorado do Oeste, no *campus* do Instituto Federal de Rondônia, que se localiza na BR 435 Km 66, zona rural, com coordenadas médias de latitude 13°07'50.40"S e longitude 60°29'13.20"O (Figura 1).

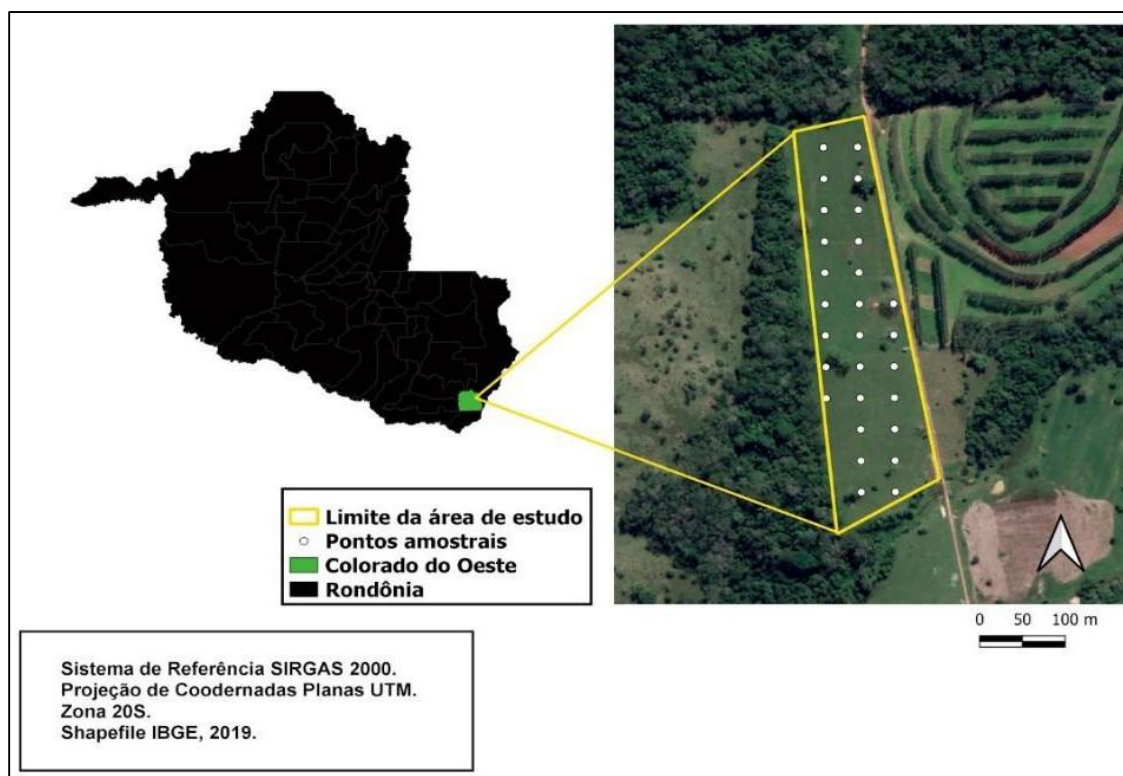
O solo da área da pesquisa é classificado como um Argissolo Vermelho (SANTOS et al., 2018), com topografia plano-ondulada. Pela classificação de Koppen, o clima da região é do tipo Aw tropical quente e úmido com duas estações bem

definidas, período seco e chuvoso. A média anual da precipitação pluvial varia entre 1.400 e 2.600 mm/ano, enquanto a média anual da temperatura do ar varia entre 24 e 26 °C (ALVARES et al., 2013).

Os atributos avaliados nesta pesquisa foram coletados em uma área de 5 hectares de uma lavoura de milho no ano de 2019. Anteriormente a cultura do milho, a área era cultivada com pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. A adubação da cultura do milho foi realizada seguindo recomendação de análises de solo levando em consideração as exigências nutricionais para a produção de silagem.

Na etapa inicial da pesquisa, delimitou-se a área da lavoura pelo aplicativo Google Earth e realizou-se uma malha amostral para coleta dos dados por meio do software QGIS versão 3.14.1. A malha de amostragem apresentou 28 pontos/células amostrais espaçados entre si 31x31m (Figura 1). As coordenadas UTM do grid foram transferidas para um receptor GNSS Trimble Juno 3B, possibilitando a navegação até os pontos de coleta de dados.

Figura 1. Mapa de localização da área da pesquisa em Colorado do Oeste – RO e representação da malha com 28 pontos amostrais [Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000, EPSG: 31980].



Elaboração: Autores, 2019.

Foram avaliados atributos da planta e de solo, uma vez que da planta avaliou-se o peso de grãos (PG), coletando-se, em cada ponto/célula da malha de amostragem, todas as espigas contidas em 2 metros lineares de uma fileira de plantio, totalizando, em cada ponto amostral, 10 plantas avaliadas. As espigas foram debulhadas, separadamente por ponto amostral e os grãos foram levados à estufa à 105 °C por 24h, para posterior determinação do peso seco de grão.

Os atributos do solo foram avaliados a partir da realização da coleta de amostras de solo na camada 0-0,20 m em cada ponto/célula do grid amostral georreferenciado, utilizando trado tipo Holandês. Os atributos avaliados foram, ferro (Fe²⁺), manganês (Mn²⁺), zinco (Zn²⁺) e cobre (Cu²⁺) extraídos com solução Méhlich-1 de acordo com metodologia da Embrapa (1997). Após a etapa de coleta, prepararam-se as amostras de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) e posteriormente, no laboratório de fertilidade de solos do IFRO do campus Colorado do Oeste iniciou-se a etapa de análise química.

Para cada atributo avaliado nesta pesquisa, efetuou-se a análise descritiva clássica, com auxílio do software estatístico SAS 9.3 (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997), em que foram calculados a média, mediana, valores mínimos e máximos, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e distribuição de frequência. Posteriormente, realizou-se a identificação dos outliers, efetuando a substituição dos seus valores pelo valor médio do atributo. Para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade, foi utilizada a estatística de Shapiro e Wilk (1965) a 1%.

Efetuoou-se a matriz de correlação linear de *Pearson* por meio também do pacote SAS 9.3 para identificação dos pares de atributos que apresentassem correlação entre si. Adiante realizou-se a análise de regressão com vistas a estabelecer a relação de causa e efeito entre a variável dependente (PG) e as variáveis independentes (Fe, Mn, Zn e Cu) com vistas a predizer a variação da produtividade da cultura em função da variação da disponibilidade dos micronutrientes no solo.

Com objetivo de melhor compreender a disponibilidade, as interações e a dinâmica dos micronutrientes, apresentamos a análise da fertilidade do solo para alguns atributos químicos na camada de 0-0,20 m (Tabela 1). Esses atributos foram aferidos considerando as 28 células amostrais utilizadas para determinação da

produtividade da cultura bem como para a determinação da disponibilidade dos micronutrientes avaliados.

Tabela 1. Caracterização inicial da fertilidade de um Argissolo Vermelho no município de Colorado do Oeste – RO em 2020.

pH	P	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	M	V	MO
H₂O	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----				-----%-----		g dm ⁻³
6,04	13,25	0,23	3,09	0,45	0,02	0,51	54,17	22,42

Elaboração: Autores, 2022.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes a análise descritiva (Tabela 2) indicaram que os atributos (PG, Fe, Mn e Cu) apresentaram distribuição de frequência do tipo normal, ao passo que (Zn) obteve distribuição anormal ou indeterminada. Uma distribuição de frequência com curva normal geralmente associa valores de assimetria próximos a zero, curtose próxima a três (ANDRIOTTI, 2003), além de valores semelhantes de média e mediana, covariância entre o desvio padrão com a média e/ou mediana se forem semelhantes (MIOT, 2017).

Os Coeficientes de Variação (CV), (Tabela 2) foram muito altos para (Fe e Zn) e médios para (PG, Cu e Mn), (PIMENTEL-GOMES, 2009). O CV é um parâmetro utilizado para personificar uma ideia de regularidade das amostras estudadas, sendo um dos primeiros indicadores a representar a heterogeneidade dos dados (ANDRIOTTI, 2003).

Tabela 2. Análise descritiva dos atributos da planta e dos atributos químicos do solo nas camadas 0-0,20 m em um Argissolo Vermelho no município de Colorado do Oeste – RO em 2020.

Atributo ⁽¹⁾	Medidas estatísticas descritivas									
	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade do teste ⁽²⁾			
	Média	Mediana		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF		
	Mínimo	Máximo								
Atributos da planta										
PG (g)	928,78	941,10	525,90	1287,40	213,77	23,02	-0,63	-0,23	0,6121	NO
Atributos químicos do solo na camada de 0-0,20m										
Cu (mg dm ⁻³)	3,99	4,02	1,94	5,75	0,90	22,43	-0,04	-0,19	0,8109	NO
Fe (mg dm ⁻³)	79,43	73,85	21,20	145,40	30,28	38,13	-0,47	0,12	0,9019	NO
Mn (mg dm ⁻³)	326,57	311,00	212,50	507,50	68,91	21,10	0,54	0,74	0,2696	NO
Zn (mg dm ⁻³)	10,07	10,10	5,15	7,85	3,32	33,01	1,14	1,12	0,0041	IN

(¹) PG = Peso de grãos; Fe= Teor de Ferro; Mn= Teor de Manganês; Zn= Teor de Zinco; Cu= Teor de Cobre. (²) NO, TN e IN respectivamente são distribuição de frequência do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

A Tabela 1 indicou concentração de Matéria Orgânica (2,2%), classificada como baixa para solos argilosos. Além do teor de matéria orgânica, os resultados da análise química do solo evidenciam que a fertilidade apresenta potássio em concentração elevada, cálcio em teor adequado, magnésio em baixa e fósforo nível alto (SOUZA & LOBATO, 2004).

A saturação por bases (V% = 54,17) confirma disponibilidade adequada de nutrientes em geral (SOUZA & LOBATO, 2004). O solo apresentou pH de 6,04 classificado como acidez moderada segundo Lopes et al. (2007). Esse nível de pH é considerado adequado para o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho, pois favorece a disponibilidade de nutrientes essenciais (COSTA et al., 2019).

Na análise apresentada (Tabela 2), os valores de micronutrientes indicaram teores elevados de (Fe, Cu e Zn), além de um teor extremamente alto de (Mn). Esses resultados sugerem que o solo possui uma alta disponibilidade desses elementos, possivelmente associada ao tipo de material de origem e ao histórico de manejo da área. O tipo de manejo adotado no solo exerce grande influência na disponibilidade e distribuição de micronutrientes ao longo do perfil do solo, principalmente por alterar o pH e os teores de matéria orgânica. Dessa forma, práticas que preservem a estrutura

e a fertilidade do solo são fundamentais, pois o manejo tem se consolidado como um dos principais fatores determinantes da produtividade das culturas (Oliveira et al., 2001).

Entre os micronutrientes, o Mn merece atenção, pois níveis elevados podem causar toxidez à cultura, reduzindo o crescimento de brotos e raízes e prejudicando processos fisiológicos e bioquímicos das plantas (Mascarenhas et al., 2013).

Essa toxidez está diretamente relacionada à forma em que o elemento se encontra no solo. O Mn ocorre principalmente em três formas: +2 (Mn^{2+}), +3 (Mn_2O_3) e +4 (MnO_2). Apenas o Mn^{2+} é facilmente absorvível pelas plantas, enquanto Mn^{3+} e Mn^{4+} formam óxidos insolúveis que se acumulam no solo. A disponibilidade de manganês depende, portanto, do equilíbrio entre Mn^{2+} solúvel e os óxidos insolúveis (Alejandro et al., 2020), sendo influenciada pelo pH, potencial redox, matéria orgânica e equilíbrio com outros cátions (Millaleo et al., 2010). Em solos com pH abaixo de 5,5, o Mn tende a se tornar mais disponível e, em excesso, pode se tornar tóxico, dependendo do teor total do solo (Faria, 2019).

Posteriormente à análise descritiva dos dados realizou-se a análise de correlação linear de *Pearson* entre pares de atributos (Tabela 3). A análise de correlação linear permite avaliar as inter-relações existentes entre as variáveis, isto é, permite saber o grau de relação entre elas, proporcionando o aprimoramento do manejo das culturas (BENTO, 2018) uma que se busca, aqui, relacionar fatores produtivos e produtividade.

Tabela 3. Matriz de correlação linear de *Pearson* entre atributos da planta e alguns atributos químicos do solo nas camadas 0-0,20 m em um Argissolo Vermelho no município de Colorado do Oeste – RO em 2020.

Atributo ⁽¹⁾	Coeficiente de Correlação ⁽²⁾				
	PG	Fe	Mn	Zn	Cu
Fe	0,405**	-			
Mn	0,318**	0,140	-		
Zn	0,224**	0,226	0,374	-	
Cu	0,110**	0,081	0,216	0,716**	-

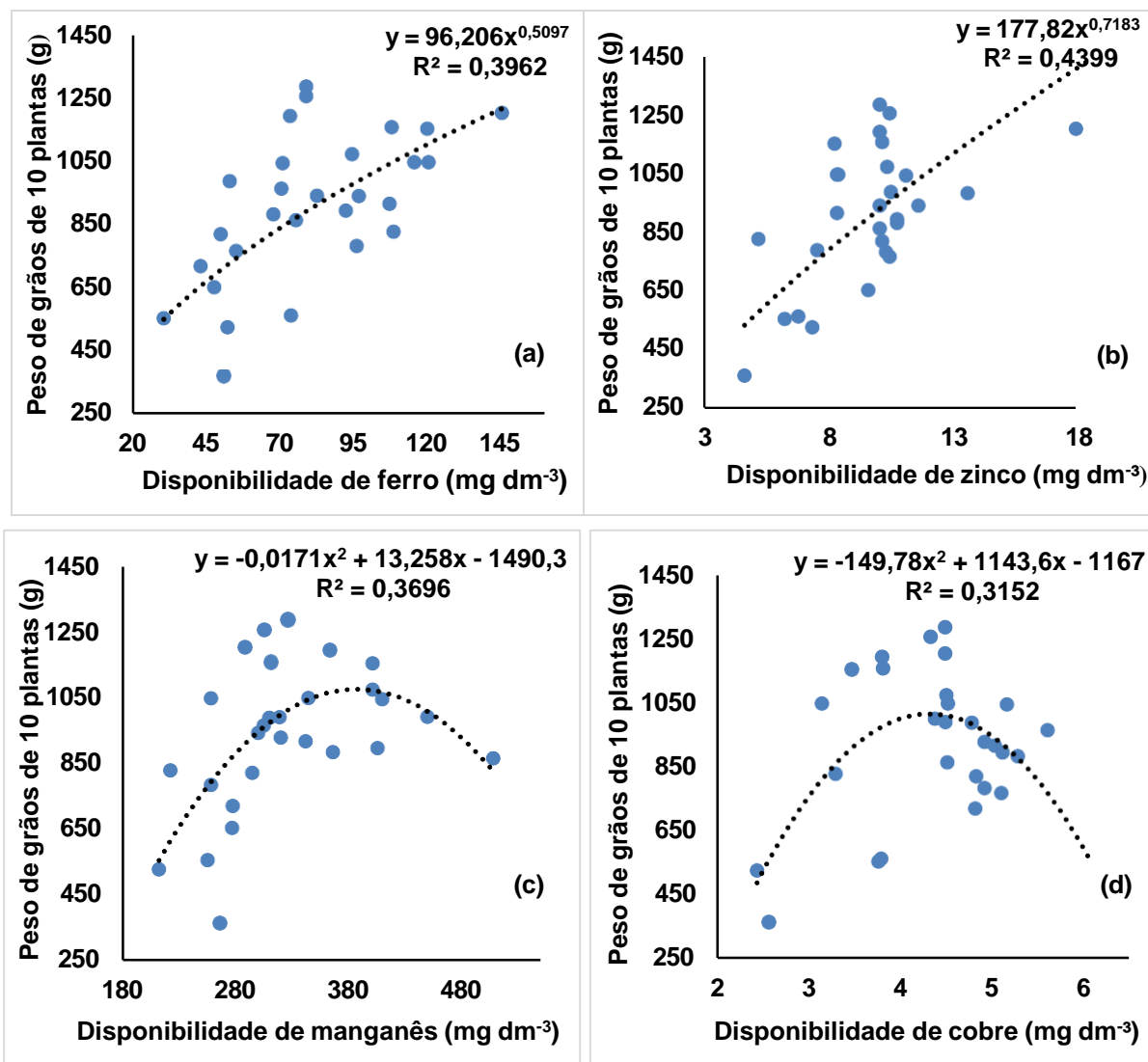
(1) PG = Peso de grãos de 10 plantas; Fe= Ferro; Mn= Manganês; Zn= Zinco; Cu= Cobre. (2)** = significativo a 1% de confiança.

De acordo com Dancey et al. (2006) as correlações lineares são classificadas como fracas (0,1 a 0,3), moderadas (0,3 a 0,6) e fortes (0,7 a 1,0). Os resultados apresentados na Tabela 3 permitem afirmar que há fraca correlação linear positiva entre o (PG) com (Cu e Zn) e moderada correlação linear positiva entre o (PG) com (Fe e Mn). Assim, a variável (PG) variou conjuntamente com a variação de concentração no solo de micronutrientes, denotando a importância de um correto manejo de adubação acerca desses elementos para a cultura do milho. De acordo com Coelho et al. (1995), as quantidades de micronutrientes requeridas pela cultura do milho são pequenas, todavia, a sua deficiência pode ter efeito tanto na desorganização de processos metabólicos e redução na produtividade como a deficiência de macronutrientes.

A Figura 2 (a e b) apontou, a partir de equações potenciais, para o incremento não linear da variável resposta (PG) em função do aumento de (Fe e Zn) até certo limite de disponibilidade no solo até que haja estabilidade na produtividade. Figura 2 (c e d), indicou, a partir de equações polinomiais, que haverá incremento na produtividade da cultura, aumento no peso de grãos, até certo limite de disponibilidade de (Mn e Cu) no solo, sendo que a partir daí ocorrerá decréscimo na produtividade, provavelmente em função da toxidez devido ao excesso destes elementos nos tecidos vegetais.

Zeviani et al. (2013) mencionaram que ensaios agronômicos sobre produção em função da adubação, os incrementos regulares de adubo não geram incrementos regulares, mas incrementos decrescentes na produção e que a produção vai estabilizar após certo nível, pois passa ser limitada por outro fator, mesmo que a adubação seja aumentada indefinidamente.

Figura 2. Gráficos de regressão entre o peso de grãos e a disponibilidade de ferro (a), zinco (b), manganês (c) e cobre (d) em um Argissolo Vermelho no município de Colorado do Oeste – RO em 2020.



Elaboração: Autores, 2022.

Quanto à disponibilidade de (Fe) no solo, o valor máximo apresentado na Tabela 2 (145,40 mg dm⁻³) estima, a partir da equação potencial da regressão (Figura 2a), o valor de 1.217,48 gramas para o (PG) de 10 plantas. De outro modo, o valor mínimo observado (21,20 mg dm⁻³) indica que o (PG) de 10 plantas seria de 456,28 gramas. Com esses resultados, podemos inferir que se houver a homogeneização da disponibilidade de Fe²⁺ no solo em um valor próximo ao valor máximo observado, haverá incremento na produtividade da cultura. Todavia, é importante ressaltar que há possibilidade da não resposta da cultura à adubação com ferro uma vez que isto

pode estar relacionado ao nível adequado de disponibilidade no solo (COELHO, 2006).

Quanto ao zinco, apesar de sua disponibilidade no solo estar em nível adequado (SOUSA & LOBATO, 2004), diversos estudos agronômicos têm evidenciado que, diferentemente do Fe^{2+} , há resposta do milho para adubação com zinco (COELHO, 2006). A disponibilidade máxima de Zn^{2+} apresentada na Tabela 2 ($17,85 \text{ mg dm}^{-3}$) permite estimar que o (PG) de 10 plantas alcance o valor de 1.409,39 gramas enquanto o valor mínimo ($5,15 \text{ mg dm}^{-3}$) prediz um valor de 577,13 gramas para o (PG) de 10 plantas, denotando a necessidade de homogeneização da disponibilidade de Zn^{2+} no solo considerando o valor máximo observado.

Pelos gráficos de (Mn e Cu), as retas indicam que até certa disponibilidade desses elementos, vai aumentar a produtividade (PG), entretanto, em ambos os casos a reta é na verdade uma curva polinomial que explica que a partir de certos valores de disponibilidade, a produtividade irá diminuir.

Quanto ao (Mn), considerando o valor máximo apresentado na Tabela 2 ($507,50 \text{ mg dm}^{-3}$) foi possível predizer 833,92 gramas para o (PG) de 10 plantas, valor este, menor que o valor médio observado para esta variável (928,74 gramas). Ao se utilizar o valor médio de Mn^{2+} ($326,57 \text{ mg dm}^{-3}$), foi possível estimar o valor de 1.015,68 gramas para o (PG) de 10 plantas. Estes resultados confirmam a hipótese gerada pela análise de regressão (Figura 2c) de que o excesso de Mn^{2+} no solo, sobretudo a partir de seu valor médio, possivelmente esteja causando decréscimo na produtividade da cultura por toxidez ou outro fator relacionado à dinâmica e as interações químico-físico-biológicas deste elemento no solo. Segundo Silva et al. (2022) O (Mn) atua como nutriente ou elemento tóxico no metabolismo vegetal a depender dos seus teores nos tecidos vegetais. Ou seja, o nutriente acumulou em excesso, produzindo toxicidade. Este excesso pode ser identificado a partir do encarquilhamento das folhas (MASCARENHAS et, al., 2013).

Os valores máximo e mínimo observados para disponibilidade de Cu^{2+} ou seja, $5,75$ e $1,94 \text{ mg dm}^{-3}$ estimaram, a partir da equação de regressão, valores semelhantes para o peso de grãos de 10 plantas, ou seja, $456,60$ e $487,87$ gramas respectivamente. Já o valor médio deste elemento no solo ($3,99 \text{ mg dm}^{-3}$) previu o valor de $1.011,45$ gramas para (PG) de 10 plantas, indicando, possivelmente, o valor médio como adequado para o suprimento da planta.

4 CONCLUSÕES

A análise descritiva indicou teores altos para ferro cobre e zinco e extremamente alto para o manganês.

A análise de correlação de Pearson indicou que todos os atributos avaliados variam conjuntamente, ao passo que o aumento dos teores dos micronutrientes acarretará o aumento do peso de grãos de 10 plantas.

A análise de regressão indicou que a variável PG é influenciada pelos valores máximos e mínimos de concentração dos micronutrientes no solo.

A análise de regressão indicou que o teor de Mn no solo acima de 326,57 mg dm³ poderá acarretar diminuição do PG, possivelmente relacionado ao efeito de toxidez deste elemento para a planta.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de G.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, Amsterdam, v. 22, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 20 out. 2022.

ALEJANDRO, S.; HÖLLER, S.; MEIER, B. PEITER, E. **Manganese in plants: from acquisition to subcellular allocation**. *Frontiers in Plant Science*, v.11, p. 300, 2020. Disponível em:< <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2020.00300/full>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: UNISINOS, 2003. 165 p.

ASSIS, J. P. et al. **Simulação Estocástica de Atributos do Clima e da Produtividade Potencial de Milho Utilizando-Se Distribuição Triangular**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 539-543, 2006.

BENTO, M. P. F. **Análise da Variabilidade Espacial e Temporal da Fertilidade do Solo e do Estado Nutricional das Plantas Para Fertilização da Vinha com Apoio da Tecnologia a Taxa Variável (VRT)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônoma) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018. Disponível em: https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/17879/1/Tese_MB.pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.

COELHO, M. A. **Nutrição e Adubação do Milho**. Circular técnica, Sete Lagoas, MG Dezembro, 2006. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/.pdf>>. Acesso em 20 janeiro 2023.

COELHO, M. A.; FRANÇOIS E. G. **Seja o Doutor do Seu milho Nutrição e adubação**. Arquivo do Agrônomo N° 2 - SETEMBRO/95, 2° edição - ampliada e totalmente modificada. Disponível em:< <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/Seja-doutor.pdf>>. Acesso em 20 janeiro 2023.

COELHO, J. D. **Milho: Produção e Mercados**. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. Ano 6 | N° 182 | Agosto | 2021. Disponível em: < <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/download/2854/1956/9523>>. Acesso em: 09 de agosto 2022.

COELHO, J. D. **Milho**. *Caderno Setorial ETENE*, Ano 9, n. 366, dez. 2024. Banco do Nordeste. ISSN online 2966-3482. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article>. Acesso em: 15 de julho 2025.

CONAB VOLUME 7 SAFRA 2019/2020. **Perspectiva para a Agropecuária**. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria>>. Acesso em: 09 julho de 2022.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2024/25 – Décimo segundo levantamento**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, v.12, n.12, setembro 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos>. Acesso em: 20 set. 2025.

CONAB (2014). Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras / Séries Históricas**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acessado em: 09 de janeiro 2023.

COSTA T. P. D.; Paranatinga I. L. D.; Pereira R. J. B.; Santos F. C.; Oliveira P. C. **Avaliação do Crescimento de Plantas Jovens de Milho Cultivadas em Diferentes Tipos de Solo**. Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 12 (1) January 2019. Disponível em: <<http://www.seasinop.com.br/revista/index.php?journal=SEA&pa>>. Acesso em: 09 janeiro de 2023.

DANCEY, Christine & REIDY, John. (2006), **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed.

EMBRAPA 2008. Sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 4ª edição Set./2008. **Cultivo do Milho**. Disponível em: <[https://www.alice.cnptia.embrapa.br/ /Nutricaoadubacao.pdf](https://www.alice.cnptia.embrapa.br/Nutricaoadubacao.pdf)>. Acesso em: 09 julho de 2022.

EMBRAPA. **Cerrado Correção do Solo e Adubação**. 2ª edição, Brasília DF 2004. Editores Técnicos Djalma. Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: UFLA/FAEPE. Disponível em: https://dcs.ufla.br/images/imagens_dcs/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

EMBRAPA. **Conceitos De Fertilidade Do Solo E Manejo Adequado Para As Regiões Tropicais**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, ISSN 1806-3322 novembro, 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>>. Acesso em 20 janeiro 2023.

FARIA, F. A. **Disponibilidade de Ferro, Manganês, Zinco e Cobre no Solo por Mehlich-1, Mehlich-3 E Dtpa**. Viçosa Minas Gerais – Brasil 2019. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/29308/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em 20 janeiro 2023.

FERREIRA, Magna Maria Macedo. **Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010**. *Revista Agro@ambiente On-line*, Boa Vista, v. 6, n. 1, p. 74–83, jan./abr. 2012. Disponível em: <http://www.agroambiente.ufrr.br/index.php/agroambiente/article/view/569>. Acesso em: 23 julho 2024.

KIRKBY A. E. RÖMHELD V. **Micronutrientes Na Fisiologia De Plantas: Micronutrientes Na Fisiologia De Plantas: Funções, Absorção E Mobilidade**. Encarte Técnico Informações Agrônomicas Nº 118 – junho/2007. Disponível em <<http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.pdf>> Acesso em: 20 fevereiro 2023.

LANA, R. M. Q. *et al.* **Aplicação De Fertilizantes Com Inibidor De Nitrificação E Micronutrientes Na Cultura Do Milho.** *Rev. Bras. Milho Sorgo*, v. 7, n. 2, p. 141-151, 2008.

LOPES, A, S; GUILHERME. G. R. L. I – **Fertilidade do Solo e Produtividade Agrícola.** Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-00 Lavras (MG) 2007. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~nutricaodeplantas/fertisolo.pdf>>. Acesso em: 20 janeiro 2022.

LOPES, A, S. **Manual Internacional de Fertilidade Solo.** 2. ed., revisada e ampliada. Tradução e adaptação do original em inglês: *International Soil Fertility Manual*. Piracicaba: POTAFOS 1998; PPI – Phosphate & Potash Institute, 1995.

MASCARENHAS, H. A. A. *et al.* **Deficiência E Toxicidade Visuais De Nutrientes Em Soja.** *Nucleus*, v. 10, n. 2, p. 281-306, 2013.

MILLALEO, R.; REYES-DÍAZ, M.; IVANOV, A. G.; MORA, M. L.; ALBERDI, M. **Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms.** *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 10, n. 4, p. 470–481, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.cl/pdf/jsspn/v10n4/art08.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.

MIOT, A. H. **Avaliação da Normalidade dos Dados em Estudos Clínicos e Experimentais.** *J Vasc Bras.* 2017 Apr.-Jun.; 16(2):88-91. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/jvb/a/FPW5hwZ6DTH4gvj5mJYpt6B/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 01 janeiro 2022.

OLIVEIRA, I. P. *et al.* **Concentrações residuais de cobre, ferro, manganês e zinco em Latossolo Roxo Eutrófico sob diferentes tipos de manejo.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/208976/1/pat31n2Oliveira.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental.** Piracicaba: FEALQ, v. 15. 451p.

SANTOS, A. G. **Formas de Adição de Micronutrientes a um Formulado NPK e seu Efeito Sobre o Desenvolvimento do Milho.** Minas Gerais 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/Gustavo%20Alves.pdf>>. Acesso em: 20 janeiro 2022.

SANTOS, H. G. *et al.* **SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS.** 5. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos-ganha-versao-eletronica-gratuita>. Acesso em: 20 out. 2022.

SILVA, L. M.; BERTI, S. P. M. **Manganês no Solo e Nas Plantas: uma revisão.** Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 15 (3) March 2022. Disponível em: <

<https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/download/1512/1573/4552>>. Acesso em: 20 janeiro 2023.

UFSM. **Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**. Em agricultura familiar e sustentabilidade a Distância, 5^o semestre 2010. Disponível em:< https://repositorio.ufsm.br/-Famil-Sustent_Fertilidade-Solo-Nutricao-Plantas.pdf>. Acesso em: 20 janeiro 2022.

ZEVIANI, M. W.; JUNIOR, R. J. P.; BONAT, H. W. **Modelos de Regressão Não Linear**. SEAGRO Campina Grande – PB 22 à 26 de julho de 2013. Disponível em: < <https://www.ime.unicamp.br/~cnaber/cursomodelosnaolinearesR.pdf>>. Acesso em 20 janeiro 2022.