

Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e do estado nutricional do algodoeiro

município de Vilhena, estado de Rondônia, Brasil

Variabilidad espacial de los atributos químicos del suelo y del estado nutricional del algodón, municipio de Vilhena, estado de Rondônia, Brasil

Spatial variability of soil chemical attributes and nutritional status of cotton, municipality of Vilhena, Rondônia State, Brazil

Moisés Gonçalves do Carmo, Jessé Alves Batista y Elaine Lima da Fonseca

Instituto Federal de Rondônia

Colorado do Oeste, Brasil

moisesgoncalves.agro@gmail.com; jesse.batista@ifro.edu.br; elaine.fonseca@ifro.edu.br

Do Carmo: <https://orcid.org/0000-0002-2318-4530>

Batista: <https://orcid.org/0000-0001-8532-5856>

Fonseca: <https://orcid.org/0000-0002-6872-8204>

Resumo

O algodão (*Gossypium hirsutum*) é uma importante fibra natural para a indústria têxtil no mundo. A técnica de amostragem georreferenciada para elaboração de mapas de variabilidade espacial e de aplicação de insumos aumenta a produtividade e o rendimento das culturas. Assim, pretende-se caracterizar e avaliar, por meio de técnicas geoestatísticas, a variabilidade espacial de atributos químicos do solo e do estado nutricional da cultura do algodão em lavoura comercial no município de Vilhena, com malha de espaçamento 32x32 m. A análise estatística indicou teores adequados de P e K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo bem como de N foliar, P foliar e K foliar. A análise geoestatística evidenciou regiões com teores baixos de P foliar e K foliar e outras com excesso de N foliar. A amostragem georreferenciada, a diagnose nutricional e a geoestatística se apresentam como importantes ferramentas de apoio a tomada de decisão sobre o manejo da fertilidade do solo em sítios específicos.

PALABRAS CLAVE: geoestatística; fertilidade do solo; diagnose foliar.

Resumen

El algodón (*Gossypium hirsutum*) es una fibra natural importante para la industria textil en el mundo. La técnica de muestreo georreferenciado para la elaboración de mapas de variabilidad espacial y de aplicación de insumos aumenta la productividad y el rendimiento de los cultivos. Así, se pretende caracterizar y evaluar, mediante técnicas geoestadísticas, la variabilidad espacial de atributos químicos del suelo y del estado nutricional del cultivo del algodón en una finca comercial en el municipio de Vilhena, con una malla de espaciamento de 32x32 m. El análisis estadístico indicó niveles adecuados de P y K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en el suelo, así como de N foliar, P foliar y K foliar. El análisis geoestadístico evidenció regiones con niveles bajos de P foliar y K foliar y otras con exceso de N foliar. El muestreo georreferenciado, el diagnóstico nutricional y la geoestadística se presentan como herramientas importantes para apoyar la toma de decisiones sobre el manejo de la fertilidad del suelo en sitios específicos.

PALAVRAS-CHAVE: geoestadística; fertilidade del suelo; diagnóstico foliar.

Abstract

Cotton (*Gossypium hirsutum*) is an important natural fiber for the textile industry worldwide. The technique of georeferenced sampling for the development of spatial variability maps and the application of inputs increases the productivity and yield of crops. Thus, it is intended to characterize and evaluate, using geostatistical techniques, the spatial variability of soil chemical attributes and the nutritional status of cotton crops in a commercial farm in the municipality of Vilhena, with a 32x32 m spacing grid. The statistical analysis indicated adequate levels of P and K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ in the soil, as well as foliar N, foliar P, and foliar K. The geostatistical analysis revealed regions with low levels of foliar P and foliar K and others with excess foliar N. Georeferenced sampling, nutritional diagnosis, and geostatistics are important tools to support decision-making regarding soil fertility management in specific sites.

KEYWORDS: geostatistics; soil fertility; leaf diagnosis.

1. Introdução

Pertencente à família Malvaceae, o algodão (*Gossypium hirsutum*) é uma importante fibra natural para a indústria têxtil no mundo (Wang *et al.*, 2018). Como *commoditie* agrícola de grande expressividade, na safra 2019/2020 ocupou mais de 1,6 milhões de hectares de área plantada, ultrapassando 3 milhões de toneladas de produção de algodão em pluma de acordo com dados da Associação Brasileira de Produtores de Algodão (Abrapa, 2020).

O avanço tecnológico por qual vem passando a agricultura brasileira (Batista, 2016) tem trazido grande eficiência tanto agrônômica quanto econômica às atividades agrícolas, com destaque para os grandes monocultivos tais como o algodão, fazendo com que, nos últimos anos, o Brasil tenha alcançado o posto de quinto maior produtor mundial, sendo responsável por 7,4% da produção mundial de pluma. China, Índia, Estados Unidos e Paquistão se destacam como os quatro maiores produtores mundiais de pluma de algodão (Conab, 2018).

O cenário interno é promissor tendo em vista que o Brasil está entre os maiores consumidores mundiais de algodão em pluma e com grandes regiões produtoras, destacando-se o estado do Mato Grosso e da Bahia como principais polos de produção no país. O estado de Rondônia ainda apresenta produção incipiente para esta cultura, tendo produzido 38,20 mil toneladas em uma área plantada de 9,8 mil hectares na safra 2019/20. O município de Vilhena é o maior produtor do estado, com cerca de 6,5 mil hectares plantados e produtividade média de algodão caroço de 300 arrobas (@) por ha, resultado expressivo, considerando 238,68 @ ha⁻¹ como a média nacional para o mesmo período (Abrapa, 2020).

A Abrapa ainda destaca a pujança da cultura dentro do setor agrícola no país e relaciona aos estados com produções significativas, às condições edafoclimáticas favoráveis e ao nível de tecnificação dos produtores de algodão. A cultura que demanda tecnologia de ponta para que bons índices de produtividade e rendimento sejam alcançados.

O algodão, juntamente com soja, milho e cana-de-açúcar, são as principais culturas que absorvem as ferramentas de agricultura de precisão no Brasil. As técnicas de amostragem georreferenciada de solo, mapas de fertilidade do solo e de aplicação de calcário e fertilizantes sólidos em taxas variáveis são as mais empregadas. Essas técnicas aumentam o rendimento econômico das atividades agrícolas, seja pela economia com insumos, homogeneização das lavouras ou ainda pelo aumento na produtividade das culturas (Molin *et al.*, 2015; Batista, 2016; Batista, 2020).

Neste sentido, a Agricultura de Precisão (AP) geralmente é associada com o uso intensivo de aparelhagem tecnológica avançada, que possibilita avaliação mais precisa e acompanhamento eficaz das atividades agrônômicas baseadas no princípio da variabilidade do solo, clima e demais fatores de produção, o que em termos práticos, quanto maior a quantidade de dados coletados, mais seguras serão as tomadas de decisão (Machado *et al.*, 2017).

De acordo com Vera *et al.* (2019), o conhecimento da quantidade de nutrientes acumulados na planta fornece importantes informações que podem auxiliar no programa de adubação da cultura. Não obstante, a determinação dos teores de nutrientes por meio da diagnose foliar com foco a geração de mapas geoestatísticos é capaz de fornecer informações importantes do estado nutricional da planta, sendo que os resultados obtidos, isto é, podem apresentar correlação espacial com a produtividade da cultura (Taiz e Zeiger, 2008).

Com vistas a contribuir de forma técnica e científica com o cotonicultor da região cone sul do estado de Rondônia, este trabalho teve como objetivo caracterizar e avaliar, por meio de técnicas geoestatísticas, a variabilidade espacial de atributos químicos do solo e do estado nutricional da cultura do algodão em uma área de cultivo comercial no município de Vilhena/RO.

2. Material e métodos

O presente estudo foi realizado em um recorte de 6 hectares de uma lavoura comercial de algodão, localizada no município de Vilhena, conforme FIGURA 1. A região Sudeste do estado de Rondônia está localizada nas coordenadas geográficas de Lat. 12° 44' 26" S e Long. 60° 08' 45" O.

De acordo com Fonseca y Silva Filho (2023), a precipitação média anual no município é de 1.900 mm por ano; o clima predominante é o Tropical Chuvoso (Aw), segundo a classificação de

Köppen. A temperatura média do ar durante o mês mais frio é superior a 18 °C, com temperatura média anual do ar é alta e uniforme, com variação da média entre 24 e 26 °C. O período seco é caracterizado por três meses com precipitação inferior a 50 mm (junho, julho e agosto), e amplitude térmica anual limitada e uma notável amplitude térmica diária. A média anual da precipitação aproxima-se de 2170 mm por ano. A altitude média da região é de 600 m e o relevo é classificado como suave ondulado.

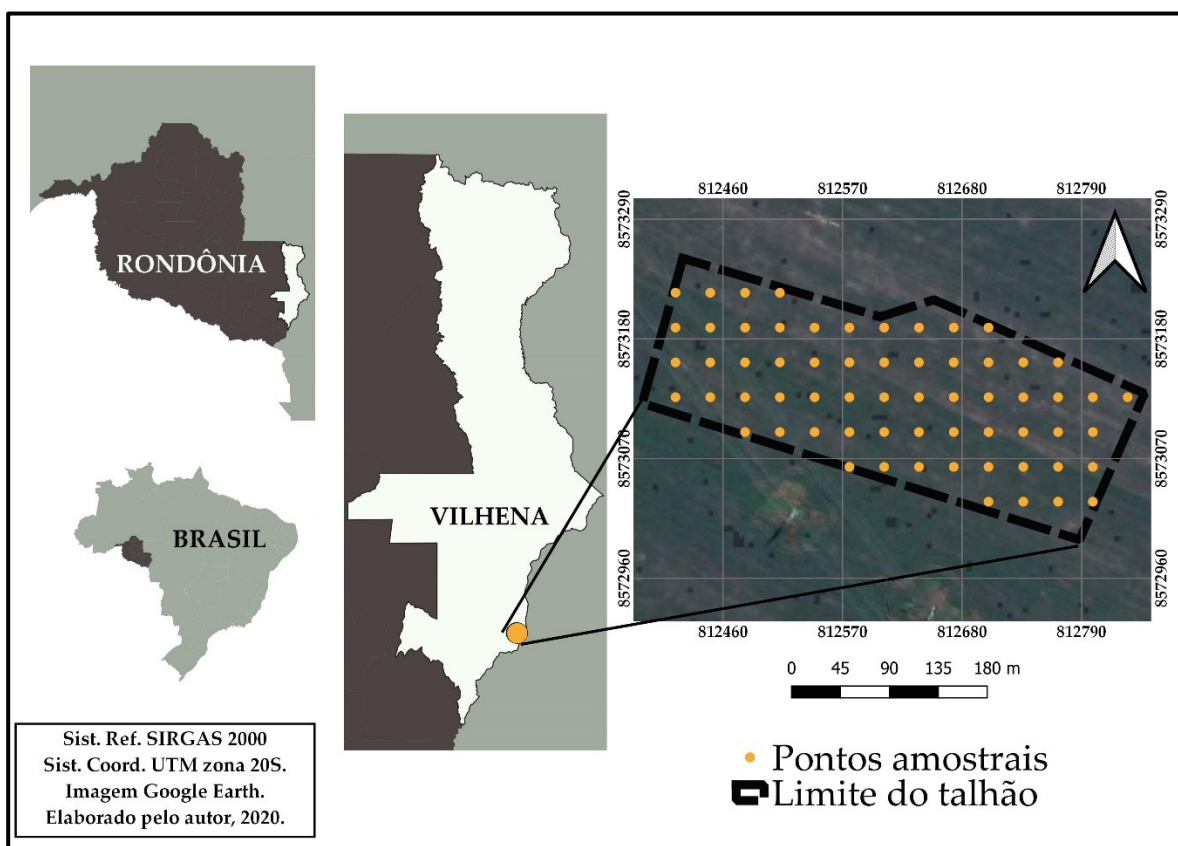


FIGURA 1. Localização da área de estudo em Vilhena (RO)

O solo na área amostrada é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico de textura média (Santos *et al.*, 2018). Historicamente, a produção agrícola ocorreu em áreas ocupadas com pastagens cultivadas, substituída pela cultura da soja (*Glicine max*) e

pela cultura do milho (*Zea mays*). A partir de 2018 houve a introdução do cultivo do algodão. O talhão pesquisado sofreu correção da fertilidade, com aplicação foi de 2,8 toneladas por hectare de calcário dolomítico com PRNT de 85% em superfície sem incorporação.

Com relação à safra de 2020, o plantio do algodão foi realizado com a adubação de semeadura na ordem de 220 kg ha⁻¹ de superfosfato simples na linha. Em cobertura, foram aplicados 150 kg ha⁻¹ de ureia mais 220 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, parcelados em duas doses iguais, aos 45 e 75 dias após emergência (DAE). A aplicação cloreto de potássio se deu em cobertura e em taxa variável entre os talhões de cultivo com dosagem de 220 kg ha⁻¹ 45 DAE. A produtividade obtida no talhão foi de 308 @ ha⁻¹ de algodão caroço.

A área de análise foi delimitada em malha regular para coleta dos dados por meio do *software* QGis 3.14.1. A malha geoestatística apresentou 63 pontos amostrais espaçados entre si 32x32 m, totalizando 6 hectares. As coordenadas UTM do *grid* foram transferidas para um receptor GNSS Trimble Juno 3B, possibilitando a navegação até os pontos de coleta de dados.

A avaliação do estado nutricional da cultura foi determinada por meio dos atributos dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), no tecido foliar. O N mineralizado foi determinado pelo método Kjeldahl, descrito por Bremner (1965). Os teores de P e K⁺ foram analisados após a mineralização pela digestão nítrico-perclórica. O P pelo método colorimétrico e K⁺ por fotometria de chamas (Malavolta *et al.*, 1997).

Para análise laboratorial dos teores dos nutrientes foliares foram coletadas folhas de ramos dos terços superior, médio e inferior, de ramos produtivos e não produtivos no estágio fenológico B1 para melhor representar o estado nutricional das plantas. As folhas dos ramos produtivos ficam situadas no terço médio do algodoeiro, onde foram coletadas folhas debaixo de uma flor aberta ou de uma maçã em formação. Foram coletadas 50 folhas no total de 10 plantas por célula amostral.

As folhas foram acondicionadas em sacolas de papel e levadas para estufa de ventilação forçada a temperatura de 65 °C por 72 horas. Após este período, as amostras foram moídas em moinho

tipo Willey em peneira 2mm e enviados para determinação da concentração de nutrientes foliares.

Os atributos do solo avaliados, na camada 0-0,20 m, foram pH em H₂O, P e K⁺ disponíveis, com solução duplo ácido Mehlich-1, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis, com solução KCL 1 mol L⁻¹. A amostra de solo em cada célula amostral era composta por três subamostras, ou seja, uma amostragem no centro da célula mais duas amostragens em um raio de 5 m do ponto central em direções aleatórias.

Para cada atributo estudado realizou-se a análise estatística clássica, com auxílio do *software* estatístico SAS. Os outliers (dados discrepantes) presentes nos conjuntos de observações foram substituídos por valores médios circunvizinhos da malha amostral. Em seguida, aplicou-se o teste de hipótese de normalidade, ou de lognormalidade dos atributos (x) de Shapiro y Wilk (1965) a 1% de probabilidade. Nele a estatística W testa a hipótese nula, a qual julga ser a amostra proveniente de uma população com distribuição normal.

Posteriormente, procedeu-se a análise geoestatística dos dados, realizando os semivariogramas simples para os atributos com dependência espacial e os respectivos mapas de isolinhas a partir da técnica da krigagem ordinária. Estes procedimentos foram realizados com o *software* Gama Design Software (GS+, 2004).

Os semivariogramas simples foram ajustados aos modelos exponencial, esférico e gaussiano pela seguinte equação:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância estimada e $N(h)$ o número de pares de valores medidos, $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ e, separados pela distância h .

Os ajustes dos semivariogramas simples, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de, respectivamente: **a)** maior coeficiente de determinação (r^2); **b)** menor soma dos quadrados dos desvios (SQD), e **c)** maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE).

3. Resultados

Os resultados da análise descritiva indicaram que, com exceção ao Pfoliar, P e Mg^{2+} , houve

distribuição de frequência do tipo normal. Quanto ao Coeficiente de Variação (CV), considerando-se a classificação descrita por Pimentel-Gomes (2009), verificou-se que os teores de Pfoliar, Kfoliar e AP apresentaram CV médio ($10\% < CV < 20\%$), para K^+ e Ca^{2+} foram observados CV alto ($20\% < CV < 30\%$), enquanto os demais atributos apresentaram CV muito alto ($CV > 30\%$). A análise descritiva completa dos atributos está apresentada na TABELA 1.

TABELA 1. Análise descritiva de atributos nutricionais do algodoeiro e químicos de um LATOSSOLO Vermelho-Amarelo (0-0,20 m)

Atributo da planta ^(a)	Medidas estatísticas descritivas									
	Média	Media-na	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente		Probabilidade		
			Min	Max		Var (\$)	Curt.	Ass.	Pr<w	DF
Atributos da planta										
Nfoliar	44,40	44,00	34,60	55,1	4,43	9,98	-0,18	0,28	0,1500	NO
Pfoliar	3,069	3,100	2,000	4,00	0,52	17,12	-0,14	-0,76	0,0001	IN
Kfoliar	15,77	15,00	12,80	19,50	1,65	10,91	0,44	0.11	0,8701	NO
Atributos do solo na camada de 0-0,2 m										
pH	5,550	5,580	5,00	6,25	0,28	5,21	-0,15	0,16	0,5212	NO
P	18,53	17,40	6,50	41,2	7,88	42,54	1,07	1,12	0,0002	IN
K ⁺	64,60	63,87	38,92	102,85	13,2	20,42	0,94	0,64	0,0566	NO
Ca ²⁺	3,520	3,430	1,10	5,22	0,77	22,10	0,75	-0,30	0,3979	NO
Mg ²⁺	0,770	0,720	0,22	1,58	0,28	36,84	0,59	0,70	0,0226	TN
AP	6,775	6,930	4,62	8,25	0,84	12,41	-0,40	-0,38	0,0825	NO
CTC	11,25	11,24	9,10	12,8	0,72	6,42	0,86	-0,59	0,0937	NO

Nota: Nfoliar ($g\ kg^{-1}$) = concentração de nitrogênio presente nas folhas; Pfoliar ($mg\ dm^{-3}$) = concentração de fósforo presente nas folhas; Kfoliar ($g\ kg^{-1}$) = concentração de potássio presente nas folhas; pH (H_2O) = potencial hidrogeniônico do solo na camada 0-0,20 m; Ca^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$) = teor de cálcio no solo na camada 0-0,20 m; Mg^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$) = teor de magnésio no solo na camada 0-0,20 m; AP ($cmol_c\ dm^{-3}$) = Acidez potencial do solo na camada 0-0,20 m; CTC ($cmol_c\ dm^{-3}$) = capacidade de troca de cátions do solo na camada 0-0,20 m. NO, TN e IN respectivamente são distribuição de frequência do tipo normal, tendendo a normalidade e indeterminada

Quanto aos atributos do solo, constatou-se que o P ($18\ mg\ dm^{-3}$) disponível na camada de 0-0,20 m. O teor de K^+ disponível no solo ($64\ mg\ dm^{-3}$) também está adequado, observando a CTC maior que $4\ cmol_c\ dm^{-3}$, conforme descreveram Sousa y Lobato (2004). Os resultados apresentados pela TABELA 1, acerca dos valores médios de pH e das

concentrações no solo de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , indicam que tais atributos não seguem a faixa de suficiência, tendo em vista o valor de 5,5 para o pH e 39,36 para o V%.

A concentração foliar média de potássio foi compatível com a faixa indicada como adequada para este nutriente (TABELA 2).

TABELA 2. Teores de nutrientes utilizados na interpretação dos resultados das análises de folhas do algodoeiro para a região do cerrado. Fonte: adaptado de Malavolta *et al.* (1997) e Kurihara *et al.* (2013)

Nutriente	Baixo	Suficiente	Excesso
g kg ⁻¹			
N	<39,1	39,1 a 43,2	>47,3
P	<2,3	2,3 a 2,8	>3,4
K	<13,7	13,7 a 18,2	>24,2

As análises geoestatísticas por meio dos parâmetros dos semivariogramas simples encontram-se na **TABELA 3**. Eles foram ajustados aos atributos fitotécnicos da cultura do algodão e aos atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m em Latossolo Vermelho-Amarelo referentes ao ano agrícola 2020.

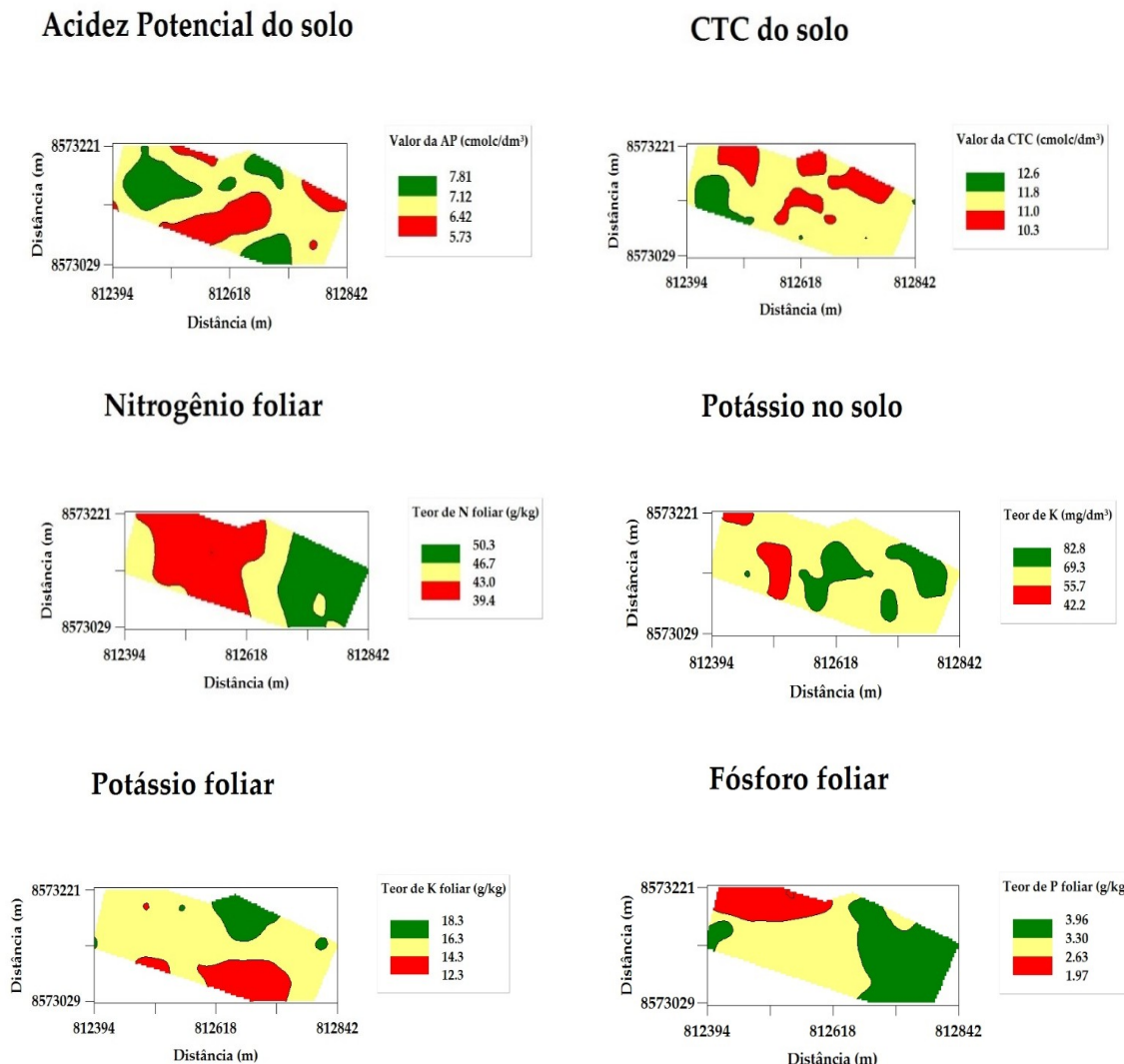
Uma vez apresentados e avaliados os parâmetros dos semivariogramas simples referentes aos atributos fitotécnicos da cultura e atributos químicos de solo na camada de 0 -0,20 m, iniciou-se processo para elaboração de mapas de krigagem ordinária (**FIGURA 2**), que permitem melhor avaliação e interpretação visual da distribuição dos atributos avaliados.

TABELA 3. Parâmetros dos semivariogramas simples

Atributo (a)	Parâmetros geoestatísticos								
	Modelo (b)	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	Avaliador da dependência espacial		
							ADE ^(d)	Classe	
γ(h) simples dos atributos da planta									
Nfoliar	esf	0,57x10 ¹	0,24x10 ²	310,30	7,12x10 ⁻¹	0,13x10 ³	76,5%	Forte	
Pfoliar	esf	1,00.10 ⁻³	6,97.10 ⁻¹	548,90	9,50x10 ⁻¹	2,26x10 ⁻²	99,9%	Forte	
Kfoliar	esf	4,99x10 ⁻¹	0,23x10 ¹	138,60	6,66x10 ⁻¹	5,09x10 ⁻¹	78,7%	Forte	
γ(h) simples dos atributos do solo na camada 0-0,20 m									
pH	epp	1,03x10 ⁻¹	1,03x10 ⁻¹	-	-	-	-	-	
P	epp	0,63x10 ²	0,63x10 ²	-	-	-	-	-	
K ⁺	exp	0,13x10 ⁻²	0,11x10 ³	77,10	4,02x10 ⁻¹	0,55x10 ³	88,0%	Forte	
Ca ²⁺	epp	5,24x10 ⁻¹	5,24x10 ⁻¹	-	-	-	-	-	
Mg ²⁺	epp	6,56x10 ⁻²	6,56x10 ⁻²	-	-	-	-	-	
AP	esf	2,50x10 ⁻¹	6,56x10 ⁻¹	83,20	9,30x10 ⁻¹	1,961x10 ⁻³	61,9%	Moderada	
CTC	exp	3,76x10 ⁻²	3,39x10 ⁻¹	114,6	8,82x10 ⁻¹	2,216x10 ⁻³	88,9%	Forte	

Nota ^(a): Nfoliar = concentração de nitrogênio presente nas folhas; Pfoliar = concentração de fósforo presente nas folhas; Kfoliar = concentração de potássio presente nas folhas; pH = potencial hidrogeniônico do solo na camada 0-0,20 m; Ca = teor de cálcio no solo na camada 0-0,20 m; Mg = teor de magnésio no solo na camada 0-0,20 m; AP = Acidez potencial do solo na camada 0-0,20 m; CTC = capacidade de troca de cátions do solo na camada 0-0,20 m ^(b) exp = exponencial, esf = esférico e epp = efeito pepita puro; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) R² = coeficiente de determinação; SQR = soma do quadrado dos resíduos; ADE = avaliador da dependência espacial

FIGURA 2. Mapas de krigagem dos atributos fitotécnicos e químicos de um LATOSSOLO Vermelho Amarelo referentes ao ano agrícola 2019/2020



4. Discussões

A distribuição de frequência do tipo normal que os dados apresentaram ocorre devido aos valores de curtose e assimetria próximos de zero, bem como valores de média e mediana aproximadamente iguais, podendo ambos representar o comportamento desses atributos, conforme esclarece Miot (2017). Apesar de desejável, visto que possibilita estimativas mais eficientes no processo de interpolação, a distribuição normal não é um pressuposto fundamental para a formalidade geoestatística

(Oliveira *et al.*, 2015). 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 (Bernardi *et al.*, 2016).

Com relação ao P disponível no solo, é salutar destacar que, mesmo com o histórico de aplicação deste nutriente na linha de semeadura, de forma a promover o menor contato possível com o solo e o mais próximo das raízes, a

absorção se dá predominantemente por difusão (Thomas, 1986). Este é um nutriente de baixa mobilidade dinâmica que esta atribuída a fixação pelos minerais da argila, como óxidos de ferro e de alumínio (Klein, 2014), além da fixação com o cálcio em solos com pH elevado, conferindo a este elemento alta variabilidade a curtas distâncias, justificando o maior valor de CV observado.

Os menores valores de CV encontrado foram para o pH, CTC e de Nfoliar (CV < 10%). Índices semelhantes foram observados por Batista (2020). Bottega *et al.* (2013), afirmam que, dentre os diversos atributos do solo, o pH normalmente apresenta menor variabilidade espacial. Os teores foliares de N, P e K⁺ tendem a apresentar certa homogeneidade por apresentarem CV baixo ou médio mesmo entre diferentes culturas, corroborando com Gott, (2014), em que segundo o referido autor os teores foliares de N, P e K⁺ na cultura do milho apresentaram CV menores que 25%.

Os teores de P disponível na camada de 0-0,20 m apresentou níveis adequados, podendo variar de 15,1 a 20,0 mg dm⁻³, faixa de indicação do elemento para estes sistemas (Sousa y Lobato, 2004). O teor médio adequado de P disponível no solo corrobora o teor médio deste elemento nas folhas, denotando, de forma geral, eficiência ao manejo deste nutriente, tendo em vista que, pela média, atendeu ao requerimento da cultura, que apresentou alta produtividade média no talhão pesquisado.

O teor de K⁺ disponível apresentou-se adequado, conforme descreveram Sousa y Lobato (2004). Os valores médios para concentração de Nfoliar, Pfoliar e Kfoliar, indicando que o primeiro esteve acima da faixa de suficiência apresentada por Malavolta (1997) e Kurihara (2013), (TABELA 2), para a cultura do algodão, enquanto Pfoliar esteve ligeiramente abaixo da faixa de excesso e o Kfoliar esteve dentro da faixa de suficiência. Segundo Silva (2006), que avaliou o estado nutricional do algodoeiro para a região centro oeste brasileira, a concentração foliar deste nutriente pode variar de 14 a 16 g kg⁻¹, corroborando o resultado desta pesquisa.

Com relação a aplicação dos macronutrientes (NPK) é importante observar as doses indicadas porque, de acordo com Silva (2006), quando ocorre o consumo de luxo de nutrientes pelas culturas, há a possibilidade de ocorrerem perdas econômicas, pois a planta não estará convertendo nutrientes de modo a propiciar incremento de produtividade.

Outro fator de grande importância é a observação das características de uso e ocupação, em que as quantidades de N podem ser reduzidas em até 40% quando o algodão for cultivado em área com baixo potencial de resposta a N, como por exemplo áreas cultivadas com soja nos últimos três ou mais anos. Logo, as dosagens devem ser ajustadas em 20% quando o algodão for cultivado em áreas com alto potencial de resposta a N, como cerrado recém incorporado ao sistema de produção ou primeiros anos de plantio (Sousa e Lobato, 2004).

A concentração foliar média de fósforo acima da faixa de suficiência (TABELAS 1 e 2) pode estar relacionada às novas variedades de algodoeiro, uma vez que quanto maior produtiva, dependendo da eficiência da planta na utilização do nutriente, poderá haver maior demanda (Silva, 2006; Novais y Smyth, 1999).

A análise geoestatística presente na TABELA 3, em que se destacam inicialmente os atributos do solo pH, P, Ca²⁺ e Mg²⁺, que apresentaram Efeito Pepita Puro (EPP), isto é, para estes atributos houve ausência de dependência espacial, não sendo possível, portanto, apresentar mapas de krigagem confiáveis, que representem com fidelidade a variabilidade espacial destes atributos no solo.

Os atributos com EPP indicam distribuições casuais, ou seja, variabilidade não explicada ou variação não detectada, e pode ocorrer devido a erros de medidas, erros de amostragem, ou microvariação não observada, considerando ser o espaçamento de amostragem utilizado maior que o necessário para detectar dependência espacial (Aquino *et al.*, 2015).

Para os demais atributos, isto é, Nfoliar, Pfoliar, Kfoliar, K⁺, AP e CTC (TABELA 3), os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados aos modelos teóricos que melhor

descreveram o comportamento da variabilidade espacial dos mesmos bem como os mapas de krigagem (FIGURA 1) que caracterizam a dinâmica espacial.

Entre os atributos do solo com dependência espacial, o menor alcance observado foi para K^+ (77,10 m), em discordância com Carvalho *et al.* (2018) que afirmaram que os valores de alcance para o K^+ costumam ultrapassar os 200m.

De forma geral os atributos foliares apresentaram alcance significativamente superior aos atributos do solo. Quanto a isso infere-se a maior homogeneidade observada para estes atributos em comparação aos do solo. Por outro lado, Vieira *et al.* (2010) corroboraram os resultados geoestatísticos desta pesquisa, apresentando, para a cultura da soja, os maiores valores de alcance para os atributos da planta em comparação com os atributos do solo.

O alcance reflete o grau de homogeneização de determinado atributo na área em estudo, sendo fundamental para interpretação dos semivariogramas, pois indica a distância até onde os pontos estão correlacionados entre si, podendo ser entendido como, quanto menor o alcance, maior é a variabilidade do atributo a curtas e menor deve ser a densidade amostral (Santos, 2018; Molin *et al.*, 2015).

O modelo esférico foi predominante para os atributos com dependência espacial seguido do modelo exponencial. Segundo Noetzold (2018), os modelos esférico e exponencial apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos de solo e planta. De acordo com Camargo (2008), dentre as informações cruciais necessárias para avaliação e escolha de um modelo matemático representativo de variabilidade espacial de um atributo específico, o coeficiente de determinação (R^2) é a mais importante delas. Assim, neste estudo, com exceção do K^+ , todos os atributos apresentaram valores superiores a 50% de R^2 , comprovando, de forma geral, os bons ajustes apresentados pelos semivariogramas, denotando confiabilidade aos mapas de krigagem (FIGURA 2).

Os mapas de krigagem indicaram que a variabilidade espacial do Kfoliar não apresentou, visualmente, correspondência espacial com a

variabilidade espacial do potássio disponível no solo, o que permite inferir que ocorreram falhas nas atividades envolvendo aplicação deste elemento em taxa variável, podendo estar isso associado ao aumento da heterogeneidade do atributo no solo. Destaca-se também que as regiões em vermelho nos dois mapas podem significar teores baixos do elemento nas folhas bem como médio teor de K^+ disponível no solo, evidenciando a necessidade de ajustes na aplicação deste elemento em taxas variáveis.

A FIGURA 2 ilustra ainda que, para a distribuição de nitrogênio foliar (Nfoliar), a região central destacada em vermelho, apresentou menor concentração do elemento quando comparada a área total. No entanto, conforme interpretação concebida pela TABELA 2, não configura deficiência de N, apenas menor concentração do nutriente. E a área em verde (região leste), evidencia onde ocorre o consumo de luxo do nutriente, região onde pode haver menor taxa de aplicação deste elemento no solo, isto é, a partir de técnicas da agricultura de precisão.

Já para o mapa do fósforo presente nas folhas (Pfoliar), fica visualmente evidente a grande heterogeneidade presente na área de estudo, o que remete a dificuldade que se tem em homogeneizar a concentração deste elemento no solo tendo em vista o histórico de adubação em taxa fixa. A cor verde indica as áreas em que o elemento está em níveis ligeiramente acima da faixa de suficiência, ao passo que a cor bege ilustra a faixa adequada de concentração foliar e o vermelho indica concentração abaixo do adequado (TABELA 2), corroborando a tese de que a agricultura moderna não se faz pela média, mas sim de acordo com a variabilidade espacial dos fatores produtivos.

Ao contrário da lógica de raciocínio empregada na interpretação dos mapas supracitados, para o mapa de krigagem referente a Acidez Potencial (AP), a coloração verde representa o maior valor, o que em termos práticos, se traduz em maior quantidade de calcário a ser utilizada para correção do solo, implicando em um maior custo operacional para a propriedade. Entretanto, também pode indicar um solo com maior CTC, que ao ser corrigido,

poderá atuar como 'estoque' de nutrientes, conforme corrobora Magalhães *et al.* (2013).

Com relação a CTC do solo, a coloração bege do mapa que representa a CTC moderada do solo, apresenta visualmente semelhança quando comparada a área preenchida pela mesma cor no mapa de acidez potencial. Essa correlação pode ser feita, porque para o cálculo de estimativa de CTC, é considerado também o valor de acidez potencial (Sousa y Lobato, 2004). A mesma observação visual, permite inferir que houve correspondência espacial entre o Nfoliar e Pfoliar, isso devido à forte semelhança aparente dos mapas gerados a partir da krigagem dos atributos fitotécnicos de planta.

5. Conclusões

Não houve correspondência espacial, a partir da análise visual, entre os atributos avaliados, com exceção aos mapas de Nfoliar e Pfoliar que

apresentaram similaridade na região Leste da área pesquisada.

Na lavoura ocorre regiões com consumo de luxo de N, denotando baixa eficiência econômica e agrônômica para o manejo deste elemento no solo e indicando a necessidade, para as safras futuras, da aplicação de fontes de N em taxa variável no solo.

Existe a necessidade de homogeneização dos teores de P disponível no solo em níveis adequados em algumas regiões da área pesquisada onde os teores foliares foram baixos. E os maiores valores de alcance da dependência espacial foram registrados para os atributos nutricionais da planta.

Dessa forma, as técnicas geoestatísticas se apresentam como valiosas ferramentas para o aprimoramento da gestão do solo e da planta em sítios específicos.

6. Referências citadas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE ALGODÃO (ABRAPA). 2020. *Algodão no Brasil*. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados.aspx>. [Consulta: outubro, 2020].
- AQUINO, R. E; CAMPOS, M. C. C; OLIVEIRA, I. A; SIQUEIRA, D. S; SOARES, M. D. R. e L. FREITAS. 2015. "Técnicas geoestatísticas na avaliação de atributos químicos em Cambissolo com agrofloresta e cana-de-açúcar em Humaitá, Amazonas". *Agrária*, 10(4): 544-552.
- BATISTA, J. A. 2020. *Caracterização e manejo do solo por unidades de gestão diferenciada em lavoura de urucum durante 2 anos agrícolas*. Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Coleção Ilha Solteira. Tesis Doutoral.
- BATISTA, J. A. 2016. *Adoção da agricultura de precisão na Amazônia: estudo de caso na região cone sul do estado de Rondônia*. - Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão. Colégio Politécnico. Universidade Federal de Santa Maria (RS). Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão).
- BERNARDI, A. C. C; BETTIOL, G. M; FERREIRA, R. P; SANTOS, K. E. L; RABELLO, L. M. & R. Y. INAMASU. 2016 "Spatial variability of soil properties and yield of a grazed alfalfa pasture in Brazil. Precision Agriculture". *Dordrecht*, 17: 737-752.
- BOTTEGA, E. L; QUEIROZ, D. M; PINTO, F. A. C; MÁRCIO, C. e A. SOUZA. 2013. "Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro". *Revista Ciência Agrônômica*, 44(1): 1-9.

- BREMNER J. M. 1965. "Total Nitrogen. Methods of soil analysis Part 2- Chemical and Microbiological Properties, number 9 in the series Agronomy". *American Society of Agronomy*, 1.149-1.178. Inc. Publisher USA.
- CAMARGO, L. A; MARQUES JUNIOR, J; PEREIRA, G. T. e R. A. HORVAT. 2008. "Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. II - correlação espacial entre mineralogia e agregados". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 32(6): 2.279-2.288.
- CARVALHO. P. S. M.; SILVA, S. A; PAIVA, A. Q; SODRÉ, G. A. e J. S. S. LIMA. 2018. "Variabilidade espacial da fertilidade de um solo cultivado com cacauzeiro". *Revista Engenharia na Agricultura*, 26(2): 178-189.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). 2018. *Análise Mensal: Algodão Agosto de 2018*. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. [Consulta: abril, 2023].
- FONSECA, E. L. & E. P. SILVA FILHO. 2023. "Predictive modeling applied to potential soil erosion risk mapping in the western Amazon". *Mercator*, 22. Disponível em: <https://doi.org/10.4215/rm2023.e22010>.
- GOTT, R. M; AQUINO, L.; CARVALHO, A. M. X; SANTOS, L. P. D; NUNES, P. H. M. P. e B. S. COELHO. 2014. "Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(11): 1.110-1.111. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n11/03.pdf>. [Consulta: novembro, 2020].
- KLEIN, V. A. 2014. *Física do solo*. Ed. da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo (RS), Brasil
- KURIHARA, C. H; VENEGAS, V. H. A; NEVES, J. C. L; NOVAIS, R. F e L. A STAUT. 2013. "Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS". *Rev. Ceres*, 60(3): 412-419.
- MACHADO, J.; PADILHA M., R. F.; LIRA, F. P.; OLIVEIRA, J. G.; SILVA, R. S. e M. B. C. CAETANO. 2017. "Agricultura de Precisão e abertura de novas fronteiras no Brasil". *Revista Geama*. 4(1): 49-53.
- MAGALHÃES, S. S. A.; WEBER, O. L. S; SANTOS, C. H. e F. C. VALADÃO. 2013. "Estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso do solo de Colorado do Oeste-RO". *Acta Amazonica*, 43(1): 63-72.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G. C. e S. A. OLIVEIRA. 1997. "Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional". In: *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. POTAFOS. Piracicaba (SP), Brasil.
- MIOT, H.A. 2017. "Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais". *Jornal Vascular Brasileiro*, São Paulo, 16(2): 88-91.
- MOLIN, J. P; AMARAL, L. R. e A. F. COLAÇO. 2015. *Agricultura de precisão*. Oficina de textos. . São Paulo, Brasil.

- NOETZOLD, R; SILVA, L. M.; SCHONINGER, E. L.; TOMÉ, P. C. D. e M. C. ALVES. 2018. "Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo durante cinco safras". *Revista Brasileira de Geomática*, 6(4): 328-345.
- NOVAIS, R. F. e T. J. SMYTH. 1999. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa (MG), Brasil.
- OLIVEIRA DE, R. P.; GREGO, C. R. e Z. N. BRANDÃO. 2015. *Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper*. Embrapa Solos. Brasília-DF, Brasil
- PIMENTEL-GOMES, F. 2009. *Curso de estatística experimental*. Fealq. (15 ed). Piracicaba (SP), Brasil.
- SANTOS, H. G; JACOMINE, P. K. T; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A; ... & OLIVEIRA, J. B. 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa. Brasília, DF, Brasil.
- SILVA, M. A. C. 2006. *Métodos de avaliação do estado nutricional para o algodoeiro no Centro-Oeste do Brasil*. Jaboticabal, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/>. [Consulta: outubro, 2020].
- SHAPIRO, S. S. & M. B. WILK. 1965. "An analysis of variance test for normality (complete samples)". *Biometrika*, 52; 591-611.
- SOUSA, D. M. G. e E. LOBATO. 2004. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Embrapa, Informação Tecnológica. Brasília, DF, Brasil.
- TAIZ, L. e E. ZEIGER. 2008. *Fisiologia vegetal*. (3. ed.) Artmed. Porto Alegre, Brasil.
- THOMAS, G. W. 1986. "Mineral nutrition and fertilizer placement". In: M. A. SPRAGUE & G. B. TRIPLETT, *No-tillage and surface-tillage agriculture: the tillage revolution*, pp. 1-18. John Wiley. New York, USA.
- VERA, G. S; CRUZ, G. S; SOUZA, H. A; SILVA, K. J. D e A. A.C. BEZERRA. 2019. Acúmulo e marcha de absorção de macronutrientes no feijão-caupi em sistema de cultivo mínimo. *V CONAC (Congresso Nacional de Feijão Caupi)*. Fortaleza (CE), (06 e 07 junho de 2019).
- VIEIRA, S. R; FILHO, O. G; CHIBA, M. K; MELLIS, E. V; DECHEN, S. C. F; MARIA, I. C. 2010. "Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em latossolo vermelho". *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1503-1514.
- WANG, X. X.; LIU, S; ZHANG, S; LI, H. MAIMAITIALI, B.; FENG, G & Z. RENGEL. 2018. "Localized ammonium and phosphorus fertilization can improve cotton lint yield by decreasing rhizosphere soil pH and salinity". *Field Crops Research*, 217(3): 75-81. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.011>.

Local e data de finalização do artigo:
Colorado do Oeste, Rondônia, Brasil; junho, 2024