



Variabilidade espacial de características morfofisiológicas do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.)

Marony Pereira de Almeida Santos^{a*}, Antônio Clementino dos Santos^a,
Guillermo Arturo Herrera Chan^a, Mateus Sunti Dalcin^a, Weslany Silva Rocha^a,
Olavo da Costa Leite^a

^a Universidade Federal do Tocantins, Brasil

* Autor correspondente (maronysantos@yahoo.com.br)

INFO

Keywords

Vigna unguiculata (L.)
geoestatistic
variability

ABSTRACT

Spatial variability of morphophysiological characteristics of cowpea (Vigna unguiculata L.).

Study in relation to the behavior of the productive potential of the cowpea is determined by the edaphoclimatic factors, as a climatic element, the climatic conditions are directly related to the chemical attributes of the soil and the productivity components of the cowpea. It is worth noting that it is a nutrient-demanding plant, due to the small and shallow root system and the short cycle that is related to physiological conditions. This work aimed to analyze the morphophysiological characteristics of the bean crop through semivariograms, in order to qualify the best productive regions of the stand. The following evaluations were carried out: plant height, stem diameter, A, B and total chlorophyll. Spatial dependence was analyzed through semivariogram adjustments, based on statistical and geostatistical techniques, in order to observe the values of chlorophylls A, B and total, which are correlated. The stem diameter presents a moderate degree of spatial dependence which corresponded to 31% for the analyzed data. Plant height has a low degree of spatial dependence which is equivalent to only 9%. The Kriging mappings allowed detailed analyzes under the spatial variability of morphophysiological characteristics based on data quantifications in relation to the effects of spots caused on soil fertility.

RESUMO

Palavras-chaves

Vigna unguiculata (L.)
geoestatística
variabilidade

Estudo em relação ao comportamento do potencial produtivo do feijão-caupi é determinado pelos fatores edafoclimáticos, como elemento climático, as condições climáticas estão relacionadas diretamente com os atributos químicos do solo e os componentes de produtividade do feijão-caupi. Vale destacar, que ela é uma planta exigente em nutrientes, em função do pequeno e pouco profundo sistema radicular e do ciclo curto que está relacionado com as condições fisiológicas. Este trabalho objetivou analisar características morfofisiológicas da cultura do feijoeiro por meio de semivariogramas, a fim de qualificar as melhores regiões produtivas do talhão. Foram realizadas as seguintes avaliações: a altura da planta, diâmetro do caule, clorofila A, B e total. A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas, com base nas técnicas estatísticas e geoestatísticas foram utilizadas a fim de se observar os valores das clorofilas A, B e total, que se apresentam correlacionado. O diâmetro de caule apresenta um moderado grau de dependência espacial que correspondeu a 31 %, para os dados analisados. A altura de planta apresenta fraco grau de dependência espacial que equivale a apenas 9%. Os mapeamentos de Krigagem permitiram análises detalhadas sob a variabilidade espacial de características morfofisiológicas com base nas quantificações dos dados em relação aos efeitos de manchas provocados a fertilidade do solo.

Received 15 March 2021; Received in revised from 20 May 2021; Accepted 29 October 2021



INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma leguminosa bastante utilizada como cultura alimentar no Brasil, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, sendo de origem africana. Vale destacar que o feijão-caupi pode ser chamado de feijão de corda ou feijão macassar entre outros nomes populares, tendo como características de ter grãos secos cozidos e na fase de maturação, grãos verdes, com baixo custo de produção. Segundo Frota et al. (2018), frisam que o feijão caupi é uma das principais culturas alimentares do Nordeste brasileiro, se destaca pelo alto valor nutritivo, além do baixo custo de produção, possuindo de maneira geral atributos desejáveis, como alto conteúdo proteico, energético, de fibras alimentares e de minerais, tais como: ferro, zinco, potássio, fósforo e magnésio.

Conab (2021), (Companhia Nacional de Abastecimento), mostra que feijão-caupi tem grande importância, principalmente por apresentar alta demanda consumidora, destacando os Estado do Piauí e Bahia, que, juntos, representam mais de 86% da área estimada para o plantio do feijão-caupi em todo o país, com perspectiva total para o feijão nesta temporada 2020/21, incluindo as estimativas de terceira safra, é de destinação de 2.945,9 mil hectares para o cultivo da cultura (considerando o feijão-comum cores, o feijão comum preto e o feijão-caupi) e uma produção de 3.250 mil toneladas. Destacando também, o Estado do Tocantins, apresentando maior relevância na produção da região Norte, com área superior a 29 mil hectares em 2019, visto que a maior parte dessas áreas são manejadas em condição de sequeiro com uma produção de 32,6 mil toneladas, representando incremento de 36,4% em comparação a 2018/19.

Nesse sentido, variabilidade espacial de atributos físicos de solo, mapeamento das características morfofisiológicas de uma planta tem sido muito utilizada para buscar melhorias no uso de manejo de solo. Dessa forma, o mapeamento por análise visual dos mapas obtidos por krigagem permite quantificar diversas

variáveis, identificando como o grau de dependência espacial dos tipos de solos. Ribeiro et al. (2016), mostram que com a mapeamento baseado por krigagem mostrou-se satisfatório em relação a variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto, identificando os maiores teores de umidade e densidade, densidade e porosidade do solo, nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto. Silva et al (2013), relatam que a coleta de amostras de solo georreferenciadas permite espacializar os atributos químicos, com auxílio das ferramentas de geoestatística, sendo frequentemente utilizada, visando identificar zonas com restrições químicas que possam estar limitando o rendimento e os aspectos morfofisiológicos das culturas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial das características morfofisiológicas do feijão-caupi, através de semivariogramas, a fim de qualificar as melhores regiões produtivas do talhão.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário Gurupi, localizado na região sul do Estado do Tocantins, a 280 m de altitude, sob as coordenadas 11°44'50" de latitude e 49°03'07" de longitude, no período de dezembro a março de 2020. O solo utilizado foi classificado como: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA), (Santos, 2013).

A precipitação média anual varia entre 1300 a 1500 mm, com temperatura média anual de 27 °C, (SEPLAN, 2012). Leite (2015) retrata que nas proximidades de Gurupi (TO), a média de precipitação pluviométrica, é de 1.646,3 mm ano⁻¹.

O solo foi coletado na camada de 0–20 cm com base na coordenadas descritas acima. A caracterização química e textural estão apresentadas na tabela 1. A adubação de plantio foi de 150 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg.ha⁻¹ de K₂O, e nenhuma adubação para o controle.

Tabela 1 - Características químicas de um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico na camada de 0-20 cm, em experimento de doses de fósforo na cultura do feijão-caupi, semeada em Gurupi -TO, 2017.

SOLOS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB ²	CTC(T) ¹	CTC(t) ³	V ⁴	m ⁵	MO ⁶	pH CaCl ₂	
 cmolc dm ⁻³ (%)					
LVA	2,6	0,9	0,1	2,5	3,61	6,26	2,4	59	3	1,9	4,8	
SOLOS	P	K	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Silte	Argila	Areia	Cascalho	Terra Fina
 mg dm ⁻³ g kg ⁻¹					
LVA	2,9	0,11	0,18	0,8	26,0	0,7	2,1	50	275	675	0	100

Para amostragem, selecionou-se uma área de 32,5 m por 25 m, totalizando 812,5 m², que foi dividida em 50 parcelas de 6,5 m x 2,5 m (16,25 m²) cada uma. Foram definidas as direções X e Y

do sistema de coordenadas cartesianas. Em cada parcela foi determinada uma planta (ponto) com intervalo de 6,5 L/O (X) e 2,5 N/S (Y) (Figura 1).

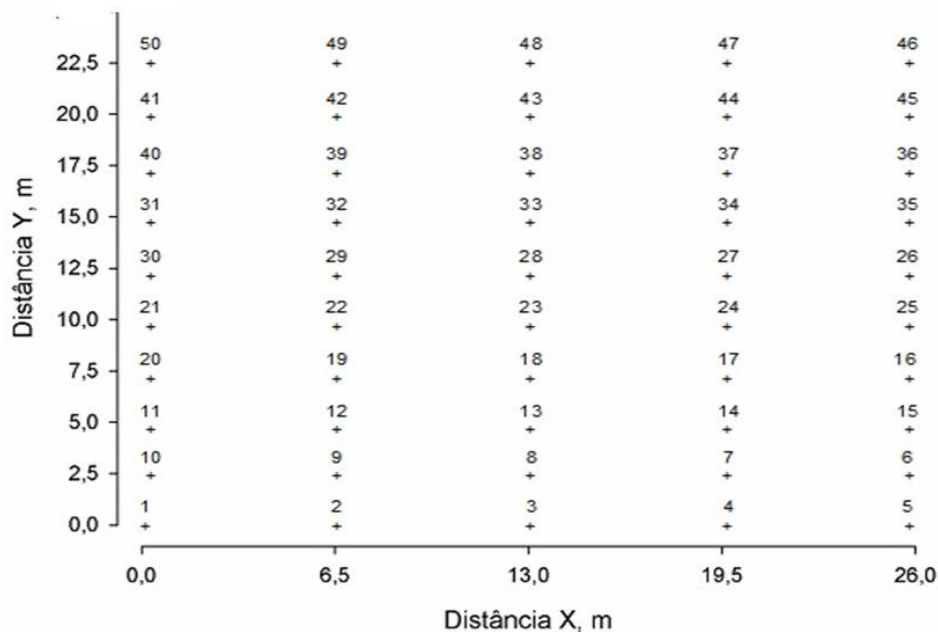


Figura 1 - Esquema de amostragem das plantas de feijão-caupi.

Em cada planta foi realizada as seguintes avaliações: a altura da planta, levando-se em consideração a distância média do solo até o ponto da haste principal (cm), diâmetro do caule foi considerado na primeira ramificação (mm), clorofila A, B e total foram tomadas da última folha desenvolvida da haste principal. As variáveis alturas de plantas foram determinadas com o auxílio de uma régua em centímetros. Já para determinação do diâmetro do colo utilizou-se um paquímetro graduado em milímetros. A medição da altura da planta e diâmetro do colo foi analisada no estágio fenológico V4.

A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas (Vieira, 2000), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada pela Equação 1:

$$y(h) = 12N(h) \sum_{i=1}^{N(h)-h} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad 1$$

Em que:

N(h) o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h. O gráfico de $y(h)$ é denominado semivariograma.

O grau de dependência (GD), consiste na razão

entre a variância estrutural e o patamar. Este parâmetro permite classificar o grau de dependência espacial e foi calculado através da Equação 2:

$$GD = C / (C_0 + C) \quad 2$$

Em que:

- C_0 : efeito pepita (representa a variação aleatória do fenômeno estudado);
- C: Variância estruturada (variância explicada pela componente espacial);
- $C_0 + C$: patamar (variação total do fenômeno avaliado).

Segundo os critérios de Cambardella et al. (1994) quando a razão entre o efeito pepita e o patamar, expressa em porcentagem, é < 25%, a dependência espacial dessa variável é considerada forte, entre 25 e 75% é considerada moderada e se a razão for > 75% é considerada fraca.

Os programas utilizados foram GS+ versão 7 (2004) e o Surfer 8 (2002) para a confecção dos mapas. As análises geoestatísticas para obtenção da confecção dos mapas foram realizadas utilizando o programa Geostatistics for the Environmental Sciences - GS+® 7.0 e o programa Surfer® 8, contribuindo para as avaliações experimentais de validação cruzada no comportamento espacial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão relacionados os resultados da estatística descritiva aplicada às variáveis avaliadas para a área em estudo. Os valores da média e mediana para quase todas as variáveis estão pouco distantes, mostrando distribuições assimétricas, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria distantes de zero. De acordo

com Diggle & Ribeiro (2007), o coeficiente de assimetria e curtose são mais sensíveis a valores extremos do que a média, mediana e o desvio padrão, uma vez que um único valor pode influenciar fortemente o coeficiente de assimetria e curtose, pois os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência.

Tabela 2 - Média, mediana, variância, desvio-padrão (DP), coeficiente de variação (CV), valor mínimo, valor máximo, assimetria e curtose, para características agrônomicas do feijão-caupi em Gurupi-TO

Variável	Média	Mediana	Variância	DP.	CV %	Min.	Max.	Assimetria
Altura	64,58	75,50	147,3914	12,14164	18,80	35	103	-2,698
Diâmetro	8,80	8,125	2,9303	1,7118	19,45	6,08	14,01	1,183
Clor. A	31,9	31,1	5,971363	2,44363	7,66	28	36	0,982
Clor. B	17,2	14,45	8,971922	2,9953	17,41	14	22	2,754
Clor. Total	47	45,6	26,144853	5,1132	10,87	43	52	0,821

Os coeficientes de variações evidenciaram valores entre 7,66% e 19,45%. Segundo Pimentel-Gomes (2000), o coeficiente de variação dá uma ideia da precisão experimental. Tendo-se por base os coeficientes encontrados no presente estudo, pode-se classificar em baixos, quando inferiores a 10 %, médios quando variarem de 10-20 %, altos quando variarem de 20-30 % e muito altos quando forem superiores a 30. Portanto verifica-se que a característica clorofila A apresentou CV% baixo (7,66%), e as demais variáveis alturas, diâmetro, clorofila B e clorofila total exibiram CV% considerados médios.

Para Webster (2001), o valor de assimetria até 0,5, sendo indicativo que é determinado pelo atributo presente na distribuição normal, sendo dispensada a transformação logarítmica para normalização dos dados; nesse sentido, os valores entre 0,5 e 1,0 necessitam de análise por meio de

seus quadrados mínimos para averiguar tendência de uma distribuição log normal e valores de assimetria maiores que 1,0 necessitam de transformação logarítmica para apresentarem distribuição normal. Portanto, para todas as variáveis agrônomicas estudadas, há necessidade de transformação dos dados para obtenção de uma distribuição normal.

Na Tabela 3, apresentam-se os modelos de semivariogramas selecionados com os respectivos parâmetros de ajuste e o grau de dependência espacial. Observa-se, nessa Tabela, que o GD na maioria dos casos foi acima de 92 %, com apenas duas exceções, sendo 31 % para diâmetro de caule e 9 % para altura de planta menor valor encontrado. Com isso, é possível constatar forte estrutura de dependência espacial do teor de clorofila A, B e Total na cultura de feijão-caupi na área estudada.

Tabela 3 - Modelos e resultados da dependência espacial ajustados aos dados

Variáveis	Modelo	C ₀	C ₀ +C	A	C(C ₀ +C)	Classificação	R ²
Altura	Linear	138,88	152,76	21,69	0,091	Fraco	0,03
Diâmetro	Linear	2,23	3,23	16,59	0,310	Moderado	0,18
Clor. A	Exponen-	0,35	5,57	4,08	0,937	Forte	0,17
Clor. B	Gaussiano	0,54	8,89	3,93	0,939	Forte	0,36
Clor.Total	Exponen-	1,92	26,42	5,4	0,927	Forte	0,21

C₀: efeito pepita, (C₀+C): patamar, A: alcance em metros e R²: coeficiente de correlação.

Analisando os valores do alcance teórico dos modelos selecionados (Tabela 3), verificaram-se valores entre 3 e 21 m, havendo tendência dos maiores valores para altura de planta e diâmetro de

caule. Além disso, notou-se tendência de menores valores para os teores de clorofila A, B e Total.

Confrontando os resultados dos alcances teóricos dos modelos de semivariogramas

ajustados (Tabela 2), constataram-se menores valores dos alcances na primavera, próximos a 100 m. Desse modo, pode-se inferir que há necessidade de aumentar a quantidade de amostras de umidade do solo no período chuvoso, especialmente no verão, de forma a diminuir a dispersão das diferenças relativas e, conseqüentemente, proporcionar melhores condições para seu posterior mapeamento.

O comportamento do alcance do semivariograma está associado à existência de estrutura de dependência espacial e aplicação dos princípios da correlação espacial. O valor de patamar e o efeito pepita mostram a extensão da estrutura de dependência espacial e representam a variação aleatória do fenômeno (Barreto et al., 2012).

Os resultados da análise geoestatística mostraram que todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial (Tabela 3), com exceção da altura de planta, que indicou efeito pepita puro, sinalizando, segundo Vieira (2000), variabilidade não explicada, que pode ser em decorrência de erros de medida e microvariações não detectadas, considerando-se a distância de amostragem utilizada.

Para os dados que apresentaram fraca dependência espacial, não foi possível o ajuste dos semivariogramas, pela inexistência de patamar. O número reduzido de amostras pode ter causado a inexistência de dependência para alguns dados, pois as amostragens devem ser suficientemente próximas para que se possam caracterizar possíveis manchas de variabilidade. Portanto, distâncias de amostragem menores do que as utilizadas neste trabalho poderiam melhorar a precisão no ajuste dos semivariogramas (Silva Neto et al., 2012). Vale destacar que a modelagem de dados de mapeamento como a krigagem é

considerada um excelente instrumento de processamento de informação relacionada com a distribuição espacial de variáveis, como questões de levantamento ambientais, utilizando procedimentos geoestatísticos. Segundo Landim (2006), Lundgren (2017), a krigagem constrói mapa de excelente qualidade fornecendo resultados confiáveis, obtendo dependência espacial, onde sua existência verificada pelo semivariograma amostral ou pelo teórico são os principais instrumentos da geoestatística.

O modelo linear (Tabela 3) foi o que melhor se ajustou aos dados de diâmetro de caule, e representando moderada dependência espacial. O mapa (Figura 3) para altura de plantas permite inferir que essa variável se mostrou muito homogênea na área, não havendo grandes variações na altura de plantas de feijão-caupi. Para diâmetro de caule (Figura 3) pode-se inferir que a porção inferior direita da área apresentou maior diâmetro de caule (maior que 10,5 cm) das plantas de feijão, indicando redução da parte inferior direita para superior esquerda.

Devido, possivelmente, à interferência de manejos culturais na camada superior (0-20 cm), como teores de fósforo existentes no solo desta área, os pontos onde apresentaram cores mais escuras, ou seja, diâmetros maiores foram os locais com maiores adubações com fósforo, que variaram de 0 a 150 kg de P_2O_5 ha⁻¹ combinados com a influência dos fatores ambientais, como chuvas e escoamentos superficiais. Miranda et al. (2005) também relatam que a variabilidade no estande das culturas está diretamente relacionada com os fatores edáficos, como propriedades físicas, químicas e biológicas, fatores climatológicos, como precipitação e de manejo, como aplicações desuniformes de sementes, fertilizantes e corretivos.

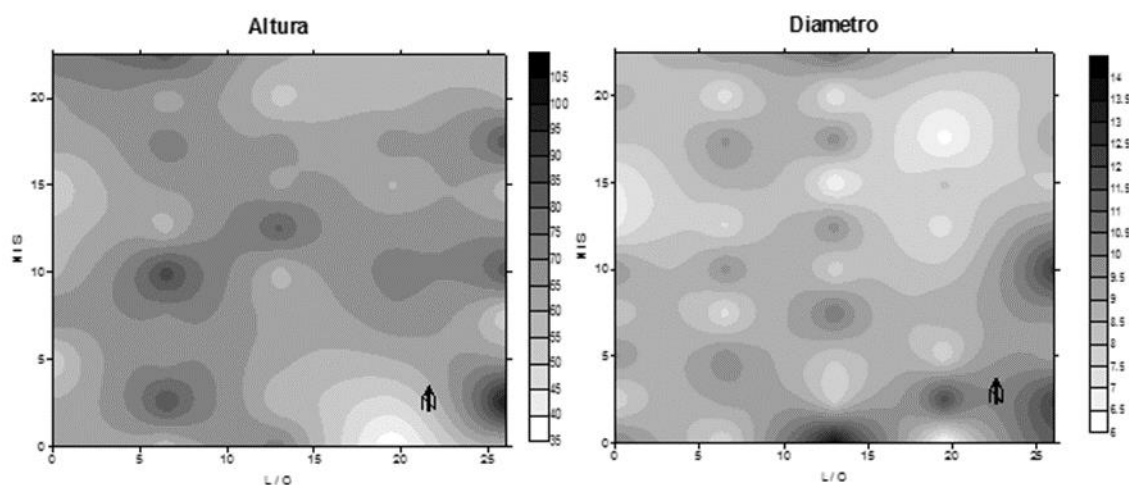


Figura 3 - Mapas de Krigagem para as variáveis analisadas altura de planta e diâmetro de caule

Os resultados da análise geostatística, para as variáveis clorofila, nas diferentes amostras, demonstraram que, o modelo exponencial foi o que melhor se adequou para clorofila A e Total, já para a clorofila B, melhores resultados foram verificados para o modelo Gaussiano, observando forte dependência espacial entre as clorofilas (Tabela 2). Hurtado et al. (2009), estudando a variação espacial da clorofila no milho,

encontraram que os modelos que melhor se ajustaram para os semivariogramas dos índices de clorofila, foram o exponencial, Gaussiano e esférico, no entanto, os índices de clorofila apresentaram moderada dependência espacial. Para melhor apresentação do índice de clorofila A, B e Total foram gerados mapas temáticos, a fim de representar a distribuição espacial dos dados (Figura 4).

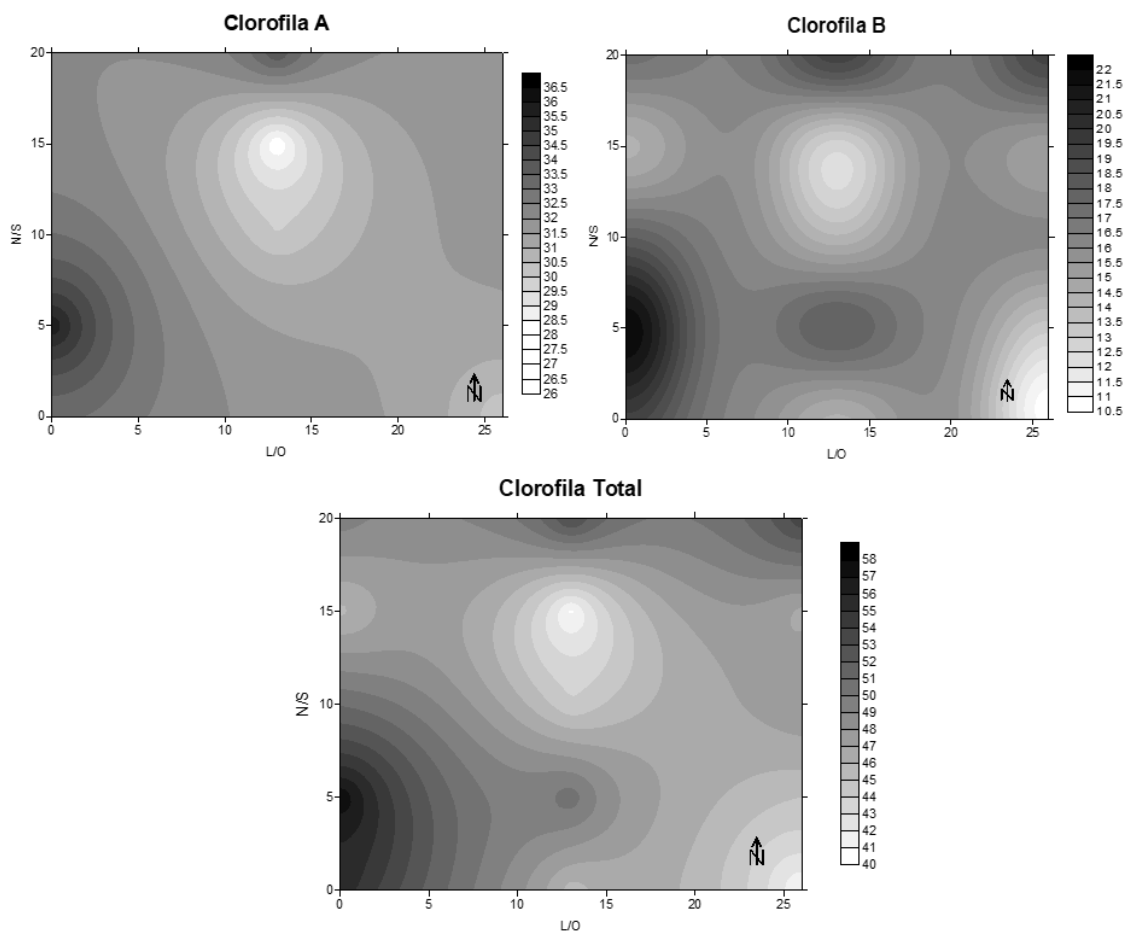


Figura 4 - Distribuição espacial do índice de clorofila A, clorofila B e clorofila Total na cultura de feijão caupi (*Vigna unguiculata*)

No mapa temático do índice de clorofila A para a cultura do feijão é observada uma pequena concentração dos valores entre 35,5 e 36,5 na região norte e sudoeste do mapa, e esta é classificada como zona de maior clorofila. Na porção centro norte do mapa, observa-se uma pequena predominância da concentração da faixa de menor de clorofila A, crescendo progressivamente em direção ao sul. (26 a 32).

Para índice de clorofila B no mapa temático é observada uma pequena concentração dos valores entre 20 e 22 na região norte, nordeste e sudoeste do mapa, e está classificada como zona de maior clorofila. Na porção sudoeste do mapa, observa-se uma pequena predominância da concentração da faixa de menor de clorofila B, acendendo

progressivamente até a direção central do mapa.

Já os resultados para o mapa temático do índice de clorofila Total é observado que as maiores concentrações dos valores entre 54 e 58 encontram-se na região norte e nordeste, sudoeste e centro sul do mapa com uma pequena predominância não entando classificadas como zonas de maior clorofila Total presente no mapa. Na porção centro norte do mapa, observa-se uma pequena predominância da concentração da faixa de menor de clorofila Total, crescendo progressivamente em direção ao sul (entre 26 a 53). Os maiores e menores teores de clorofila A, B e Total encontrada nos mapas possivelmente podem estar influenciadas pelas dosagens de fósforo utilizadas na cultura ($0 - 150 \text{ kg ha}^{-1}$), pelo fato

que as concentrações de clorofila nas folhas possivelmente podem aumentar com a maior ou menor presença de fósforo. Souza et al. (2011) verificaram que o teor de clorofila aumentou com as doses de P e Silva et al. (2010) revelaram que os valores mínimos estimados para a leitura da clorofila foram nas menores dosagens de P₂O₅.

Observa-se ainda na Figura 4 que o índice de clorofila A foi maior em relação à clorofila B, tal observação pode ser possível pelo fato que uma maior proporção do fotossistema I é mais rico em clorofila A, esse fator está diretamente relacionado com a capacidade das plantas em maximizar a captura de luz em condições normais de luminosidade (Critchley, 1999).

A avaliação da concentração de clorofila (Chl) é muito importante, pois esta estrutura molecular controla o potencial fotossintético e, por consequência, a produção primária de uma cultura (Marschner, 1995).

CONCLUSÕES

Os valores das clorofilas A, B e Total apresentam-se autocorrelacionados no espaço. Vale destacar que o diâmetro de caule apresenta um moderado grau de dependência espacial que corresponde a 31 %, para os dados analisados. Diante disso, a altura de planta apresentou uma fraca grau de dependência espacial que equivale apenas 9% e efeito pepita ocorreu para os dados analisados.

O presente estudo mostrou a importância de uma amostragem de solo bem realizada e em maiores quantidades para minimizar os efeitos de manchas de fertilidade. A produtividade está atrelada a homogeneização da fertilidade, pois os parâmetros analisados estão correlacionados com a fertilidade do solo. Vale destacar que os mapas de Krigagem apresentaram resultados satisfatórios, com excelente precisão nos dados informados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, a Universidade Federal do Tocantins – UFT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barreto HBF, Amaral Junior VP de, Lira JFB de, Maia FEN, Miranda NO. Distribuição espacial do pH e condutividade elétrica em um solo aluvial no Rio Grande do Norte. ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido, v.8, n.1, p. 28-33, 2012.

- Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen DL, Turco RF, Konopka AE. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1501-1511, 1994.
- CONAB. (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento da safra brasileira, V. 7- Safra 2019-2020 – N. 10. Décimo levantamento/2020. Disponível também em: < <https://www.conab.gov.br/>>.
- Critchley C. Concepts in photobiology: photosynthesis and photomorphogenesis. New Delhi: Narosa publishing House, p.587, 1999.
- Diggle PJ, Ribeiro JR. Model-based geostatistics. New York: Springer, p. 228, 2007.
- Frota KDMG, Soares RAM, Arêas JAG. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. Food Science and Technology, v. 28, p. 470-476, 2008.
- Golden Software. Surfer for Windows version 8.0. Colorado: Golden, 2002.
- GS+: Geostatistics for environmental sciences (2004) 7ª ed. Plainwell, Gamma Desing Software, p.159, 2004.
- Hurtado SMC, Resende AV, Silva CA, Corazza EJ, Shiratsuchi LS. Variação espacial da resposta do milho à adubação nitrogenada de cobertura em lavoura no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, n.3, p.300-309, 2009.
- Landim PMB. Sobre geoestatística e mapas. Terra e Didática n.2, p.19–33, 2006.
- Leite OC. Disponibilidade hídrica nos sistemas hidrográficos dos rios Tocantins e Araguaia no estado do Tocantins. Ano de obtenção: 2015. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais)–Universidade Federal do Tocantins, Gurupi. (Dissertação).
- Lundgren WJC, Souza ID, Lundgren GA. Krigagem na construção de mapa pluviométrico do Estado de Sergipe. Revista Brasileira de Geografia Física, v.10, n.1, p.13-22, 2017.
- Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. New York: Academic Press, p.889, 1995.
- Miranda NO, Oliveira TS, Medeiros JF, Silva CA. Variabilidade espacial da produtividade do meloeiro em áreas de cultivo fertirrigado. Horticultura Brasileira, v.23, n.2, p.260-265, 2005.
- Pimentel-Gomes F. Curso de estatística experimental. 14 ed. Piracicaba: Degaspari/ ESALQ. São Paulo, p.477, 2000.
- Ribeiro LDS, Oliveira IRD, Dantas JS, Silva CVD, Silva GBD, Azevedo JRD. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, p.1699-1702, 2016.
- Santos HG, Almeida J, Oliveira JD, Lumbreras J, Anjos LD, Coelho M, Jacomine P, Cunha TD, Oliveira VD. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa. 353p., 2013.
- SEPLAN. Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Governo do Estado do Tocantins. 2012. Disponível em:<http://zoneamento.sefaz.to.gov.br/TO_AtlasTocantins>

2012_1/Atlas_do_Tocantins_2012.pdf >. Acesso em 27 Jul. 2021.

Silva EFL, Araújo ASF, Santos VB, Nunes LAP, Carneiro R FV. Fixação biológica do N² em feijão-caupi sob diferentes fontes e doses de fósforo solúvel. Biosci. J., v.26, n.3, p.394-402, 2010.

Silva Neto SP, Santos AC, Leite RLL, Dim VP, Neves Neto DN, Cruz RS. Dependência espacial em levantamentos do estoque de carbono em áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Acta Amazonica, v.42, p.547-556, 2012.

Silva VR, Reichert JM, Storck L, Feijó S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. R. Bras. Ci. Solo, v.27, p.1013-1020, 2003.

Souza GS, Silva JS, Santos AR, Gomes DG, Oliveira UC. Crescimento e produção de pigmentos fotossintéticos em alfavaca cultivada sob malhas coloridas e adubação fosfatada. Enciclopédia Biosfera, v. 7, n. 13, 2011.

Vieira SR. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. H.; Schaefer, C. E. G. R. (eds). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-53, 2000.

Webster R. Statistics to support soil research and their presentation. European Journal of Soil Science, v.52, p.331- 340, 2001.