

Análise espacial do cultivo do milho verde

Pedro Gabriel Monteiro de Oliveira

RESUMO: Objetivou-se avaliar a variabilidade espacial do crescimento e da produtividade da cultura do milho verde. O experimento foi realizado em maio de 2024, sendo realizado em grid amostral do tipo regular, em espaçamento de 5x5 m, totalizando 40 pontos georreferenciados. Em cada ponto do grid foram analisadas as seguintes variáveis: altura da planta, diâmetro do caule, índice de área foliar, massa seca da parte aérea, massa média da espiga comercial com palha, quantidade média de espiga comercial por planta e a produtividade do milho verde e. Os dados foram submetidos à análise geoestatística para determinação da análise espacial dos aspectos morfológicos e o índice de Moran para determinar a relação com a produtividade. Na análise espacial, observou-se que o modelo exponencial apresenta melhor desempenho em relação aos modelos esférico e gaussiano para as variáveis analisadas. A maioria das variáveis exibiu um forte grau de dependência espacial, no entanto, para as variáveis IAF e QMECP, a dependência espacial foi classificada como moderada. Os resultados indicaram uma correlação positiva entre características morfológicas e produtividade, com maior rendimento nas áreas de plantas mais robustas. Assim, o uso de geotecnologias permite identificar zonas de manejo específicas, otimizando insumos e promovendo um cultivo mais eficiente e sustentável.

Palavras-chave: *Zea mays* L, Geostatística índice de Moran.

Spatial analysis of green corn cultivation

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the spatial variability of growth and productivity of green corn crops. The experiment was carried out in May 2024, using a regular sampling grid, with a spacing of 5x5 m, totaling 40 georeferenced points. At each grid point, the following variables were analyzed: plant height, stem diameter, leaf area index, dry mass of the aerial part, average mass of the commercial ear with straw, average quantity of commercial ear per plant and green corn productivity. The data were subjected to geostatistical analysis to determine the spatial analysis of morphological aspects and the Moran index to determine the relationship with productivity. In the spatial analysis, it was observed that the exponential model presents better performance in relation to the spherical and Gaussian models for the variables analyzed. Most of the variables exhibited a strong degree of spatial dependence; however, for the variables IAF and QMECP, the spatial dependence was classified as moderate. The results indicated a positive correlation between morphological characteristics and productivity, with higher yields in areas with more robust plants. Thus, the use of geotechnologies allows the identification of specific management zones, optimizing inputs and promoting more efficient and sustainable cultivation.

Keywords: *Zea mays*, Geostatistics, Moran index

INTRODUÇÃO

O cultivo do milho (*Zea mays L.*) é muito importante no contexto agrícola mundial, sendo uma das principais culturas alimentares e econômica, pois contribui com cerca de 40% da produção global de cereais (FAO, 2024).

O Brasil alcançou uma produtividade média de 5.495 kg por hectare na safra 2023/2024, registrando um aumento de 2,4% em relação à safra anterior, 2022/2023 (CONAB, 2024). Por outro lado, a produção de milho verde não é possível encontrar muitos dados relacionados a produtividade, este fato pode ser atrelado ao fato da produção ser principalmente em pequenas escalas com mão de obra familiar (Sousa, 2020).

O monitoramento do crescimento vegetativo do milho é fundamental para assegurar uma produção eficiente, pois essa cultura possui alta exigência em manejo agrônomo e é sensível aos estresses ambientais e as práticas de manejo inadequadas. O milho com dois dias de estresse hídrico na fase do florescimento apresenta uma perda de rendimento de 20%, se o estresse se prolonga de quatro a oito dias pode ter uma redução de mais de 50%, fazendo com que o agricultor tenha uma perda da metade de sua produção (Magalhaes, 2006).

Para monitorar o desenvolvimento de lavouras, o uso do sensoriamento remoto tem sido uma alternativa por proporcionar uma redução considerável no tempo de trabalho de um agricultor, o que gera economia de recursos humanos e materiais (Reghini e Cavichioli, 2020; Rosa et al, 2023). Portanto, compreender como essas variáveis se comportam em diferentes estágios de crescimento das culturas agrícolas, permite que os agricultores e técnicos ajustem suas práticas de manejo para maximizar a eficiência produtiva, reduzindo perdas e garantindo maior rendimento da cultura.

No entanto, as geotecnologias utilizam a geoestatística na avaliação espacial dos dados e permite modelar a variabilidade espacial das características da planta e do solo, por meio de técnicas como a krigagem em que é possível estimar a produtividade em diferentes áreas de uma lavoura levando em consideração fatores como fertilidade do solo, umidade e topografia (Toledo, 2020). As análises possibilitam identificar zonas de manejo, promovendo práticas agrícolas mais precisas e sustentáveis. A geoestatística auxilia na gestão eficiente de insumos, otimização do espaço e previsão de rendimento,

aumentando a produtividade do milho. Geotecnologias têm aprimorado a eficiência produtiva, especialmente por meio de adubações localizadas, que consideram a variabilidade espacial do solo e das plantas. Além disso, o uso de mapas temáticos facilita o monitoramento e agiliza a tomada de decisões (Oliveira et al, 2020).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial dos aspectos morfológicos do milho verde e sua relação com a produtividade.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental Piroás (FEP), vinculada à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). A FEP está situada no distrito de Barra Nova, a aproximadamente 16 km do município de Redenção, no estado do Ceará. Localizada entre as coordenadas geográficas 9537928 S e 521172 W abrange uma área total de 33 hectares. A cidade de Redenção possui uma vegetação Caatinga, com clima Tropical Quente Úmido, pluviometria média de 1.062,0 no ano com período chuvoso de janeiro a abril, tendo uma temperatura média de 26° a 28°C (IPECE, 2017).

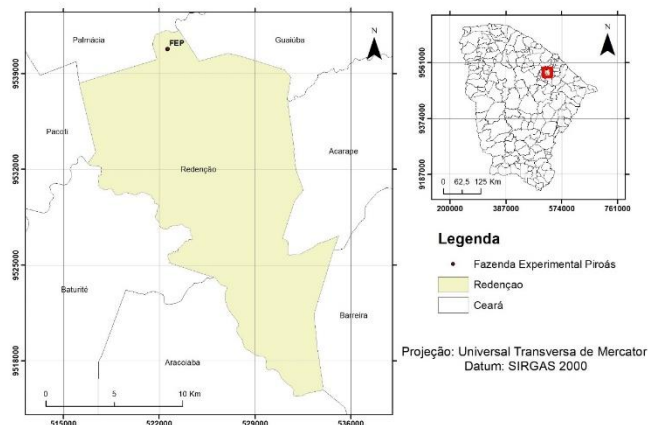


Figura 1. Mapa de localização da área experimental.

A implantação da cultura do milho ocorreu em maio de 2024 utilizando uma variedade crioula local que possui um ciclo aproximado de 140 dias para grãos. O espaçamento adotado foi de 0,70 x 0,40 m, o cultivo ocorreu a partir da semeadura de 4 sementes por cova tendo uma densidade de plantas de 35.714 por hectare. A área experimental ocupou 861 m², com dimensões de 21 x 41 m. A área estava em pousio por 2 anos sendo feita a retirada da vegetação presente, além disso não foi feito nenhum

manejo no solo como calagem e adubação. Aos 13 dias após a emergência (DAE) das plântulas, foi realizado o desbaste, mantendo apenas uma plântula por cova. O cultivo foi conduzido em sistema orgânico sob condições de sequeiro.

A análise das plantas de milho foi realizada na forma de um grid regular tendo um espaçamento de 5 x 5 metros formando. No total foram analisados 40 pontos de amostragem. As coordenadas geográficas de cada planta amostrada foram registradas com o auxílio de um Sistema de Posicionamento Global (GPS) portátil Garmin Etr seex 10. As plantas foram devidamente identificadas para monitoramento e avaliação dos parâmetros ao longo de todo o ciclo da cultura.

Aos 47 dias após a emergência (DAE) foram analisadas as seguintes variáveis: altura de plantas (AP), medida com uma trena do nível do solo até o topo da inflorescência masculina; diâmetro do colmo (DC), registrado a 0,05 m do solo com o uso de um paquímetro digital; e Índice da área foliar (IAF) obtido segundo Alvin et al. (2010). No estágio fenológico R3 (ponto de milho verde) espigas maiores que 15 cm e com diâmetro superior a 3 cm foram selecionadas como comerciais (ALBUQUERQUE et al., 2008). Foram colhidas em forma de cruz 5 plantas de milho por ponto para determinar as seguintes variáveis: massa média da espiga comercial com palha (MMECP), quantidade média de espiga comercial por planta (QMECP) e a produtividade do milho verde (Prodmv). As plantas foram removidas para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA), todas obtidas após a secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65°C por 72 horas.

O comportamento geral das variáveis estudadas foi inicialmente avaliado por meio da estatística descritiva, utilizando medidas como média, mediana, valores máximos e mínimos, coeficiente de variação, curtose e assimetria do conjunto de dados, com o auxílio do software R. Além disso, as variáveis foram submetidas ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (KS), considerando um nível de significância de 5%.

A variabilidade dos aspectos foi classificada com base no coeficiente de variação (CV), seguindo a metodologia de Warrick e Nielsen (1980). Segundo essa classificação, $CV < 12\%$ indica baixa variabilidade, CV entre 12% e 60% corresponde a moderada variabilidade e $CV > 60\%$ representa alta variabilidade.

Os semivariogramas foram modelados no software ArcGIS 10.1 a fim de verificar a continuidade ou dependência espacial dos dados, Os parâmetros do semivariograma foram definidos calculando-se a semivariância estimada com base na seguinte equação:

Equação 2:

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

Seja $\gamma(h)$ a semivariância experimental para uma determinada distância de separação h ; $N(h)$ representa o número de pares de observações $Z(x_i) - Z(x_i + h)$ separados por essa distância (h); Z é o atributo observado (variável) e x_i indica a posição georreferenciada de Z .

Foram testados três modelos matemáticos: esférico, exponencial e gaussiano. O modelo que melhor representou o semivariograma foi escolhido com base na raiz quadrada do erro médio (RMSE). A partir dessa análise, determinaram-se os parâmetros de efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (A_0). O grau de dependência espacial (GDE) foi determinado utilizando a metodologia de Cambardella et al. (1994), que se baseia na relação entre o efeito pepita e o patamar expressa pela seguinte fórmula:

Equação 3:

$$GDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) \times 100$$

Onde GDE é o grau de dependência espacial, C_0 é o efeito pepita da semivariância e $C_0 + C_1$

Os resultados do parâmetro de comparação GDE podem ser classificados como: dependência espacial forte < 25%; dependência espacial moderada entre 25% e 75% e dependência espacial fraca > 75%. Os dados foram processados utilizando a krigagem ordinária, que emprega os parâmetros do semivariograma para a sua estimativa.

Foram utilizados os índices de Moran global como ferramentas estatísticas para avaliar a autocorrelação espacial. Os indicadores globais de autocorrelação espacial oferecem medidas para todos os pontos da grade geoestatística, representando a totalidade da área de estudo. Uma forma de visualizar a autocorrelação espacial global é através do diagrama de dispersão de Moran

A variável de interesse (X) é representada no eixo horizontal, enquanto o defasamento espacial da variável (W_X) está posicionado no eixo vertical. O diagrama permite observar o padrão de concentração de dados, dividindo-os em quatro tipos de associações: alto-alto (AA), baixo-baixo (BB), baixo-alto (BA) e alto-baixo (AB). Quando há uma associação espacial positiva, a reta de regressão se inclina positivamente, e os valores dos atributos tendem a se concentrar no AA e BB; em caso de associação negativa, a reta se inclina negativamente, predominando a concentração de unidades nos BA e AB (Almeida, 2012).

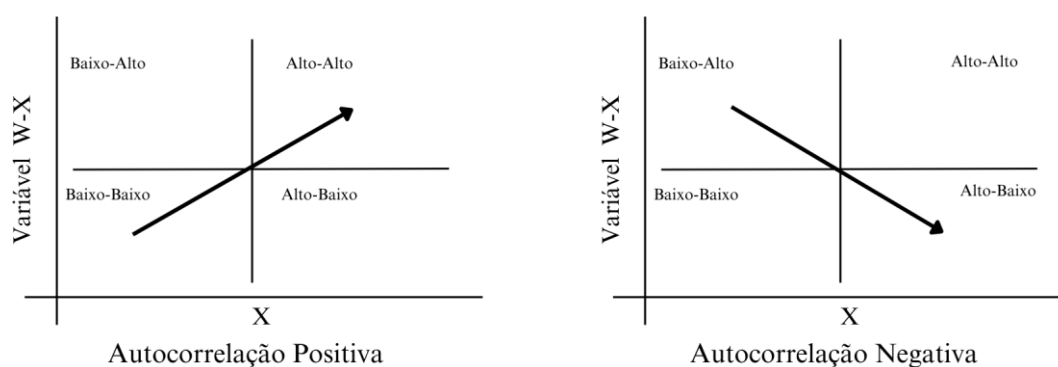


Figura 2. Diagrama de dispersão de Moran: Adaptado de Almeida (2012)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da estatística descritiva apresenta os valores próximos entre média e mediana indicam que os dados tendem a seguir uma distribuição normal, o que sugere que as medidas de tendência central são influenciadas por características intrínsecas associadas à distribuição espacial dos dados (Tabela 1). As análises estatísticas são essenciais nos estudos científicos, auxiliando de forma decisiva na tomada de decisões (Ferreira, 2020).

Tabela 01. Estatísticos descritivos dos aspectos estudados.

Variável	Uni	Méd	Med	Máx	Mín	CV (%)	DP	ASS	C	K-S
AP	cm	188,45	185,5	299,00	103	27,33	51,50	0,41	-0,51	0,08*
DC	mm	16,39	16,55	23,20	8,70	20,94	3,43	-0,16	-0,12	0,06*
IAF		0,90	0,88	1,82	0,26	41,92	0,37	0,25	-0,23	0,06*
MMECP	g	174,57	179,06	257,75	0,00	29,33	52,25	-1,70	4,80	0,14*
QMECP		0,68	0,60	1,39	0,00	50,63	0,34	0,06	-0,46	0,14*

Prodmv	Kg	4335,00	4639,00	10121,00	0,00	59,15	2765	0,39	-0,54	0,09*
MSPA	g	111,21	113,61	199,00	56,23	31,07	34,56	0,32	-0,46	0,12*

Uni= Unidade ; Méd = média ; Med = mediana ; Máx = máximo ; Mín = mínimo ; (CV) (%) = coeficiente de variação ; DP = Desvio padrão ; Ass = Assimetria; C = Curtose; K-S= Teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov * significativo pelo Teste de Kolmogorov-Smimov (0,05)

Salienta-se que todas as variáveis analisadas apresentaram coeficientes de variação classificados como moderados, situando-se entre 12% e 60% Warrick e Nielsen (1980). Em ordem crescente, os coeficientes de variação observados para cada variável foram os seguintes: DC (20,94%), AP (27,33%), MMECP (29,33%), MSPA (31,07%), IAF (41,92%), QMECP (50,63%) e Prodmv (59,15%). Essa classificação evidencia que DC possui a menor variabilidade, enquanto Prodmv apresenta o maior coeficiente dentro do grupo analisado.

Segundo Henrichsen (2021), o coeficiente de variação exerce um impacto direto sobre o rendimento de grãos na cultura do milho. Isso ocorre porque, à medida que o coeficiente de variação aumenta, há uma tendência de redução na produtividade, uma vez que altos valores de variabilidade podem indicar inconsistências no desenvolvimento das plantas. Essa relação reforça a importância de monitorar e controlar o coeficiente de variação para otimizar o rendimento e garantir maior uniformidade nas áreas de cultivo. O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para as variáveis estudadas indicou normalidade nos dados (Tabela 1) os dados apresentaram uma distribuição normal segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade.

Os valores observados para o Índice de Área Foliar (IAF), com média de 0,90 e variando entre 0,26 e 1,82, refletem uma considerável heterogeneidade no desenvolvimento vegetativo da área estudada, como demonstrado no variograma do IAF (Figura 5). Essa variação espacial no IAF indica a influência de fatores ambientais e de manejo sobre o crescimento das plantas. Valores baixos de IAF podem estar associados a condições de estresse, como apontado por Soares (2020), que descreve a redução da expansão celular e da área foliar como respostas comuns ao estresse hídrico e nutricional.

Essas respostas fisiológicas têm implicações diretas na eficiência de interceptação da radiação solar e, consequentemente, na taxa de crescimento das plantas. Andrade et al. (2008) reforçam que a diminuição da área foliar resulta em uma menor capacidade de interceptação da luz, afetando principalmente na fotossíntese e acúmulo de biomassa da

plantas nos estádios iniciais da fase vegetativa. Dessa forma, plantas que apresentaram valores mais baixos de IAF provavelmente enfrentam limitações em seu crescimento inicial, o que pode ter impactado negativamente o potencial produtivo.

Conforme observado no mapa QMCEP (Figura 8), que representa a quantidade média de espigas comerciais por planta, há uma forte semelhança com o padrão de distribuição da produtividade, uma vez que a quantidade de espigas exerce grande influência no cálculo da produtividade de milho verde (Prodmv). Foram identificados pontos onde não houve produção de espigas que atendem ao padrão comercial, o que impacta diretamente a produtividade total. Análise descritiva revela uma média de 0,68 espiga por planta. Com base na densidade de plantio utilizada, estima-se uma produção de aproximadamente 24.285 espigas por hectare, indicando que apenas 68% das plantas atingiram o padrão comercial de milho verde, conforme descrito por Albuquerque et al. (2008). Dessa forma, pode-se afirmar que aproximadamente 11.449 indivíduos, não atingiram o padrão comercial desejado.

Tabela 2 - Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos estudados.

Variável	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	A ₀	[C ₀ /(C ₀ + C ₁)]	RMSE	GDE
AP	Exponencial	0,00	3630,06	31,06	0,00	31,79	0
DC	Esférico	0,98	14,48	22,48	0,06	2,30	6
IAF	Exponencial	0,04	0,16	30,38	0,25	0,33	25
MMECP	Exponencial	0,00	2248,00	15,26	0,00	44,71	0
QMECP	Esférico	0,00	0,11	27,94	0,27	0,26	27
Prodmv	Exponencial	0,00	6818,00	12,00	0,00	2184,73	0
MSPA	Exponencial	0,00	1679,00	30,50	0,00	2,18	0

C₀ = Efeito pepita; C₀ + C₁ = Patamar; A₀ = Alcance; [C₀/(C₀ + C₁)] = Relação efeito pepita-patamar; RMSE = Erro da raiz quadrada média. GDE = Grau de dependência espacial em % [C₀/(C₀ + C₁)] x 100

O modelo que apresentou o melhor ajuste às variáveis analisadas foi o exponencial, com exceção das variáveis DC e QMECP, que se adaptaram melhor ao modelo esférico. Em relação ao alcance, o maior foi associado à variável AP, com um valor de 31,06, enquanto o menor foi encontrado para a variável Prodmv, com um alcance de 12. Em relação dos sugerem que a malha amostral utilizada foi suficiente para a análise, embora ajustes possam ser realizados em estudos futuros para melhorar a cobertura da área

amostral e potencialmente aumentar a precisão dos resultados. Conforme apontado por Cambardella et al. (1994), a maioria das variáveis apresentou um forte grau de dependência espacial, indicando padrões bem definidos na distribuição espacial. No entanto, para as variáveis IAF e QMECP, a dependência espacial foi classificada como moderada, refletindo uma variabilidade espacial menos acentuada em relação às demais variáveis.

Segundo Stubbs, Christopher J. et al. (2023), é amplamente reconhecido que a redução da altura da planta contribui para aumentar a resistência do colmo ao acamamento. A diminuição na altura reduz o estresse mecânico de flexão a que os colmos estão sujeitos durante tempestades com ventos, favorecendo a estabilidade estrutural das plantas em ambientes agrícolas. Assim, plantas que alcançam alturas próximas a 299 cm, conforme evidenciado na Figura 3, mostram-se menos ideais em contextos de cultivo, pois a elevação na altura aumenta a suscetibilidade ao acamamento. Alturas mais elevadas, embora possam ser associadas a maior crescimento vegetativo, tendem a comprometer a estabilidade estrutural do colmo, expondo as plantas a maiores riscos de tombamento, especialmente em condições de vento intenso. Como visto no mapa da altura das plantas os menores tamanhos se encontram na parte noroeste do mapa e na região Sudoeste

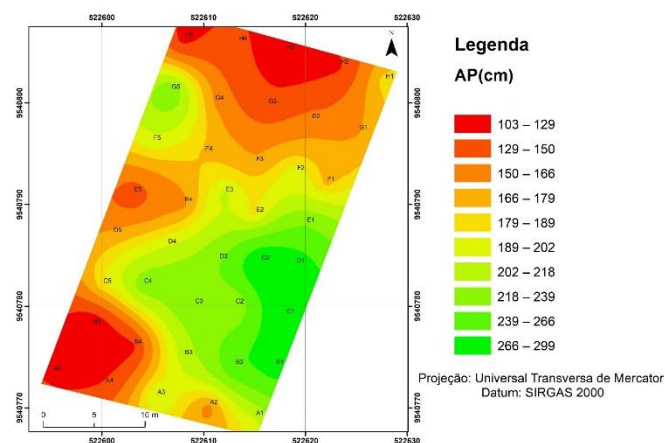


Figura 3. Mapa de Altura da Planta

No mapa do diâmetro do caule (Figura 4) apresenta valores mínimos de 8,7 mm na parte nordeste e uma pequena parcela do sudoeste apresentando uma transição para o centro leste a onde está apresentando o máximo de 23 mm, pode ser vistos essa variável apresenta um coeficiente de variação de 20,94% e um grau de dependência espacial forte seu valor médio sendo 16,39 mm.

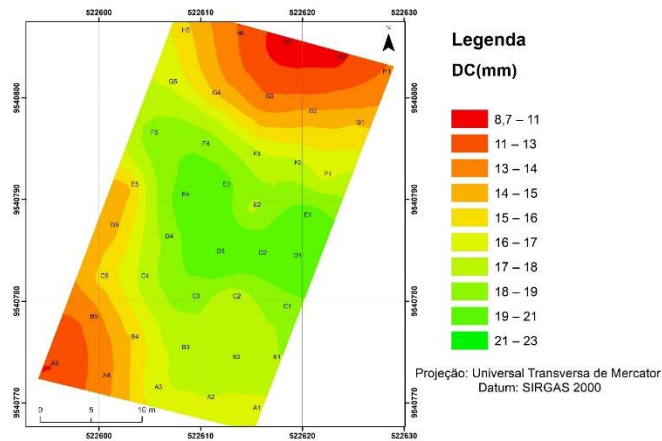


Figura 4. Mapa do Diâmetro do Colmo

O mapa do Índice de área foliar (Figura 5) apresenta uma área bastante destacada na região sudoeste do mapa o valor de 0,26, a noroeste a nordeste do mapa apresentam um variação de 0,26 a 0,86 sendo que número bem próximo a média que foi de 0,90, a região centro leste apresentou os valores mais altos chegando a 1,8 , a MSPA apresentou porte similar apresentando na região sudoeste do mapa apresentando o valores mínimos de 56 gramas , a noroeste a nordeste do mapa apresentam um variação de 56 a 84,7 gramas , a região centro leste apresentou os valores mais altos chegando a 199 gramas.

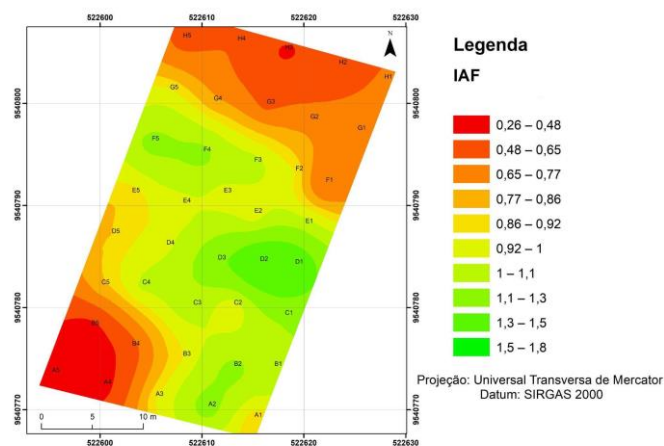


Figura 5. Mapa do Índice de Área Foliar

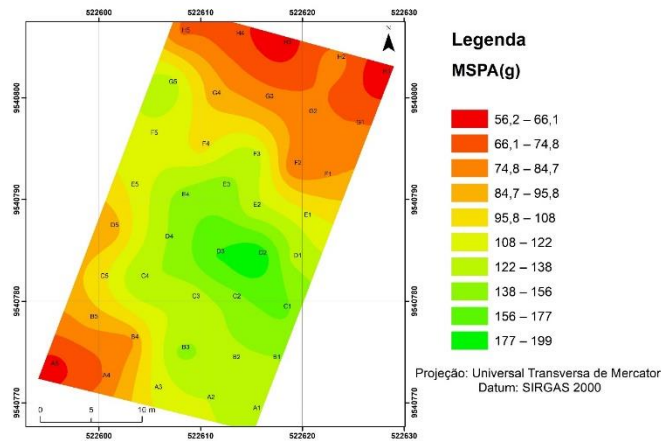


Figura 6. Mapa da Massa Seca da Parte Aérea.

O mapa de QMECP (Figura 8) tem influência na variável Prodmv(Figura 9) pois nas regiões nordeste do mapas que apresentam 0 espigas também apresentaram o mesmo valor para o PMECP(Figura 7) e Prodmv, a Prodmv acabou sendo a variável com o maior coeficiente de variação 59,15% saindo de zonas de 0 kg a 10000 kg, região centro leste apresentou os valores mais altos em todas as variáveis estudadas, uma coisa que se destaca e a única variável que não encontrados os valores baixos no sudoeste foi MMECP que seção demonstrou valores medianos.

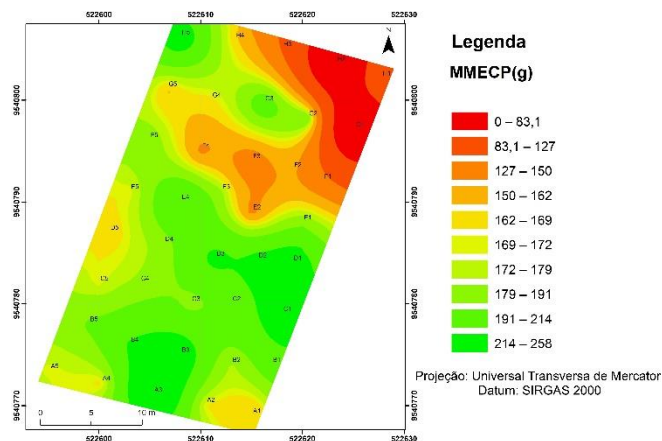


Figura 7. Mapa de Massa Média Espiga Com Palha.

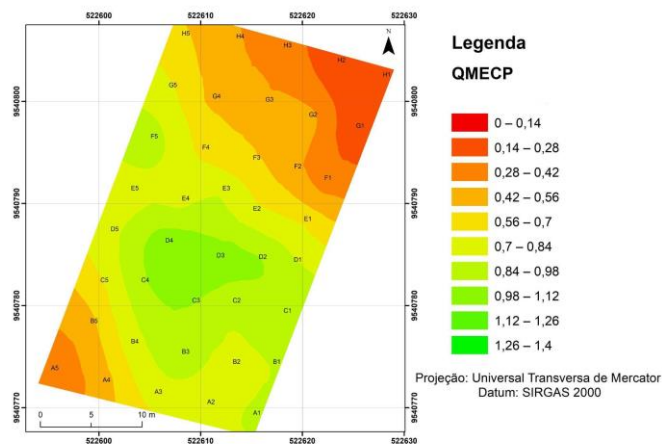


Figura 8. Mapa de Quantidade Média de Espigas Comerciais por Plantas.

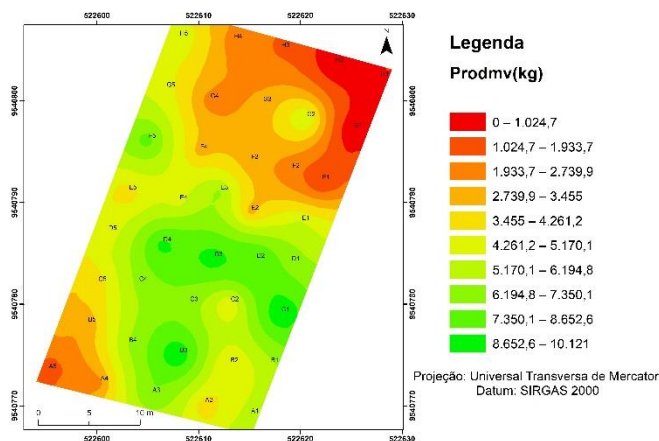


Figura 9. Mapa de Produtividade de Milho Verde.

Conforme ilustrado no gráfico de dispersão, a variável MSPA apresenta a maior correlação com a variável Prodmv, com um valor de correlação de 0,489 (Figura 10F). Em contraste, a menor correlação é observada para a variável DC, com um coeficiente de 0,335 (Figura 10B). Conforme Nascimento (2014) quando se observa correlações positivas entre características morfológicas e produtivas das plantas, essas podem ter implicações tanto positivas quanto negativas, dependendo das causas de variação envolvidas. É possível observar no diagrama de dispersão de Moran (Figura 10), os aspectos morfológicos das plantas, com base na análise do índice de Moran bivariado a maior correlação entre as variáveis Prodmv com a MSPA mostrando que quanto maior a produção de massa seca na área também terá uma maior produtividade de milho verde.

Os resultados encontrados no trabalho colaboram com as afirmações de Pereira et al. (2020) que verificaram que a massa seca do milho está relacionada a variáveis como altura, diâmetro e área foliar, de modo que valores mais elevados dessas características estão associados a uma maior produtividade. Apesar de a massa seca ser a variável com a maior correlação com a produtividade de milho verde entre as variáveis estudadas, sua relevância é limitada, pois seus resultados só podem ser obtidos após a colheita. Assim, torna-se mais importante o acompanhamento das variáveis AP, DC e IAF, que, embora apresentem correlações menores, podem ser medidas ao longo do ciclo da cultura, permitindo um monitoramento contínuo do desenvolvimento das plantas.

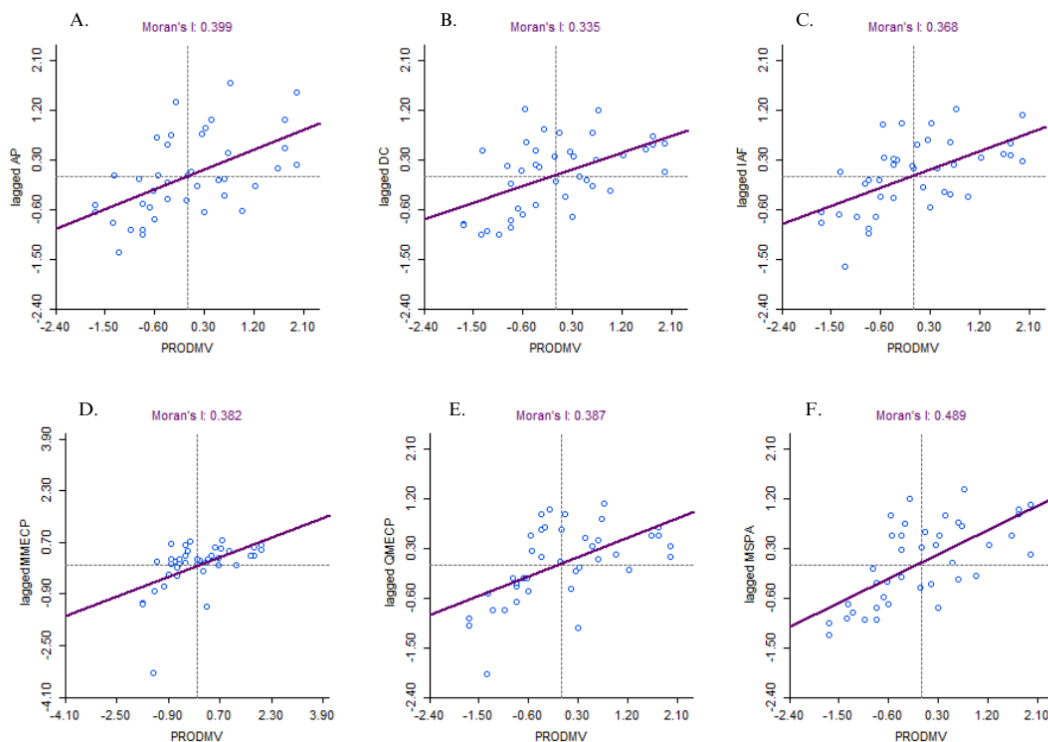


Figura 10: Diagrama de dispersão de Moran entre altura da planta (AP) e produtividade do milho verde (Prodmv) (A); diâmetro do caule (DC) e produtividade do milho verde (Prodmv) (B); índice de área foliar (IAF) e produtividade do milho verde (Prodmv) (C); massa médio espiga com palha (PMECP) e produtividade do milho verde (Prodmv) (D); Quantidade media de espigas por planta (QMECP) e produtividade do milho verde (Prodmv) (E); massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade do milho verde (Prodmv) (F)

CONCLUSÕES

A variabilidade espacial dos aspectos do milho verde como altura da planta, diâmetro do caule e índice de área foliar tem influência direta na produtividade, sendo positivamente correlacionadas com o rendimento da produtividade de espigas comerciais.

Quanto ao ajuste do semivariograma, o modelo exponencial foi o que promoveu melhor ajuste para as variáveis estudadas quando comparado com os modelos esférico e gaussianos. A maioria das variáveis apresentaram um forte grau de dependência espacial,

indicando padrões bem definidos na distribuição espacial. No entanto, para as variáveis IAF e QMECP, a dependência espacial foi classificada como moderada.

Uso de geotecnologias como uma ferramenta para aprimorar o manejo da cultura do milho verde, se demonstrou precisa na identificação de zonas de maior e menor produtividade por meio da krigagem, assim pode orientar práticas como adubação e irrigação localizadas, reduzindo desperdícios de insumos e aumentando a eficiência produtiva.

LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; SILVA, R. da. Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 24, n. 2., p. 69-76, Apr./ June 2008.

Almeida E (2012) *Econometria espacial aplicada*. Campinas, Alínea, 498 p.

ALVIM, K. R. de T. et al. Quantificação da área foliar e efeito da desfolha em componentes de produção de milho. *Ciência Rural*, v. 40, p. 1017-1022, 2010.

ANDRADE, C. et al. Área foliar e produtividade de grãos de cultivares de milho, submetidas à déficit hídrico, em Nova Porteirinha, MG.

CAMBARDELLA, C.V; MOORMAN, T. B; PARKIN, T. B; KARLEN, D. L; NOVAK, J. M; TURCO, R. F; KONOPKA, A. E. Variabilidade em escala de campo das propriedades do solo em solos centrais de Iowa. **Revista Soil Science Society of America**, 58, 1501-151, (1994). Doi: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2023/2024. Available on: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Accessed on: out. 2024

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Disponível em <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 15 out. 2024

FERREIRA, ÁLIDA ROSÁRIA SILVA. A importância da análise descritiva. *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões*, v. 47, p. e20202682, 2020.

HENRICHSEN, Lucas Henrique et al. Coeficiente de variação na distribuição espacial de plantas e a produtividade da cultura do milho. *Ciências Rurais em Foco* Volume 3, p. 58.

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil municipal 2017: Redenção**. Fortaleza, CE, jan. de 2018. Disponível em:

https://www.ipece.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2018/09/Redencao_2017.pdf

f. Acesso em: 13 de outubro de 2024.

MAGALHAES, Paulo C.; DURÃES, Frederico OM. Fisiologia da produção de milho. 2006.

NASCIMENTO, R. S.; CARDOSO, J. A.; COCOZZA, F. D. Caracterização física e físico-química de frutos de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) no oeste da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.8, p.856- 860, 2014.

OLIVEIRA, A. J.; SILVA, G. F.; SILVA, G. R.; SANTOS, A. A.C.; CALDEIRA, D. S. A. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. *Braz. J. of Develop. Curitiba*, v.6, n.9, p.64140-64149, sep.2020.

PEREIRA, C. S.; ZANETTI, V. H.; WIEST, G.; SCHOFFEN, M. E.; FIORINI, I. V. A. Desempenho produtivo de híbridos de milho na segunda safra no norte de Mato Grosso. *Tecno-Lógica*, v.24, n.2, p.160-165, 2020.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Available on: < <https://www.rproject.org/> > . Acessado em: Out 2024

REGHINI, F. L.; CAVICHIOLI, F. A. UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO. *Revista Interface Tecnológica, [S. l.]*, v. 17, n. 1, p. 329–339, 2020. DOI: 10.31510/infa.v17i1.750. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/750>. Acesso em: 6 nov. 2024.

Rosa ,Nicolas dos Santos et al. A IMPORTÂNCIA DO SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO EM ESTUDOS FORENSES AMBIENTAIS. In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos...São José dos Campos, INPE, 2023. Disponível em:<<https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/a-importancia-do-sensoriamento-remoto-aplicado-em-estudos-forenses-ambientais?lang=pt-br>> Acesso em: 28 set. 2024.

SANTOS, R.S.; COSTA, L.C.; SEDIYAMA, G.C; LEAL, B.G.; OLIVEIRA, R.A.O.; JUSTINO, F.B. Avaliação da relação seca/produktividade agrícola em cenário de mudanças climáticas.*Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.2, 313 - 321, 2011.

SOARES, MARCELO AUGUSTO; TEODORO, IÊDO; SILVA, SAMUEL; CANTARELLI, ARTHUR LUAN; JÚNIOR, RICARDO ARAÚJO; MOURA, ALLAN HEMERSON. FENOLOGIA, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E RENDIMENTO AGRÍCOLA DO MILHO SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NA REGIÃO DE RIO LARGO, ALAGOAS. *IRRIGA*, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 279–295, 2020. DOI: 10.15809/irriga.2020v25n2p279-295. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3766>. Acesso em: 8 nov. 2024.

SOUSA, Valdemício Ferreira de. A cultura do milho-verde e sua importância socioeconômica. *Cultivo do milho-verde irrigado na Baixada Maranhense*, p. 15, 2020.

STUBBS, Christopher J. et al. Moving toward short stature maize: the effect of plant height on maize stalk lodging resistance. **Field Crops Research**, v. 300, p. 109008, 2023.

TOLEDO, José Luiz Cerboni de; DOS SANTOS RIBEIRO, Anatólya. O uso da geoestatística no preparo do solo: a agricultura de precisão. 2020.

WARRICK, A. W. Spatial variability of soil physical properties in the field. *Application of soil physics.*, p. 319-344, 1980.