

## ANÁLISE DA UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA POR AUTOPROPELIDO NA CULTURA DO MILHO, UTILIZANDO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

*Data de submissão: 05/11/2024*

*Data de aceite: 02/12/2024*

**Maria Clara Miranda de Souza**

Universidade Federal de Viçosa  
Florestal – Minas Gerais (Brasil)

**Jessica Mansur Siqueira Crusoé**

Universidade de Federal Viçosa  
Florestal – Minas Gerais (Brasil)

**Leonardo França da Silva**

Universidade Federal da Grande  
Dourados  
Dourados – Mato Grosso do Sul (Brasil)

**Fernanda Lamede Ferreira de Jesus**

Universidade Federal da Grande  
Dourados  
Dourados – Mato Grosso do Sul (Brasil)

**Cristiano Márcio Alves de Souza**

Universidade Federal da Grande  
Dourados  
Dourados – Mato Grosso do Sul (Brasil)

**Donizete dos Reis Pereira**

Universidade Federal de Viçosa  
Florestal – Minas Gerais (Brasil)

**Denis Medina Guedes**

Universidade Federal de Viçosa  
Florestal – Minas Gerais (Brasil)

**Josiane Rosa Silva de Oliveira**

Universidade Federal de Viçosa  
Florestal – Minas Gerais (Brasil)

**RESUMO:** A uniformidade de distribuição de água é um dos principais parâmetros para o diagnóstico da situação de funcionamento de um sistema de irrigação por aspersão convencional, possibilitando a medição da variabilidade de água aplicada pelo sistema. Por outro lado, a desuniformidade de distribuição de água afeta o rendimento das culturas, podendo ter áreas com déficit ou excesso de umidade. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi unir as informações da avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema por autopropelido com o índice de vegetação (NDVI) e analisar a correlação entre eles. A avaliação da distribuição de água foi realizada por meio do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), dividindo a área em três parcelas, de acordo com a topografia do terreno. As imagens utilizadas para a determinação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foram obtidas do satélite Dove, na plataforma PlanetScope. A partir do tratamento das imagens no software QGIS, foi possível identificar a relação entre o CUC e o NDVI obtidos. Porém, com a execução da análise de correlação dos dados interpolados e do NDVI por meio do algoritmo *r.covar* e metodologia do

Coeficiente de Pearson ( $r$ ), obteve-se correlação desprezível entre as variáveis. Portanto, o uso da metodologia não foi eficaz para indicar a relação da uniformidade de distribuição de água com o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

**PALAVRAS-CHAVE:** Irrigação, NDVI, distribuição de água, interpolação.

**ABSTRACT:** Water distribution uniformity is one of the main parameters for diagnosing the operating situation of a conventional sprinkler system, enabling the measurement of the variability of water applied by the system. On the other hand, non-uniformity of water distribution affects crop yield, and may result in areas with deficit or excess moisture. In this context, the objective of this study was to combine information from the evaluation of the distribution uniformity of a self-propelled system with the vegetation index (NDVI) and analyze the correlation between them. The evaluation of water distribution was performed using the Christiansen Uniformity Coefficient (CUC), dividing the area into three plots, according to the topography of the terrain. The images used to determine the normalized difference vegetation index (NDVI) were obtained from the Dove satellite, on the PlanetScope platform. From the processing of the images in the QGIS software, it was possible to identify the relationship between the CUC and the NDVI obtained. However, when performing the correlation analysis of the interpolated data and NDVI using the  $r.covar$  algorithm and the Pearson Coefficient ( $r$ ) methodology, a negligible correlation was obtained between the variables. Therefore, the use of the methodology was not effective in indicating the relationship between water distribution uniformity and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

**KEYWORDS:** Irrigation, NDVI, water distribution, interpolation.

## INTRODUÇÃO

No manejo da agricultura irrigada, o foco está em maximizar a eficiência no uso da água e nutrientes, garantindo que o teor de água do solo seja mantido em níveis ideais para o bom desenvolvimento das culturas. Com isso, o aprimoramento das técnicas de manejo visa reduzir o consumo de água na irrigação, contribuindo para minimizar os impactos ambientais e os custos de produção, resultando em maior rentabilidade para os agricultores (Carvalho e Oliveira, 2022).

Em geral, os dois maiores pré-requisitos técnicos para uma boa irrigação são a uniformidade de distribuição e o controle da aplicação da água (Mantovani et al., 2009). Para tanto, a avaliação da irrigação é parte fundamental no manejo, e cada tipo de equipamento requer planejamento adequado, conhecimento do funcionamento e das características do sistema.

Segundo os mesmos autores, a uniformidade de distribuição de água consiste num dos principais parâmetros para o diagnóstico da situação de funcionamento de um sistema por aspersão convencional, usada para medir a variabilidade de água aplicada pelo sistema.

Na irrigação por aspersão existem vários coeficientes para expressar a variabilidade espacial da lâmina de água aplicada pelo sistema, sendo os mais utilizados o de Christiansen (CUC), de distribuição (CUD), estatístico (CUE) e de Hart (CUH). De acordo com Bernardo

et al. (2006), a uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação é considerada excelente quando o CUC se apresenta acima de 90%, bom de 80 a 90%, regular de 70 a 80%, ruim de 70 a 60% e inaceitável quando abaixo de 60%.

Embora a utilização tradicional dos coeficientes supracitados tenha sido essencial para avaliar a uniformidade dos sistemas de irrigação durante vários anos, foi possível reconhecer também as suas limitações e potenciais fontes de erro. Limitações como a metodologia de amostragem, deriva do vento e perdas por evaporação, aliadas ao fornecimento de dados pouco representativos das variações temporais e tendências a longo prazo na distribuição de água, podem trazer incertezas e imprecisões nos resultados (Boninsenha, et al., 2024).

Devido a esses fatores, o sensoriamento remoto surgiu como uma ferramenta promissora para monitorar e gerir os sistemas agrícolas. O sensoriamento remoto é, de forma simplificada, a aquisição de dados sobre um objeto terrestre, sem haver o contato direto com o mesmo (Jensen, 2007). Além disso, pode fornecer informações não destrutivas, automáticas e periódicas, indicando, por exemplo, grande potencial para monitorar estresses hídricos, programar a irrigação e avaliar o desenvolvimento fenológico das culturas irrigadas (Silva et al., 2019).

As interações da luz refletida por objetos na superfície, capturadas em diferentes faixas de comprimento de onda, especialmente na região do visível e infravermelho, resultam em métricas radiométricas adimensionais conhecidas como índices de vegetação (Jensen, 2000).

Existe uma diversidade enorme de índices que resultam da interação da radiação com a vegetação, sendo o índice de vegetação normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1974), o mais amplamente utilizado, o qual consiste numa razão tendo como variáveis as bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Este índice, segundo Motta et al. 2003, relaciona-se diretamente com o vigor da vegetação, possibilitando o mapeamento de áreas com diferentes índices de cobertura vegetal e vigor de biomassa.

Alguns trabalhos exploram a aplicação do sensoriamento remoto na gestão dos sistemas de irrigação, por exemplo, Boninsenha, et al. (2024), avaliaram a uniformidade da irrigação em pivô central por meio do CUC e de imagens de diferentes combinações de satélites e índices de vegetação, tendo como conclusão que a equação desenvolvida (satellite-derived Christiansen Uniformity Coefficient - SDCUC) só é válida e útil para a calibração do sistema, se utilizada de forma conjunta com os dados de campo terrestre.

Já Venancio et al. (2019), tiveram o objetivo de verificar a variabilidade do manejo da irrigação e do desenvolvimento do café conilon em áreas irrigadas por microaspersão e aspersão na região norte do estado do Espírito Santo. Eles utilizaram os produtos de imagens de temperatura da superfície (LST), evapotranspiração do cafeeiro (ETR) e NDVI, onde valores altos de LST podem indicar aplicações de lâmina deficitárias, enquanto grande variabilidade da ETR, pode predizer problemas de uniformidade de distribuição de água. E

o NDVI, pode relacionar áreas com baixos valores à plantas mal desenvolvidas em razão de um manejo equivocado da irrigação, indicando por exemplo, déficit hídrico.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi comparar a uniformidade de aplicação de água no cultivo do milho sob sistema de irrigação por aspersão do tipo autopropelido com a distribuição do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) mediante à resposta e desenvolvimento da cultura à irrigação, gerando informações para auxiliar o produtor na tomada de decisão.

## MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação da uniformidade de distribuição da água de irrigação foi conduzida em um dos talhões com a cultura do milho em uma propriedade localizada no município de Florestal – MG, na BR 262 km 388 (19°54'59"S e 44°29'09"W) (Figura 1). O clima predominante da região é do tipo AW - Tropical com estação seca de inverno, pela classificação de Köppen-Geiger (Brasil, 1992). Os dados secundários de clima foram obtidos pela estação meteorológica automática da região de Florestal – MG (código A535), reconhecida oficialmente pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. O gráfico do comportamento da temperatura e precipitação médias entre os anos de 2009 e 2024 está apresentado na Figura 2.

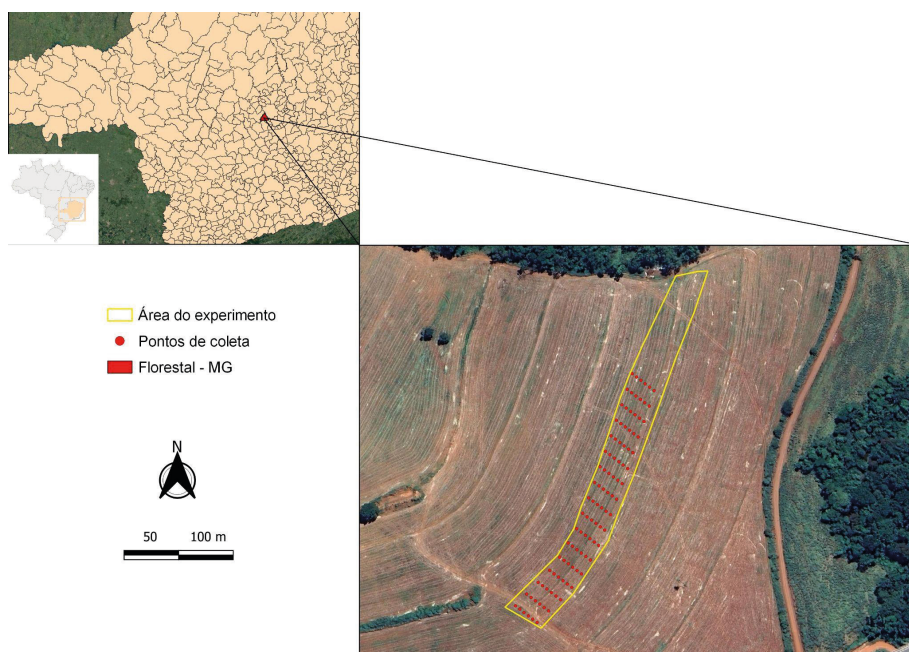


Figura 1 - Localização da área de avaliação da uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação por autopropelido. Fonte: O autor, 2024.

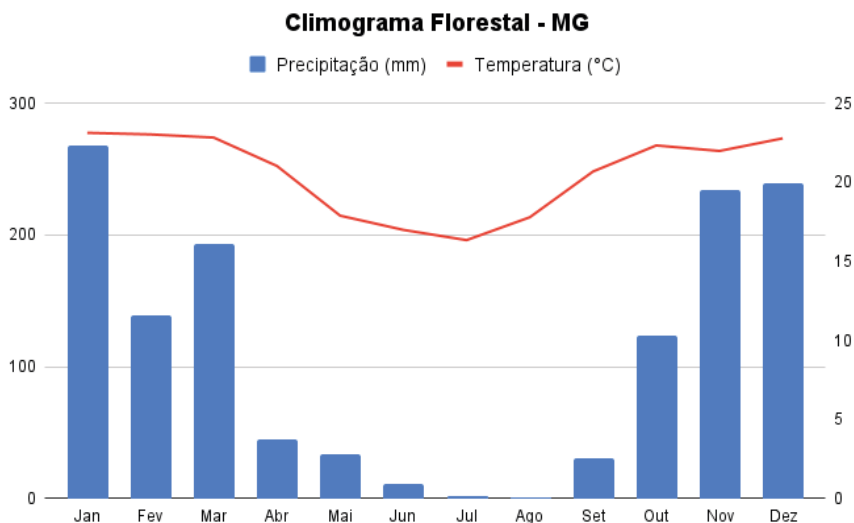


Figura 2: Comportamento mensal da temperatura e precipitação do município de Florestal - MG. Fonte: Estação Meteorológica A535, INMET, 31/01/2009 a 30/06/2024.

O comportamento mostrado no gráfico, indica que os meses de novembro, dezembro e janeiro são aqueles que concentram as maiores precipitações e na estação de inverno há uma redução da precipitação, sobretudo entre os meses de abril até setembro.

O método escolhido para avaliar a uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação por autopropelido foi o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC). Para a determinação do CUC foi utilizada a Equação 1, proposta por Christiansen, (1992):

$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}}}{n} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

*CUC* – Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, expresso em porcentagem;

*n* – número de coletores;

*X<sub>i</sub>* - lâmina de água aplicada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo;

*X̄* - lâmina média aplicada.

Para a coleta dos volumes de água aplicados, foram distribuídas 17 linhas de coletores de pluviosidade (modelo C1, produzido pela Fabrimar), perpendicularmente à direção de deslocamento do equipamento. O primeiro coletor foi instalado a 5 m do centro da mangueira, com espaçamento de 5 metros entre os coletores na linha e de 15 metros entre cada linha de coletores, totalizando 102 pontos. Os coletores foram instalados sobre hastes de alumínio a 0,50 m do solo. Em cada ponto, foram registradas as coordenadas correspondentes com o auxílio do GPS portátil Garmin Etrex 10.

Para a realização do cálculo do CUC, a área de coleta dos dados foi dividida de

acordo com a topografia do terreno, em três parcelas, já que a declividade é diferente ao longo de toda a área experimental, conforme mostrado na Figura 3. A interpretação dos valores de CUC foi baseada na classificação proposta por Mantovani (2001) (Tabela 1).

No dia da coleta dos dados de volume em campo, as plantas estavam no estágio fenológico V3, ainda com três folhas totalmente expandidas e altura de 20 cm, o que foi critério para a realização da avaliação da uniformidade de aplicação de água, uma vez que a altura das plantas não ultrapassasse a altura das hastes dos coletores de pluviosidade, interferindo, assim, na área de captação de água dos coletores.

Vale ressaltar que houve necessidade de adaptação da metodologia do CUC, sendo o espaçamento recomendado alterado, em vista do número de coletores disponíveis para esse experimento, 33 unidades. Isso porque, à medida que o equipamento se deslocava, a linha de coletores em que o aspersor não distribuía mais água, era também deslocada, a fim de cobrir toda a área de alcance do aspersor com os coletores.

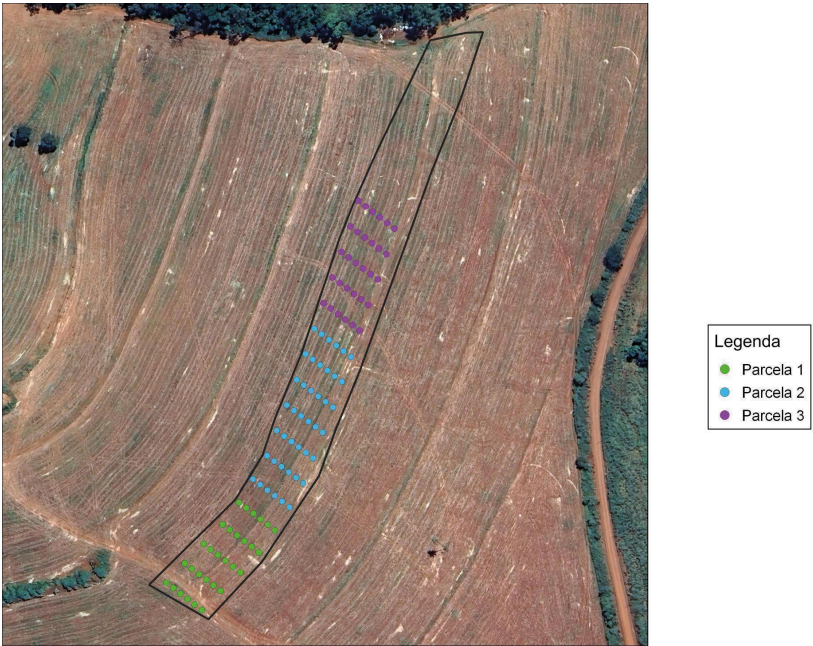


Figura 3: Divisão das parcelas da área de estudo conforme a topografia.

| CLASSIFICAÇÃO      | CUC (%)        |
|--------------------|----------------|
| <i>Excelente</i>   | <i>&gt; 90</i> |
| <i>Bom</i>         | <i>80 - 90</i> |
| <i>Razoável</i>    | <i>70 - 80</i> |
| <i>Ruim</i>        | <i>60 - 70</i> |
| <i>Inaceitável</i> | <i>&lt; 60</i> |

**Tabela 1.** Interpretação dos valores de CUC, de acordo com a classificação proposta por Mantovani (2001).

Fonte: Mantovani (2001).

As imagens escolhidas para o estudo foram obtidas por meio do satélite Dove, sensor DOVE-R na plataforma PlanetScope, que possui resolução espacial de 3 metros, ortorretificadas e resolução temporal diária. Foram consideradas cenas com a menor porcentagem de nuvens e ruídos com as bandas espectrais de comprimentos de onda correspondentes ao vermelho infravermelho próximo.

Após download das imagens, foi realizada a importação para o software QGIS versão 3.24.3, onde, com o sistema de projeção correto, foram recortadas para a área de interesse e depois processadas para a obtenção do índice de vegetação NDVI. O cálculo do NDVI foi executado conforme Equação 2:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (2)$$

Em que:

*NDVI*: Índice de vegetação por diferença normalizada.

*NIR*: Valor da reflectância da banda no infravermelho próximo.

*RED*: Valor da reflectância da banda no vermelho.

Para a avaliação da relação entre o índice de vegetação com a uniformidade de distribuição de água, foi realizada, uma análise dos dados obtidos em campo, visando identificar e excluir valores extremos.

Após a verificação da existência de outliers nos dados coletados, foi executada a interpolação no QGIS pelo método de Krigagem Ordinária, utilizando o plugin Smart-Map (Pereira, et al., 2023). A interpolação utiliza pontos vetoriais com valores conhecidos para estimar valores locais desconhecidos cobrindo a superfície de toda uma área.

Para a interpolação por krigagem, foi utilizada para a camada de entrada os pontos de coleta e o atributo a ser interpolado, os volumes. Foi definido um grid de interpolação de 3 x 3 m. Para interpolar cada ponto do grid foram definidos o raio de busca igual a metade do alcance obtido pelo semivariograma teórico (exponencial).

Para a análise de correlação entre as imagens de NDVI e de krigagem geradas foi utilizado o algoritmo *r.covar* do complemento GRASS no QGIS. Este algoritmo gera uma matriz de correlação para as camadas raster de interesse. Ele estima a correlação entre duas matrizes de mesma resolução espacial por meio do Coeficiente de Correlação de Pearson (correlação linear pixel a pixel), comparando os valores de cada pixel entre os rasters e calculando a correlação entre cada par de rasters.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas de NDVI (Figura 4) apresentaram intervalos de 0,2 a 0,5 para o primeiro momento, onde as plantas de milho encontravam-se no estágio V3, 15 dias após a emergência, e de 0,6 a 0,9 no segundo momento, estágio V10, 47 dias após a emergência.

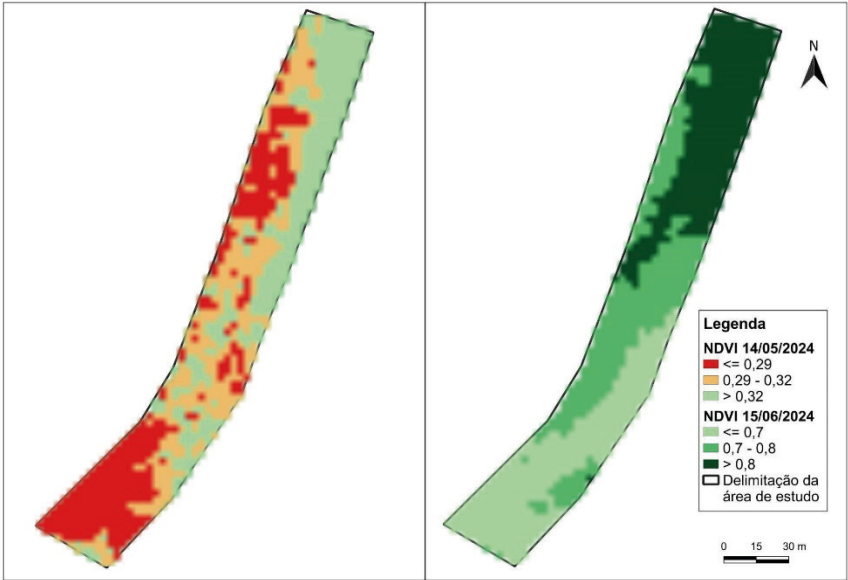
Nota-se que os menores valores se concentraram nas parcelas 1 e 3, no primeiro momento, sobretudo na parcela 1, onde a topografia da região é mais declivosa e tortuosa. Resultado este que pode ser relacionado com o do cálculo do CUC (%) (Tabela 2), em que na parcela 1, obteve-se o valor de 52,1%, enquanto nas parcelas 2 e 3 foi de 78,9% e 74,4%, respectivamente. Caracterizando, portanto, uma uniformidade de distribuição de água inaceitável para a parcela 1 e razoável para as parcelas 2 e 3, segundo a classificação proposta por Mantovani (2001). De maneira semelhante, percebe-se que os menores valores de NDVI concentraram-se também na parcela 1.

| PARCELA | CUC (%) | CLASSIFICAÇÃO |
|---------|---------|---------------|
| 1       | 52,1    | Inaceitável   |
| 2       | 78,9    | Razoável      |
| 3       | 74,4    | Razoável      |

**Tabela 2.** Resultados de CUC (%) em cada parcela do estudo.

Fonte: O autor, 2024.

Avaliando-se os valores obtidos de CUC para cada parcela, destaca-se que as condições do clima durante a coleta dos volumes em campo, sobretudo a velocidade do vento e radiação solar, foram consideráveis, o que segundo alguns autores, pode distorcer o perfil de aplicação de água e reduzir a área coberta pelo aspersor, o que resulta na diminuição da uniformidade de distribuição de água (Martín-Benito et al., 1992; Alves e Castro, 1995; Azevedo et al., 2000), conforme observado principalmente para a parcela 1.



**Figura 4:** Resultado do NDVI para os dois momentos de análise.

Obteve-se como resultado da verificação de outliers nenhum valor que pudesse interferir na avaliação do volume de água em cada ponto de amostragem, como verifica-se na Figura 5.

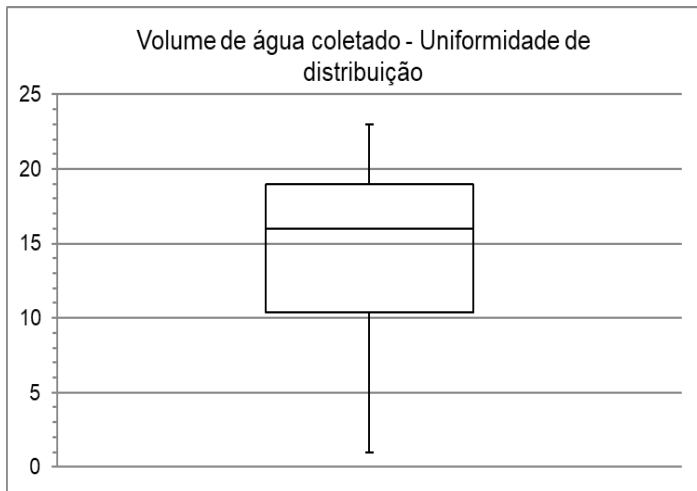


Figura 5: Boxplot dos dados de pluviosidade da coleta em campo.

Na interpolação por krigagem ordinária (Figura 6), percebe-se que as regiões com menores volumes de água encontram-se, novamente, nas parcelas 1 e 3, com valores entre 14,3 a 15,7 ml, sendo as duas primeiras linhas de coletores, pontos de menor precipitação. Em contrapartida, houve uma concentração maior da lâmina aplicada na região de mudança de topografia, entre as parcelas 2 e 3. Pereira (1995), ao analisar as interações entre o perfil de distribuição de água do aspersor e a inclinação da superfície do solo, constatou que, qual fosse o ângulo do tubo de elevação do aspersor com a vertical, o coeficiente de uniformidade reduzia quando a inclinação do terreno aumentava.

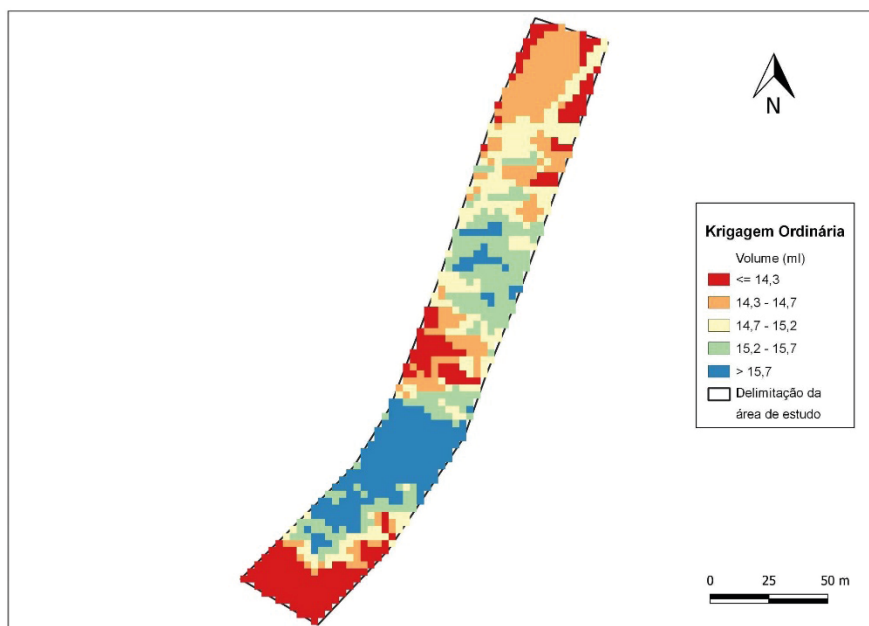


Figura 6: Interpolação dos dados pelo método Krigagem Ordinária executada pelo plugin Smart-Map no software QGIS versão 3.24.3.

A análise de correlação entre as imagens de NDVI e Krigagem apresentada na Tabela 3, resultou em um valor de -0.176543, o que significa, de acordo com Hinkle et al. (1988) (Tabela 4), uma correlação desprezível entre as duas variáveis.

| N= 1050   |           |
|-----------|-----------|
| 1.000000  | -0.176543 |
| -0.176543 | 1.000000  |

**Tabela 3.** Matriz de correlação entre as imagens de NDVI e de krigagem ordinária dos pontos de coleta de pluviosidade.

Fonte: O autor, 2024.

| CORRELAÇÃO (r)          | CLASSIFICAÇÃO          |
|-------------------------|------------------------|
| 0,9 a 1,0 (-0,9 a -1,0) | Correlação muito forte |
| 0,7 a 0,9 (-0,7 a -0,9) | Correlação forte       |
| 0,5 a 0,7 (-0,5 a -0,7) | Correlação moderada    |
| 0,3 a 0,5 (-0,3 a -0,5) | Correlação fraca       |
| 0 a 0,3 (0 a -0,3)      | Correlação desprezível |

**Tabela 4.** Interpretação do Coeficiente de Correlação de Pearson (r), de acordo com a classificação proposta por Hinkle et al., 1988.

Fonte: Hinkle et al., 1988.

Segundo Filho e Júnior (2009), o coeficiente de correlação Pearson ( $r$ ) mede a intensidade e a direção de relações lineares entre dois conjuntos de dados e varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. O valor mais próximo de 1, indica uma correlação forte positiva entre as duas variáveis e quando -1, uma correlação negativa forte entre as duas variáveis, ou seja, se o valor de uma variável aumenta, o valor da outra diminui. Quando o valor é igual a zero significa que não há correlação (dependência linear) entre as duas variáveis (Sousa, 2019).

Porém, como valores extremos de 0 ou 1, na prática, são difíceis de serem encontrados, Hinkle et al. (1988) apontam uma interpretação para o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ).

O resultado de -0,17 da correlação, indica uma relação fraca e negativa entre o NDVI e o raster gerado por krigagem, o que pode ser causado por uma série de fatores, como a escala temporal e espacial, a relação inversa entre a variável interpolada e o NDVI, ou até erros na interpolação. Nascimento et al. (2021), sugerem que quando a vegetação está sob efeito de estresse, há uma diminuição do valor de NDVI, em razão de fatores internos ou externos às plantas. Por isso, há a possibilidade de que o NDVI tenha o sentido da relação negativa, de redução, enquanto a krigagem, a tendência de aumento, indicando que não há correlação entre as duas variáveis ou que outros fatores estejam influenciando para uma correlação fraca.

Ao comparar o resultado do NDVI, o CUC para a parcela 1 e a interpolação por krigagem, percebe-se visualmente, que as imagens se sobrepõem, indicando alguma relação entre essas variáveis. Nesse mesmo dia, boa parte da área apresentou NDVI < 0,3, que representa baixa densidade vegetal ou áreas de solo exposto. O milho estava no seu estágio V3 de desenvolvimento, o qual caracteriza-se pela completa expansão da terceira folha, e assim, a área apresentou os menores valores de NDVI pelo fato de que a cultura ainda estava com pouco fechamento, indicando também que a área vegetal fotossinteticamente ativa era pequena. A escala do NDVI apresentou um aumento, onde a variação foi de 0,57 a 0,85, mostrando que, conforme a cultura se desenvolve, a tendência é que o NDVI aumente.

Lucas e Schuler (2007) realizaram um trabalho sobre a análise espaço temporal do NDVI por meio de imagens dos satélites AVHRR/ NOAA na cultura da cana-de-açúcar, onde verificaram que a partir da maturação da planta (sétimo mês), houve um decréscimo nos valores de NDVI, relacionado com a diminuição da precipitação, evidenciando influência da chuva nos valores de NDVI. Por outro lado, quando do sexto mês do ciclo da cultura, o NDVI atingiu valor máximo de 0,61 para uma parcela, e que, no mês anterior, a área do experimento teve altos volumes de chuva, evidenciando novamente que a precipitação exerceu influência sobre o NDVI. Diante do exposto, entende-se que o NDVI apresenta relação direta com o estágio de desenvolvimento da cultura, em que tanto o estágio de

florescimento quanto a precipitação podem causar variações no NDVI.

Porém, como indicado na análise de correlação (Tabela 2), não existe correlação linear entre as imagens de NDVI e de interpolação dos volumes coletados, ou seja, é quase nula a dependência entre as variáveis analisadas. Esse resultado não apresentou boa correlação, não validando os resultados encontrados quando da avaliação do CUC e NDVI, indicando, portanto, que a metodologia utilizada para a análise de correlação com a interpolação dos volumes coletados, precisa de ajustes ou não seja uma alternativa para esse estudo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia aplicada neste trabalho foi eficaz para indicar a parcela de menor e maior uniformidade de distribuição de água (parcelas 1 e 2, com CUC de 52,1% e 78,9%, respectivamente) bem como regiões de maior e menor vigor vegetativo, sugerindo que a mudança de topografia associada às condições climáticas (vento e radiação) durante a avaliação em campo, contribuíram para as diferenças nos resultados.

Contudo, ao correlacionar a interpolação dos volumes obtidos para o cálculo do CUC com o NDVI, não foi possível obter bons resultados. Para futuros estudos na área, recomenda-se o aperfeiçoamento da metodologia ou o uso de outra alternativa para este estudo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Nota Técnica n. 51/2021/SPR: Impacto das Mudanças Climáticas na Demanda da Irrigação do Brasil**. Brasília, 2021.

ALVES, A. D.; CASTRO, P. T. **Desempenho de um sistema de irrigação por aspersão tipo canhão hidráulico, sob diferentes condições de velocidade de vento na região de Paracatu, CE, Brasil**. v. 6, n. 2, p. 79–84, 1995.

AZEVEDO, H. J. et al. **Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de distribuição de água, em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão**. 2000.

BERGAMASCHI, H. et al. **Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n. 9, p. 831–839, set. 2004.

BERGAMASCHI, H. et al. **Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. 2, p. 243–249, fev. 2006.

BERGONCI, J. I. et al. **Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, n. 7, p. 949–956, jul. 2001.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5ª edição ed. [s.l.] Viçosa: UFV, 1989.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ª edição ed. [s.l.] Viçosa: UFV, 2006.

BISCARO, G. A. **Sistemas De Irrigação Por Aspersão**. [s.l.] UFGD, 2009.

BONINSENHA, Í. et al. **Revealing irrigation uniformity with remote sensing: A comparative analysis of satellite-derived uniformity coefficient**. *Agricultural Water Management*, v. 3, 2024.

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. p. 152, 2009.

CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2022.

CONAB - **Nova estimativa para safra de grãos na safra 2023/24 é de 295,6 milhões de toneladas**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5425-nova-estimativa-para-safra-de-graos-na-safra-2023-24-e-de-295-6-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em: 1 mai. 2024.

CONTINI, E., et al. **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. *Desafios do Agronegócio Brasileiro*, Brasília, DF: Embrapa, 45p, 2019.

EDUARDO, B. F. S.; SILVA, A. J. F. M. E. **Avaliação da influência da correção atmosférica no cálculo do índice de vegetação NDVI em imagens Landsat 5 e RapidEye**. Em: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, (SBSR). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2013. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.33.54/doc/thisInformationItemHomePage.html>>. Acesso em: 3 mai. 2024

EMBRAPA. **Sistemas Diferenciais de Cultivo - Portal Embrapa**. 2021. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/sistemas-diferenciais-de-cultivo>>. Acesso em: 1 mai. 2024.

FILHO, D., B. F.; JÚNIOR, J. A. S. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. v. 18, n. 1, p. 32, 2009.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. [s.l.] Oficina de Textos, 2017.

FRIZZONE, J. A. et al. **Irrigação por aspersão**. Maringá: UEM, Editora da Universidade de Maringá, 271p, 2011

FRIZZONE, J. A. **Os métodos de irrigação**. Texto complementar: Os métodos de irrigação, p. 32, 2017.

HINKLE, D. E.; WIERSMA, W.; JURIS, S. G. **Solutions manual: Applied statistics for the behavioral sciences**. Houghton Mifflin, 1988.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment, an earth resource perspective**. [s.l.] Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. 2nd Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 2007.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. Parêntese, São José dos Campos, 598 p, 2009.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

LEVIEN, S. **Irrigação por aspersão: sistemas de irrigação por aspersão**. [s.l.: s.n.], 2002.

LUCAS, A. A.; SCHULER, C. A. **Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil**. v. 11, p. 607–614, 2007.

MAGALHÃES, P.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da Produção de Milho**. 1ª edição, p. 10, dez. 2006.

MANTOVANI, E. C. **Avalia: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. [s.l.] Viçosa, MG: UFV, 2009.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. n. 2, p. 150, 2008.

MARTIN-BENITO, J. M. T.; GOMEZ; PARDO, J. L. **Working of sprinkler to optimize application of water**. p. 713–895, 1992.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MOTTA, J. L. G.; FONTANA, D. C.; WEBER, E. **Análise da evolução temporal do NDVI/NOAA em região de soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre – RS, 2003.

NASCIMENTO, J. M. D.; SEGRETTI, M. L.; LINÉ, M.; PAEZ, S. A. C. **Correlação espacial entre os atributos químicos do solo e o índice de vegetação NDVI na cultura da soja**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2021.

PEREIRA, G. M. **Simulação das perdas de água por evaporação e da uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.

PEREIRA, G. W. et al. **SMART-MAP: Plugin QGIS para interpolação utilizando Krigagem Ordinária e Machine Learning**. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agroinformática (SBIAGRO 2023). **Anais...** Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA. Brasil: Sociedade Brasileira de Computação, 8 nov. 2023. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/sbiagro/article/view/26550>>. Acesso em: 18 ago. 2024.

ROUSE, J. W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**. Third ERTS-1 Symposium NASA, NASA SP-351, Washington DC, 309-317, 1974.

SANTOS, D.L.; COELHO, E.F.; CUNHA, F.F.; DONATO, S.L.R.; BERNADO, W.P.; RODRIGUES, W.P.; CAMPOSTRINI, E. **Partial root-zone drying in field-grown papaya: Gas exchange, yield, and water use efficiency**. Agricultural Water Management, v.243, p.1-11, 2021.

SHIRATSUCHI, L. S. et al. **Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão\***. [s.d.], 2014.

SILVA, C. D. O. F.; R. L. MANZIONE; FILHO, J. A. **Sensoriamento Remoto Orbital para Manejo da Irrigação: uma Revisão Sistemática.** 2019.

SOUSA, Á. **Coeficiente de Correlação de Pearson e Coeficiente de correlação de Spearman. O que medem e em que situações devem ser utilizados?** 2019.

SOUSA, J. N. et al. **Impactos das mudanças climáticas na irrigação: uma análise prospectiva.** Em: Mudanças Climáticas e seus Impactos Socioambientais concepções, fundamentos, teorias e práticas mitigadoras. 1. ed. [s.l.] Editora Científica Digital, p.207-221, 2021.

VENANCIO, L. P. et al. **Spatial dynamics of remote sensing variables in irrigate robusta coffee.** Em: V INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING. Fortaleza, Ceará: 2019.