

FENOTIPAGEM POR IMAGEM APLICADA À SELEÇÃO DE POPULAÇÕES DE ALFACE POR ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Jordhanna Marília Silva¹, Ana Carolina Pires Jacinto¹, Ana Luisa Alves Ribeiro¹,
Isadora Rodrigues Damascena², Livia Monteiro Ballador², Renata Castoldi²

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG (jordhannamarilia98@ufu.br);

² Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, MG

RESUMO: A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças mais consumidas no mundo e possui grande importância econômica no Brasil. A caracterização fenotípica é fundamental para programas de melhoramento genético, porém métodos tradicionais, baseados em análises destrutivas, são limitados principalmente quanto à precisão, limitando a eficiência dos processos. Nesse contexto, a fenotipagem por imagem surge como alternativa promissora, permitindo avaliações em larga escala com maior eficiência. O objetivo desse trabalho foi agrupar diferentes populações de alface quanto ao tipo, utilizando a fenotipagem por imagem. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com 17 populações F₂ oriundas de cruzamentos entre diferentes cultivares, no Campus Monte Carmelo da Universidade Federal de Uberlândia. A fenotipagem foi realizada com uso de drone Phantom 4 Multiespectral, aos 49 dias após o transplante, e as imagens foram processadas para obtenção de índices de vegetação (NDVI, GNDVI, GLI, NGRDI e NDRE). Os resultados indicaram que os índices espectrais foram eficazes na distinção entre as populações, destacando as populações UFU 011, UFU 012, UFU 013, UFU 014, UFU 016 e UFU 017 pelo melhor desempenho agrônomo. Conclui-se que a fenotipagem por imagem é uma ferramenta viável e eficiente para apoiar a seleção de populações superiores de alface, contribuindo para o avanço de cultivares mais produtivas e adaptadas.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.; índices espectrais; sensoriamento remoto.

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa*), pertencente à família Asteraceae, é a hortaliça folhosa mais consumida no mundo e apresenta grande importância econômica no Brasil, ocupando a terceira posição entre as hortaliças com maior volume de produção (Kist; Beling, 2023). A caracterização fenotípica em genótipos de alface é essencial tanto para a seleção em programas de melhoramento genético quanto para o registro de novas cultivares. No entanto, as

metodologias tradicionais de fenotipagem, baseadas em avaliações empíricas e destrutivas, demandam mão de obra qualificada e tempo, limitando a eficiência dos processos (Sousa *et al.*, 2015).

Diante desse cenário, destaca-se a importância da fenômica vegetal, que permite a fenotipagem em larga escala por meio de tecnologias de sensoriamento remoto, proporcionando maior rapidez, precisão e economia de recursos (Reynolds *et al.*, 2015). Entre as ferramentas disponíveis, o uso de sensores multiespectrais acoplados a aeronaves remotamente pilotadas (ARP's) tem se mostrado promissor, possibilitando a obtenção de índices de vegetação (como NDVI, GNDVI e GLI) relacionados à biomassa, teor de clorofila e estresse hídrico das plantas (Gomes *et al.*, 2020).

Apesar do potencial, ainda são escassas as aplicações dessa tecnologia na cultura da alface. Estudos recentes demonstram a viabilidade do uso da fenotipagem por imagem na avaliação dessa cultura (Clemente *et al.*, 2023), mas faltam investigações que integrem esse recurso às etapas de seleção de genótipos. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo agrupar diferentes populações de alface quanto ao tipo, utilizando a fenotipagem por imagem. A integração dessas abordagens visa otimizar os processos de seleção, contribuindo para o desenvolvimento de cultivares adaptadas e com maior potencial produtivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de 05 de fevereiro a 20 de maio de 2024, na área experimental da Universidade Federal de Uberlândia, Campus de Monte Carmelo-MG, cujas coordenadas geográficas são 18°72'70.93 latitude Sul, 47°52'31.44 longitude Oeste e altitude de 903 metros. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho de textura argilosa e relevo plano, conforme os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. O clima da região é tropical com estação seca no inverno, com precipitação média anual de aproximadamente 1.370 mm e temperatura média de 24 °C.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos foram compostos por 17 populações de alface da geração F₂, obtidas a partir de cruzamentos entre diferentes cultivares e/ou linhagens desenvolvidas pelo Programa de Melhoramento da alface da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* de Monte Carmelo. Cada parcela experimental foi composta por 30 plantas distribuídas em três linhas de 3,5 m, com espaçamento de 0,35 m entre plantas e 0,30 m entrelinhas, sendo consideradas úteis as oito plantas centrais. A semeadura foi realizada em bandejas de 200 células com substrato à

base de fibra de coco, e as mudas foram mantidas em casa de vegetação até o transplântio, aos 25 dias após a sementeira.

O voo para aquisição das imagens aéreas foi realizado aos 49 dias após o transplântio, período em que as plantas estavam no ponto ideal de colheita. O drone utilizado foi o *Phantom 4 Multispectral*, equipado com uma câmera RGB (espectro visível) e um conjunto de cinco câmeras multiespectrais. O planejamento e execução do voo foi realizado com o auxílio do *software* DJI GS Pro, sob condições de céu limpo, por volta das 12h. O voo foi feito a altura de 30 metros, com sobreposição de 80% na direção do voo (longitudinal) e 75% entre as faixas (lateral). As imagens capturadas foram processadas no *software* Agisoft Metashape a fim de criar um ortomosaico da área experimental.

A extração dos dados radiométricos foi feita por meio do *software* QGIS versão 3.34, onde polígonos foram desenhados sobre cada planta dentro das parcelas experimentais utilizando a ortomosaico. Com isso, foi possível obter os valores espectrais por planta, os quais serviram de base para o cálculo de diferentes índices de vegetação, sendo eles:

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)}$$

$$GNDVI = \frac{(NIR-G)}{(NIR+G)}$$

$$GLI = \frac{(2*G-R-B)}{(2*G+R+B)}$$

$$NGRDI = \frac{(G-R)}{(G+R)}$$

$$NDRE = \frac{(NIR-RE)}{(NIR+RE)}$$

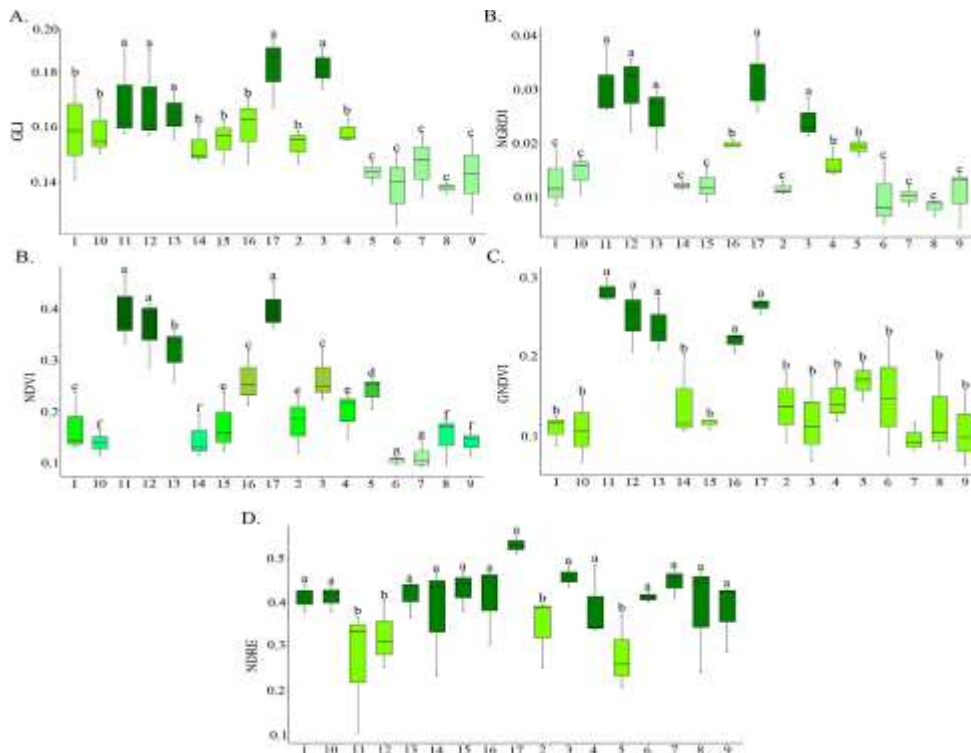
Sendo: NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada); GNDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde); GLI (Índice Foliar Verde); NGRDI (Índice Verde – Vermelho por Diferença Normalizada); NDRE (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada na Borda do Vermelho); NIR (Infravermelho Próximo); R (Banda do Vermelho); G (Banda do Verde); B (Banda do Azul); RE (Borda do Vermelho).

O cálculo dos índices foi realizado utilizando o *software* Envi Classic, e, para cada parcela, foi considerado o valor médio dos índices obtidos. Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$) e a comparação de médias pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), apresentadas através de Box-plot, utilizando programa R, versão 3.6.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos índices de vegetação GLI e NGRDI revelou comportamento semelhante entre as populações, destacando as populações UFU 003#1, UFU 011, UFU 012, UFU 013 e UFU 017, com as maiores médias (Figura 1).

Figura 1. Comparação dos índices de vegetação em populações de alface verde. 1 - UFU 001, 2 - UFU 002#2, 3 - UFU 003#1, 4 - UFU 004, 5 - UFU 005, 6 - UFU 006, 7 - UFU 007, 8 - UFU 008, 9 - UFU 009#2, 10 - UFU 010, 11 - UFU 011, 12 - UFU 012, 13 - UFU 013, 14 - UFU 014, 15 - UFU 015, 16 - UFU 016, 17 - UFU 017.

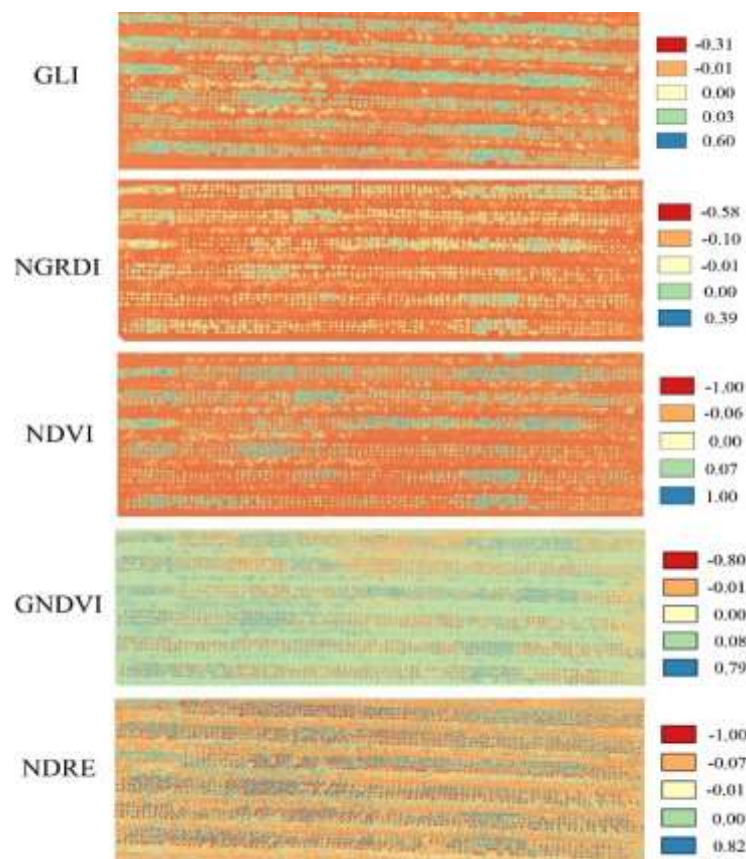


Ribeiro *et al.* (2023), demonstraram que esses índices são eficientes na diferenciação de genótipos de alface com base em taxas de crescimento. O índice GNDVI, o qual considera as bandas do verde e do infravermelho próximo, permitiu distinguir positivamente as populações UFU 011, UFU 012, UFU 013, UFU 016 e UFU 017. Esse resultado pode estar relacionado à presença de pigmentação foliar mais intensa nessas populações, como também observado por Clemente *et al.* (2021), que relataram variações significativas nos teores de antocianinas e clorofila em genótipos de alface submetidos à fenotipagem de alto rendimento.

Quanto ao NDVI, as populações UFU 011, UFU 012 e UFU 017 apresentaram os maiores valores médios. O NDRE, por sua vez, indicou maiores médias para um conjunto mais amplo de populações, incluindo UFU 001, UFU 003, UFU 004, UFU 006, UFU 007, UFU 008, UFU 009#2, UFU 010, UFU 013, UFU 014, UFU 015, UFU 016 e UFU 017. Por utilizar a banda da borda do vermelho em conjunto com o infravermelho próximo, esse índice se mostra particularmente sensível à atividade fotossintética, especialmente em estágios mais avançados do ciclo da cultura (Sampaio *et al.*, 2021).

De modo geral, observou-se que as populações com maiores valores para os índices espectrais também foram as que apresentaram melhor desempenho agrônômico em campo (UFU 003#1, UFU 006, UFU 009, UFU 011, UFU 012, UFU 013, UFU 014, UFU 016 e UFU 017). Isso confirma a utilidade dos índices de vegetação como ferramentas auxiliares na avaliação do vigor e no monitoramento do desenvolvimento de plantas, conforme apontado por diversos autores (Ribeiro *et al.*, 2023). A visualização dos índices foi representada por meio de mapas temáticos (Figura 2).

Figura 2. Representação dos índices de vegetação: NDVI, GNDVI, GLI, NGRDI, NDRE.



4 CONCLUSÕES

A utilização da fenotipagem por imagem na avaliação de populações de alface possibilitou a identificação de populações com elevado desempenho agrônômico, com destaque para as UFU 011, UFU 012, UFU 013, UFU 014, UFU 016 e UFU 017. A aplicação dos índices de vegetação, como NDVI, GNDVI e GLI, demonstrou eficiência na distinção entre as populações avaliadas e na detecção da variabilidade genética presente, configurando-se como ferramenta promissora para o acompanhamento do desenvolvimento da cultura ao longo de seus diferentes estágios fenológicos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo auxílio para o desenvolvimento da pesquisa (Processo n° APQ-01952-18 e Processo n° APQ-04711-23).

REFERÊNCIAS

- CLEMENTE, A. A.; MACIEL, G.M.; SIQUIEROLI, A.C.S.; GALLIS, R.B.A.; PEREIRA, L.M.; DUARTE, J.G. High-throughput phenotyping to detect anthocyanins, chlorophylls, and carotenoids in red lettuce germplasm. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [s.l.], v. 103, p. 102533, dez. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2021.102533>
- CLEMENTE, A. A.; MACIEL, G.M.; SIQUIEROLI, A.C.S.; GALLIS, R.B.A.; LUZ, J.M.Q.; SALA, F.C.; PEREIRA, L.M.; YADA, R.Y. Nutritional Characterization Based on Vegetation Indices to Detect Anthocyanins, Carotenoids, and Chlorophylls in Mini-Lettuce. **Agronomy**, [s.l.], v. 13, n. 1403, abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051403>
- GOMES, A.P.A.; QUEIROZ, D.M.; VALENTE, D.S.M.; PINTO, F.A.C.; ROSAS, J.T.F. Comparing a single-sensor camera with multisensory camera for monitoring coffee crop using unmanned aerial vehicles. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 41, n. 1, p. 87-97, fev. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>.
- KIST, B.B.; BELING, R.R. **Anuário brasileiro de horti&fruti. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz**, 2023. 108 p. Disponível em: <https://editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-do-horti-fruti-2024/>. Acesso em: 06 nov.2024.
- REYNOLDS, M.; TATTARIS, M.; COSSANI, C.M.; ELLIS, M.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; PIERRE, C.S. Exploring Genetic Resources to Increase Adaptation of Wheat to Climate Change. **Advances In Wheat Genetics: From Genome to Field**, [s.l.], p. 355-368, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-4-431-55675-6_41.
- RIBEIRO, A. L. A.; MACIEL, G.M.; SIQUIEROLI, A.C.S.; LUZ, J.M.Q.; GALLIS, R.B.A.; ASSIS, P.H.S.; CATÃO, H.C.M.; YADA, R.Y. Vegetation Indices for Predicting the Growth and Harvest Rate of Lettuce. **Agriculture**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 1091, 19 maio 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture13051091>
- SAMPAIO, M. I. R.; KUNZ, A.; HILLEBRAND, F.L.; ZAMBERLAN, J.F. Análise dos índices de vegetação NDVI e NDRE em imagens obtidas por meio de sensor embarcado em um RPAS para as culturas da soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*) irrigados. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 9, n. 4, p. 350-362, dez. 2021.
- SOUSA, C. A. F.; CUNHA, B.A.D.B.; MARTINS, P.K.; MOLINARI, H.B.C. New approach for plant phenotyping: concepts, current tools and perspectives. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 8, p. 660-672, dez. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/0.5935/1984-2295.20150022>.