

CORRELAÇÕES E ANÁLISE DE TRILHA EM GERMOPLASMA DE ALFACE TROPICALIZADO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Vinicius Augusto Pereira¹, Orlando Ribeiro de Oliveira¹, Matheus Eduardo Alves Amorim de Sá Bosco¹, Camila Soares de Oliveira¹, Ana Carolina Silva Siquieroli¹, Gabriel Mascarenhas Maciel¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, Minas Gerais (gabrielmaciel@ufu.br)

RESUMO: O cultivo de alface possui grande importância como fonte de renda para pequenos produtores. No Brasil, o cultivo de alface é considerado um importante fator socioeconômico. Um dos entraves para o cultivo de alface tem sido a falta de cultivares adaptados para as condições tropicais. O objetivo do trabalho foi realizar correlações e análise de trilha em germoplasma de alface tropicalizada. O experimento foi realizado na Estação Experimental de Hortaliças da UFU, campus Monte Carmelo. Foram avaliados quinze tratamentos (genótipos). O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, três repetições, totalizando 45 parcelas. As avaliações realizadas foram em relação a quesitos agronômicos e presença de bioativos nas folhas. Foi realizada análise de correlação e trilha para os caracteres avaliados no germoplasma. A seleção simultânea de clorofila B e diâmetro da planta pode ser uma excelente alternativa para obtenção de ganhos no número de folhas de alface. A seleção indireta de antocianina, luteína, clorofila A e carotenoide via clorofila B promove incremento no número de folhas de alface, enquanto a seleção indireta para pendoamento não promove ganho no número de folhas.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*, melhoramento genético, hortaliças.

INTRODUÇÃO

O cultivo de alface é caracterizado por apresentar importante função socioeconômica no Brasil. Possui forte contribuição para a geração de empregos diretos e indiretos. Notavelmente, após o período de pandemia covid-19, a busca por uma alimentação saudável tornou-se cada vez mais evidente (VENTURA *et al.*, 2020). A alface possui grande relevância na alimentação e pode prevenir uma série de doenças (CLEMENTE *et al.*, 2023).

A alface (*Lactuca sativa*) possui origem do mediterrâneo. A maioria das cultivares utilizadas pelos produtores rurais no Brasil foram desenvolvidas em outros países de clima temperado. Isso implica em maior dificuldade de adaptação e sucesso nos cultivos comerciais. A Universidade Federal de Uberlândia-UFU possui um importante banco de germoplasma de hortaliças desenvolvidas em clima tropical na estação Experimental de Hortaliças da UFU, campus Monte Carmelo (MACIEL *et al.*, 2019a). O uso de análises estatísticas mais eficientes são fundamentais para auxiliar na seleção de plantas. Entre as diversas análises, há relatos que

o uso de análise de trilha tem proporcionado respostas importantes durante as etapas de seleção. A análise de trilha e correlação são indicadores confiáveis para o incremento de características em determinado genótipo, tornando o trabalho do melhorista de plantas mais preciso (PEIXOTO *et al.*, 2020). Pesquisas comprovaram a eficiência da correlação e utilização dos métodos de análise de trilha como ferramenta na seleção linhagens superiores em milho doce (SILVA *et al.*, 2020) sendo escasso informações para caracterizar germoplasma de alface.

Apesar de todo o potencial socioeconômico do cultivo de alface no Brasil, faz-se necessário a obtenção de novas cultivares visando maior adaptação aos diferentes tipos de estresse biótico e abiótico. Diante disso, sugere-se uma avaliação com maior critério de seleção a partir de análise de trilha no germoplasma de alface da Universidade Federal de Uberlândia para caracteres agronômicos em condições tropicais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no inverno de 2019, na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo (18°42'43,19" S; 47°29'55,8" W; 873 m de altitude). Os genótipos utilizados nesse estudo fazem parte do Programa de Melhoramento Genético de alface biofortificada e tropicalizada da UFU, e estão cadastradas no Software BG α BIOFORT INPI BR512019002403-6 (MACIEL *et al.*, 2019a).

A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido de 200 células, preenchidas com o substrato a base de fibra de coco. As mudas foram mantidas em casa de vegetação até o transplântio coberta com filme de polietileno transparente anti UV de 150 micra e cortinas laterais de tela branco anti-afídeos. O transplântio para campo foi realizado trinta e sete dias após a semeadura. As plantas foram dispostas no espaçamento de 0,25 m entre plantas e 0,25 m entrelinhas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com 15 tratamentos e três repetições, totalizando 45 parcelas. Cada parcela foi composta por 20 plantas.

Foram avaliados quinze tratamentos sendo treze linhagens provenientes do germoplasma da UFU e duas cultivares comerciais (Purpurita e Vitoria). Antes de atingir a fase de pendoamento, foi iniciada a colheita. Após colhidas, as plantas de cada parcela foram avaliadas para características agronômicas e presença de bioativos nas folhas conforme segue: massa verde (g), diâmetro da planta (cm), diâmetro da haste (mm), número de folhas, temperatura foliar (°C), índice SPAD, teor de antocianina, luteína, clorofila A (CA), clorofila B (CB), clorofila total (CT), carotenoide (CAR) e o pendoamento (dias após a semeadura).

O diagnóstico de multicolinearidade foi realizado envolvendo as treze variáveis. O grau de multicolinearidade foi caracterizado na matriz $X'X$. Nesse cálculo os valores do

determinante e do número de condição são fornecidos pela razão entre o maior e o menor autovalor da matriz. Para detectar os caracteres de maior contribuição para a multicolinearidade, os elementos dos autovetores associados aos autovalores foram analisados. As análises estatísticas foram realizadas no Software Genes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado correlações genotípicas e fenotípicas positivas com valores de no mínimo 0,70 entre os seguintes pares de variáveis: antocianina e clorofila A, antocianina e clorofila total, antocianina e diâmetro da haste, antocianina e índice SPAD, luteína e clorofila B, clorofila A e clorofila B, clorofila A e clorofila total, clorofila A e carotenoides, clorofila B e clorofila total, clorofila B e carotenoides, clorofila B e índice SPAD, clorofila total e carotenoides, clorofila total e índice SPAD, diâmetro da planta e diâmetro da haste, diâmetro da planta e massa verde, diâmetro da planta e número de folhas, diâmetro da haste e o número de folhas, massa verde e número de folhas (Tabela 1).

TABELA 1. Coeficiente de determinação genotípico (h^2) e correlações genotípicas (G) e fenotípicas (F) em treze caracteres avaliados em linhagens de alfaca.

Caráter ¹		ANT	LUT	CA	CB	CT	CAR	DP	DH	MV	NF	SPAD	TF	PEND
1	G	-	0.55 ⁺	0.75 ⁺⁺	0.67 ⁺⁺	0.83 ⁺⁺	0.61 ⁺⁺	-0.30	-0.91 ⁺⁺	-0.46 ⁺	-0.47 ⁺	0.79 ⁺⁺	0.43	-0.02
	F	-	0.53 ⁺	0.71 ^{**}	0.66 ^{**}	0.80 ^{**}	0.59 [*]	-0.29	-0.82 ^{**}	-0.45	-0.45	0.77 ^{**}	0.34	-0.02
2	G	-	-	0.55 ⁺	0.77 ⁺⁺	0.49 ⁺	0.35	-0.02	-0.46	0.04	0.12	0.64 ⁺⁺	0.17	-0.35
	F	-	-	0.50	0.73 ^{**}	0.47	0.33	-0.02	-0.42	0.04	0.11	0.60 [*]	0.18	-0.34
3	G	-	-	-	0.86 ⁺⁺	0.94 ⁺⁺	0.79 ⁺⁺	0.02	-0.62 ⁺	-0.22	-0.09	-0.74 ⁺⁺	0.33	0.12
	F	-	-	-	0.83 ^{**}	0.92 ^{**}	0.75 ^{**}	0.01	-0.54 [*]	-0.21	-0.09	-0.72 ^{**}	0.26	0.11
4	G	-	-	-	-	0.83 ⁺⁺	0.73 ⁺⁺	0.02	-0.57 ⁺	-0.21	0.04	0.81 ⁺⁺	0.35	0.08
	F	-	-	-	-	0.82 ^{**}	0.72 ^{**}	0.01	-0.52 ⁺	-0.21	0.03	0.79 ^{**}	0.28	0.08
5	G	-	-	-	-	-	0.79 ⁺⁺	0.07	-0.57 ⁺	-0.26	-0.10	0.88 ⁺⁺	0.14	0.02
	F	-	-	-	-	-	0.78 ^{**}	0.06	-0.51	-0.25	-0.09	0.85 ^{**}	0.13	0.02
6	G	-	-	-	-	-	-	-0.09	-0.61 ⁺	-0.32	-0.30	0.64 ⁺⁺	0.37	0.32
	F	-	-	-	-	-	-	-0.09	-0.53 ⁺	-0.31	-0.28	0.62 [*]	0.31	0.32
7	G	-	-	-	-	-	-	-	0.79 ⁺⁺	0.70 ⁺⁺	0.86 ⁺⁺	0.04	-0.79 ⁺⁺	-0.40
	F	-	-	-	-	-	-	-	0.73 ^{**}	0.69 ^{**}	0.84 ^{**}	0.04	-0.64 [*]	-0.39
8	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.78 ⁺⁺	0.86 ⁺⁺	-0.49 ⁺	-0.82 ⁺	-0.31
	F	-	-	-	-	-	-	-	-	0.72 ^{**}	0.78 ^{**}	-0.44	-0.71 ^{**}	-0.28
9	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.75 ⁺⁺	-0.11	-0.89 ⁺⁺	-0.33
	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.74 ^{**}	-0.11	-0.72 ^{**}	-0.33
10	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	-0.91 ⁺⁺	-0.44
	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-0.73 ^{**}	-0.04
11	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.15	-0.15
	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.15	-0.15
12	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.52
	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.42
13	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0
	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0
h^2		97.03	92.63	92.73	98.19	97.44	97.29	97.08	80.89	99.03	97.47	97.44	65.82	99.18

¹ANT: antocianina (μg de pigmento g de massa fresca⁻¹); LUT: Luteína (μg de pigmento g de massa fresca⁻¹); CA: Clorofila A (μg de pigmento g de massa fresca⁻¹); CB: Clorofila B (μg de pigmento g de massa fresca⁻¹); CT: Clorofila total (μg de pigmento g de massa fresca⁻¹); CAR: Carotenoides (μg de pigmento g de massa fresca⁻¹); DP: Diâmetro da planta (cm); DH: Diâmetro da haste (cm); MV: Massa verde (g); NF: Número de folhas; SPAD: Índice SPAD; TF: Temperatura foliar ($^{\circ}\text{C}$) e PEND: Pendoamento. **, *correlação fenotípica significativa respectivamente a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste t. ++, +Correlação genotípica significativa respectivamente a 1 e 5%, pelo método de bootstrap com 5000 simulações.

Foi verificada alta correlação genotípica e fenotípica negativa entre clorofila A e índice SPAD, diâmetro da haste e temperatura foliar, massa verde e temperatura foliar, número de folhas e temperatura foliar. Esse resultado indica que o aumento na primeira característica impacta na redução da segunda. Os caracteres avaliados em sua maioria apresentaram valores de h^2 considerados altos (Tabela 1). A correlação entre caracteres mede a associação entre duas características, no entanto, não permite concluir a respeito da relação de causa e efeito. Desse modo, a análise de trilha é considerada importante meio para identificar se a relação entre duas variáveis é de causa e efeito ou determinada pela influência de outros, além de medir a importância relativa de cada fator causal (NITHYA *et al.*, 2020).

O coeficiente de determinação (R^2) da análise de trilha foi de 96,3% e o efeito residual de 19,2%. Os componentes primários clorofila B (0,54) e diâmetro da planta (0,41) apresentaram altas magnitudes dos efeitos diretos sobre a variável principal número de folhas. Esses valores mostram-se relevantes por serem superiores ao efeito residual (0,192), enquanto as demais variáveis explicativas apresentaram valores baixos de estimativa direta, sendo inferiores ao efeito residual e, portanto, irrelevantes. Além disso, o teor de clorofila B e o diâmetro da planta apresentaram altos valores de h^2 . Este resultado demonstra que essas características são transferidas para a progênie e conseqüentemente, refletem no incremento do número de folhas de alface.

O resultado da correlação fenotípica positiva observada entre o número de folhas e o diâmetro da planta apresentou semelhança com o resultado obtido na análise de trilha. Cecherine, Lima e Sala (2020) observaram que os genótipos de alface que possuíam maiores números de folhas concomitantemente apresentavam maiores diâmetros de planta. Esse resultado corrobora aos encontrados neste estudo.

O efeito indireto da antocianina, luteína, clorofila A e carotenoide via clorofila B, e vice-versa, sobre o número de folhas foram positivos, sendo os valores 0,355, 0,397 e 0,449, respectivamente. Verificou-se também efeito indireto positivo da temperatura foliar via clorofila A, sobre o número de folhas, com valor de 0,307. A massa verde apresentou valores positivos para efeito indireto via antocianina (0,224), diâmetro da planta (0,284) e temperatura foliar (0,272) sobre o número de folhas de alface. Resultados semelhantes foram obtidos por

outros autores (PEIXOTO *et al.*, 2020), que observaram aumento da massa verde de alface com o incremento em diâmetro da planta, sendo o contrário também verdadeiro.

CONCLUSÕES

A seleção simultânea de clorofila B e diâmetro da planta pode ser uma excelente alternativa para obtenção de ganhos no número de folhas de alface.

A seleção indireta de antocianina, luteína, clorofila A e carotenoide via clorofila B promove incremento no número de folhas de alface, enquanto a seleção indireta para pendoamento não promove ganho no número de folhas.

REFERÊNCIAS

CECCHERINI, G. J.; LIMA, T. J. L.; SALA, F. C. Different tray cell volumes for lettuce grown in conventional and hydroponic system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 1, p. 1-6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190491>.

Clemente, A.A. *et al.* Nutritional Characterization Based on Vegetation Indices to Detect Anthocyanins, Carotenoids, and Chlorophylls in Mini-Lettuce. **Agronomy** **2023**, *13*, 1403. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051403>

MACIEL, G. M. *et al.* Image phenotyping of inbred red lettuce lines with genetic diversity regarding carotenoid levels. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 81, p. 154-160, 2019b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.016>.

MACIEL, G. M. *et al.* Programa de computador BG a Biofort. Depositante: Universidade Federal de Uberlândia. BR512019002403-6. Depósito: 01 fev. 2019. Concessão: 23 out. 2019a.

NITHYA, N. *et al.* Genetic variability, heritability, correlation coefficient and path analysis of morphophysiological and yield related traits of rice under drought stress. **Chemical Science Review and Letters**, Salem, v. 9, n. 33, p. 48-54, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.37273/chesci.cs142050122>

PEIXOTO, J. V. *et al.* Comparison between non-parametric indexes in the selection of biofortified curly lettuce. **Comunicata Scientiae Horticultural Journal**, Bom Jesus, v. 11, n. 3351, p. 1-9, 2020.

SILVA, I. G. *et al.* Prediction of genetic gain in sweet corn using selection indexes. **Journal of crop science and biotechnology**, Seoul, v. 23, n. 2, p. 191-196, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12892-019-0334-0>.

VENTURA, D.D.F.L. *et al.* Desafios da pandemia de COVID-19: Por uma agenda brasileira de pesquisa em saúde global e sustentabilidade. **Cad. Saude Publica** **2020**, *36*, e00040620.