

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA-UFU
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS-ICIAG
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUCIANA ALVES DE SOUSA

DISSIMILARIDADE, PARÂMETROS GENÉTICOS, ÍNDICES DE SELEÇÃO E
RESISTÊNCIA A *Meloidogyne* spp. EM ALFACE BIOFORTIFICADA

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2020

LUCIANA ALVES DE SOUSA

DISSIMILARIDADE, PARÂMETROS GENÉTICOS, ÍNDICES DE SELEÇÃO E
RESISTÊNCIA A *Meloidogyne* spp. EM ALFACE BIOFORTIFICADA

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia,
como parte das exigências do Programa de Pós-graduação
em Agronomia – Doutorado, área de concentração em
Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutora”.

Orientador:

Prof. Dr. Fernando Cezar Juliatti

Co-orientador:

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia
 Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppga.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese; 016/2020 PPGAGRO				
Data:	Vinte e um de dezembro de dois mil e vinte	Hora de início:	13:00	Hora de encerramento:	16:30
Matrícula do Discente:	11613AGR015				
Nome do Discente:	Luciana Alves de Sousa				
Título do Trabalho:	Dissimilaridade, parâmetros genéticos e eficiência de índices de seleção em alface biofortificada.				
Área de concentração:	Fitotecnia				
Linha de pesquisa:	Controle e Manejo Integrado de Doenças				

Reuniu-se por videoconferência a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Gabriel Mascarenhas Maciel - UFU; José Magno Queiroz Luz - UFU; José Ricardo Peixoto - UNB; Juliana Araújo Santos Martins - IFTM; Fernando Cezar Juliatti - UFU orientador da candidata.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. Fernando Cezar Juliatti, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovada

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Cezar Juliatti, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/12/2020, às 16:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **José Magno Queiroz Luz, Professor(a) do Magistério**



Superior, em 21/12/2020, às 16:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gabriel Mascarenhas Maciel, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/12/2020, às 16:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA ARAÚJO SANTOS MARTINS, Usuário Externo**, em 21/12/2020, às 16:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Ricardo Peixoto, Usuário Externo**, em 22/12/2020, às 09:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2400902** e o código CRC **24918C42**.

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S725
2020

Sousa, Luciana Alves de, 1986-
Dissimilaridade, parâmetros genéticos, índices de
seleção e resistência a *Meloidogyne* spp. em alface
biofortificada [recurso eletrônico] / Luciana Alves de
Sousa. - 2020.

Orientador: Fernando Cezar Juliatti.
Coorientador: Gabriel Mascarenhas Maciel.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.857>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Juliatti, Fernando Cezar, 1957-,
(Orient.). II. Maciel, Gabriel Mascarenhas, 1982-,
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

DEDICATÓRIA

Dedico à minha filha Alice, que nasceu durante a realização desta Tese, por iluminar meus dias e noites com lindos sorrisos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Fernando Cezar Juliatti pela orientação do trabalho, pela paciência que sempre teve comigo, por estar sempre disponível e por ser um exemplo de dedicação profissional, com uma carreira tão bem sucedida.

Ao professor Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel pela co-orientação do trabalho, por ter me acolhido no grupo de estudos em melhoramento genético de hortaliças (Gen-Hort) da UFU, por ter sido a base para execução deste trabalho, por todas as críticas construtivas, ensinamentos, disponibilidade, e por ser um exemplo de postura profissional inquestionável.

Aos alunos da graduação e da pós - graduação pertencentes ao grupo Gen-Hort da UFU, pela ajuda na instalação e condução dos experimentos, bem como no auxílio nas avaliações experimentais e pelo suporte durante minha ausência na licença maternidade.

Ao senhor José Marques Vilela (conhecido como “Zé da horta”), pela ajuda na manutenção dos experimentos em campo, sendo suporte no que diz respeito a todos os tratos culturais (capinas, adubação, irrigação e manejo de pragas e doenças). O auxílio do Sr Zé foi fundamental.

Ao Igor Forigo Beloti, pelo auxílio e companheirismo durante todas as etapas do doutorado.

À Universidade Federal de Uberlândia, a todos os funcionários do Programa de Pós- graduação em Agronomia da UFU e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação pelo suporte administrativo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO I: Dissimilaridade genética e resistência a <i>Meloidogyne</i> spp. em germoplasma de alface biofortificada.....	8
Resumo.....	8
Abstract.....	9
1 Introdução	11
2 Material e métodos	11
3 Resultados e discussão.....	17
4 Conclusões.....	28
Referências	28
CAPÍTULO II: Parâmetros genéticos e seleção de genótipos de alface biofortificada baseada em índices de seleção	34
Resumo.....	28
Abstract.....	36
1 Introdução	37
2 Material e métodos.....	38
3 Resultados e discussão.....	43
4 Conclusões.....	50
Referências	50
CAPÍTULO III: Estimativas de parâmetros genéticos, correlações e índices de seleção em linhagens de alface crespa, roxa e biofortificada	56
Resumo	57
Abstract.....	58
1 Introdução	59
2 Material e métodos.....	61
3 Resultados e discussão.....	66
4 Conclusões	76
Referências	76

RESUMO

de SOUSA, LUCIANA ALVES. **Dissimilaridade, parâmetros genéticos, índices de seleção e resistência a *Meloidogyne* spp. em alface biofortificada.** 2020. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.¹

A alface é a hortaliça com maior destaque dentro do grupo dos vegetais folhosos, apresentando o maior consumo e importância econômica no mundo. A obtenção de alimentos biofortificados é objetivo constante em programas de melhoramento, além de cultivares resistentes a fitopatógenos, como os nematóides das galhas. O conhecimento da dissimilaridade, das estimativas de parâmetros genéticos, como a herdabilidade, o coeficiente de variação genética e ambiental, as correlações entre as características de interesse, permitem a obtenção de conhecimento relevante sobre o germoplasma avaliado. A aplicação de índices de seleção possibilita a análise simultânea de vários caracteres de interesse, permitindo identificar os ganhos de seleção e a escolha de genótipos promissores. O objetivo do trabalho foi verificar a dissimilaridade genética, os parâmetros genéticos, as correlações, a eficiência de índices de seleção e a reação a *Meloidogyne* spp. em alface biofortificada. Foram realizados três experimentos, sendo um com 91 genótipos de alface (86 genótipos provenientes da hibridização entre as cultivares Pira 72 *versus* Uberlândia 10000 (rica em carotenóides), seguido de três autofecundações sucessivas, e 5 cultivares comerciais (Grand Rapids; UFU MC BIOFORT1; Pira 72; Uberlândia 10000 e Robusta), a resistência a nematóides foi avaliada em 49 genótipos (43 pertencentes a geração F6 do mesmo programa de melhoramento + 6 cultivares comerciais (Pira 72, Uberlândia 10000, Robusta, Grand Rapids Albina 1, Grand Rapids Albina 2 e Grand Rapids Albina 3). O terceiro experimento foi realizado com 30 genótipos de alface (29 linhagens de alface crespa do tipo roxa, provenientes do mesmo programa de melhoramento, seguida de sete sucessivas autofecundações e a cultivar comercial Pira 72). Existe divergência genética entre o germoplasma de alfaces biofortificadas e foi possível conhecer as associações entre os caracteres de interesse, por meio de correlações. Os índices de seleção de Smith e Hazel, Willian e Mulamba and Mock possibilitaram bons ganhos de seleção para as características avaliadas em germoplasma de alface biofortificada sendo que o índice de Mulamba e Mock se destacou na escolha de genótipos superiores de alface roxa. Foram selecionados genótipos superiores com bom potencial produtivo, aliado a boas características nutricionais, resistentes a *Meloidogyne* spp., promissores para serem usados em futuros programas de melhoramento genético e para serem lançadas como novos cultivares de alface biofortificada.

Palavras-chave: biofortificação; correlações; ganho genético; *Lactuca sativa* L.; nematóides das galhas, variabilidade genética

¹Orientador: Fernando Cezar Juliatti (UFU)

Co-orientador: Gabriel Mascarenhas Maciel (UFU)

ABSTRACT

de SOUSA, LUCIANA ALVES. **Dissimilarity, genetic parameters, selection index and resistance to *Meloidogyne* spp. in biofortified lettuce.** 2020. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.¹

Lettuce is the most prominent vegetable within the group of leafy vegetables, presenting the highest consumption and economic importance in the world. Obtaining biofortified foods is a constant objective in breeding programs in addition to cultivars resistant to phytopathogens, such as gall nematodes. The knowledge of dissimilarity, of estimates of genetic parameters, such as heritability, the coefficient of genetic and environmental variation, the correlations between the characteristics of interest, allow obtaining relevant knowledge about the evaluated germplasm. The application of selection indexes allows the simultaneous analysis of several characters of interest, enabling the identification of selection gains and the choice of promising genotypes. The objective of this study was to verify the genetic dissimilarity, the genetic parameters, the correlations, the efficiency of selection indexes and the resistance to *Meloidogyne* spp. in biofortified lettuce. Three experiments were carried out, one with 91 genotypes of lettuce (86 genotypes from hybridization between the cultivars Pira 72 versus Uberlândia 10000 (rich in carotenoids), followed by three successive self-fertilizations, and 5 commercial cultivars (Grand Rapids; UFU MC BIOFORT1; Pira 72; Uberlândia 10000 and Robusta). Nematode resistance was evaluated in 49 genotypes (43 belonging to the F6 generation of the same breeding program + 6 commercial cultivars (Pira 72, Uberlândia 10000, Robusta, Grand Rapids Albina 1, Grand Rapids Albina 2 and Grand Rapids Albina 3). The third experiment was carried out in 30 lettuce genotypes (29 strains of curly lettuce of the purple type, from the same breeding program, followed by seven successive self-fertilizations and the commercial cultivar Pira 72). There is genetic divergence between the biofortified lettuce germplasm and it was possible to know the associations between the characters of interest, (such as pigments,) through correlations network. The selection indexes of Smith and Hazel, Willian's and Mulamba and Mock made good gains of selection for the characteristics evaluated in germplasm of biofortified lettuce, with the Mulamba and Mock index standing out in the choice of superior genotypes of red lettuce. Superior genotypes with good productive potential were selected, combined with good nutritional characteristics, resistant to *Meloidogyne* spp., being promising to be used in future breeding programs and to be launched as new cultivars of biofortified lettuce.

Keywords: biofortification; correlations; genetic gain; genetic variability; *Lactuca sativa* L., root-knot nematodes

¹Orientador: Fernando Cezar Juliatti (UFU)

Co-orientador: Gabriel Mascarenhas Maciel (UFU)

CAPÍTULO I

DISSIMILARIDADE GENÉTICA E RESISTÊNCIA A *Meloidogyne* spp. EM GERMOPLASMA DE ALFACE BIOFORTIFICADA

DISSIMILARIDADE GENÉTICA E RESISTÊNCIA A *Meloidogyne* spp. EM GERMOPLASMA DE ALFACE BIOFORTIFICADA

RESUMO

A alface é a hortaliça com maior destaque dentro do grupo dos vegetais folhosos, apresentando o maior consumo e importância econômica no mundo. Nas últimas décadas, a preocupação com a deficiência de vitamina A tem levado pesquisadores brasileiros a desenvolver cultivares com maiores teores de carotenóides pró-vitamina A. O uso de cultivares resistentes constitui um método eficaz de controle a *Meloidogyne* spp. em alface. Portanto, o experimento teve como objetivo verificar a dissimilaridade genética e a reação a *Meloidogyne* spp. em genótipos de alface biofortificada, investigando a correlação entre as características agronômicas e o potencial de uso para aumentar o conteúdo de carotenóides em futuros programas de melhoramento. Foram avaliados 91 genótipos, com 86 acessos de alface provenientes da hibridização entre as cultivares Pira 72 versus Uberlândia 10000 (rica em carotenóides), seguido de três autofecundações sucessivas, e 5 cultivares comerciais (Grand Rapids; UFU MC BIOFORT1; Pira 72; Uberlândia 10000 e Robusta). Durante o decorrer do ensaio, foram avaliadas características como: teor de clorofila das folhas, diâmetro da planta, diâmetro da haste e o número de folhas por planta foram contados. A diversidade genética foi representada por um dendrograma obtido pelo método hierárquico UPGMA e pelo método de otimização de Tocher. A resistência a nematóides foi avaliada nos genótipos da geração F6 provenientes do mesmo programa de melhoramento. Existe divergência genética entre os genótipos de alface analisados, sendo que o caráter teor de carotenóides contribuiu de forma mais significativa para a divergência entre os genótipos avaliados. Os genótipos UFU215 # 12; UFU215 # 14; UFU215 # 2; UFU 215 # 1; UFU215 # 4; UFU199 # 3 e UFU199 # 2 apresentam boas características agronômicas e elevados teores de carotenóides e os genótipos 189#3#4-E, 189#3#2-E, 86#1#2-E, 120#1#1-E, 189#3#1-E, 107#1#1-E, 197#1-E, 199#2#2-E, 189#2#2-E, 197#2#2-E, 199#1#1-E e 199#3#1-E mostraram resistência a *Meloidogyne* spp. sendo todos promissores para dar continuidade ao programa de melhoramento genético de alface biofortificada, visando obter novas cultivares ricas em carotenóides pró- vitamina A, com resistência aos nematóides das galhas.

Palavras-chave: biofortificação; divergência genética; *Lactuca sativa* L.; nematóides das galhas

GENETIC DISSIMILARITY AND RESISTANCE TO *Meloidogyne* spp. IN BIOFORTIFIED LETTUCE GERMPLASM

ABSTRACT

Lettuce is the main leafy vegetable, presenting the highest consumption and economic importance in the world. In the recent decades, concerns about vitamin A deficiency have led Brazilian researchers to develop cultivars with higher levels of carotenoids provitamin A. The use of resistant cultivars is an effective method of controlling *Meloidogyne* spp. on lettuce. Therefore the experiment aimed to verify the genetic dissimilarity of biofortified lettuce genotypes, investigating the correlation between agronomic characteristics and the potential for use to increase the carotenoid content in future breeding programs. Ninety one genotypes were evaluated, with 86 lettuce strains from hybridization between cultivars Pira 72 versus Uberlândia 10000 (rich in carotenoids) followed by three successive self-fertilizations and 5 commercial cultivars (Grand Rapids; UFU MC BIOFORT1; Pira 72; Uberlândia 10000 and Robusta). During the course of the trial, were evaluated characteristics as chlorophyll content of the leaves, plant diameter, stem diameter and the number of leaves per plant were counted. Genetic diversity was represented by a dendrogram that was obtained using the hierarchical method of UPGMA and the optimization method of Tocher. Nematode resistance was evaluated in the genotypes of the F6 generation from the same breeding program. There is genetic divergence between the lettuce genotypes analyzed, and the carotenoid content character contributed most significantly to the divergence between the evaluated genotypes. The UFU215#12; UFU215#14; UFU215#2; UFU 215#1; UFU215#4; UFU199#3 and UFU199#2 genotypes have good agronomic characteristics and high levels of carotenoids, and the 189#3#4-E; 189#3#2-E; 86#1#2-E; 120#1#1-E; 189#3#1-E; 107#1#1-E; 197#1-E; 199#2#2-E; 189#2#2-E; 197#2#2-E; 199#1#1-E; 199#3#1-E genotypes showed resistance to *Meloidogyne* spp. being all of them promising to continue the biofortified lettuce breeding program, aiming to obtain new cultivars rich in carotenoids pro vitamin A and resistant to root-knot nematodes.

Keywords: biofortification; genetic divergence; *Lactuca sativa* L.; root-knot nematodes

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça com maior destaque dentro do grupo dos vegetais folhosos, apresentando o maior consumo e importância econômica no mundo. Seu consumo se dá principalmente na forma de saladas, sendo um alimento rico em vitaminas (A, B1, B2, B5), cálcio, potássio, sódio, fósforo, ferro, silício, flúor e magnésio, que podem estar envolvidos em atividades pró-vitamínicas e antioxidantes, além de serem fontes de fibras insolúveis (SILVA et al., 2015). A alface também é um alimento que possui baixo valor calórico, sendo um importante aliado para pessoas que buscam uma alimentação mais saudável (SALA; COSTA, 2012).

Atualmente diversas pesquisas mostraram seu potencial como alimento biofortificado, rico em carotenóides precursores de vitamina A (SILVA; MURA, 2010; CASSETARI et al., 2015). Esta vitamina é encontrada em alimentos de origem animal, ao passo que nos vegetais, como na alface, são fornecidos carotenóides precursores de vitamina A, sendo o β -caroteno o mais importante e abundante (SILVA; MURA, 2010). A deficiência desta vitamina é um problema sério de saúde pública em todo o mundo, podendo causar aumento do risco de mortalidade, morbidade e cegueira em crianças (WISEMAN et al., 2017).

Nas últimas décadas, no Brasil, a preocupação com a deficiência de vitamina A, especialmente nas regiões menos desenvolvidas, têm levado ao desenvolvimento de cultivares com índices mais altos de carotenóides pró-vitamina A, o que resultou na obtenção da cultivar Uberlândia 10.000 que possui, em cada 100 gramas de folhas frescas, mais de 10.000 unidades internacionais (U.I.) de vitamina A, equivalentes a 36 mg de β -caroteno por 100 gramas de folhas frescas (SOUSA et al., 2007).

As pesquisas atuais relacionadas à biofortificação de alimentos estão ligadas ao desenvolvimento de cultivares de culturas básicas com altos níveis de micronutrientes, utilizando-se de práticas de melhoramento genético convencionais juntamente as práticas modernas de biotecnologia (GARG et al., 2018). O desenvolvimento de genótipos promissores depende da variabilidade genética disponível em bancos de germoplasma (LEBEDA et al., 2014). Neste contexto ao se realizar o cruzamento entre genitores divergentes é possível selecionar plantas superiores em novas populações segregantes e, assim, desenvolver novas cultivares. A variabilidade entre progenitores pode ser estimada pelo uso de medidas de dissimilaridade genética (TREUREN;

HINTON, 2009; AZEVEDO et al., 2013). Apesar de todos os quesitos qualitativos e comerciais, atualmente há poucas cultivares de alfaces ricas em carotenóides. Aliado a isso, também tem-se a necessidade de obtenção de cultivares resistentes a determinadas pragas e doenças, já que, com a intensificação da produção, a dificuldade em se cultivar essa hortaliça também tem aumentado, devido a infestação das áreas de produção por fitopatógenos (SOUSA et al., 2019).

Neste contexto, atualmente os nematóides das galhas são um dos principais problemas que afetam o cultivo de alface, com destaque para o gênero *Meloidogyne*. O patógeno pode debilitar totalmente a planta, devido à formação de galhas nas raízes, que obstruem a absorção de água e nutrientes do solo. A alta incidência de *Meloidogyne* spp. nos solos é atribuída à sua elevada capacidade de reprodução, principalmente em regiões onde o solo apresenta temperaturas mais altas (CARVALHO FILHO et al., 2011a).

O uso de cultivares resistentes constitui um método eficaz de controle, não elevando o custo de produção, exceto pela compra da própria semente, sendo este compatível com os demais métodos de manejo de pragas e doenças (FERREIRA et al., 2013).

Diante disso, objetivo deste trabalho foi verificar a dissimilaridade genética e a reação a *Meloidogyne* spp. em genótipos de alface biofortificada, investigando a correlação entre as características agrônomicas e o potencial de uso para incrementar o conteúdo de carotenóides em futuros programas de melhoramento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre fevereiro e abril de 2016 na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia, município de Monte Carmelo (18°42'43,19"S e 47°29'55,8", 873 m). As temperaturas mínima e máxima no período em que foi desenvolvido o experimento foram de 15,17 °C e 29,3 °C respectivamente, com umidade relativa média de 77,8% e precipitação média de 127 mm. Foram avaliadas 91 genótipos (Tabela 1), sendo 86 linhagens de alface provenientes da hibridação entre as cultivares Pira 72 *versus* Uberlândia 10000 (rica em carotenóide) (SOUSA et al., 2007) seguido de três sucessivas autofecundações realizadas entre 2013 a 2017. O método de melhoramento utilizado para obtenção das

86 linhagens foi o genealógico. Foram utilizadas cinco testemunhas, sendo quatro cultivares comerciais: cv. Grand Rapids, cv. Pira 72, cv. Robusta e cv. UFU-Biofort (testemunhas com potencial comercial e baixo teor de carotenóides) e Uberlândia 10000, testemunha rica em carotenóides (SOUSA et al., 2007) totalizando 91 tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Códigos dos 91 genótipos de alface cadastradas no Software “BG α BIOFORT” da Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, UFU (SOUSA et al., 2020).

Códigos	Genótipo	Códigos	Genótipo
1	UFU 117#1	47	UFU 66#7
2	UFU 120#1	48	UFU 66#2
3	UFU 155#1	49	UFU 202#1
4	UFU 71#1	50	UFU 75#3
5	UFU 122#1	51	UFU 75#2
6	UFU 197#3	52	UFU 75#1
7	UFU 197#2	53	UFU 07#2
8	UFU 197#1	54	UFU 07#1
9	UFU 143#1	55	UFU 114#2
10	UFU 140#1	56	UFU 114#1
11	UFU 217#6	57	UFU 215#4
12	UFU 217#3	58	UFU 215#3
13	UFU 09#4	59	UFU 215#2
14	UFU 09#3	60	UFU 215#1
15	UFU 09#2	61	UFU 217#5
16	UFU 09#1	62	UFU 217#4
17	UFU 66#1	63	UFU 217#2
18	UFU 66#5	64	UFU 217#1
19	UFU 66#6	65	Robusta
20	UFU 66#4	66	UFU 189#3
21	UFU 86#2	67	UFU 189#2
22	UFU 86#1	68	UFU a189#1
23	UFU 104#6	69	UFU 160#2
24	UFU 104#5	70	UFU 160#1
25	UFU 190#1	71	UFU 199#6
26	UFU 107#1	72	UFU 199#5
27	UFU 124#2	73	UFU 199#4
28	UFU 124#1	74	UFU 199#3
29	Grand Rapids	75	UFU 199#1
30	UFU MC BIOFORT1	76	UFU 199#2
31	Pira 72	77	UFU 169#1
32	Uberlândia 10000 (Sousa et al., 2007)	78	UFU 206#3
33	UFU 215#12	79	UFU 206#2
34	UFU 215#11	80	UFU 206#1
35	UFU 215#10	81	UFU 215#8
36	UFU 215#9	82	UFU 215#7
37	UFU 104#4	83	UFU 215#6
38	UFU 104#3	84	UFU 215#5
39	UFU 104#2	85	UFU 106#2
40	UFU 104#1	86	UFU 106#1
41	UFU 184#2	87	UFU 210#2
42	UFU 184#1	88	UFU 210#1
43	UFU 215#14	89	UFU 125#1
44	UFU 215#13	90	UFU 125#2

Essas linhagens fazem parte do Programa de Melhoramento Genético de alface Biofortificada da UFU sendo toda a genealogia armazenada no Software “BG α BIOFORT” registrado no INPI BR512019002403-6 (MACIEL et al., 2019a) (Tabela 2).

Tabela 2. Origem e descrição de 91 genótipos de alface cadastradas no Software “BG α BIOFORT” da Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, UFU (SOUSA et al., 2020).

Códigos	Descrição	Origem
1 ao 28	Obtida após hibridação seguida de três autofecundações	F1 (Pira 72 x Uberlândia 10000)
29	Cultivar comercial do tipo crespa e folhas verdes. Possui resistência à <i>M. incognita</i> e <i>M. javanica</i> (Gomes et al., 2000, 2002) e suscetibilidade ao florescimento precoce	Agristar
30	Cultivar comercial do tipo crespa e folhas verdes	UFU
31	Parental masculino (Cultivar comercial do tipo crespa, folhas roxas, tolerante ao pendoamento precoce, tropicalizada, resistência a míldio (<i>Bremia lactucae</i>) e LMV patótipo II)	TSV Sementes
32	Parental feminino (Cultivar comercial do tipo lisa, folhas verdes, rica em carotenóides, tolerante ao pendoamento precoce, suscetível a nematóides, a <i>B. lactucae</i> e LMV)	UFU
33 ao 64	Obtida após hibridação seguida de três autofecundações	F1 (Pira 72 x Uberlândia 10000)
65	Cultivar comercial do tipo crespa e folhas verdes. Planta de ciclo precoce, tolerante ao pendoamento precoce e à bacterioses	TSV Sementes
66 ao 91	Obtida após hibridação seguida de três autofecundações	F1 (Pira 72 x Uberlândia 10000)

A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido de 200 células, preenchidas com substrato comercial a base de fibra de coco. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em casa de vegetação do tipo arco, com dimensões de 5 x 6 m e pé direito de 3,5 m, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micra, aditivado contra raios ultravioleta, e cortinas laterais de tela branca antiafídeos. Decorridos 25 dias após semeadura, as mudas foram transplantadas

para o campo, em canteiros de 1,25 m de largura, previamente preparados por um rotoencanteirador e adubados, conforme análise de solo que apresentou as seguintes características: textura argilosa, contendo mais de 50% de argila em sua composição; pH em $\text{CaCl}_2 = 4,9$; $\text{MO} = 3,9 \text{ dag kg}^{-1}$; $\text{P}_{\text{meh}} = 79,1 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K} = 0,29 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{Ca} = 3,3 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 1,3 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{H+Al} = 4,9 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{SB} = 4,90 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{T} = 9,80 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{V}\% = 50$ e recomendações conforme exigência da cultura (FILGUEIRA, 2013). Cada parcela foi constituída por 20 plantas no espaçamento de 25 cm x 25 cm. Foram avaliadas as seis plantas centrais.

Após 45 dias do transplântio, realizou-se as seguintes avaliações: teor de clorofila: mensurada com o medidor de clorofila *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) (modelo Minolta SPAD-502 CFL1030), na folha mediana da planta, no horário da manhã; diâmetro da planta (cm): utilizando régua graduada; diâmetro da haste (mm), utilizando paquímetro e número de folhas por planta.

O delineamento estatístico utilizado foi de blocos casualizados, com 91 tratamentos e três repetições, utilizando o seguinte modelo estatístico: $Y_{ij} = \mu + b_j + t_i + e_{ij}$, em que: Y_{ij} : observação do i -ésimo genótipo no j -ésimo bloco; μ : efeito fixo da média geral; g_i : efeito do i -ésimo genótipo; b_j : efeito do j -ésimo bloco; e_{ij} : erro experimental médio.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p=0,05$). As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott ($p=0,05$). Em seguida, realizou-se análises multivariadas, com o objetivo de determinar a dissimilaridade genética entre os genótipos, obtendo-se a matriz de dissimilaridade pela distância generalizada de Mahalanobis (D_{ij}^2).

A divergência genética foi representada por dendrograma, obtida pelo método hierárquico *Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic Averages* (UPGMA) e pelo método de otimização de tocher. A validação do agrupamento pelo método UPGMA foi determinada pelo coeficiente de correlação cofenético (CCC), calculado pelo teste de Mantel (1967). A contribuição relativa dos caracteres quantitativos foi calculada segundo critério de Singh (1981). Para estabelecer o ponto de corte no dendrograma utilizou-se pontos de mudança brusca de nível como referência (SUDRÉ et al., 2005; RESENDE, 2015). Todos os dados obtidos foram analisados utilizando-se o *software* Genes v. 2015.5.0 (CRUZ, 2013).

As redes de correlação foram feitas usando o pacote “qgraph” (EPSKAMP et al., 2012). As correlações de Pearson foram obtidas usando o software R versão 3.1.2 (R CORE TEAM, 2015).

2.1 Resistência a *Meloidogyne* spp.

O experimento foi realizado entre fevereiro e abril de 2017, na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo (altitude 873 m, 18°42'43,19”S, 47°29'55,8”), cujo clima é temperado úmido, com verões quentes e invernos secos, segundo a classificação climática de Köppen e Geiger.

O delineamento estatístico utilizado foi de blocos casualizados, com 49 tratamentos e três repetições, utilizando o seguinte modelo estatístico: $Y_{ij} = \mu + b_j + t_i + e_{ij}$, em que: Y_{ij} : observação do i -ésimo genótipo no j -ésimo bloco; μ : efeito fixo da média geral; t_i : efeito do i -ésimo genótipo; b_j : efeito do j -ésimo bloco; e_{ij} : erro experimental médio. Cada parcela foi composta por 16 plantas, sendo considerada como parcela útil as 4 plantas centrais.

Os tratamentos consistiram de 43 genótipos provenientes do mesmo programa de melhoramento descrito no item 2, seguidos de cinco autofecundações, além de seis cultivares comerciais (Pira 72, Uberlândia 10000, Robusta, Grand Rapids Albina 1, Grand Rapids Albina 2 e Grand Rapids Albina 3).

A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido de 200 células, preenchidas com substrato comercial a base de fibra de coco. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em casa de vegetação do tipo arco, com dimensões de 5 x 6 m e pé direito de 3,5 m, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micra, aditivado contra raios ultravioleta, e cortinas laterais de tela branca anti afídeos.

Decorridos 44 dias após semeadura, as mudas foram transplantadas para o campo, em canteiros previamente preparados e adubados, conforme análise de solo e recomendações da cultura.

Para a instalação do experimento, o solo foi amostrado na profundidade de 0 a 20 cm, sendo a amostra enviada ao Laboratório de Fertilidade de Solo para análise química e física, apresentando os seguintes resultados: textura argilosa, contendo mais de 50% de argila em sua composição; pH em $\text{CaCl}_2 = 4,9$; MO = 3,9 dag kg^{-1} ; P_{meh} =

79,1 mg dm⁻³; K = 0,29 cmolc dm⁻³; Ca = 3,3 cmolc dm⁻³; Mg = 1,3 cmolc dm⁻³; H+Al = 4,9 cmolc dm⁻³; SB = 4,90 cmolc dm⁻³; T = 9,80 cmolc dm⁻³; V% = 50. e recomendações conforme exigência da cultura (FILGUEIRA, 2013).

Após o preparo dos canteiros e antes do transplante das mudas, coletou-se 11 amostras simples de cada um dos três blocos do experimento, na profundidade de 0 a 25 cm, afim de comprovar a existência ou não de nematóides na área experimental, bem como, o(s) gênero(s) e a quantidade existente. A análise nematológica do solo foi realizada de acordo com o método de Jenkins (1964), sendo assim identificada a incidência de nematóides do gênero *Meloidogyne* sp., na quantidade de: 174,9 adultos por 100 cm³ de solo, 54,0 adultos por 100 cm³ de solo e 92,25 adultos por 100 cm³ de solo, respectivamente nos blocos I, II e III.

Após 48 dias do transplântio, realizou-se a avaliação da incidência de galhas nas raízes: utilizando-se para isto a escala de notas adaptada de Gomes (2000) sendo atribuída nota de 0 a 5, onde: nota 0 = número de galhas menor ou igual a 5; nota 1 = número de galhas maior que 5 e menor ou igual a 20; nota 2 = número de galhas maior que 20 e menor ou igual a 40; nota 3 = número de galhas maior que 40 e menor ou igual a 60; nota 4 = número de galhas maior que 60 e menor ou igual a 80 e nota 5 = número de galhas maior que 80.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F (p=0,05). As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott (p=0,05). Os dados foram analisados utilizando-se o *software* Genes v. 2015.5.0 (CRUZ, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo para todas as variáveis analisadas (índice SPAD, diâmetro da planta, diâmetro da haste e número de folhas), indicando a existência de variabilidade genética entre os genótipos (teste F, 5% de probabilidade) (Tabela 3).

Os genótipos UFU 215#12; UFU 215#14; UFU 215#2; UFU 215#1; UFU 215#4; UFU199#3 e UFU 199#2 se destacaram em termos de teor de clorofila nas folhas, apresentando, respectivamente, 259,27; 269,95; 267,12; 268,32; 248,08; 261,34; 249,96% a mais clorofila total do que a cultivar Uberlândia 10.000, uma cultivar considerada rica em betacaroteno (SOUSA et al., 2007) (Tabela 3).

Tabela 3. Médias do índice SPAD, diâmetro de planta, diâmetro de caule e número de folhas de 91 genótipos de alface. Monte Carmelo, UFU (SOUSA et al., 2020).

Tratamentos	Índice SPAD	Diâmetro planta (cm)	Diâmetro haste (mm)	Número de folhas
UFU 117#1	17.43 f	28.40 c ⁺	23.78 c ⁺	39.30 c ⁺
UFU 120#1	18.41 f	21.60 f ⁺	10.20 f [*]	26.10 e ^{*+}
UFU 155#1	17.79 f	27.10 d ⁺	14.96 e [*]	28.30 d ^{*+}
UFU 71#1	28.19 d ^{*+}	26.60 d ⁺	18.04 d ⁺	30.10 d ⁺
UFU 122#1	12.54 g	21.80 f ⁺	18.92 d ⁺	25.10 e ^{*+}
UFU 197#3	23.54 e ^{*+}	21.55 f ⁺	19.67 d ⁺	22.40 e [*]
UFU 197#2	19.62 f	19.70 g ^{*+}	14.12 e [*]	27.60 d ^{*+}
UFU 197#1	27.67 d ^{*+}	22.25 f ⁺	16.47 e [*]	29.90 d ⁺
UFU 143#1	23.39 e ^{*+}	24.20 e ⁺	12.51 f [*]	23.60 e ^{*+}
UFU 140#1	22.36 e ^{*+}	22.90 f ⁺	19.02 d ⁺	40.70 c ⁺
UFU 217#6	25.47 d ^{*+}	27.90 c ⁺	17.69 d [*]	40.70 c ⁺
UFU 217#3	27.06 d ^{*+}	25.28 d ⁺	16.89 e [*]	38.00 c ⁺
UFU 09#4	23.01 e ^{*+}	28.15 c ⁺	20.34 d ⁺	38.30 c ⁺
UFU 09#3	22.01 e ⁺	21.65 f ⁺	21.87 c ⁺	32.90 d ⁺
UFU 09#2	23.69 e ^{*+}	21.30 f ⁺	16.79 e [*]	35.90 c ⁺
UFU 09#1	21.97 e ⁺	24.70 e ⁺	24.78 c ⁺	44.40 b ⁺
UFU 66#1	23.72 e ^{*+}	30.45 c ^{*+}	22.30 c ⁺	46.30 b ⁺
UFU 66#5	21.81 e	28.10 c ⁺	22.96 c ⁺	40.00 c ⁺
UFU 66#6	26.72 d ^{*+}	21.70 f ⁺	20.80 d ⁺	43.90 b ⁺
UFU 66#4	28.34 d ^{*+}	22.30 f ⁺	21.02 d ⁺	34.90 c ⁺
UFU 86#2	23.10 e ^{*+}	39.85 a ^{*+}	19.63 d ⁺	35.80 c ⁺
UFU 86#1	20.69 f	30.10 c ⁺	17.41 d [*]	26.50 e ^{*+}
UFU 104#6	24.54 e ^{*+}	21.55 f ⁺	23.78 c ⁺	41.50 c ⁺
UFU 104#5	27.01 d ^{*+}	22.30 f ⁺	24.08 c ⁺	36.00 c ⁺
UFU 190#1	22.92 e ^{*+}	29.00 c ⁺	21.77 c ⁺	33.80 d ⁺
UFU 107#1	25.60 d ^{*+}	24.20 e ⁺	23.24 c ⁺	32.50 d ⁺
UFU 124#2	23.50 e ^{*+}	23.30 e ⁺	22.29 c ⁺	36.00 c ⁺
UFU 124#1	23.32 e ^{*+}	23.80 e ⁺	23.61 c ⁺	33.90 d ⁺
Grand Rapids	25.57 d ^{*+}	28.75 c ⁺	26.09 b ⁺	39.40 c ⁺
UFU MC BIOFORT1	24.14 e ^{*+}	29.70 c ⁺	27.97 b ⁺	31.70 d ⁺
Pira 72	15.76 g	14.80 h ^{*+}	11.89 f ^{*+}	13.90 f ^{*+}
Uberlândia 10000	15.91 g	25.45 d ⁺	24.01 c ⁺	37.90 c ⁺
UFU 215#12	41.25 a ^{*+}	24.90 e ⁺	20.95 d ⁺	38.60 c ⁺
UFU 215#11	38.05 b ^{*+}	22.80 f ⁺	19.32 d ⁺	35.60 c ⁺
UFU 215#10	35.48 b ^{*+}	18.60 g [*]	18.94 d ⁺	28.80 d ⁺
UFU 215#9	30.41 c ^{*+}	23.40 e ⁺	19.96 d ⁺	34.50 c ⁺
UFU 104#4	28.96 d ^{*+}	25.95 d ⁺	28.90 b ⁺	31.80 d ⁺
UFU 104#3	26.21 d ^{*+}	23.55 e ⁺	24.30 c ⁺	46.80 b ⁺
UFU 104#2	31.14 c ^{*+}	22.85 f ⁺	29.22 b ⁺	35.90 c ⁺
UFU 104#1	30.56 c ^{*+}	21.75 f ⁺	21.60 c ⁺	32.90 d ⁺
UFU 184#2	26.32 d ^{*+}	34.10 b ^{*+}	24.28 c ⁺	36.40 c ⁺
UFU 184#1	29.82 c ^{*+}	35.80 b ^{*+}	26.73 b ⁺	38.50 c ⁺
UFU 215#14	42.95 a ^{*+}	23.50 e ⁺	19.65 d ⁺	29.60 d ⁺
UFU 215#13	33.75 c ^{*+}	18.45 g [*]	17.71 d [*]	30.30 d ⁺
UFU 66#3	27.49 d ^{*+}	19.75 g ^{*+}	22.52 c ⁺	45.60 b ⁺
UFU 66#8	24.87 e ^{*+}	21.45 f ⁺	23.47 c ⁺	40.40 c ⁺

UFU 66#7	27.26 d ^{*+}	21.40 f ⁺	25.84 b ⁺	44.20 b ⁺
UFU 66#2	27.12 d ^{*+}	22.35 f ⁺	19.99 d ⁺	35.20 c ⁺
UFU 202#1	25.06 d ^{*+}	23.55 e ⁺	20.07 d ⁺	29.00 d ⁺
UFU 75#3	30.46 c ^{*+}	25.70 d ⁺	14.35 e [*]	21.50 e [*]
UFU 75#2	32.27 c ^{*+}	23.85 e ⁺	16.02 e [*]	25.60 e ^{*+}
UFU 75#1	26.29 d ^{*+}	26.75 d ⁺	23.13 c ⁺	30.00 d ⁺
UFU 07#2	25.01 d ^{*+}	25.00 e ⁺	23.41 c ⁺	35.50 c ⁺
UFU 07#1	23.84 e ^{*+}	24.71 e ⁺	24.50 c ⁺	29.20 d ⁺
UFU 114#2	26.94 d ^{*+}	24.80 e ⁺	19.98 d ⁺	23.60 e ^{*+}
UFU 114#1	25.38 d ^{*+}	25.70 d ⁺	22.10 c ⁺	24.90 e ^{*+}
UFU 215#4	39.47 a ^{*+}	29.05 c ⁺	24.56 c ⁺	36.80 c ⁺
UFU 215#3	30.25 c ^{*+}	22.40 f ⁺	26.49 b ⁺	37.50 c ⁺
UFU 215#2	42.50 a ^{*+}	24.55 e ⁺	25.97 b ⁺	37.70 c ⁺
UFU 215#1	42.69 a ^{*+}	25.70 d ⁺	23.01 c ⁺	37.30 c ⁺
UFU 217#5	32.70 c ^{*+}	26.40 d ⁺	28.18 b ⁺	52.10 a ^{*+}
UFU 217#4	35.35 b ^{*+}	26.30 d ⁺	24.63 c ⁺	40.20 c ⁺
UFU 217#2	30.45 c ^{*+}	23.40 e ⁺	18.43 d ⁺	34.80 c ⁺
UFU 217#1	33.86 c ^{*+}	25.30 d ⁺	26.32 b ⁺	52.00 a ^{*+}
Robusta	18.84 f	29.40 c ⁺	22.80 c ⁺	29.80 d ⁺
UFU 189#3	27.85 d ^{*+}	22.25 f ⁺	21.30 c ⁺	35.20 c ⁺
UFU 189#2	31.77 c ^{*+}	24.15 e ⁺	24.62 c ⁺	36.50 c ⁺
UFU 189#1	27.87 d ^{*+}	26.60 d ⁺	26.31 b ⁺	46.90 b ⁺
UFU 160#2	24.02 e ^{*+}	26.55 d ⁺	23.45 c ⁺	32.00 d ⁺
UFU 160#1	23.95 e ^{*+}	24.00 e ⁺	18.13 d ⁺	35.20 c ⁺
UFU 199#6	37.95 b ^{*+}	30.05 c ⁺	21.04 d ⁺	39.60 c ⁺
UFU 199#5	37.57 b ^{*+}	30.50 c ^{*+}	16.60 e [*]	35.20 c ⁺
UFU 199#4	30.19 c ^{*+}	25.80 d ⁺	15.10 e [*]	26.60 e ^{*+}
UFU 199#3	41.58 a ^{*+}	26.70 d ⁺	17.85 d [*]	33.50 d ⁺
UFU 199#1	35.84 b ^{*+}	27.90 c ⁺	19.64 d ⁺	28.10 d ^{*+}
UFU 199#2	39.77 a ^{*+}	27.95 c ⁺	18.94 d ⁺	30.20 d ⁺
UFU 169#1	21.45 e	28.75 c ⁺	27.72 b ⁺	36.40 c ⁺
UFU 206#3	25.59 d ^{*+}	23.70 e ⁺	19.07 d ⁺	29.60 d ⁺
UFU 206#2	22.04 e ^{*+}	29.60 c ⁺	21.32 c ⁺	26.50 e ^{*+}
UFU 206#1	23.16 e ^{*+}	25.65 d ⁺	21.11 d ⁺	24.80 e ^{*+}
UFU 215#8	38.49 b ^{*+}	17.30 g [*]	21.92 c ⁺	39.70 c ⁺
UFU 215#7	35.91 b ^{*+}	21.05 f ⁺	22.44 c ⁺	32.00 d ⁺
UFU 215#6	36.57 b ^{*+}	14.55 h [*]	18.97 d ⁺	23.20 e [*]
UFU 215#5	36.09 b ^{*+}	18.50 g [*]	19.53 d ⁺	31.70 d ⁺
UFU 106#2	33.41 c ^{*+}	22.45 f ⁺	24.25 c ⁺	34.90 c ⁺
UFU 106#1	27.54 d ^{*+}	32.75 b ^{*+}	25.72 b ⁺	53.20 a ^{*+}
UFU 210#2	27.04 d ^{*+}	21.75 f ⁺	24.37 c ⁺	43.30 b ⁺
UFU 210#1	23.06 e ^{*+}	28.45 c ⁺	33.30 a ^{*+}	44.10 b ⁺
UFU 125#1	26.42 d ^{*+}	18.90 g [*]	24.03 c ⁺	26.40 e ^{*+}
UFU 125#2	22.07 e ^{*+}	15.50 h [*]	22.19 c ⁺	28.10 d ^{*+}
UFU 09#5	26.85 d ^{*+}	19.95 g ^{*+}	23.04 c ⁺	33.00 d ⁺

Médias com letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 0,05 de significância.

*Diferem estatisticamente pelo teste de Dunett a 0,05 de significância da cultivar Uberlândia 10000.

+ Diferem estatisticamente pelo teste de Dunett a 0,05 de significância da cultivar Pira 72.

Sousa et al. (2019) avaliando-se índice SPAD em 49 genótipos de alface, provenientes do mesmo programa de melhoramento (geração F6), encontraram seis genótipos superiores a cultivar Uberlândia 10.000, apresentando 209,29%; 224,74%; 223,42%; 234,37%; 209,15% e 226,54% a mais. Trata-se de um avanço de duas gerações em relação ao presente trabalho, o que mostra incremento do teor de carotenóides. Dessa forma pode-se afirmar que os genótipos em questão apresentam valores elevados de carotenóides, podendo estes serem selecionados para darem continuidade ao programa de melhoramento genético de alface visando a biofortificação com carotenóides, possibilitando a obtenção de cultivares promissores para tal característica.

Vários estudos mostram a eficiência do índice SPAD como uma alternativa para medir níveis de clorofila em folhas (KLOOSTER et al., 2012). Além disso, o teor de clorofila está altamente relacionado com a concentração de carotenóides em alface, sugerindo que o índice SPAD pode ser usado como indicador indireto do teor desses pigmentos nessas plantas (CASSETARI et al., 2015).

Os consumidores tendem a adquirir cabeças grandes de alface, ou seja, com o maior diâmetro de planta possível, tornando esta característica de grande valor para o programa de melhoramento (SOUSA et al., 2019). No presente trabalho, quanto ao diâmetro da planta (cm), destacou-se genótipo UFU 86#2 com valor médio de 39,85 cm, sendo estatisticamente superior às cultivares UFU MC Biofort1, Robusta, Grand Rapids, Uberlândia 10000 e Pira 72 que apresentaram diâmetro médio de 29,70 cm; 29,40 cm; 28,75 cm; 25,45 cm e 14,80 cm, respectivamente (Tabela 3).

Sousa et al. (2019) encontraram valores elevados de diâmetro da planta (cm) para os genótipos Crespa 117#1#3-E (39,46 cm), Crespa 75#1#1-E (35,71 cm) e Crespa 86#2#1-E (36,92 cm), sendo também estatisticamente superiores às cultivares Pira 72, Uberlândia 10.000 e Robusta. Em trabalho de Maciel et al. (2019b), avaliando 31 linhagens de alface, provenientes do mesmo programa de melhoramento (geração F7) encontraram 22 linhagens com diâmetro de planta, estatisticamente superiores a cultivar Pira 72.

Em relação ao diâmetro da haste, o genótipo UFU2010#1 foi estatisticamente superior as cinco cultivares comerciais avaliadas, apresentando diâmetro médio de 33,30 mm. Em trabalho de Sousa et al. (2019) os genótipos que apresentaram maiores diâmetros de haste variaram de 22,62 mm a 31,37 mm não diferindo estatisticamente da cultivar Uberlândia 10000 e diferindo da cultivar Robusta. Entretanto Maciel et al.

(2019b), não encontraram diferença estatística para esta característica nos genótipos de alface avaliados.

É importante ressaltar que o diâmetro da haste está correlacionado com a área foliar, ou seja, com a taxa de transpiração, pois maior diâmetro da haste está correlacionado com uma maior vascularização da planta e, conseqüentemente, também com maior área foliar, e essa correlação pode ser observada no estudo de Monteiro Filho et al. (2017), em que as soluções minerais que promoveram maior diâmetro da haste também promoveram maior área foliar. Outros fatores podem afetar o diâmetro da haste, como a estação de crescimento, a cultivar de alface, o estresse salino (EKINCI et al., 2012; SUBLET et al., 2018).

Além disso, o diâmetro da haste é de grande importância em alface, principalmente para a indústria de fast food, pois, como as folhas são separadas manualmente para posterior fatiamento, quanto mais grosso o caule mais rápido é separado, aumentando a produção industrial (TARGINO et al., 2019).

Na característica número de folhas, os genótipos UFU 217#5, UFU 217#1 e UFU 106#1 apresentaram respectivamente média de 52,1; 52,0 e 53,2 folhas, sendo superiores aos demais, incluindo as cultivares comerciais, que apresentaram 39,4 (Grand Rapids), 37,9 (Uberlândia 10000), 31,7 (UFU MC Biofort 1), 29,8 (Robusta) e 13,9 (Pira 72). (Tabela 3). Sousa et al. (2019) para a mesma característica encontraram sete genótipos superiores em relação a cultivar Robusta, porém não diferiram da testemunha Uberlândia 10000. Maciel et al. (2019b) encontraram 13 genótipos que apresentam mais folhas em relação a cultivar Pira 72. Diamante et al. (2013) relataram a importância da característica número de folhas na alfacultura, sendo relevante para o produtor tanto por indicar adaptação do material genético ao ambiente, quanto para a comercialização.

Dentre os genótipos avaliados, 12 não diferiram pelo teste de Dunnett ($P=0,05$) da cultivar Uberlândia 10000 para teor de carotenóide, dentre eles a cultivar Pira 72; 73 genótipos não diferiram para diâmetro da planta e diâmetro da haste. As cultivares Grand Rapids, UFU MC Biofort e Robusta não diferiram de Uberlândia 10000 para diâmetro da planta, diâmetro da haste e número de folhas (Tabela 3).

Em relação à cultivar Pira 72, dez genótipos não diferiram para teor de carotenóide, dentre eles as cultivares Robusta e Uberlândia 10000; sete para diâmetro de planta, 15 para diâmetro da haste e dois para número de folhas. Pode-se inferir que os genótipos são promissores, pois apresentam desempenho agrônomico semelhante ou na maioria das vezes superior às cultivares comerciais avaliadas.

Os grupos formados pelo método hierárquico UPGMA possuiu coeficiente de correlação cofenético de 63%. Foram formados onze grupos e a separação dos grupos foi realizada pela delimitação de uma linha de corte de 32%, estabelecida no local de ocorrência da mudança abrupta nas ramificações presentes no dendrograma (Figura 1) (CRUZ et al., 2012).

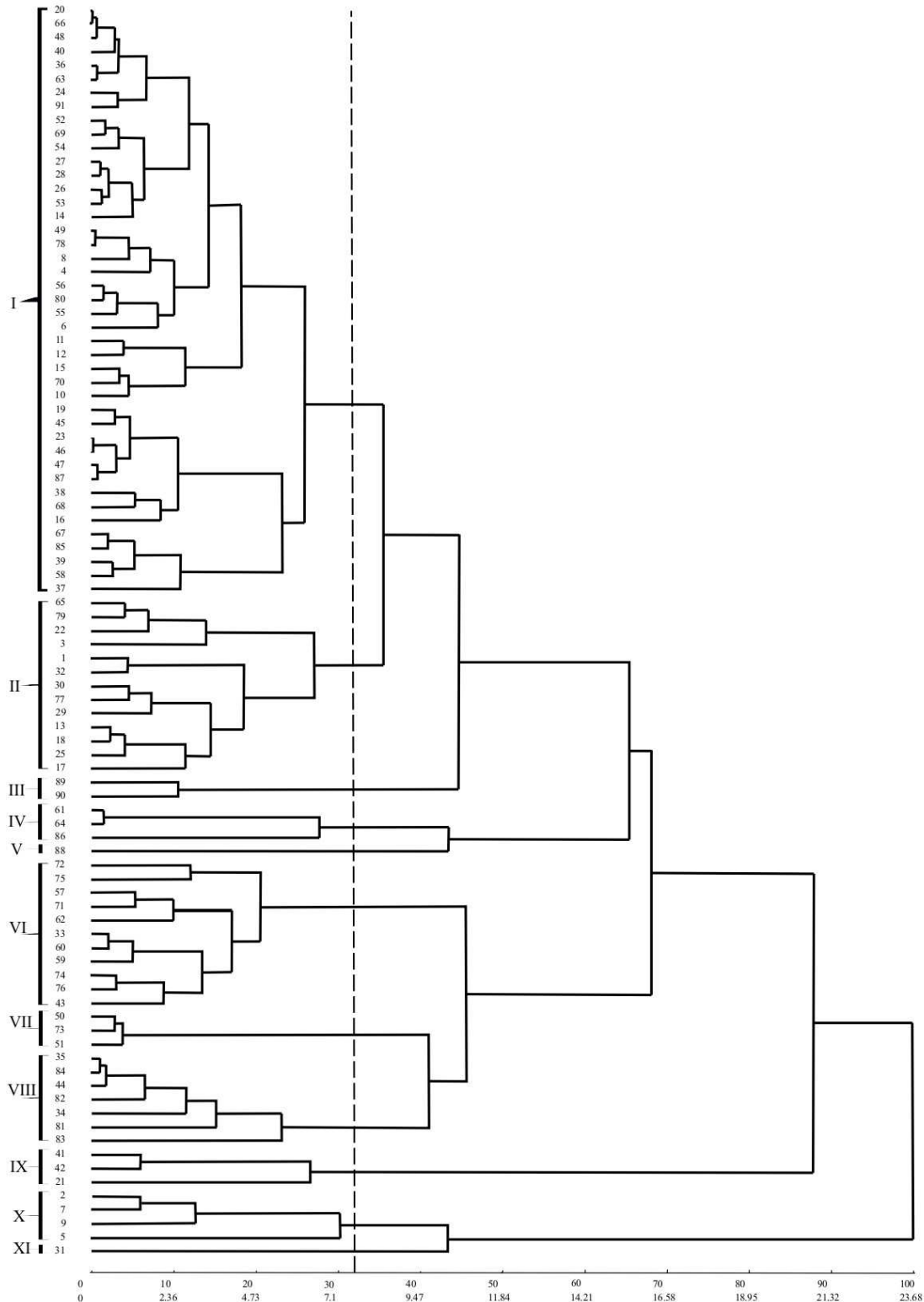


Figura 1. Dendrograma da divergência genética entre 91 genótipos de alface pelo Método Hierárquico de ligação média entre grupo “UPGMA” obtido pela distância generalizada de Mahalanobis (D_{ii}^2) (SOUSA et al., 2020).

A formação desses grupos demonstra ampla variabilidade genética. O grupo I foi formado por 43 genótipos; o grupo II por 13 genótipos incluindo nesse grupo as cultivares Grand Rapids, UFU MC Biofort, Uberlândia 10000 e Robusta; o grupo III foi constituído por dois genótipos; o grupo IV por três genótipos; o grupo V composto pelo genótipo UFU2010#1(88); grupo VI por 11 genótipos; grupo VII por três genótipos, o grupo VIII por sete genótipos, o grupo IX por três genótipos, o grupo X por quatro genótipos e o grupo XI foi composto pela cultivar Pira 72 (31).

Maciel et al. (2019b) avaliando 31 genótipos de alface vermelha, com o objetivo de determinar a dissimilaridade genética pelo método UPGMA, encontraram sete grupos (linha de corte 20%), sendo que a cultivar Pira 72 (Belíssima) formou um grupo de apenas dois genótipos. Sousa et al. (2019), avaliando 49 genótipos de alface biofortificada com resistência a nematóides das galhas (*Meloidogyne* spp.) encontraram pelo método UPGMA (linha de corte 30%) quatro grupos distintos, sendo as cultivares Pira 72 e Uberlândia 10.000 pertencentes ao mesmo grupo formado por 21 genótipos; a cultivar Robusta foi agrupada em outro grupo com dez genótipos.

Pelo método de otimização de Tocher, foram obtidos 11 grupos, destacando-se o grupo (I), com 49 genótipos incluindo-se a cultivar Grand Rapids (29); seguido pelo grupo (III), com 11 genótipos; grupo (II), com 10 genótipos; grupo (IV) com sete genótipos, incluindo-se a cultivar Robusta; grupo (V) com cinco genótipos incluindo-se as cultivares UFU MC Biofort1 (30) e Uberlândia 10000 (32); grupo (VI) com três genótipos; grupo VII com dois genótipos; e grupos (VIII, IX, X e XI) cada um com apenas um genótipo. Assim como observado no método de agrupamento UPGMA, o genótipo UFU2010#1 e a cultivar Pira 72 formaram cada um, um único grupo distinto dos demais (Tabela 4).

Tabela 4. Agrupamento de 91 genótipos de alface pelo método de otimização de Tocher. (SOUSA et al., 2020).

I	20; 66; 48; 36; 40; 63; 24; 26; 91; 53; 27; 78; 49; 28; 70; 14; 46; 8; 15; 23; 69; 54; 52; 10; 12; 4; 19; 87; 67; 58; 13; 56; 55; 80; 25; 18; 11; 29; 16; 38; 47; 85; 37; 45; 39; 68; 89; 77; 6
II	35; 84; 44; 82; 34; 81; 83; 43; 51; 33
III	61; 64; 62; 57; 71; 60; 59; 74; 76; 75; 72
IV	50; 73; 9; 22; 79; 3; 65
V	1; 32; 17; 30; 41
VI	2; 7; 5
VII	42; 86
VIII	88
IX	21
X	90
XI	31

Sousa et al. (2019) avaliando-se as características de SPAD, temperatura foliar, diâmetro da planta, diâmetro da haste, número de folhas e massa fresca em 49 genótipos de alface provenientes do mesmo programa de melhoramento (geração F6), utilizando o método de agrupamento de Tocher, encontraram as cultivares Robusta e Uberlândia 10000 pertencente ao mesmo grupo; a cultivar Pira 72 também foi agrupada individualmente. Em trabalho de Jacinto et al. (2019), avaliando-se as mesmas características avaliadas no presente trabalho em 19 genótipos de mini-alface, provenientes do mesmo programa de melhoramento, foram formados dois grupos pelo método de Tocher, no qual a cultivar Uberlândia 10000 ficou agrupada com 16 genótipos no grupo (I) e a cultivar Pira 72 no grupo (II) que possuía apenas dois genótipos.

Embora o número de agrupamentos pelo método de otimização de Tocher e pelo método hierárquico UPGMA sejam iguais (11 grupos), há diferenças visíveis no número de genótipos por grupos (Figura 1; Tabela 4). Esta discordância entre métodos multivariados também foi observada por autores que trabalharam com a mesma espécie (SOUSA et al., 2019; JACINTO et al., 2019).

O uso de análises multivariadas para variáveis de produtividade, permite uma visualização mais explícita da dissimilaridade genética de cultivares e auxilia os cruzamentos em programas de melhoramento. A utilização de diferentes métodos permite maior poder discriminatório, eliminando as variáveis de difícil mensuração e que pouco contribuem para explicar a variação. Dentre esses, métodos hierárquicos e de

otimização são empregados em larga escala pelos melhoristas de plantas (BERTAN et al., 2006; ARAUJO et al., 2016).

A maior contribuição relativa foi referente ao índice SPAD na discriminação dos genótipos avaliados (39,91%), seguidas das características diâmetro da planta (26,54%), número de folhas (19,45%) e diâmetro da haste (14,08%) (Tabela 5). Isto demonstra a grande importância da avaliação do índice SPAD, em campo, para futuros programas de melhoramento de alfaces biofortificadas.

Tabela 5. Contribuição relativa de caracteres quantitativos na divergência genética de 91 genótipos de alface biofortificadas segundo critério de Singh (1981) (SOUSA et al., 2020).

Características	S.j	S.j (%)
SPAD	20816.63	39.9182
Diâmetro da planta	13842.58	26.5447
Diâmetro da haste	7344.20	14.0833
Número de folhas	10144.75	19.4537

Corroborando com este fato, Sousa et al. (2019) e Maciel et al. (2019b), encontraram valores de 24,84% e 60,31%, respectivamente, para o mesmo índice, sendo a maior contribuição relativa dentre as características avaliadas.

A rede construída com correlações das características avaliadas é mostrada na Figura 2.

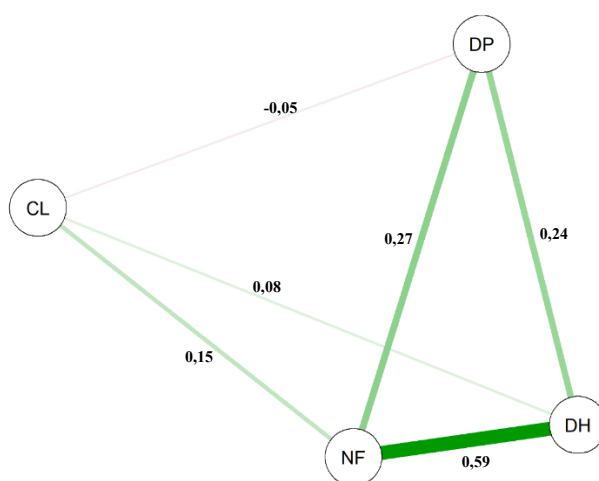


Figura 2. Rede de correlações de características de genótipos de alface. CL: índice SPAD; DP: diâmetro de planta; DH: diâmetro da haste; NF: número de folhas. As linhas vermelhas representam correlações negativas e as verdes correlações positivas. A espessura da linha é proporcional à magnitude da correlação (SOUSA et al., 2020).

Foram verificadas correlações positivas entre a maioria das características agronômicas, circunstância favorável ao melhoramento de alface (AZEVEDO et al., 2014). O número de folhas apresentou correlação positiva com diâmetro de haste (0,59), diâmetro de planta (0,24) e índice SPAD (0,15). Diâmetro de planta apresentou correlação positiva com diâmetro de haste (0,24) e negativa com índice SPAD (-0,05). Índice SPAD apresentou correlação positiva com diâmetro de haste (0,08). Desta forma, percebe-se que os teores de carotenóide (altamente correlacionados com o índice SPAD) (CASSETARI et al., 2015), são pouco influenciados pelas características de número de folhas, diâmetro da haste e diâmetro da planta. Azevedo et al., (2014) avaliando 11 cultivares de alface também encontraram correlação genotípica positiva entre número de folhas e diâmetro da cabeça (0,66).

Para a reação aos nematóides das galhas (*Meloidogyne* spp.) foi verificado que os genótipos 189#3#4-E, 189#3#2-E, 86#1#2-E, 120#1#1-E, 189#3#1-E, 107#1#1-E, 197#1-E, 199#2#2-E, 189#2#2-E, 197#2#2-E, 199#1#1-E e 199#3#1-E apresentaram maior nível de resistência do que a cultivar suscetível Uberlândia 10000, e nível de resistência semelhante à da cultivar Grand Rapids, fator este demonstrado pela superioridade relativa de notas de galhas (SRNG) (Tabela 6).

Tabela 6. Reação a *Meloidogyne* spp. em 49 genótipos de alface. Monte Carmelo, UFU (SOUSA et al., 2019).

Genótipos	Médias	SRNG (%)	Desvio padrão
Robusta	0,17 a*	-88,03**	0,33
Grand Rapids Albina #2	0,33 a	-76,76	0,00
Grand Rapids Albina #1	0,42 a	-70,42	0,17
Crespa 189#3#4-E	0,50 a	-64,79	0,33
Crespa 189#3#2-E	0,58 a	-59,15	0,36
Crespa 86#1#2-E	0,67 a	-52,82	0,33
Crespa 120#1#1-E	0,67 a	-52,82	0,68
Grand Rapids Albina #3	0,75 a	-47,18	0,63
Crespa 189#3#1-E	0,88 a	-38,03	0,15
Crespa 107#1#1-E	0,92 a	-35,21	0,32
Crespa 197#1-E	1,00 a	-29,58	0,76
Crespa 199#2#2-E	1,17 a	-17,61	0,49
Crespa 189#2#2-E	1,17 a	-17,61	0,86
Crespa 197#2#2-E	1,25 a	-11,97	0,51
Crespa 199#1#1-E	1,33 a	-6,34	0,67
Crespa 199#3#1-E	1,33 a	-6,34	0,49
Uberlândia 10000	1,42 a	0,00	0,76
Crespa 75#1#1-E	1,42 a	0,00	0,80
Crespa 199#6#1-E	1,42 a	0,00	0,44
Crespa 189#2#1-E	1,42 a	0,00	0,64

Continuação Tabela 7

Crespa 197#2#1-E	1,42 a	0,00	0,59
Crespa 199#2#1-E	1,42 a	0,00	0,44
Crespa 7#2#2-E	1,42 a	0,00	0,65
Crespa 75#3#2-E	1,42 a	0,00	0,42
Crespa 75#2#2-E	1,50 a	5,63	0,68
Crespa 197#3#1-E	1,58 a	11,27	1,00
Pira 72	1,58 a	11,27	0,69
Crespa 184#2#5-E	1,67 a	17,61	0,80
Crespa 86#2#1-E	1,67 a	17,61	0,61
Crespa 184#2#1-E	1,75 b	23,24	0,36
Crespa 125#1#1-E	1,83 b	28,87	0,33
Crespa 107#1#2-E	1,83 b	28,87	0,67
Crespa 125#2#2-E	1,92 b	35,21	1,13
Crespa 206#1#4-E	1,92 b	35,21	0,79
Crespa 184#2	2,00 b	40,85	0,76
Crespa 189#1#2-E	2,08 b	46,48	0,59
Crespa 206#1#2-E	2,08 b	46,48	1,09
Crespa 117#1#1-E	2,25 b	58,45	0,94
Crespa 117#1#3-E	2,33 b	64,08	0,94
Crespa 75#3#1-E	2,33 b	64,08	1,15
Crespa 75#1#2-E	2,42 b	70,42	0,36
Crespa 199#5#2-E	2,50 b	76,06	0,67
Crespa 206#1#6-E	2,58 b	81,69	0,50
Crespa 75#1#3-E	2,58 b	81,69	0,50
Crespa 189#3#3-E	2,67 b	88,03	1,21
Crespa 190#1#2-E	2,75 b	93,66	0,82
Crespa 206#3#1-E	2,75 b	93,66	1,02
Crespa 7#2#1-E	2,92 b	105,63	1,34
Crespa 189#2#3-E	3,58 b	152,11	0,84

*Médias, seguidas de letras distintas, nas colunas, difere estatisticamente entre si, pelo teste de Scott Knot a 0,05 de significância.

** Superioridade relativa de Notas de galhas [Genótipos versus Uberlândia 10.000 (S)] = SRNG

Vários autores relataram a resistência da cultivar Grand Rapids aos nematóides das galhas (FERREIRA et al., 2011; CARVALHO FILHO et al., 2011a). Além disso, sabe-se que a resistência genética da cultivar Grand Rapids a *M. incognita* e a *M. javanica* é controlada por um único loco gênico, com efeito predominantemente aditivo, além de apresentar uma herdabilidade relativamente alta, o que facilita a obtenção de materiais resistentes em programas de melhoramento (GOMES et al., 2002; MALUF et al., (2002).

Apesar da menor eficiência da característica incidência de galhas para comprovação de resistência ou suscetibilidade de genótipos aos nematóides, esta característica ainda pode ser a melhor opção para seleção de genótipos em programas de

melhoramento, visto a praticidade da avaliação e o aproveitamento das plantas, uma vez que as avaliações não são destrutivas (CARVALHO FILHO et al., 2011b).

4 CONCLUSÕES

1. Existe divergência genética entre os genótipos de alface analisados.
2. O caractere teor de carotenóides contribuiu de forma mais relevante para a divergência entre os genótipos avaliados.
3. Os genótipos UFU 215#12; UFU 215#14; UFU 215#2; UFU 215#1; UFU 215#4; UFU199#3 e UFU 199#2 possuem boas características agrônômicas e altos teores de carotenóides, sendo promissores para darem continuidade ao programa de melhoramento de alfaces biofortificadas, visando a obtenção de novas cultivares ricas em carotenóides pró- vitamina A.
4. Os genótipos 189#3#4-E, 189#3#2-E, 86#1#2-E, 120#1#1-E, 189#3#1-E, 107#1#1-E, 197#1-E, 199#2#2-E, 189#2#2-E, 197#2#2-E, 199#1#1-E e 199#3#1-E mostraram resistência a *Meloidogyne* spp. semelhante a cultivar Grand Rapids, considerada resistente.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. C.; TELHADO, S. F. P.; SAKAI, R. H.; LEDO, C. A. S.; MELO, P. C. T. Univariate and multivariate procedures for agronomic evaluation of organically grown tomato cultivars. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 34, n. 3, p. 374-380, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362016003011>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362016000300374&lng=en&tlng=en. Acesso em: 20 jan. 2020.
- AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; OLIVEIRA, C. M.; FERNANDES, J. S. C.; PEDROSA, C. E.; DORNAS, M. F. S.; CASTRO, B. M. C. Seleção de genótipos de alface para cultivo protegido: divergência genética e importância de caracteres. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 31, n. 2, p. 260-265, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000200014>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362013000200014&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 21 jan. 2020.
- AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; CASTRO E CASTRO, B. M.; OLIVEIRA, C. M.; PEDROSA, C. E.; DORNAS, M. F. S.; VALADARES, N. R.

Parâmetros genéticos e análise de trilha para o florescimento precoce e características agrônômicas da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 2, p. 118-124, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000200006>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2014000200118&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 20 jan. 2020.

BERTAN, I.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; VIEIRA, E. A.; HARTWIG, I.; SILVA, J. A. G.; SHIMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; BUSATO, C. C.; RIBEIRO, G. Comparação de métodos de agrupamento na representação da distância morfológica entre genótipos de trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 279-286, 2006. DOI: <https://doi.org/10.18539/cast.v12i3.4554>. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/4554>. Acesso em 20 jan. 2020.

CARVALHO FILHO, J. L. S.; GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R.; OLIVEIRA, R. R.; COSTA, D. S.; FERREIRA, S.; MONTEIRO, A. B.; COSTA e CARVALHO, R. R. Resistance to *Meloidogyne incognita* race 1 in the lettuce cultivars Grand Rapids and Salinas-88. **Euphytica**, Dordrecht, v. 182, n. 2, p. 199-208, 2011a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0429-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-011-0429-7>. Acesso em: 20 jan. 2020.

CARVALHO FILHO, J. L. S.; GOMES, L. A. A.; SILVA, R. R.; FERREIRA, S.; CARVALHO, R. R. C.; MALUF, W. R. Parâmetros populacionais e correlação entre características da resistência a nematoides de galhas em alface. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 6, n. 1, p. 46-51, 2011b. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i1a819>. Disponível em: http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v6i1a819. Acesso em: 21 jan. 2020.

CASSETARI, L. S.; GOMES, M. S.; SANTOS, D. C.; SANTIAGO, W. D.; ANDRADE, J.; GUIMARÃES, A. C.; SOUZA, J. A.; CARDOSO, M. G.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. β -Carotene and chlorophyll levels in cultivars and breeding lines of lettuce. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 1083, n. 60, p. 469-474, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1083.60>. Disponível em: https://www.actahort.org/books/1083/1083_60.htm. Acesso em 20 jan. 2020.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/21251>. Acesso em: 20 jan. 2020.

DIAMANTE, M. S.; SEABRA JÚNIOR, S.; INAGAKI, A. M.; da SILVA, M. B.; DALLACORT, R. Production and resistance to bolting of loose-leaf lettuce grown in different environments. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 133-140, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100017>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902013000100017. Acesso em: 20 jan. 2020.

EKINCI, M.; YILDIRIM, E.; DURSUN, A.; TURAN, M. Mitigation of salt stress in lettuce (*Lactuca sativa* l. var. *crispa*) by seed and foliar 24-epibrassinolide treatments. **HortScience**, Alexandria v. 47, n. 5, p. 631-636, 2012. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.5.631>. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/47/5/article-p631.xml>. Acesso em: 21 jan. 2020.

EPSKAMP, S.; CRAMER, A. O. J.; WALDORP, L. J.; SCHMITTMANN, V. D.; BORSBOOM, D. qgraph: network visualizations of relationships in psychometric data. **Journal of Statistical Software**, Los Angeles, v. 48, n. 4, p. 1-18, 2012. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v048.i04>. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v048i04>. Acesso em: 22 jan. 2020.

FERREIRA, S.; GOMES, L. A. A.; GASPARINO, C. F.; CARVALHO FILHO, J. L. S.; MALUF, W. R. Caracterização de famílias F2:3 de alface para resistência ao nematoide das galhas. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 5, n. 2, p. 35-42, 2013. DOI: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v5n22013439>. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/439>. Acesso em: 22 jan. 2020.

FERREIRA, S.; VIEIRA, V. L. F.; GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R.; CARVALHO FILHO, J. L. S. Identificação de linhagens avançadas de alface quanto à resistência a *Meloidogyne javanica*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 270-277, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000200006>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542011000200006&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 22 jan. 2020.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. rev. ampl. Viçosa: UFV, 2013. 412 p.

GARG, M.; SHARMA, N.; SHARMA, S.; KAPOOR, P.; KUMAR, A.; CHUNDURI, V.; ARORA, P. Biofortified crops generated by breeding, agronomy, and transgenic approaches are improving lives of millions of people around the world. **Frontiers in Nutrition**, Lausanne, v. 5, n. 12, p. 12-45, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00012>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2018.00012/full>. Acesso em: 22 jan. 2020.

GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R.; CAMPOS, V. P. Inheritance of the resistance reaction of the lettuce cultivar 'Grand Rapids' to the southern root-knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood. **Euphytica**, Dordrecht, v. 114, n. 1, p. 37-46, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1003991819523>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1003991819523>. Acesso em: 22 jan. 2020.

GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R.; AZEVEDO, S. M.; FREITAS, J. A.; LICURSI, V. Reação de cultivares de alface a infecção por *Meloidogyne javanica*. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 99, 2002. DOI: [10.1590/S0102-05362005000200027](https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000200027). Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-05362005000200027&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 20 jan. 2020.

JACINTO, A. C. P.; SILVEIRA, A. J.; CASTOLDI, R. ; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; MENDONÇA, T. F. N.; SOUZA, A. P.; MARIN, M. V.; BRAZ, L. T. Genetic diversity, agronomic potential and reaction to downy mildew in genotypes of biofortified mini lettuce. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 1, 2019. DOI: [10.4238/gmr16039939](https://doi.org/10.4238/gmr16039939). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342009834_Genetic_diversity_agronomic_potential_and_reaction_to_downy_mildew_in_genotypes_of_biofortified_mini_lettuce Acesso em: 20 jan. 2020.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal - flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, New Brunswick, v. 48, n. 41, p. 692, 1964. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=4ab258b1-e22c-49c1-9250-b694043c6012>. Acesso em: 20 jan. 2020.

KLOOSTER, W. S.; CREG, B. M.; FERNANDEZ, R. T.; NZOKOU, P. Growth and physiology of deciduous shade trees in response to controlled-release fertilizer. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 135, n. 24, p. 71-79, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423811006418?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jan. 2020.

LEBEDA, A.; KŘÍSTKOVÁ, E.; KITNER, M.; MIESLEROVÁ, B.; JEMELKOVÁ, M.; PINK, D. A. C. Wild *Lactuca* species, their genetic diversity, resistance to diseases and pests, and exploitation in lettuce breeding. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht , v. 138, n. 3, p. 597-640, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0254-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10658-013-0254-z>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S. ; GALLIS, R. B. A. ; PEREIRA, L. M. ; SALES, V. F. **Programa de computador "BG A BIOFORT"**. Depositante: Universidade Federal de Uberlândia. BR512019002403-6. Depósito: 1 fev. 2019. Concessão: 29 out. 2019a.

MACIEL, G. M.; GALLIS, R. B. A.; BARBOSA, R. L.; PEREIRA, L. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; PEIXOTO, J. V. M. 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>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030324341930008X?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2020.

MALUF, W. R.; AZEVEDO, S. M.; GOMES, L. A, DE OLIVEIRA, A. C. Inheritance of resistance to the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* in lettuce. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 31, n. 1, p. 64-71, 2002. DOI:

<https://doi.org/10.4238/vol1-1gmr006>. Disponível em:
<https://www.geneticsmr.com/articles/19>. Acesso em: 24 jan. 2020.

MANTEL, N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. **Cancer Research**, Chicago, v. 27, n. 2, p. 209-220, 1967. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6018555/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MONTEIRO FILHO, A. F.; AZEVEDO, M. R. Q. A.; AZEVEDO, C. A. V.; FERNANDES, J. D.; SILVA, C. R.; SILVA, Y. S. Growth of hydroponic lettuce with optimized mineral and organomineral nutrient solutions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 3, p. 191-196, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p191-196>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662017000300191&lng=en&tlng=en. Acesso em: 23 jan. 2020.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2015. Disponível em: <https://www.rproject.org/>. Acesso em: 1 jan. 2020.

RESENDE, M. D. V. **Genética quantitativa e de populações**. Viçosa: Produção Independente, 2015. 463 p.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200002>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362012000200002&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 20 jan. 2020.

SILVA, A. A. V.; MENEZES COSTA, A. F. de.; FREITAS, R. M. S.; SANTOS, M. B. S. de V.; LOURENÇO, A. L. N.; MALTA, A. S.; NOÉ, P. V. R. Qualidade parasitológica e condições higiênico-sanitárias de sururu (*Mytella charruana*) e alface (*Lactuca sativa*) comercializados em um mercado público de Maceió-AL. **Journal of Basic and Applied Pharmaceutical Sciences**, Araraquara, v. 36, n. 4, p. 552-529, 2015. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-2591>. Acesso em: 23 jan. 2020.

SILVA, S. M. C.; MURA, J. D. P. **Tratado de alimentação, nutrição e dietoterapia**. 2. ed. São Paulo: Roca, 2010. 1256 p.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, New Delhi, v. 41, n. 2, p. 237-245, 1981. Disponível em: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijgpb&volume=41&issue=2&article=010>. Acesso em: 23 jan. 2020.

SOUSA, C. S.; BONETTI, A. M.; GOULART FILHO, L. R.; MACHADO, J. R. A.; LONDE, L. N.; BAFFI, M. A.; RAMOS, R. G.; VIEIRA, C. U.; KERR, W. E. Divergência genética entre genótipos de alface por meio de marcadores AFLP. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 8, p. 11-16, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000100002>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052007000100002&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 25 jan. 2020.

SOUSA, L. A.; JACINTO, A. C. P. SILVEIRA, A. J.; CASTOLDI, R.; MACIEL, G. M.; BELOTI, I. F. Agronomic potential of biofortified crisphead lettuce (*Lactuca sativa*) and its reaction to Root-knot nematodes. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 13, n. 5, p.773-779, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.05.p1565>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333700383_Agronomic_potential_of_biofortified_crisphead_lettuce_Lactuca_sativa_and_its_reaction_to_Root-knot_nematodes. Acesso em: 26 jan. 2020.

SUBLETT, W. L.; BARICKMAN, T. C.; SAMS, C. E. The effect of environment and nutrients on hydroponic lettuce yield, quality, and phytonutrients. **Horticulturae**, Basel, v. 4, n. 4, p. 48-63, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae4040048>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/4/4/48>. Acesso em 18 jan. 2020.

SUDRÉ, C. P.; RODRIGUES, R.; RIVA, E. M.; KARASAWA, M.; AMARAL JÚNIOR, A. T. Divergência genética entre acessos de pimenta e pimentão utilizando técnicas multivariadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 22-27, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000100005>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362005000100005&lng=pt&tlng=pt. Acesso em 13 jan. 2020.

TARGINO, A. J.; OLIVEIRA, F. D.; OLIVEIRA, M. T.; RÉGIS, L. R.; NETA, H. M.; CORDEIRO, C., ALVES, F. T.; NASCIMENTO, L. V.; PESSOA, V. G.; OLIVEIRA, A. A.; SOUZA, M. W.; MENEZES, P. V.; COSTA, J. P.; MARQUES, I. C.; FREITAS, R. S. Lettuce growth in different pot volumes and irrigation frequencies under saline stress. **The Journal of Agricultural Science**, London, v. 11, n. 3, p. 494-503, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n3p494>. Disponível em: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/38279>. Acesso em: 19 fev. 2019.

TREUREN, R.; HINTUN, T. H. E. Comparison of anonymous and targeted molecular markers for the estimation of genetic diversity in ex situ conserved *Lactuca*. **Theoretical and Applied Genetics**, [s. l.], v. 119, n. 7, p. 1265-1279, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-009-1131-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00122-009-1131-1>. Acesso em 19 fev. 2019.

WISEMAN, E.M.; DADO, S.B.; REIFEN, R. The vicious cycle of vitamin a deficiency: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 57, n. 17, p. 3703-3714, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1160362>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2016.1160362>. Acesso em: 19 jan. 2020.

CAPÍTULO II

PARÂMETROS GENÉTICOS E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE ALFACE BIOFORTIFICADA BASEADA EM ÍNDICES DE SELEÇÃO

PARÂMETROS GENÉTICOS E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE ALFACE BIOFORTIFICADA BASEADA EM ÍNDICES DE SELEÇÃO

RESUMO

Para maximizar a seleção simultânea de múltiplas características de interesse, os índices de seleção são utilizados para obter um valor numérico resultante da combinação dos caracteres em que a seleção simultânea é praticada. O objetivo deste trabalho foi determinar os parâmetros genéticos e a eficiência de diferentes índices para a seleção de genótipos de alface biofortificadas. As análises estatísticas foram realizadas com base em 91 genótipos pertencentes ao banco de germoplasma de alfaces biofortificadas da Universidade Federal de Uberlândia. As variáveis analisadas foram o teor de clorofila das folhas, diâmetro da planta, diâmetro da haste e número de folhas por planta. Os valores encontrados para h^2 (%) variaram de 89,63% (diâmetro da haste) a 96,05% (clorofila), apresentando alta magnitude. O índice de Smith (1936) Hazel (1943), o índice da soma de "Ranks" de Mulamba e Mock (1978), seleção direta e indireta e o índice base de Willian (1962) foram usados para prever os ganhos de seleção. No total, 17 indivíduos foram selecionados usando as metodologias e os índices de seleção de Smith e Hazel, Willian, e o de Mulamba e Mock possibilitaram bons ganhos diretos para os caracteres avaliados. Os genótipos UFU 66 # 10, UFU 215 # 12, UFU 184 # 2, UFU 184 # 1, UFU 215 # 4, UFU 215 # 2, UFU 215 # 1, UFU 217 # 5, UFU 217 # 1, UFU 189 # 1, UFU 199 # 6, UFU 106 # 1 e UFU 210 # 1 foram selecionados para todos os índices; assim, apresentando bom potencial produtivo, enfatizando a possibilidade de lançamento de novas cultivares.

Palavras-chave: biofortificação; correlação; ganhos de seleção; *Lactuca sativa* L.

GENETIC PARAMETERS AND SELECTION OF BIOFORTIFIED LETTUCE STRAINS BASED ON SELECTION INDICES

ABSTRACT

To maximize the simultaneous selection of multiple characteristics of interest, selection indices are used to obtain a numerical value resulting from the combination of the characters on which the simultaneous selection is practiced. The objective of this study was to determine the genetic parameters and the efficiency of different indices for the selection of biofortified lettuce strains. Statistical analyses were performed based on 91 genotypes belonging to the vegetable germplasm bank of the Federal University of Uberlândia. The variables analyzed were the chlorophyll content of the leaves, plant diameter, stem diameter, and the number of leaves per plant. The values found for h^2 (%) ranged from 89.63% (stem diameter) to 96.05% (chlorophyll), showing high magnitude. Smith (1936) and Hazel index (1943), the sum of “Ranks” by Mulamba and Mock index (1978), direct and indirect selection, and Willian’s base index (1962) were used to predict the selection gains. In total, 17 individuals were selected using the selection methodologies, and the selection indices of Smith (1936) and Hazel (1943), Willian’s (1962), and Mulamba and Mock’s sum of ranks enabled good direct gains for the evaluated characters. The strains UFU 66#10, UFU 215#12, UFU 184#2, UFU 184#1, UFU 215#4, UFU 215#2, UFU 215#1, UFU 217#5, UFU 217#1, UFU 189#1, UFU 199#6, UFU 106#1, and UFU 210#1 were selected for all indices; thus, presenting good productive potential, emphasizing the possibility of launching new cultivars.

Keywords: biofortification; correlation; *Lactuca sativa* L.; selection gains

1 INTRODUÇÃO

A alface é um dos vegetais mais consumidos no mundo e seu consumo cresce anualmente. Isso se deve principalmente aos novos hábitos alimentares adotados pela população, que incluem a alface como ingrediente indispensável de suas refeições. Nesse contexto, a demanda do mercado por alface de alta qualidade já é uma realidade, uma vez que os consumidores se tornaram mais seletivos e críticos na escolha de seus alimentos (CANDIDO et al., 2017).

A obtenção de vegetais biofortificados tornou-se essencial para aumentar o estado nutricional de uma população com deficiências nutricionais. Entre os vários constituintes que caracterizam a biofortificação, o conteúdo de carotenóides é de grande relevância em várias espécies (MACHADO JUNIOR et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2018), com poucas pesquisas em alface. Além disso, foi observada correlação positiva entre teor de carotenóide e teor de clorofila, mensurado de forma indireta com a utilização do índice SPAD (SILVA et al., 2014; CASSETARI et al., 2015). Desse modo, a seleção indireta de indivíduos superiores para a característica se torna possível utilizando como parâmetro o teor de clorofila.

Atualmente, não há cultivares comerciais de alface disponíveis que combinem características agrônomicas desejáveis com um alto teor de carotenóides. Um dos obstáculos pode estar relacionado à limitação de informações sobre o conhecimento dos parâmetros que governam a herança genética da produção de clorofila e as principais características agrônomicas de interesse em alface (OLIVEIRA, et al., 2019).

Estimativas de parâmetros de variabilidade importantes, herdabilidade e ganho genético são indicadores confiáveis para melhoria de caracteres em um determinado material genético através da seleção. Como a seleção para caracteres altamente hereditários é mais eficaz, portanto, a herdabilidade, juntamente com outros parâmetros, pode ser usada na previsão do ganho para uma dada intensidade de seleção e o ganho genético esperado fornece ainda a idéia da extensão da melhoria em um caractere através da seleção simples (KUMAR et al., 2015).

O sucesso de qualquer programa de melhoramento depende da extensão da variabilidade genética e do grau de translocação dos caracteres de geração em geração. Para a exploração da variabilidade genética, o conhecimento da correlação entre caráter complexo como rendimento e seus caracteres componentes é de considerável

importância para uma abordagem racional para a melhoria do rendimento (SAMNOTRA et al., 2012).

Para lançar uma nova cultivar, os melhoristas procedem à avaliação das plantas, ao praticar a mensuração de vários caracteres, com o objetivo de realizar a seleção simultânea para alguns deles, sendo importante, para tanto, a adoção de índices de seleção. Nesse aspecto, a utilização de índices de seleção funciona como um caráter adicional resultante da combinação de diversas características, sobre as quais se deseja obter respostas à seleção, o que permite melhorar diversos caracteres simultaneamente, independente da existência ou não de correlação entre eles (CRUZ et al., 2014).

Diferentes índices referem-se à alternativa de seleção e de ganhos, identificando de maneira rápida e eficiente as progênies que podem ser mais adequadas para os propósitos do melhorista (REZENDE et al., 2014).

Apesar de ser uma técnica aplicada em diversas culturas, os estudos com genótipos de alface são limitados. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros genéticos e a eficiência de diferentes índices na seleção de linhagens de alface biofortificada com altos teores de carotenóides e características agrônômicas favoráveis.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre fevereiro e abril de 2016, 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). As temperaturas mínima e máxima no período em que foi desenvolvido o experimento foram de 15,17 °C e 29,3 °C respectivamente, com umidade relativa média de 77,8% e precipitação média de 127 mm.

O delineamento foi em blocos completos casualizados com três repetições e 91 tratamentos. Foram avaliadas 91 genótipos, sendo 86 linhagens de alface provenientes da hibridação entre as cultivares Pira 72 *versus* Uberlândia 10000 (rica em carotenóide) (SOUSA et al., 2007) seguido de três sucessivas autofecundações realizadas entre 2013 a 2017. O método de melhoramento utilizado para obtenção das 86 linhagens foi o genealógico. Foram utilizadas cinco testemunhas, sendo quatro cultivares comerciais: cv. Grand Rapids, cv. Pira 72, cv. Robusta e cv. UFU-Biofort (testemunhas com potencial comercial e baixo teor de carotenóides) e Uberlândia 10000, testemunha rica

em carotenóides (SOUSA et al., 2007) totalizando 91 tratamentos . Esses genótipos fazem parte do Programa de Melhoramento Genético de Alface Biofortificada da UFU, sendo toda a genealogia armazenada no Software “BG α BIOFORT” registrado no INPI BR512019002403-6 (MACIEL et al., 2019).

A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido de 200 células, preenchidas com substrato comercial a base de fibra de coco. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em casa de vegetação do tipo arco, com dimensões de 5 x 6 m e pé direito de 3,5 m, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micra, aditivado contra raios ultravioleta, e cortinas laterais de tela branca antiafídeos.

Decorridos 25 dias após semeadura, as mudas foram transplantadas para o campo, em canteiros de 1,25 m de largura, previamente preparados por um rotoencanteirador e adubados, conforme análise de solo que apresentou as seguintes características: textura argilosa, contendo mais de 50% de argila em sua composição; pH em CaCl₂ = 4,9; MO = 3,9 dag kg⁻¹; P_{meh} = 79,1 mg dm⁻³; K = 0,29 cmolc dm⁻³; Ca = 3,3 cmolc dm⁻³; Mg = 1,3 cmolc dm⁻³; H+Al = 4,9 cmolc dm⁻³; SB = 4,90 cmolc dm⁻³; T = 9,80 cmolc dm⁻³; V% = 50 e recomendações conforme exigência da cultura (FILGUEIRA, 2013). Cada parcela foi constituída por 20 plantas no espaçamento de 25 cm x 25 cm. Foram avaliadas as seis plantas centrais.

Após 45 dias do transplante, realizou-se as seguintes avaliações: teor de clorofila: mensurada com o medidor de clorofila *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) (modelo Minolta SPAD-502 CFL1030), na folha mediana da planta, no horário da manhã; diâmetro da planta (cm): utilizando régua graduada; diâmetro da haste (mm), utilizando paquímetro e número de folhas por planta.

Com o intuito de avaliar a existência de variabilidade genética para os caracteres quantitativos, realizaram-se análises de variância (ANOVA) conforme o modelo: $Y_{ij} = \mu + b_j + G_i + \epsilon_{ij}$; em que: Y_{ij} : é o valor de cada caráter para o i-ésimo genótipo no j-ésimo bloco; μ : média geral; G_i : efeito do i-ésimo genótipo; b_j : efeito do j-ésimo bloco; ϵ_{ij} : erro aleatório.

Os dados obtidos foram analisados, visando estimativas do ganho de seleção. Além disso, foi realizada análise de variância (F=0,01 e F=0,05) com os quadrados médios (QMG) das características avaliadas. Também foram calculados o coeficiente de variação genética (CVg), a relação entre o coeficiente de variação genética (CVg) e o ambiental (CVe) – CVg/CVe e o coeficiente de determinação genotípica (h^2) para cada

variável analisada no experimento. O h^2 foi determinado conforme o seguinte estimador:

$$h^2 = \frac{\sigma P}{\frac{QMT}{r}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\sigma P = \frac{QMT - QMR}{r} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que: h^2 : coeficiente de determinação genotípica; σP : componente quadrático genético; QMT: quadrado médio de genótipos; QMR: quadrado médio do resíduo; r: número de repetições.

As correlações fenotípicas e as correlações genotípicas foram obtidas, por meio dos estimadores:

$$r_f = \frac{PMG_{xy}}{\sqrt{QMG_x * QMG_y}} \quad (\text{Eq.3})$$

$$r_g = \frac{\sigma_{gxy}}{\sqrt{\sigma_{gx}^2 * \sigma_{gy}^2}} \quad (\text{Eq.4})$$

em que: PMG: produto médio associado aos genótipos; QMG: quadrado médio dos genótipos; X e Y: caracteres analisados; σ_{gxy} : estimador da covariância genotípica entre os caracteres X e Y, e σ_{gx}^2 e σ_{gy}^2 : estimadores das variâncias genotípicas dos caracteres X e Y, respectivamente (CRUZ, et al., 2012).

Os parâmetros “Coeficiente de variação experimental (CVe)” e “Coeficiente de variação genético (CVg)” indicam, respectivamente, a magnitude das variações causadas pelos desvios da média devido aos efeitos de ambiente e aquelas devido aos efeitos genéticos. São calculados como segue:

$$CV_g \% = \frac{\sigma P^{0.5}}{M} \times 100 \quad (\text{Eq.5})$$

$$\sigma P = \frac{QMT - QMR}{r} \quad (\text{Eq. 6})$$

em que: M: média experiemetal; QMT: quadrado médio de genótipos; QMR: quadrado médio do resíduo; r: número de repetições.

$$CV_e = \frac{\sigma E}{M} \times 100 \quad (\text{Eq.7})$$

em que: σE : desvio-padrão do resíduo experimental, igual a $QME^{0.5}$; M: média experimental.

Para as estimativas dos ganhos de seleção, foram utilizadas as seguintes metodologias: seleção direta e indireta (CRUZ et al., 2012) índice clássico, proposto por Smith (1936) e Hazel (1943); índice da soma de “ranks” de Mulamba e Mock (1978) e índice base de Willians (1962). O ganho esperado pela seleção direta (CRUZ, et al., 2012) no *i*-ésimo caráter (*GS_i*) foi obtido pela equação:

$$GS_i(\%) = (X_{si} - X_{oi})h^2_i = DS_i h^2_i \times 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

em que: *X_{si}*: média das linhagens selecionados para o caráter *i*; *X_{oi}*: média original da população; *DS_i*: diferencial de seleção praticado na população; *h²_i*: herdabilidade do caráter *i*, no sentido amplo.

O ganho indireto (CRUZ, et al., 2012) no caráter *j*, pela seleção no caráter *i*, foi dado por:

$$GS_{j(i)} = DS_{j(i)} h^2_i \quad (\text{Eq.9})$$

em que: *DS_{j(i)}* : diferencial de seleção indireto obtido por meio da média do caráter dos indivíduos cujas superioridades foram evidenciadas com base em outro caráter, sobre o qual se realiza a seleção direta.

O índice clássico proposto por Smith (1936) e Hazel (1943) é estimado por uma combinação linear realizada entre os caracteres analisados. Esse foi determinado pelo índice de seleção (*I*) e o agregado genotípico (*H*) descrito a seguir:

$$I = b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_n y_n = \sum_{i=1}^n b_i y_i = y'b \quad (\text{Eq. 10})$$

$$H = a_1 g_1 + a_2 g_2 + \dots + a_n g_n = \sum_{i=1}^n a_i g_i = g'a \quad (\text{Eq. 11})$$

em que: *n*: número de caracteres avaliados; *b*: vetor de dimensão 1 x *n* dos coeficientes de ponderação do índice de seleção a ser estimado; *y*: matriz de dimensão *n* x *p* (plantas) de valores fenotípicos dos caracteres; *a*: é o vetor de dimensão 1 x *n* de pesos econômicos previamente estabelecidos; *g*: matriz de dimensão *n* x *p* de valores genéticos desconhecidos dos *n* caracteres considerados.

O vetor $b = P^{-1} Ga$, em que P^{-1} é o inverso da matriz, de dimensão *n* x *n*, de variâncias e covariâncias fenotípicas entre os caracteres. *G* é a matriz, de dimensão *n* x

n , de variâncias e covariâncias genéticas entre os caracteres. O ganho esperado para o caráter j foi determinado por:

$$\Delta g_{j(i)} = DS_{j(i)} h^2_j \quad (\text{Eq. 12})$$

em que: $\Delta g_{j(i)} = g_{j(i)}$: ganho esperado para o caráter j , com a seleção baseada no índice I ; $DS_{j(i)}$: diferencial de seleção do caráter j , com a seleção baseada no índice I ; h^2_j : herdabilidade do caráter j , no sentido amplo.

O índice baseado na soma de ranks (Mulamba e Mock, 1978) não necessita das estimativas de variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas, tampouco da atribuição de pesos econômicos aos caracteres estudados (CRUZ, et al., 2012). Esse índice hierarquiza os genótipos pela atribuição de valores absolutos mais elevados àqueles de melhor desempenho, considerando cada característica analisada. Posteriormente, é realizada a soma das ordens de cada genótipo referente a cada caráter estudado, resultando no índice de seleção descrito abaixo:

$$I = r_1 + r_2 + \dots + r_n \quad (\text{Eq. 13})$$

em que: I : valor do índice para determinado indivíduo ou família; r_j : classificação (ou rank) de um indivíduo em relação ao j -ésimo caráter; n : número de caracteres considerados no índice. Esse método possibilita que sejam atribuídos pesos diferentes para ordenar a classificação das variáveis, conforme especificado pelo melhorista. Dessa forma, os pesos econômicos foram dados por:

$$I = p_1 r_1 + p_2 r_2 + \dots + p_n r_n \quad (\text{Eq. 14})$$

em que: p_j : peso econômico atribuído ao j -ésimo caráter.

O índice base de Willians (1962) estabelece um índice dado pela combinação linear dos valores fenotípicos médios dos caracteres, os quais são ponderados pelos respectivos pesos econômicos. O índice é dado por:

$$I = a_1 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_n y_n = \sum_{i=1}^n a_i y_i = y'a \quad (\text{Eq. 15})$$

em que: y : são as médias; a : são os pesos econômicos dos caracteres estudados.

O critério de seleção utilizado para todos os índices avaliados foi o acréscimo de todos os caracteres. O peso econômico adotado foi o coeficiente de variação genético de cada variável, conforme recomendado por Cruz et al. (2012). As análises estatísticas foram realizadas no programa Genes v. 2015.5.0 (CRUZ, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se a existência de variabilidade genética para os caracteres: teor de clorofila, diâmetro da planta, diâmetro da haste e número de folhas (Tabela 1), evidenciando a possibilidade de selecionar acessos agronomicamente superiores para as características analisadas (CRUZ et al., 2012).

Tabela 1. Quadrados médios, coeficientes de variância e parâmetros genéticos de variáveis de 91 genótipos de alface. UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil.

Parâmetros	Características			
	Clorofila	Diâmetro planta	Diâmetro haste	Nº de folhas
h ² (%)	96.05	94.15	89.63	92.23
CVg (%)	23.33	16.76	17.82	20.13
CVg/Cve	1.56	1.26	0.93	1.09
CV (%)	14,95	13.20	19.16	18.46
QMG	439.52**	181.74**	164.06**	521.77**

h²: coeficiente de determinação genotípica; CVg: coeficiente de variação genético; Cve: coeficiente de variação experimental; QMG: quadrado médio dos genótipos; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

Os coeficientes de variação experimental (CV) variaram de 13,20%, para o diâmetro da planta, a 19,19% para o diâmetro da haste (Tabela 1). Neste trabalho os coeficientes de variação experimental foram considerados baixos, demonstrando uma boa precisão do experimento. A determinação do CV é importante porque é uma forma de dar credibilidade ao trabalho (STORCK et al., 2011).

A existência de variabilidade genética foi confirmada pelo coeficiente de variação genética (CVg). O CVg apresentou valores entre 16,76% (diâmetro da planta) e 23,33% (teor de clorofila) (Tabela 1). As maiores estimativas para CVg foram encontradas no teor de clorofila (23,33%) e no número de folhas (20,13%), indicando que esses caracteres apresentaram a maior variabilidade genética, permitindo a seleção ser feita. O CVg é um parâmetro importante, permitindo conhecer a magnitude da variabilidade genética na população para todos os caracteres em análise (LEITE et al., 2015).

Souza et al. (2008), caracterizando progênies de alface tolerantes ao calor, observaram valores de CVg de 6,39% para o diâmetro da planta e 6,97% para o número de folhas, ao contrário do presente estudo, onde foram encontrados maiores valores de

CVg para as mesmas características, de 16,76% e 20,13%, respectivamente. No entanto, existem diferenças entre os genótipos e as condições experimentais que podem ser a razão para esta diferença.

O conhecimento do coeficiente de determinação genotípica (h^2) permite estabelecer estimativa do ganho genético a ser obtido, pois reflete a proporção da variação fenotípica que é de natureza herdável e define a melhor estratégia para ser utilizada no programa de melhoramento genético (BALDISSERA et al., 2014). São considerados altos quando superiores a 0,7 (RAMALHO et al., 2012).

As características em ordem crescente para h^2 e para relação CVg / Cve no presente estudo foram: diâmetro da haste (89,63%), número de folhas (92,23%), diâmetro da planta (94,15%) e teor de clorofila (96,05%) (tabela 1). Esses valores mostram que o genótipo tem maior efeito nas características avaliadas. Caracteres com alto h^2 indicam um alto componente da fração herdável da variação (componente genético) em suas expressões fenotípicas, demonstrando que a obtenção de ganhos pode ser alcançada por meio de seleção visual (ANDRADE et al., 2010; SILVA et al., 2019).

Os valores obtidos para a relação CVg / Cve variaram de 0,93 (diâmetro da haste) a 1,56 (teor de clorofila), o que corrobora o fato de que a variação genética é a principal responsável pela variação estimada do caráter, facilitando a seleção, pois quando a proporção entre CVg e Cve aproxima-se ou é superior a um, maior é o ganho de seleção (BALDISSERA et al., 2014).

Peixoto et al. (2020) estimaram parâmetros genéticos de oito variáveis analisadas em 25 genótipos de alface, provenientes do mesmo programa de melhoramento (geração F7) e encontraram valores elevados de h^2 para número de folhas (91,42%); índice SPAD (95,96%) e diâmetro da planta (72,77%). Além disso, também encontraram relação CVg / Cve próxima ou superior a um para as mesmas variáveis analisadas, corroborando os resultados do presente trabalho.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Souza et al. (2008), avaliando 18 genótipos de alface tolerantes ao pendoamento precoce, estimando componentes genéticos importantes para o melhoramento da cultura. Esses autores encontraram valores de h^2 de 83,99% (número de folhas) e 80,82% (diâmetro da planta) e valores da relação CVg / Cve de 1,32 (número de folhas); 1,18 (diâmetro da planta).

Oliveira et al. (2019), estimaram os parâmetros genéticos de genótipos de alface para os caracteres agrônômicos: (concentração de antocianina, número de folhas, diâmetro de planta e teor de clorofila) avaliados em plantas das gerações P1, P2, F1, F2,

BC1 e BC2 oriundas do cruzamento UFU-crespa199#1#1 x UFU-albina#2 e encontraram estimativas de herdabilidade no sentido restrito de 89,65% (número de folhas); 6,94% (teor de clorofila) e 64,06% (diâmetro de plantas). Thakur et al. (2016) estimaram parâmetros genéticos de 28 genótipos de alface sob cultivo em casa de vegetação ventilada e encontraram para teores de β - Caroteno ($\mu\text{g}/100\text{g}$) valor de herdabilidade de 58,10%.

Nas correlações fenotípicas e genotípicas é possível conhecer a associação entre os caracteres (tabela 2). Em auxílio ao melhoramento, o estudo das correlações entre os caracteres possibilita maior eficácia e agilidade, dando suporte ao melhorista na seleção de características quantitativas, que são muito influenciadas pelo meio e de difícil seleção. Isto se dá por meio da seleção indireta de características de fácil mensuração, envolvendo a associação de natureza herdável (AZEVEDO et al., 2014).

Tabela 2. Correlações fenotípicas (FE) e genotípicas (GE) entre características avaliadas em 91 genótipos de alface. UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil.

Correlação	Características				
	Clorofila	Diâmetro planta	Diâmetro haste	Nº de folhas	
Clorofila	FE	1.00	-0.05	0.07	0.15
	GE	1.00	-0.05	0.08	0.16
Diâmetro planta	FE		1.00	0.24*	0.27*
	GE		1.00	0.25*	0.28*
Diâmetro haste	FE			1.00	0.59**
	GE			1.00	0.63**
Nº de folhas	FE				1.00
	GE				1.00

**; *: Significativo a 1% e a 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

Para a interpretação de correlações, é necessário considerar os seguintes aspectos: a magnitude, a direção e a sua significância. Valores de coeficiente de correlação positivo indicam a tendência de uma variável aumentar em função do incremento de outra. Já valores negativos de correlação sugerem redução de uma determinada característica em função do aumento de outra (NOGUEIRA et al., 2012).

Correlações positivas foram encontradas entre a maioria das características agrônômicas, circunstância favorável ao melhoramento da alface (AZEVEDO et al., 2014).

O diâmetro da planta apresentou correlação positiva significativa com o diâmetro da haste e número de folhas, enquanto o diâmetro da haste apresentou correlação positiva significativa com o número de folhas (Tabela 2). É importante observar que o teor de clorofila apresentou baixa correlação positiva com o diâmetro da haste e número de folhas, e baixa correlação negativa com a variável diâmetro da planta. Assim, percebe-se que os teores de carotenóides, são pouco influenciados pelas características de número de folhas, diâmetro da haste e diâmetro da planta.

Peixoto et al. (2020) correlacionaram seis variáveis linhagens de alface biofortificada e observou-se que o diâmetro da haste teve correlação positiva com o número de folhas e o diâmetro da planta. Por outro lado o diâmetro da haste teve correlação negativa com a característica SPAD e semelhante ao ocorrido no presente trabalho o diâmetro da planta teve correlação negativa com o índice SPAD.

Souza et al. (2008) correlacionaram as características: pendoamento, número de folhas, peso fresco da planta, diâmetro da planta, peso fresco das folhas e comprimento do caule em alface. Foi observado que a característica número de folhas teve correlação positiva com diâmetro da planta (correlação genotípica de 0,32).

Azevedo et al. (2014) correlacionaram diversas características em alface e verificaram-se correlações fenotípicas e genotípicas positivas entre a maioria das características agrônômicas, circunstância favorável ao melhoramento de alface, e semelhante ao ocorrido do presente estudo diâmetro da haste apresentou elevada correlação genotípica com número de folhas (0,66). Além disso, no trabalho de Souza et al. (2008) as características diâmetro de cabeça e número de folhas apresentaram alta correlação com as demais variáveis, demonstrando ser uma grande ferramenta de seleção para futuros trabalhos de melhoramento.

Foi observada uma diferença mínima entre as correlações genotípicas e fenotípicas e as genotípicas foram maiores em magnitude do que as fenotípicas. Em um estudo de Thakur et al. (2016) na cultura da alface, as correlações genotípicas foram, em geral, maiores em magnitude do que as fenotípicas. Resultados encontrados por Souza et al. (2008) e Kaushal; Kumar (2010) na alface, também mostraram que a correlação genotípica foi maior do que a correlação fenotípica, indicando baixa influência do ambiente na expressão de caracteres, principalmente devido a fatores genéticos.

Os ganhos de seleção direta obtidos para as variáveis avaliadas foram em ordem decrescente: (32,17%) para teor de clorofila, (27,20%) para número de folhas, (23,73%) para diâmetro da haste e (22,89%) para diâmetro da planta (Tabela 3). Comportamento semelhante foi observado para valores de CVg, onde maiores valores foram observados para teor de clorofila e menores valores para diâmetro de planta. Níveis mais elevados de clorofila aumentam a atividade fotossintética e também podem levar a incrementos relacionados às características agrônômicas (SILVA et al., 2014).

Tabela 3. Estimativas de ganhos de seleção obtidas para 4 características avaliadas, pela seleção direta (valores em negrito) e indireta, em 91 genótipos de alface. UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil.

Caracteres	Ganhos de seleção (%)			
	Clorofila	Diâmetro planta	Diâmetro haste	Nº de folhas
Clorofila	32.17	-1.65	2.58	4.92
Diâmetro planta	-1.20	22.89	5.60	6.43
Diâmetro haste	2.04	6.10	23.73	15.27
Nº de folhas	4.33	7.80	17.01	27.20
Total	37.34	35.14	48.92	53.82

A seleção direta para número de folhas promoveu ganhos indiretos para teor de clorofila (4,92%), diâmetro da planta (6,43%) e diâmetro da haste (15,27%) (Tabela 3). Essa foi a melhor estratégia de seleção direta e indireta, pois possibilitou ganhos positivos para todos os caracteres avaliados, além de promover o maior ganho de seleção total.

Diamante et al. (2013) relataram a importância do número de folhas na cultura da alface, sendo relevante para o produtor, tanto por indicar adaptação do material genético ao ambiente, quanto pela comercialização.

Os índices de seleção, diferentemente da seleção direta, possibilitam realizar a seleção simultânea de vários caracteres de importância econômica, aumentando a chance de sucesso no melhoramento genético (BIZARI et al., 2017; TASSONE et al., 2019).

Os índices de Smith (1936) e Hazel (1943) e índice base de Willians (1962), apresentaram os maiores ganhos de seleção total (63,68%), apresentando ganhos de seleção para diâmetro da haste (11,76 %), diâmetro da planta (13,96%), teor de clorofila (17,98%) e número de folhas (19,98%) (Tabela 4).

Tabela 4. Estimativas de ganhos de seleção (%) obtidos para quatro caracteres avaliados em 91 genótipos de alface, pelo índice clássico de Smith e Hazel (SH), soma de ranks de Mulamba e Mock (MM) e índice base de Willians (W). UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil.

Índices	Ganho de seleção (%)				Total
	Clorofila	Diâmetro planta	Diâmetro haste	Nº de folhas	
SH	17.98	13.96	11.76	19.98	63,68
MM	15.4	12.31	17.31	18.3	63,32
WI	17.98	13.96	11.76	19.98	63,68

SH: Smith (1936) e Hazel (1943); MM: Soma de Ranks de Mulamba e Mock (1978); DI: Seleção direta e indireta; WI: Índice-Base - Willians (1962)

O índice de Mulamba e Mock (1978) mostrou ganhos de seleção total semelhante aos outros dois índices, porem apresentou menores ganhos para a maioria das características, embora essa diferença tenha sido pequena, exceto para diâmetro da haste, que apresentou ganho de seleção de 17,31% (tabela 4).

Candido et al. (2017) avaliaram a eficiência de índices não paramétricos na escolha de linhagens promissoras de alface. O índice de Mulamba e Mock, Elston e Schwarzbach foram usados no experimento e o de Mulamba e Mock se destacou, pois promoveu bons ganhos de seleção direta para as características avaliadas e por ser de fácil construção.

Peixoto et al. (2020) compararam índices não paramétricos na seleção de alface crespa biofortificada e o índice Mulamba e Mock e o de Subandi apresentaram resultados comparáveis, bem como os maiores ganhos para número de folhas (13,68%), índice SPAD (12,04%), redução para diâmetro da planta (-1,44%) e ambos os índices também resultaram no maior valor de ganho total (30,42%).

Para as estimativas de ganho de seleção, 17 indivíduos foram selecionados por meio dos índices de Smith (1936) e Hazel (1943); Mulamba e Mock (1978) e o índice de Willians (1962) (Tabela 5).

Tabela 5. Indicação dos 17 genótipos de alface superiores, selecionados pelo índice clássico de Smith (1936) and Hazel (1943), soma de “ranks” de Mulamba e Mock (1978) e índice base de Willians (1962). UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil.

Índices de seleção	Genótipos de alface selecionados
Índice clássico (SH)	UFU 66#10; UFU 215#12; UFU 104#3; UFU 184#2; UFU 184#1; UFU 215#4; UFU 215#2; UFU 215#1; UFU 217#5; UFU 217#4; UFU 217#1; UFU 189#1; UFU 199#6; UFU 199#5; UFU 199#3; UFU 106#1; UFU 210#1
Soma de “ranks” (MM)	UFU 66#10; UFU 215#12; UFU 104#4; UFU 104#2; UFU 184#2; UFU 184#1; UFU 215#4; UFU 215#2; UFU 215#1; UFU 217#5; UFU 217#4; UFU 217#1; UFU 189#2; UFU 189#1; UFU 199#6; UFU 106#1; UFU 210#1
Índice base (WI)	UFU 66#10; UFU 215#12; UFU 104#3; UFU 184#2; UFU 184#1; UFU 215#4; UFU 215#2; UFU 215#1; UFU 217#5; UFU 217#4; UFU 217#1; UFU 189#1; UFU 199#6; UFU 199#5; UFU 199#3; UFU 106#1; UFU 210#1

Os índices de Smith (1936) e Hazel (1943) e o de Willian (1962) selecionaram os mesmos 17 genótipos: UFU 66#10; UFU 215#12; UFU 104#3; UFU 184#2; UFU 184#1; UFU 215#4; UFU 215#2; UFU 215#1; UFU 217#5; UFU 217#4; UFU 217#1; UFU 189#1; UFU 199#6; UFU 199#5; UFU 199#3; UFU 106#1; UFU 210#1 como sendo os genótipos superiores. Os genótipos UFU 66#10; UFU 215#12; UFU 184#2; UFU 184#1; UFU 215#4; UFU 215#2; UFU 215#1; UFU 217#5; UFU 217#1; UFU 189#1 UFU 199#6; UFU 106#1; UFU 210#1 também se destacaram para o índice de Mulamba e Mock (1978) (Tabela 5).

O índice base de Willian é similar ao índice clássico de Smith e Hazel quando as variâncias e covariâncias são definidas predominantemente por fatores genéticos (CRUZ et al., 2014).

Sousa et al. (2020), avaliando a dissimilaridade genética do mesmo banco de germoplasma de alface biofortificada do presente trabalho, mostraram que sete genótipos se destacaram, revelando excelentes características agronômicas e altos níveis

de carotenóides, e cinco deles estão dentre os genótipos selecionados no presente trabalho (UFU215#12; UFU215#2; UFU 215#1; UFU215#4; UFU199#3).

3 CONCLUSÕES

1. O coeficiente de determinação genotípica para teor de carotenóides, diâmetro de planta, diâmetro da haste e número de folhas possui alta magnitude em germoplasma de alface biofortificada.
2. A seleção direta para número de folhas foi a melhor estratégia de seleção direta e indireta;
3. Os índices de seleção de Smith (1936) e Hazel (1943), Willian (1962) e Mulamba and Mock possibilitaram bons ganhos de seleção para as características avaliadas em germoplasma de alface biofortificada.
4. Os genótipos UFU 66#10; UFU 215#12; UFU 184#2; UFU 184#1; UFU 215#4; UFU 215#2; UFU 215#1; UFU 217#5; UFU 217#1; UFU 189#1 UFU 199#6; UFU 106#1; UFU 210#1 foram selecionados por todos os índices avaliados, apresentando bom potencial produtivo, enfatizando a possibilidade de lançar novos cultivares.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMALHO, S. R. Ramos Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000200012>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902010000200012&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 20 fev. 2020.

AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; CASTRO, B. M.; OLIVEIRA, C. M.; PEDROSA, C. E.; DORNAS, M. F.; VALADARES, N. R. Parâmetros genéticos e análise de trilha para o florescimento precoce e características agronômicas da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 2, p. 118-124, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000200006>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X20140002000118&lng=pt&tlng=pt. Acesso em 20 fev. 2020.

BALDISSERA, J. N. DA C.; VALENTINI, G.; COAN, M. M. D.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. L. M. Genetics factors related with the inheritance in autogamous plant populations. **Journal of Agroveterinary Sciences**, Lages, v. 13, n. 2, p. 181-189, 2014. Disponível em:

<https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5632>. Acesso em 20 fev. 2020.

BIZARI, E. H.; VAL, B.H.P.; PEREIRA, E.M.; MAURO, A..D.; UNÊDA-TREVISOLI, S.H. Selection indices for agronomic traits in segregating populations of soybean. **Revista Ciência Agronômica**, [s.l.], v. 48, n. 1, p. 110-117, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170012>. Disponível em:

<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/4392>. Acesso em: 21 fev. 2020.

CANDIDO, W. S.; TOBAR-TOSSE, D. E.; SOARES, R. S.; SANTOS, L. S.; FRANCO, C. A.; BRAZ, L. T. Selection of loose-leaf lettuce breeding lines based on non-parametric indexes. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 16, n. 40, p. 1984-1989, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB2017.16176>. Disponível em:

<https://academicjournals.org/journal/AJB/article-abstract/50DDD4966233>. Acesso em 22 fev. 2020.

CASSETARI, L. S.; GOMES, M. S.; SANTOS, D. C.; SANTIAGO, W. D.; ANDRADE, J.; GUIMARÃES, A. C.; SOUZA, J. A.; CARDOSO, M. G.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. β -Carotene and chlorophyll levels in cultivars and breeding lines of lettuce. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 1083, n. 60, p. 469-474, 2015. DOI:

<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1083.60>. Disponível em: https://www.actahort.org/books/1083/1083_60.htm. Acesso em 20 jan. 2020.

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>. Disponível em:

<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/21251>. Acesso em: 20 jan. 2020.

CRUZ C. D.; REGAZZI A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. 668p.

DIAMANTE, M. S.; SEABRA JÚNIOR, S.; INAGAKI, A. M.; da SILVA, M. B.; DALLACORT, R. Production and resistance to bolting of loose-leaf lettuce grown in different environments. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 133-140, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100017>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902013000100017. Acesso em: 20 jan. 2020.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. rev. ampl. Viçosa: UFV, 2013. 412 p.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, Austin, v. 28, n.6, p. 476-490, 1943. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1209225/>. Acesso em: 20 fev. 2020.

KAUSHAL, S.; KUMAR, R. Genetic divergence studies in newly introduced genotype of lettuce (*Lactuca sativa* L.) **African Journal of Basic & Applied Sciences**, [s.l.], v. 2, n.2, p.18-24, 2010. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Genetic-Divergence-Studies-in-Newly-Introduced-of-Kaushal-Kumar/ad5d6c9c794d6898e67df5fb1892b045a96bf7d7>. Acesso em: 20 fev. 2020.

KUMAR, R.; KUMAR, M.; DOGRA, R. K.; BHARAT, N. K. Variability and character association studies in garden pea (*Pisum sativum* var. hortense L.) during winter season at mid hills of Himachal Pradesh. **Legume Research**, [s.l.], v. 38, n. 2, p. 164-168, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5958/0976-0571.2015.00051.X>. Disponível em: <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:lr&volume=38&issue=2&article=004>. Acesso em: 23 fev. 2020.

LEITE, W. D. S.; PAVAN, B. E.; MATOS FILHO, C. H. A.; FEITOSA, F. S.; OLIVEIRA, C. B. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres agronômicos em genótipos de soja. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 4, p. 241-245, 2015. DOI: <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v03n04a03>. Disponível em: <http://www.bibliotekevvirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/2013-02-07-03-03-11/1625-nativa/v03n04/16693-estimativas-de-parametros-geneticos-e-correlacoes-entre-caracteres-agronomicos-em-genotipos-de-soja.html>. Acesso em: 22 fev. 2020.

MACHADO JUNIOR, R.; GOMES, R. S.; ALMEIDA, C. F.; ALVES, F. M.; DELAZARI, F. T.; LAURINDO, R. D. F.; FERNANDES, R. H.; SILVA, D. J. H. Vegetable breeding as a strategy of biofortification in carotenoids and prevention of vitamin A deficiency. **African Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 12, n. 13, p. 1059-1066, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11895>. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/D3C283C63441>. Acesso em: 23 fev. 2020.

MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S. ; GALLIS, R. B. A. ; PEREIRA, L. M. ; SALES, V. F. **Programa de computador "BG A BIOFORT"**. Depositante: Universidade Federal de Uberlândia. BR512019002403-6. Depósito: 1 fev. 2019. Concessão: 29 out. 2019, 2019.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea may* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v. 7, p. 40-51, 1978. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Improvement-of-yield-potential-of-the-ETO-blanco-by-Mulamba-Mock/8be6eba42c0e7d62b1a19535be64255aeb337b35>. Acesso em: 25 fev. 2020.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, L. B.; HAMAWAKI, O. T.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, D. G.; MATSUO. Análise de trilha e correlações entre caracteres em

soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/14576>. Acesso em 10 març. 2020.

OLIVEIRA, A. H. G.; MACIEL, G. M.; JACINTO, A. C. P.; SILVEIRA, A. J.; SILVA, E. C. Estimates of genetic parameters of pigments and agronomic traits in green and purple lettuce. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, p. 1-8, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943013219>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542019000100226&tlng=en. Acesso em: 10 abr. 2020.

OLIVEIRA, V. C.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, K.C.; ANDRADE, F.B.; PEREIRA, J.; GUILHERME, L.R.G. Agronomic biofortification of carrot with selenium. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 42, n. 2, p. 138-147, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542018422031217>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542018000200138&lng=en&tlng=en. Acesso em: 10 abr. 2020.

PEIXOTO, J. V. M.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; PEREIRA, L. M.; LUZ, J. M. Q.; MARQUES, D. J. Comparison between non-parametric indexes in the selection of biofortified curly lettuce. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 11, p. 3351, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v11i.3351>. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/3351>. Acesso em: 10 abr. 2020.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. dos; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, 2012. 522 p.

REZENDE, J. C.; BOTELHO, C. E.; OLIVEIRA, A. C. B.; SILVA, F. L.; CARVALHO, G. R.; PEREIRA, A. A. Genetic progress in coffee progenies by different selection criteria. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 347-353, 2014. DOI: <https://doi.org/10.25186/cs.v9i3.643>. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/643>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SAMNOTRA, R. K.; GUPTA, A.; GUPTA, R. K.; SHARMA, R.; VERMA, V. S. Character association and path co-efficient studies in lettuce (*Lactuca sativa* L.) under temperate conditions of Jammu & Kashmir. **Vegetos**, Bareilly, v. 25, n. 2, p. 308-312, 2012. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Character-Association-and-Path-Co-efficient-Studies-Samnotra-Gupta/46feace599cc1734df5ec3724474c0d83bde5fd4>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; VITORINO, H. S.; RHEIN, A. F. L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 173-181, 2014. Disponível em:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15057>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SILVA, O. M. P.; LOPES, W. A. R.; NUNES, J. H. S.; NEGREIROS, M. Z.; SOBRINHO, J. E. Adaptability and phenotypic stability of lettuce cultivars in a semiarid region. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 552-558, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n228rc>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252019000200552&tlng=en. Acesso em: 10 abr. 2020.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**, London, v. 7, n. 3, p. 240-250, 1936. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x>. Acesso em: 11 abr. 2020.

SOUSA, C. S.; BONETTI, A. M.; GOULART FILHO, L. R.; MACHADO, J. R. A.; LONDE, L. N.; BAFFI, M. A.; RAMOS, R. G.; VIEIRA, C. U.; KERR, W. E. Divergência genética entre genótipos de alface por meio de marcadores AFLP. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 8, p. 11-16, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000100002>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052007000100002&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 13 abr. 2020.

SOUSA, L. A.; MACIEL, G. M.; JULIATTI, F. C.; BELOTI, I. F.; SIQUIEROLI, A. C. S.; CLEMENTE, A. A. Genetic dissimilarity between biofortified lettuce genotypes for leaf carotenoid levels. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 11, p. 3348, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v11i.3348>. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/3348>. Acesso em 20 set. 2020.

SOUZA, M. C. M.; RESENDE, L. V.; MENEZES, D.; LOGES, V.; SOUTE, T. A.; SANTOS, V. F. Variabilidade genética para características agronômicas em progênieis de alface tolerantes ao calor. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 354-358, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000300012>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362008000300012&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 12 abr. 2020.

STORCK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S.; ESTEFANEL, V. **Experimentação vegetal**. 3. ed. Santa Maria: UFSM, 2011. 200 p.

TASSONE, G. A. T.; NADALETI, D. H. S.; CARVALHO, G. R.; PEREIRA, F. A. C.; ANDRADE, V. T.; BOTELHO, C. E. Simultaneous selection in coffee progenies of Mundo novo by selection indices. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 83-92, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25186/cs.v14i1.1531>. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1531>. Acesso em 10 jun. 2020.

THAKUR, M.; KUMAR, R.; KUMAR, S. Studies on genetic variability, correlation and path analysis in lettuce (*Lactuca sativa* L.) under protected conditions. **Journal of**

Natural and Applied Science, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 1924-1930, 2016. DOI: <https://doi.org/10.31018/jans.v8i4.1064>. Disponível em: <https://journals.ansfoundation.org/index.php/jans/article/view/1064>. Acesso em: 20 fev. 2020.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, Washington, v. 18, n. 3, p. 375-393, 1962. DOI: <https://doi.org/10.2307/2527479>. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/2527479?origin=crossref&seq=1#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 20 fev. 2020.

CAPÍTULO III

ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS, CORRELAÇÕES E ÍNDICES DE SELEÇÃO EM LINHAGENS DE ALFACE CRESPA, ROXA E BIOFORTIFICADA

ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS, CORRELAÇÕES E ÍNDICES DE SELEÇÃO EM LINHAGENS DE ALFACE CRESPA, ROXA E BIOFORTIFICADA

RESUMO

A alface é considerada a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil e no mundo e a alface roxa tem alcançado nichos de mercado específicos. Estimativas de parâmetros genéticos, correlações e índices de seleção ajudam a determinar o efeito da seleção em todos os caracteres de interesse, com poucos estudos em germoplasma de alface roxa. O objetivo do presente estudo foi estimar parâmetros genéticos, as correlações e a eficiência de diferentes índices para a seleção de linhagens de alface crespa, roxa e biofortificadas. As análises estatísticas foram realizadas com base em 30 genótipos de alface (29 linhagens provenientes da hibridação entre as cultivares Pira 72 *versus* Uberlândia 10000 e 1 cultivar comercial Pira 72) pertencentes ao banco de germoplasma de alfaces biofortificadas da Universidade Federal de Uberlândia. Avaliou-se o peso da massa fresca, diâmetro da planta, diâmetro da haste, número de folhas, teor de antocianina, teor de clorofila a, teor de clorofila b, teor de clorofila total, teor de carotenóides, índice SPAD e temperatura foliar. Existem correlações positivas entre clorofila total e clorofila a, clorofila b e teor de carotenóides, bem como entre SPAD e teor de clorofila a. Os parâmetros teor de antocianina e SPAD e teor de clorofila a, apresentaram correlação negativa. O índice da soma de “ranks” de Mulamba e Mock se destacou e foram selecionadas 10 linhagens promissoras para serem lançadas como novos cultivares de alface roxa biofortificada.

Palavras-chave: alface roxa; antocianina; ganhos de seleção; variabilidade genética

ESTIMATES OF GENETIC PARAMETERS, CORRELATIONS AND SELECTION INDICES IN CURLY, RED AND BIOFORTIFIED LETTUCE LINES

ABSTRACT

Lettuce is considered the most consumed leafy vegetable in Brazil and worldwide, and red lettuce has reached specific niche markets. Estimates of genetic parameters, correlations and selection indexes help to determine the effect of selection on all characters of interest, with few studies on germplasm of red lettuce. The aim of the present study was to estimate genetic parameters, correlations and the efficiency of different indexes for the selection of curly, red and biofortified lettuce strains. Statistical analyzes were performed based on 30 lettuce genotypes (29 strains from hybridization between the cultivars Pira 72 versus Uberlândia 10000 and 1 commercial cultivar - Pira 72) belonging to the germplasm bank of biofortified lettuce from the Federal University of Uberlândia. Fresh weight, plant diameter, stem diameter, number of leaves, anthocyanin content, chlorophyll a content, chlorophyll b content, total chlorophyll content, carotenoid content, SPAD index and leaf temperature were evaluated. There are positive correlations between total chlorophyll and chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid content, as well as between SPAD and chlorophyll a content. The parameters of anthocyanin content and SPAD and chlorophyll a content showed a negative correlation. The Mulamba and Mock ranks index stood out and 10 promising strains were selected to be launched as new biofortified red lettuce cultivars.

Keywords: anthocyanin; genetic variability; red lettuce; selection gains

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa L.*) é considerada a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil e no mundo destacando-se como uma espécie de grande importância econômica e nutricional, sendo comercializada, principalmente *in natura*, apresentando diferentes formatos de cabeça, tipos e cores de folhas (SALA; COSTA, 2016).

Entre os diversos tipos de alfaces produzidos no Brasil, mais de 2000 hectares são de alfaces roxas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS, 2016). O cultivo de alface roxa tem permitido aos produtores agregar valor e alcançar nichos de mercado específicos, como as saladas prontas, assim como também para consumo processada, pois a cor da folha é um indicador de qualidade e é uma característica visual muito apreciada pelo consumidor (MAGALHÃES et al., 2017; MACIEL et al., 2019a).

Os principais grupos de pigmentos encontrados em alfaces e que são responsáveis pela coloração das mesmas são as clorofilas (como as clorofilas a e b), que causam a cor verde, os carotenoides (como o β -caroteno), responsáveis pela cor amarelo-laranja, que geralmente é mascarada em tecidos fotossinteticamente ativos, e os flavonóides (como as antocianinas), que proporcionam a cor vermelho-roxo nas folhas (ROCHA; REED, 2014).

Os pigmentos presentes na alface desempenham importantes funções fisiológicas, como processos fotossintéticos e defesa contra o estresse luminoso, mas também beneciciam a saúde humana, por sua ação antioxidante, antiinflamatória e propriedades anticarcinogênicas (KHOO et al., 2017; MAGALHAES et al., 2017).

Os carotenóides são pigmentos que protegem a molécula de clorofila contra a foto-oxidação em condições de luz excessiva além de auxiliarem na prevenção de várias doenças associadas ao estresse oxidativo, sendo precursores da vitamina A (ROCHA; REED, 2014; CASSETARI et al., 2015).

A clorofila é fundamental no processo de absorção de luz utilizada na fotossíntese, sendo descrita como o pigmento mais abundante nos tecidos vegetais, além de possuir propriedades anticancerígenas, efeito desintoxicante das células e poder de inibição dos radicais livres (ROCHA; REED, 2014).

As antocianinas são pigmentos produzidos através do metabolismo secundário das plantas, sendo encontrada em abundância em alfaces de coloração vermelho- roxa (SYTAR et al., 2018). Esse pigmento desempenha um papel importante devido à sua

atividade antioxidante, prevenção de doenças cardiovasculares e neurodegenerativas, alergias, osteoporose, entre outros benefícios a saúde humana (KRUGER, et al., 2014; LIU et al., 2018).

A mudança dos hábitos alimentares e a maior preocupação com a saúde afeta de forma direta a demanda por alface de maior qualidade nutricional, levando a um aumento na quantidade e variedade de produtos disponíveis ao consumidor (MULAGABAL et al., 2010; PEIXOTO et al., 2020). Nesse sentido, Cecatto (2012) ressaltou que a crescente procura por alface roxa em relação à alface verde se dá por conta da presença e do maior conteúdo de compostos fenólicos, fibras e vitamina C e que a ingestão regular de alface roxa diminui a peroxidação dos lipídios no organismo graças à presença de antioxidantes, como a antocianina.

Os programas de melhoramento de alface visam principalmente desenvolver cultivares produtivas, com características agrônômicas desejáveis, contudo o ramo de desenvolvimento de alfaces biofortificadas, como a seleção de genótipos com maior teor de carotenóides, vem crescendo (SOUSA et al., 2007; CASSETARI et al., 2015; JACINTO et al., 2019; SOUSA et al., 2019; SILVEIRA et al., 2019; SOUSA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2019), porém a maioria se refere a germoplasma de alfaces verdes.

Foi observada correlação positiva entre teor de carotenóide e teor de clorofila em alface, mensurado de forma indireta com a utilização do índice *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) (SILVA et al., 2014; CASSETARI et al., 2015). Para fins de melhoramento de plantas, estudos de correlação ajudam a determinar o efeito da seleção em todos os caracteres de interesse (OLAWUYI et al., 2014). Nesse sentido, as correlações fenotípicas e genotípicas são as mais utilizadas pelos melhoristas sendo que essa última envolve associações de natureza herdável e são de baixa complexidade de obtenção (CRUZ et al., 2012).

Além disso, as estimativas de parâmetros genéticos, como coeficiente de determinação genotípica e ganho genético permitem fazer inferências sobre a variabilidade genética que o germoplasma apresenta e o que pode se esperar de ganho com seleção. As estimativas obtidas são usadas pelo melhorista para definir as melhores estratégias de seleção para a obtenção de genótipos superiores (CORREIA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2019).

Um dos grandes entraves nos programas de melhoramento de alface tem sido selecionar genótipos superiores a partir de múltiplas variáveis de interesse (MACIEL et

al., 2019a). Para tal, a teoria de índices de seleção permite a combinação linear ótima em um conjunto de informações provenientes da unidade experimental, possibilitando realizar com eficiência a seleção simultânea de caracteres (CRUZ et al., 2012). Diante disso, faz-se necessário estudar as correlações, estimativas de parâmetros genéticos e índices de seleção especialmente em germoplasma de alface roxa.

O objetivo do presente estudo foi estimar parâmetros genéticos, a correlação e a eficiência de diferentes índices para a seleção de linhagens de alface crespa, roxa e biofortificadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em 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). O delineamento foi em blocos completos casualizados com três repetições e 30 tratamentos. Foram avaliadas 29 linhagens de alface crespa do tipo roxa, e a cultivar comercial Pira 72. As linhagens são provenientes da hibridação realizada em 2013 entre as cultivares Pira 72 *versus* Uberlândia 10000, rica em carotenóides (SOUSA et al., 2007), seguida de sete sucessivas autofecundações, realizadas entre 2014 e 2018. O método de melhoramento utilizado foi o genealógico. Essas linhagens fazem parte do Programa de Melhoramento Genético de alface Biofortificada da UFU, sendo toda a genealogia armazenada no Software "BG α BIOFORT" registrado no INPI BR512019002403-6 (MACIEL et al., 2019b).

A semeadura foi efetuada em 29 de junho de 2019. As mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 200 células preenchidas com substrato comercial à base de fibra de coco. Após a semeadura, as bandejas foram alocadas em casa de vegetação do tipo arco, com dimensões de 5 m x 6 m e pé direito de 3,5 m, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micra, aditivado contra raios ultravioleta, e cortinas laterais de tela branca antiafídeos. Aos 37 dias decorrentes da semeadura, realizou-se o transplante das mudas para canteiros definitivos em campo. Os canteiros foram formados utilizando rotoencanteirador de 1,30 m de largura.

O solo da área experimental apresentou as seguintes características na profundidade de 0-20 cm: textura argilosa (> 50%); pH (CaCl₂) = 4,9; MO = 3,9 dag kg⁻¹; P (rem) = 79,1 mg dm⁻³; K = 0,29 cmolc dm⁻³; Ca = 3,3 cmolc dm⁻³; Mg = 1,3

cmolc73dm-3; H + Al = 4,90 cmolc dm-3; SB = 4,90 cmolc dm-3; CEC = 9,80 cmolc dm-3; V (%)= 50. Os tratos culturais foram realizados conforme preconizado para o cultivo de alface (FILGUEIRA, 2013).

As parcelas experimentais foram constituídas por 20 plantas, distribuídas em quatro fileiras por canteiro no espaçamento de 0,25 m x 0,25 m. Quando as plantas atingiram o ponto comercial, aos 35 dias após o transplântio, foi mensurado ainda em campo o índice SPAD, com o auxílio do medidor de clorofila modelo Minolta SPAD-502 CFL1030. Concomitantemente às leituras de índice SPAD, foi medida a temperatura foliar (T) a qual foi obtida pelo posicionamento de um termômetro infravermelho (modelo 4000.4GL, Everest Interscience, Tucson, AZ, USA) nas folhas superiores, procurando-se apontar o sensor na posição central da superfície foliar. Foram avaliadas quatro plantas por parcela, com três leituras por planta, obtendo-se assim a média da parcela.

A colheita foi realizada aos 35 dias após o transplântio, sendo avaliadas oito plantas por parcela, das quais quatro foram destinadas para avaliações agrônômicas (peso da massa fresca (g) (PMF), diâmetro da planta (cm) (DP), diâmetro da haste (mm) (DH), número de folhas (NF)). As demais plantas foram conduzidas ao laboratório, onde foram processadas para a quantificação do teor de antocianina (ANT), teor de clorofila a (CLA), teor de clorofila b (CLB), teor de clorofila total (CLT) e teor de carotenóides (CAT).

O PMF foi obtido pela pesagem de todas as folhas externas. O DH foi mensurado com auxílio de um paquímetro. O NF foi quantificado pela contagem de folhas superiores a 5 cm de comprimento. O DP foi avaliado com auxílio de uma régua graduada. O teor de ANT foi quantificado pelo método descrito por Francis (1982). A concentração de pigmentos antocianínicos foi realizada com base na absorbância, conforme a equação: $At = \frac{(Abs * f)}{\epsilon}$, em que: At= antocianinas (mg de cianidina-3-glicosídeo 100g-1 de massa fresca); Abs= absorbância em comprimento de onda de 535 nm; f= fator de diluição; ϵ = coeficiente de absorvidade molar da cianidina (98,2).

Os teores de CLA, CLB, CLT e CAT foram obtidos após extração em éter de petróleo:acetona (1:1), a partir das leituras em espectrofotômetro digital UV-Visível Mod. GTA-96 nos comprimentos de onda de 645, 652, 663 e 470 nm, respectivamente, seguindo a metodologia descrita por Cassetari et. al (2015), com adaptações.

Com o intuito de avaliar a existência de variabilidade genética para os caracteres quantitativos, realizaram-se análises de variância (ANOVA) conforme o modelo: $Y_{ij} = \mu + b_j + G_i + \epsilon_{ij}$; em que: Y_{ij} : é o valor de cada caráter para o i -ésimo genótipo no j -ésimo bloco; μ : média geral; G_i : efeito do i -ésimo genótipo; b_j : efeito do j -ésimo bloco; ϵ_{ij} : erro aleatório.

Os dados obtidos foram analisados, visando estimativas do ganho de seleção. Além disso, foi realizada análise de variância ($F=0,01$ e $F=0,05$) com os quadrados médios (QMG) das características avaliadas. Também foram calculados o coeficiente de variação genética (CVg), a relação entre o coeficiente de variação genética (CVg) e o ambiental (CVe) – CVg/CVe e o coeficiente de determinação genotípica (h^2) para cada variável analisada no experimento. O h^2 foi determinado conforme o seguinte estimador:

$$h^2 = \frac{\sigma P}{\frac{QMT}{r}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\sigma P = \frac{QMT - QMR}{r} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que: h^2 : coeficiente de determinação genotípica; σP : componente quadrático genético; QMT: quadrado médio de genótipos; QMR: quadrado médio do resíduo; r : número de repetições.

As correlações fenotípicas e as correlações genotípicas foram obtidas, por meio dos estimadores:

$$r_f = \frac{PMG_{xy}}{\sqrt{QMG_x * QMG_y}} \quad (\text{Eq.3})$$

$$r_g = \frac{\sigma_{gxy}}{\sqrt{\sigma_{gx}^2 * \sigma_{gy}^2}} \quad (\text{Eq.4})$$

em que: PMG: produto médio associado aos genótipos; QMG: quadrado médio dos genótipos; X e Y: caracteres analisados; σ_{gxy} : estimador da covariância genotípica entre os caracteres X e Y, e σ_{gx}^2 e σ_{gy}^2 : estimadores das variâncias genotípicas dos caracteres X e Y, respectivamente (CRUZ, et al., 2012).

Os parâmetros “Coeficiente de variação experimental (CVe)” e “Coeficiente de variação genético (CVg)” indicam, respectivamente, a magnitude das variações causadas pelos desvios da média devido aos efeitos de ambiente e aquelas devido aos efeitos genéticos. São calculados como segue:

$$CV_g \% = \frac{\sigma_P^{0.5}}{M} \times 100 \quad (\text{Eq.5})$$

$$\sigma_P = \frac{QMT - QMR}{r} \quad (\text{Eq. 6})$$

em que: M: média experimental; QMT: quadrado médio de genótipos; QMR: quadrado médio do resíduo; r: número de repetições.

$$CV_e = \frac{\sigma_E}{M} \times 100 \quad (\text{Eq.7})$$

em que: σ_E : desvio-padrão do resíduo experimental, igual a $QME^{0.5}$; M: média experimental.

Para as estimativas dos ganhos de seleção, foram utilizadas as seguintes metodologias: seleção direta e indireta (CRUZ, et al., 2012) índice clássico, proposto por Smith (1936) e Hazel (1943); índice da soma de “ranks” de Mulamba e Mock (1978) e índice base de Willians (1962). O ganho esperado pela seleção direta (CRUZ, et al., 2012) no i-ésimo caráter (GS_i) foi obtido pela equação:

$$GS_i(\%) = (X_{si} - X_{oi})h^2_i = DS_i h^2_i \times 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

em que: X_{si}: média das linhagens selecionados para o caráter i; X_{oi}: média original da população; DS_i: diferencial de seleção praticado na população; h²_i: herdabilidade do caráter i, no sentido amplo.

O ganho indireto (CRUZ, et al., 2012) no caráter j, pela seleção no caráter i, foi dado por:

$$GS_{j(i)} = DS_{j(i)} h^2_i \quad (\text{Eq.9})$$

em que: $DS_{j(i)}$: diferencial de seleção indireto obtido por meio da média do caráter dos indivíduos cujas superioridades foram evidenciadas com base em outro caráter, sobre o qual se realiza a seleção direta.

O índice clássico proposto por Smith (1936) e Hazel (1943) é estimado por uma combinação linear realizada entre os caracteres analisados. Esse foi determinado pelo índice de seleção (I) e o agregado genotípico (H) descrito a seguir:

$$I = b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_n y_n = \sum_{i=1}^n b_i y_i = y'b \quad (\text{Eq. 10})$$

$$H = a_1 g_1 + a_2 g_2 + \dots + a_n g_n = \sum_{i=1}^n a_i g_i = g'a \quad (\text{Eq. 11})$$

em que: n: número de caracteres avaliados; b: vetor de dimensão 1 x n dos coeficientes de ponderação do índice de seleção a ser estimado; y: matriz de dimensão n x p (plantas) de valores fenotípicos dos caracteres; a: é o vetor de dimensão 1 x n de pesos econômicos previamente estabelecidos; g: matriz de dimensão n x p de valores genéticos desconhecidos dos n caracteres considerados.

O vetor $b = P^{-1} Ga$, em que P^{-1} é o inverso da matriz, de dimensão n x n, de variâncias e covariâncias fenotípicas entre os caracteres. G é a matriz, de dimensão n x n, de variâncias e covariâncias genéticas entre os caracteres. O ganho esperado para o caráter j foi determinado por:

$$\Delta g_{j(i)} = DS_{j(i)} h^2_j \quad (\text{Eq. 12})$$

em que: $\Delta g_{j(i)} = g_{j(i)}$: ganho esperado para o caráter j, com a seleção baseada no índice I; $DS_{j(i)}$: diferencial de seleção do caráter j, com a seleção baseada no índice I; h^2_j : herdabilidade do caráter j, no sentido amplo.

O índice baseado na soma de ranks (Mulamba e Mock, 1978) não necessita das estimativas de variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas, tampouco da atribuição de pesos econômicos aos caracteres estudados (CRUZ, et al., 2014). Esse índice hierarquiza os genótipos pela atribuição de valores absolutos mais elevados àqueles de melhor desempenho, considerando cada característica analisada. Posteriormente, é realizada a soma das ordens de cada genótipo referente a cada caráter estudado, resultando no índice de seleção descrito abaixo:

$$I = r_1 + r_2 + \dots + r_n \quad (\text{Eq. 13})$$

em que: I: valor do índice para determinado indivíduo ou família; r_j : classificação (ou rank) de um indivíduo em relação ao j-ésimo caráter; n: número de caracteres considerados no índice. Esse método possibilita que sejam atribuídos pesos diferentes para ordenar a classificação das variáveis, conforme especificado pelo melhorista. Dessa forma, os pesos econômicos foram dados por:

$$I = p_1 r_1 + p_2 r_2 + \dots + p_n r_n \quad (\text{Eq. 14})$$

em que: p_j : peso econômico atribuído ao j-ésimo caráter.

O índice base de Willians (1962) estabelece um índice dado pela combinação linear dos valores fenotípicos médios dos caracteres, os quais são ponderados pelos respectivos pesos econômicos. O índice é dado por:

$$I = a_1 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_n y_n = \sum_{i=1}^n a_i y_i = y'a \quad (\text{Eq. 15})$$

em que: y: são as médias; a: são os pesos econômicos dos caracteres estudados.

O critério de seleção utilizado para todos os índices avaliados foi o acréscimo de todos os caracteres. O peso econômico adotado foi o coeficiente de variação genético de cada variável, conforme recomendado por Cruz et al. (2012). As análises estatísticas foram realizadas no programa Genes v. 2015.5.0 (CRUZ, 2013) e os gráficos de redes de correlações foram feitos no programa R version 3.1.2 (R CORE TEAM, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis analisadas foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, exceto o índice SPAD, que foi significativo a 5% de probabilidade e T que não foi significativa (Tabela 1). Este fato indica a existência de variabilidade genética do germoplasma para a maioria das características avaliadas, condição necessária ao melhoramento de plantas (TAHKUR et al., 2016).

Tabela 1. Quadrados médios, coeficientes de variância e parâmetros genéticos de variáveis de 30 genótipos de alface roxa. UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil.

Variáveis ¹	QMG ²	H ² (%)	CVg (%)	CVg/CVe	CV (%)
SPAD	23,1840*	46,1	5,9	0,53	11,0
ANT	689,2876**	93,9	30,1	2,28	13,2
CLA	1,1277**	65,7	8,8	0,80	11,0
CLB	1,4267**	80,7	20,1	1,18	17,0
CLT	3,2899**	71,6	10,1	0,92	11,1
CAT	0,0091**	82,8	9,6	1,27	7,6
PMF	11269,9161**	99,4	33,0	7,48	4,4
DH	0,1583**	72,5	16,7	0,94	17,8
NF	53,9651**	97,3	23,4	3,51	6,6
DP	35,4498**	82,52	14,43	1,25	11,50
T	4,0868 ^{ns}	34,00	2,68	0,41	6,46

¹SPAD: índice SPAD; ANT: teor de antocianina; CLA: teor de clorofila A; CLB: teor de clorofila B; CLT: teor de clorofila total; CAT: teor de carotenóides; PMF: peso de massa fresca; DH: diâmetro da haste; NF: número de folhas; DP: diâmetro da planta; T: Temperatura foliar;

²QMG: quadrado médio dos genótipos; H²: coeficiente de determinação genotípica; CV: coeficiente de variação geral; CVg: coeficiente de variação genético; CVe: coeficiente de variação experimental;

** e * significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo.

O coeficiente de variação (CV) é um parâmetro muito utilizado para comparação da precisão experimental (SILVA et al., 2019). Valores acima de 30% indicam alta dispersão dos dados, também se relacionando a caracteres quantitativos controlados por muitos genes, altamente afetados pelo ambiente (TEIXEIRA, et al., 2017). Segundo Pimentel-Gomes (2009) coeficientes abaixo de 10% são considerados baixos e entre 10 e 20% são considerados médios.

No presente trabalho o CV apresentou valores baixos e médios fluando de 4,42% para PMF a 17,83% para DH (Tabela 1). Isto demonstra maior precisão experimental e baixa dispersão dos dados na análise de variância (PEIXOTO et al., 2020). Zuffo et al. (2016) avaliando crescimento de quatro cultivares de alface nas condições do sul do Piauí, encontraram valores de CV para NF de 13,48%, PMF de 14,46%. Queiroz et al. (2014) e Cândido et al. (2017), encontraram em alface valores de CV de 10,74% e 7,79% para NF, respectivamente. Peixoto et al. (2020) encontraram valores de CV semelhantes ao encontrado no presente trabalho para: DH (11,99%), NF (9,77%), DP de 7,99%, T de 8,40% e índice SPAD (6,24%). Já em relação ao teor de ANT encontraram valor mais elevado, de 28,84%. Diferente do encontrado em nosso estudo, Ragheb (2015) obteve valores elevados de CV para NF (30,21%), DH (32,48%) e PMF (29,59%).

O conhecimento da extensão da variabilidade genética na população através da determinação do CVg é de suma importância em um programa de melhoramento (LEITE et al., 2016). No presente trabalho o coeficiente de variação genético (CVg), adotado como peso econômico, os valores obtidos em ordem decrescente foram: PMF (33,03%), ANT (30,10%), NF (23,44%), CLB de 20,16%, DH (16,76%), DP (14,43), CLT de 10,19%, CAT de 9,68%, CLA de 8,84%, índice SPAD (5,91%) e T (2,68%) (Tabela 1). Dessa forma para a maioria das características avaliadas os valores de CVg foram considerados altos.

Peixoto et al. (2020), comparando a eficiência de diferentes índices de seleção em alface biofortificada provenientes do mesmo programa de melhoramento (geração F7), encontraram valores de CVg para PMF de 23,86%, DH de 7,06%, NF de 18,42%, DP de 7,54% e SPAD de 17,57%. Esta diferença pode ser compreendida por se tratar de outra geração conduzida em diferente época. Tahkur et al. (2016) em um programa de melhoramento na cultura da alface, encontraram valores moderados a altos de CVg para PMF (15,49%), NF (15,45%) e β -caroteno (21,0%). Azevedo et al. (2014), avaliando

parâmetros genéticos e características agronômicas em cultivares de alface encontraram valores de CVg para DP de 7,15%, PMF de 14,23% e NF de 36,70%.

O conhecimento do coeficiente de determinação genotípica (h^2) pode ser considerado o melhor parâmetro genético utilizado pelos melhoristas, pois permite antever a possibilidade de sucesso com a seleção, uma vez que reflete a proporção da variação fenotípica herdada (RAGHEB, 2015). Os valores de h^2 variam com os diferentes caracteres e, geralmente, são considerados altos quando superiores a 0,7 (RAMALHO et al., 2012). No presente trabalho as variáveis que tiveram h^2 superior a 0,7 foram: PMF (99.41%), NF (97.36%), ANT (93,97%), CLB (80,78%), CAT (82.87%), DP (82.52%), CLT (71.68%) e DH (72.59%) (Tabela 1). Alta herdabilidade sugere maior papel da constituição genética na expressão das características em estudo, e esse comportamento tende a ser expresso nas futuras gerações (TAHKUR et al., 2016).

Valores semelhantes de h^2 em NF, também foram obtidos em trabalhos de Silva et al., (2019) e Queiroz et al. (2014), encontrando respectivamente 96% e 95% na cultura da alface para esta característica. Tahkur et al. (2016) avaliando 28 genótipos de alface em condições de cultivo protegido encontraram valores de h^2 de 65,30% para PMF, 58,10% para β caroteno e 83,50% para NF. Ragheb (2015) encontrou valores de h^2 para NF de 99,23%, DH de 79,18%, DP de 98,78% e PMF de 99,66%.

Assim como observado no presente trabalho no que diz respeito aos valores de h^2 para a característica ANT, Mamo et al. (2019), caracterizando a relação entre resistência ao tombamento e pendoamento precoce com o teor de antocianina na cultura da alface obteve valores de elevados h^2 na ordem de 93%. Oliveira et al., (2019) também encontraram valores elevados da ordem de 81,52%. Os valores elevados de h^2 nas características avaliadas indicam que novos cultivares e linhagens podem ser desenvolvidos com a combinação de características favoráveis (SIMKO, 2019).

O valor de h^2 para a variável SPAD, foi de 46,18%, valores discrepantes do encontrado por Peixoto et al. (2020) de 95,96% e Sousa et al. (dados não publicados) de 96,05%. Mesmo que provenientes do mesmo programa de melhoramento, vale ressaltar que estas diferenças advêm do fato de que o germoplasma avaliado no presente trabalho é composto por alfices com coloração roxa enquanto os genótipos avaliados pelos autores em questão são de alfices de cor verde além de se tratar de gerações distintas. Segundo Blank et al. (2010) a estimativa de herdabilidade não é um valor intrínseco a

característica, variando entre ambientes, genótipos e local, comportamento este que ficou evidente no estudo.

A seleção é adequada para obtenção de ganhos de seleção quando a relação CV_g/CV_e tende a valores maiores ou iguais a 1,0 (CRUZ et al., 2014). Comportamento este que indica que os fatores genéticos possuem maior influência na expressão da característica quando comparados a fatores ambientais, proporcionando facilidade na seleção de indivíduos superiores para as características (JÚNIOR et al., 2018). No presente trabalho, para as características ANT, CLB, CAT, PMF, NF e DP, esta relação foi superior a 1 (Tabela 1). Os resultados sugerem uma perspectiva de sucesso em seleção fenotípica, confirmada pela razão CV_g / CV_e . Já os valores para CLA, CLT, DH ficaram próximos a 1 e para as variáveis SPAD e T estes valores foram baixos.

Observa-se que as variáveis SPAD e T apresentaram valores baixos para CV_g , CV_g/CV_e e h^2 indicando que as variações ambientais tiveram contribuições superiores às variações totais para estas características.

Azevedo et al. (2014) também encontraram valores de CV_g/CV_e acima de 1 para PMF (1,05) e NF (2,73) além disto encontrou para DP valor de 0,60. Peixoto et al. (2020) encontraram valores de 0,59 para DH, 1,88 para NF, 0,94 para DP e 2,81 para SPAD.

O conhecimento das inter-relações entre as diversas características agrônômicas é de suma importância para o planejamento de um programa de melhoramento genético, contribuindo também para a compreensão da ação dos genes. Assim, o uso de correlações genotípicas e fenotípicas é uma importante ferramenta, contribuindo na seleção e determinação de caracteres de difícil mensuração através da seleção de outro caractere de mais fácil avaliação (RAGHEB, 2015).

As estimativas das correlações genotípicas evidenciaram pares significativos positivos para CLT x CLB (0,83), CLT x CLA (0,73), SPAD x T (0,63), NF x DH (0,58), NF x DP (0,50), DH x DP (0,45), SPAD x CLA (0,43) e CLT x CAT (0,41). As correlações fenotípicas positivas e significativas em ordem decrescente foram entre os pares CLT x CLB (0,82), CLT x CLA (0,77), NF x DP (0,44), NF x DH (0,49) e entre CLT x CAT (0,37) (Figura 1A e 1B).

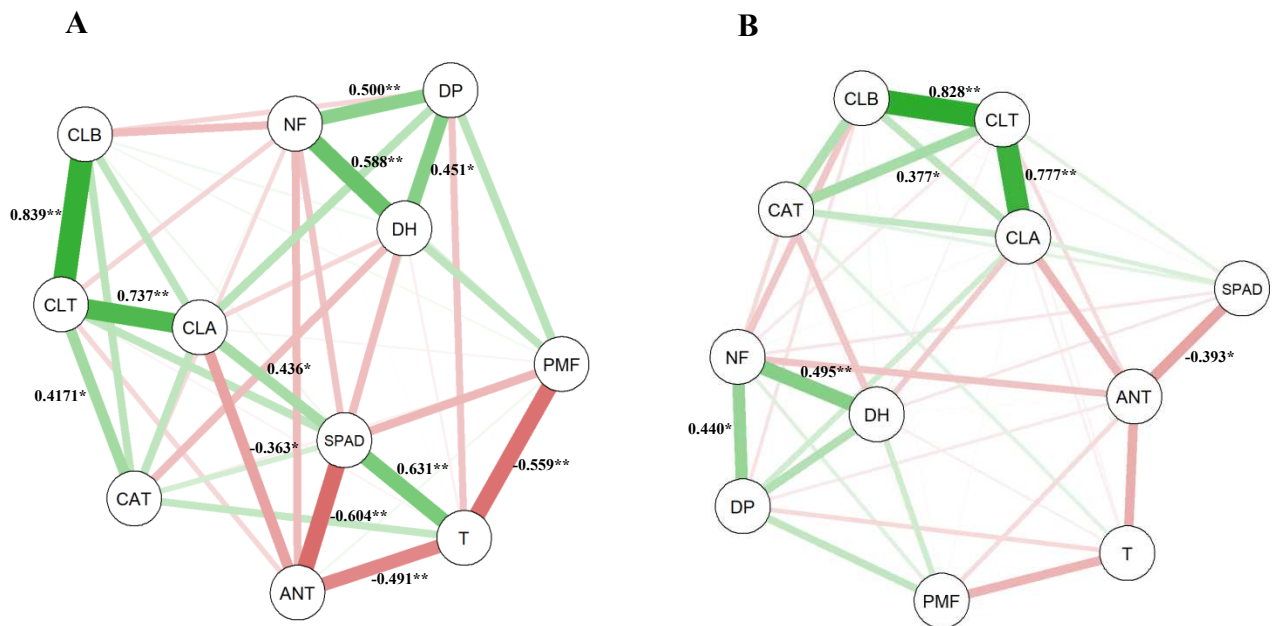


Figura 1. Rede de correlações genotípicas (A) e fenotípicas (B) aplicadas nas características: índice SPAD (SPAD); teor de antocianina (ANT); teor de clorofila (CLA); teor de clorofila b (CLB); teor de clorofila total (CLT); teor de carotenóides (CAT); peso de massa fresca (PMF); diâmetro da haste (DH); número de folhas (NF); diâmetro da planta (DP); temperatura foliar (T) em genótipos de alface crespa roxa. As linhas vermelhas representam correlações negativas e as linhas verdes representam correlações positivas. A espessura da linha é proporcional à magnitude da correlação. UFU, Monte Carmelo-MG, Brasil. Significativo a 5% * e 1% ** de probabilidade pelo teste t.

Léon et al. (2007), na cultura da alface, encontraram altas correlações lineares entre índice SPAD e CLA, SPAD e CLB, SPAD e CLT, da ordem de 0,90; 0,85; 0,92, respectivamente. Cassetari et al. (2015) encontraram alta correlação entre teor de clorofila e o teor de carotenóides na ordem de 0,81. Da mesma forma, no presente estudo também foram encontradas correlações positivas entre clorofila a, clorofila b, clorofila total e teor de carotenóides. Damerum et al. (2015), elucidando as bases genéticas do potencial antioxidante na cultura da alface, encontraram correlação positiva entre teor de carotenóides e teor de clorofila de 0,98.

Manpholo et al. (2016) encontrou correlação positiva entre β -caroteno e clorofila A (0,66), clorofila b (0,67) e clorofila total (0,73). Já Simko (2019), encontrou valores de correlação linear positivos, porém baixos entre clorofila e β -caroteno em minialfaces. Segundo o mesmo, essa baixa correlação pode ter origem nas diferentes condições de crescimento, idade das plantas ou combinação de múltiplos fatores.

Sousa et al. (2020) avaliando a dissimilaridade genética de 91 genótipos de

alface provenientes do mesmo programa de melhoramento (geração F4) também encontraram correlação positiva entre NF e DH (0,59), NF e DP (0,24) e entre DP e DH (0,24). Azevedo et al. (2013) encontraram correlação genotípica positiva entre PMF e DP (0,89), bem como Peixoto et al. (2020) encontraram correlação genotípica e fenotípica positiva entre PMF e DP de 0,80 e 0,77, respectivamente, situação similar ao presente estudo, apesar dessa correlação não ter sido significativa e ter sido de menor magnitude para PMF x DP (0,30).

As estimativas das correlações genotípicas evidenciaram associações negativas significativas para os pares ANT x SPAD (-0,60), ANT x T (-0,49), ANT x CLA (-0,36) e entre PMF x T (-0,29). Já as correlações fenotípicas negativas e significativas foram apenas entre ANT x SPAD (-0,39) (Figura 1A e 1B). O metabolismo da antocianina pode ser influenciado por fatores ambientais como a temperatura, por exemplo, onde a baixa temperatura promove biosíntese do pigmento e a alta temperatura induz a sua degradação (MOVAHED et al., 2016).

Foram observadas correlações negativas entre teor de antocianina e os teores de clorofila a, b e total e índice SPAD, apesar de algumas delas não terem sido significativas. O germoplasma de alface avaliado é de cor roxa e sabe-se que o pigmento antocianina é geralmente responsável pela cor vermelha, azul, rosa e roxa das folhas enquanto clorofila está envolvida na pigmentação da folha de cor verde (IWASHINA, 2015). Além de ser influenciado por fatores ambientais, o teor de antocianina é também influenciado pelo teor de clorofila, então quanto maior o teor de antocianina, menor o teor de clorofila nas folhas (ISLAM et al., 2019). Essa situação foi evidenciada pela correlação negativa entre esses caracteres avaliados no presente trabalho.

Essa mesma relação foi detectada entre grupos de pimenta, indicando que a diminuição da clorofila foi devido à alta concentração de antocianina (STOMMEL et al., 2014). Já em trabalho de Simko (2019) avaliando 42 acessos de mini alface encontraram correlação positiva entre β -caroteno e antocianina (0,55) e entre clorofila e antocianina de 0,49, porém os acessos testados na grande maioria eram de folhas de cor verde.

Em programa de melhoramento na cultura da colza (*Brassica napus*), correlações negativas e positivas entre teor de antocianinas e teor de clorofila foram obtidas em diferentes gerações (DAI et al., 2016).

Os resultados obtidos para ambos os tipos de correlações foram próximos para a maioria das características avaliadas, sendo as correlações genotípicas em geral maiores que as fenotípicas. Portanto, a pequena diferença entre os valores de correlações genotípica e fenotípicas exibidas por algumas das variáveis indicam que os fatores ambientais têm impacto mínimo sobre tais características. Este mesmo fato foi observado por Tahkur et al. (2016) e Peixoto et al. (2020).

Neste estudo, a seleção direta, em geral, obteve maiores ganhos do que a seleção indireta. Os maiores ganhos obtidos com a seleção direta individual foram para os caracteres: PMF (33,61%), ANT (30,42%), NF (24,92%), CLB (18,09%) e CAT (7,74%). Já em relação aos ganhos totais os maiores foram para: PMF (51,05%), ANT (43,22%), CLB (40,88%), DH (35,69%), NF (30,38%) e CAT (30,25%) (Tabela 2). A variável T apresentou o menor ganho individual (1,55%) pela seleção direta o que condiz com seu baixo CVg (2,68%) (Tabela 1 e 2).

Tabela 2. Estimativas de ganhos de seleção (GS%) obtidos para 11 caracteres avaliados, pela seleção direta (valores em negrito) e indireta, em 30 genótipos de alface roxa biofortificada. UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil

Variáveis	GS%										
	SPAD ¹	ANT	CLA	CLB	CLT	CAT	PMF	DH	NF	DP	T
SPAD	4.82	-1.35	0.90	-1.19	-0.79	-0.31	-0.92	1.29	-0.60	1.22	1.11
ANT	-22.39	30.42	-19.08	10.5	-1.91	1.54	6.79	1.04	-6.21	-7.20	-8.31
CLA	2.45	-0.65	7.41	2.27	5.81	1.90	-1.34	-1.20	1.22	4.53	0.84
CLB	-2.22	-0.20	3.99	18.09	14.75	8.47	8.87	1.48	-5.18	-4.12	1.81
CLT	1.03	-0.52	6.48	7.26	8.72	3.99	1.84	-0.38	-0.77	1.90	1.17
CAT	0.96	-0.32	2.93	4.06	6.35	7.74	2.77	-1.76	-0.80	0.96	5.34
PMF	-7.49	12.77	-1.56	6.30	-2.17	5.68	33.61	4.53	3.47	7.40	-21.72
DH	-2.14	2.42	-7.11	1.38	-5.87	-2.97	3.04	14.44	8.84	1.17	-6.08
NF	5.16	4.20	1.21	-6.05	-4.64	1.56	-3.69	12.90	24.92	5.03	-3.49
DP	1.93	1.47	0.75	-1.24	-4.44	2.26	0.32	3.97	5.06	13.43	-3.13
T	0.15	-0.82	-0.31	-0.50	0.05	0.39	-0.24	-0.62	0.43	-0.37	1.55
Total	-17.74	43,22	-4.39	40.88	15.86	30.25	51.05	35.69	30.38	23.95	-30.91

¹SPAD: índice SPAD; ANT: teor de antocianina; CLA: teor de clorofila a; CLB: teor de clorofila b; CLT: teor de clorofila total; CAT: teor de carotenóides; PMF: peso de massa fresca; DH: diâmetro da haste; NF: número de folhas; DP: diâmetro da planta; T: Temperatura foliar.

A seleção direta para ANT levou a ganhos indiretos de PMF (12,77%), DH (2,42%), NF (4,20) e DP (1,47%). Já a seleção para CLB levou a ganhos indiretos para ANT (10,5%), CLT (7,26%), PMF (6,30%), CAT (4,06%), CLA (92,27%) e DH (1,38%). Para CAT a seleção direta levou a ganhos indiretos para CLB (8,47%), PMF (5,68%), CLT (3,99), DP (2,26%), CLA (1,90%), NF (1,56%) e ANT (1,54%) e a seleção para PMF levou a ganhos indiretos para CLB (8,87%), ANT (6,79%) DH (3,04%), CAT (2,77%), CLT (1,84%) e DP (0,32%), mostrando serem as melhores estratégias de seleção direta, promovendo ganhos indiretos para características agrônômicas importantes. As características SPAD, CLA e T, apresentaram valores negativos de ganho de seleção totais (Tabela 2), mostrando não serem boas estratégias de seleção direta nesse germoplasma.

A cor, tamanho, textura, sabor são importantes parâmetros para uma comercialização bem-sucedida de alface e esses fatores podem determinar o preço de mercado e a preferência do consumidor (SALA; COSTA, 2016). A alface é comercializada inteira ou em pedaços frescos. Atualmente diferentes tipos de alface com várias cores e as formas são embaladas para misturas de salada recém-cortadas. No entanto, o conteúdo fitoquímico e a composição podem variar entre as diferentes variedades e é importante escolher as que são ricas em compostos bioativos, como antocianina, clorofilas, carotenóides. (MAMPHOLO et al., 2016).

Atualmente a população vem se tornando mais consciente em relação ao consumo de alimentos funcionais, em virtude do conhecimento dos benefícios que esses alimentos proporcionam ao organismo. Nesse sentido, considerando-se os benefícios da alface roxa, uma dieta baseada nesse alimento funcional se torna uma estratégia segura para promover saúde e bem estar ao ser humano (SILVA et al., 2015), já que a ingestão de vegetais ricos em antocianina têm mostrado muitos benefícios para a saúde, como melhora visual, efeito anticancerígeno e antimutagênico, especialmente devido à forte propriedade antioxidante desse composto (MAMPHOLO et al., 2016).

Para os padrões de comercialização características como o número de folhas e o peso da massa fresca são parâmetros relevantes, pois além de serem importantes na determinação da produção, podem apontar se uma planta é viável ou inviável para o consumo in natura, pois as folhas é que serão comercializadas (BRZEZINSKI et al.,

2017). Além disso, cultivares que apresentam maior número de folhas são preferidas (SALA; COSTA, 2012; RESENDE et al., 2017).

A seleção através de índices, diferente da seleção direta, propicia selecionar simultaneamente a combinação de vários parâmetros importantes, aumentando as chances de sucesso em um programa de melhoramento (CRUZ et al., 2014). O índice Mulamba e Mock e o índice de Smith e Hazel mostraram resultados comparáveis, bem como os maiores ganhos para CAT (1,92 %), PMF (33,31%) e redução para DP (-1,44%). O índice de Mulamba e Mock resultou no maior valor de ganho de seleção total (65,23%) apresentando maiores ganhos para ANT (16,61%), CLB (4,23), CLT (1,06%), DH (8,22%), NF (7,15%) e DP (3,32%) e apresentou altos ganhos para PMF (27,06) (Tabela 3), mostrando ser o índice de seleção mais adequado de acordo com as características avaliadas.

Tabela 3. Estimativas de ganhos de seleção (GS%) obtidos para 11 caracteres, obtidos pelo índice clássico proposto por Smith e Hazel (SH), índice da soma de “ranks” de Mulamba & Mock (MM) e índice base de Willians (W) em 30 genótipos de alface roxa biofortificada. UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil

Índice	GS%											Total
	SPAD ¹	ANT	CLA	CLB	CLT	CAT	PMF	DH	NF	DP	T	
W	-1.34	13.8	-0.99	4.06	0.57	1.92	33.31	3.87	-1.19	-0.13	-0.77	53.11
SH	-1.34	13.8	-0.99	4.06	0.57	1.92	33.31	3.87	-1.19	-0.13	-0.77	53.11
MM	-1.40	16.61	-0.38	4.23	1.06	0.00	27.06	8.22	7.15	3.32	-0.64	65.23

¹SPAD: índice SPAD; ANT: teor de antocianina; CLA: teor de clorofila a; CLB: teor de clorofila b; CLT: teor de clorofila total; CAT: teor de carotenóides; PMF: peso de massa fresca; DH: diâmetro da haste; NF: número de folhas; DP: diâmetro da planta; T: Temperatura foliar.

Os mesmos genótipos foram selecionados pelos índices de Willians e Smith e Hazel, ao passo que o índice de Mulamba e Mock apresentou 80% de coerência nos genótipos selecionados pelos índices anteriores (Tabela 4).

O índice de Mulamba e Mock foi o escolhido devido ao maior ganho de seleção total deste, assim como em um maior número de características avaliadas, selecionando-se dez genótipos de alface roxa (Tabela 4).

Tabela 4. Indicação dos 10 genótipos superiores de alface roxa biofortificada pelo índice clássico proposto por Smith e Hazel (1943), índice da soma de “ranks” de Mulamba & Mock (1978) e índice base de Willians (1962). UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil.

Índices de seleção	Genótipos selecionados
Índice clássico (SH)	UFU189#2#1#1; UFUBIOFORT75E33; UFU-117#1#1#1; UFUBIOFORT199E7; UFU-184#2#3#1; UFU-206#1#3#1; UFU-75#2#2#1; UFU BIOFORT199E40; UFU-75#3#1#1; UFU-206#3#2#1
Soma de “ranks” (MM)	UFU-184#2#3#1; UFU-75#3#1#1; UFU- 117#1#1#1; UFU BIOFORT199E40; UFU-189#2#1#1; UFU-86#1#2#1; UFU- 206#1#3#1; UFU BIOFORT199E7; UFU BIOFORT75E33; UFU-189#2#2#1
Índice base (WI)	UFU189#2#1#1; UFUBIOFORT75E33; UFU-117#1#1#1; UFUBIOFORT199E7; UFU-184#2#3#1; UFU-206#1#3#1; UFU-75#2#2#1; UFU BIOFORT199E40; UFU-75#3#1#1; UFU-206#3#2#1

Maciel et al. (2020) por meio de análise univariada realizada em genótipos de alface pertencentes ao mesmo banco de germoplasma do presente estudo, também observaram que os genótipos selecionados pelo índices Mulamba e Mock estão entre os que apresentaram melhores resultados agronômicos e em relação às características nutricionais. Candido et al. (2017) avaliando a eficiência de índices não paramétricos na seleção de genótipos de alface de folhas soltas ressaltaram que o índice de Mulamba e Mock se destacou porque possibilitou bons ganhos diretos pelas características avaliadas e pela facilidade de construção do mesmo, resultado semelhante ao do presente trabalho.

4 CONCLUSÕES

1. Em linhagens de alface roxa biofortificada os parâmetros: teor de antocianina, teor de clorofila b, teor de clorofila total, teor de carotenóides, peso da massa fresca, número de folhas, diâmetro da planta e diâmetro da haste possuem alto coeficiente de determinação genotípica;

2. Existem correlações positivas entre os parâmetros clorofila total e clorofila a, clorofila b e teor de carotenóides; entre índice SPAD e teor de clorofila a; entre número de folhas e diâmetro da haste e diâmetro da planta em alfaces roxas biofortificadas;

3. Existem correlações negativas entre teor de antocianina e índice SPAD, teor de clorofila a e temperatura foliar em alfaces roxas biofortificadas;

4. As características teor de antocianina, teor de clorofila b, teor de carotenóides, peso da massa fresca, número de folhas e diâmetro da haste apresentaram maior ganhos totais por meio da seleção direta e indireta;

5. O índice da soma de “ranks” de Mulamba e Mock proporcionou equilíbrio na distribuição de ganhos para as variáveis avaliadas e maiores ganhos de seleção total em alface roxa biofortificada;

6. As linhagens UFU-184#2#3#1; UFU-75#3#1#1; UFU-117#1#1#1; UFU BIOFORT199E40; UFU-189#2#1#1; UFU-86#1#2#1; UFU-206#1#3#1; UFU BIOFORT199E7; UFU BIOFORT75E33 e UFU-189#2#2#1 são promissoras para serem usadas em futuros programas de melhoramento genético e para serem lançadas como novos cultivares de alface roxa biofortificada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. Folhosas. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL, 2016, Campinas, SP. **Anais** [...]. Campinas, SP: ABCSEM, 2016. Disponível em: http://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O_mercado_de_folhosas__Numeros_e_Tendencias_-_Steven.pdf. Acesso em: 15 nov. 2020.

AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; OLIVEIRA, C. M.; FERNANDES, J. S. C.; PEDROSA, C. E.; DORNAS, M. F. S.; CASTRO, B. M. C. Seleção de genótipos de alface para cultivo protegido: divergência genética e importância de caracteres. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 31, n. 2, p. 260-265, 2013. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000200014>. Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362013000200014&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 set. 2020.

AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; CASTRO, B. M. C.; OLIVEIRA, C. M.; PEDROSA, C. E.; DORNAS, M. F.; VALADARES, N. R. Parâmetros genéticos e análise de trilha para o florescimento precoce e características agrônômicas da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 2, p. 118-124, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000200006>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X20140002000118&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 11 set. 2020.

BRZEZINSKI, C. R.; ABATI, J.; GELLER, A.; WERNER, F.; ZUCARELI, C. Produção de cultivares de alface americana sob dois sistemas de cultivo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 1, p. 83-89, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764010012>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2017000100083&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 11 set. 2020.

BLANK, A. F.; SOUZA, E. M.; PAULA, J. W. A.; ALVES, P. B. Comportamento fenotípico e genotípico de populações de manjeriço. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 305-310, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000300011>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362010000300011&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 11 set. 2020.

CANDIDO, W. S.; TOBAR-TOSSE, D. E.; SOARES, R. S.; SANTOS, L. S.; FRANCO, C. A.; BRAZ, L. T. Selection of loose-leaf lettuce breeding lines based on non-parametric indexes. **African Journal of Biotechnology**, [s.l.], v. 16, n. 40, p. 1984-1989, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB2017.16176>. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJB/article-abstract/50DDD4966233>. Acesso em: 12 set. 2020.

CASSETARI, L. S.; GOMES, M. S.; SANTOS, D. C.; SANTIAGO, W. D.; ANDRADE, J.; GUIMARÃES, A. C.; SOUZA, J. A.; CARDOSO, M. G.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. β -Carotene and chlorophyll levels in cultivars and breeding lines of lettuce. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 1083, n. 60, p. 469-474, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1083.60>. Disponível em: https://www.actahort.org/books/1083/1083_60.htm. Acesso em 20 jan. 2020.

CECATTO, A. P. **Sistemas de cultivo do morangueiro, figueira e alface sob consórcio e monocultivo em ambiente protegido**. 2012. 199 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2012.

CORREIA, A. M.; CECCON, G.; CORREA, C. M. A.; DELBEN, D. S. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Ceres**, Brasília, v. 59, n. 1, p. 88-94, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000100013>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2012000100013&lng=pt&tlng=pt. Acesso em 13 nov. 2020.

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/21251>. Acesso em: 20 jan. 2020.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. 668 p.

CRUZ C. D.; REGAZZI A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

DAI, W.; GIRDTHAI, T.; HUANG, Z.; KETUDAT-CAIRNS, M.; TANG, R.; WANG, S. Genetic analysis for anthocyanin and chlorophyll contents in rapeseed. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 5, p. 790-795, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150564>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782016000500790&lng=en&tlng=en. Acesso em: 12 out. 2020.

DAMERUM, A.; SELMES, S. L.; BIGGI, G. F.; CLARKSON, G. J.; ROTHWELL, S. D.; TRUCO, M. J.; MICHELMORE, R. W.; HANCOCK, R. D.; SHELLCOCK, C.; CHAPMAN, M. A.; TAYLOR, G. Elucidating the genetic basis of antioxidant status in lettuce (*Lactuca sativa*). **Horticulture Research**, London, v. 2, p. 15055, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/hortres.2015.55>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/hortres201555>. Acesso em: 12 out. 2020.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. rev. ampl. Viçosa: UFV, 2013. 412 p.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (ed.). **Anthocyanins as food colors**. Cambridge: Academic Press, 1982. cap. 7, p. 181-206. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-472550-8.50011-1>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124725508500111?via%3Dihub>. Acesso em: 12 out. 2020.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, Austin, v. 28, n.6, p. 476-490, 1943. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1209225/>. Acesso em: 20 fev. 2020.

ISLAM, M. Z.; LEE, Y. T.; MELE, M. A.; CHOI, I. L.; KANG, H. M. The effect of phosphorus and root zone temperature on anthocyanin of red romaine lettuce. **Agronomy**, Basel, v. 9, p. 47, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9020047>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/2/47>. Acesso em: 12 out. 2020.

IWASHINA, T. Contribution to flower colors of flavonoids including anthocyanins: a review. **Natural Product Communications**, Westerville, v. 10, p. 529-544, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1177/1934578X1501000335>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1934578X1501000335>. Acesso em: 13 out. 2020.

JACINTO, A. C. P.; SILVEIRA, A. J.; CASTOLDI, R. ; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; MENDONÇA, T. F. N.; SOUZA, A. P.; MARIN, M. V.; BRAZ, L. T. Genetic diversity, agronomic potential and reaction to downy mildew in genotypes of biofortified mini lettuce. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 1, 2019. DOI: [10.4238/gmr16039939](https://doi.org/10.4238/gmr16039939). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342009834_Genetic_diversity_agronomic_potential_and_reaction_to_downy_mildew_in_genotypes_of_biofortified_mini_lettuce Acesso em: 20 jan. 2020.

PÚBLIO JÚNIOR, E. ; GUIMARÃES, D. G.; PÚBLIO, A. P. P. B.; SOUZA, U. O.; AMARAL, C. L. F. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-frade. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 3, p. 806-814, 2018. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA17232>. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/16745>. Acesso em: 20 out. 2020.

KHOO, H. E.; AZLAN, A.; TANG, S. T.; LIM, S. M. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, Bålsta, v. 61, n. 1, p. 1361779, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>. Disponível em: <https://foodandnutritionresearch.net/index.php/fnr/article/view/1257>. Acesso em: 10 set. 2020.

KRUGER, M. J.; DAVIES, N.; MYBURGH, K. H.; LECOUR, S. Proanthocyanidins, anthocyanins and cardiovascular diseases. **Food Research International**, [s.l.], v. 59, p. 41-52, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.046>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996914000520?via%3Dihub>. Acesso em: 12 out. 2020.

LEITE, W.; PAVAN, B.; MATOS FILHO, C.; ALCÂNTARA NETO, F.; OLIVEIRA, C.; FEITOSA, F. Estimativas de parâmetros genéticos, correlações e índices de seleção para seis caracteres agrônômicos em linhagens F8 de soja. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 3, p. 302-310, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v7i3.1176>. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/1176>. Acesos em: 10 set. 2020.

LEÓN, A. P.; VIÑA, S.Z. FREZZA, D.; CHAVES. A.; CHIESA, A. Estimation of chlorophyll contents by correlations between SPAD-502 meter and chroma meter in butterhead Lettuce. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 38, n. 19-20, p. 2877-2885, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103620701663115>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103620701663115>. Acesso em 11 set. 2020.

LIU, Y.; TIKUNOV, Y.; SCHOUTEN, R. E.; MARCELIS, L.; VISSER, R.; BOVY, A. Anthocyanin biosynthesis and degradation mechanisms in Solanaceous vegetables: a review. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, n. 6, p. 1-17, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00052>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2018.00052/full>. Acesso em: 13 set.2020.

MACIEL, G. M.; GALLIS, R. B. A.; BARBOSA, R. L.; PEREIRA, L. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; PEIXOTO, J. V. M. 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, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030324341930008X?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2020.

MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; GALLIS, R. B. A.; PEREIRA, L. M.; SALES, V. F. **Programa de computador "BG A BIOFORT"**. Depositante: Universidade Federal de Uberlândia. BR512019002403-6. Depósito: 1 fev. 2019. Concessão: 29 out. 2019, 2019b.

MACIEL, G. M.; GALLIS, R. B. A.; BARBOSA, R. L.; PEREIRA, L. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; PEIXOTO, J. V. M. Image phenotyping of lettuce germplasm with genetically diverse carotenoid levels. **Bragantia**, Campinas, v. 79, p. 224-235, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190519>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052020000200224&tlng=en. Acesso em: 10 set. 2020.

MAGALHÃES, M. D.; MACIEL, A. D.; ORSOLIN, P. C. Efeito anticarcinogênico dos flavonoides do tipo antocianina presentes em amora-preta (*Rubus* spp.), identificado por meio do teste para detecção de clones de tumores epiteliais (wts) em *Drosophila melanogaster*. **Revista de Medicina e Saúde de Brasília**, Brasília, v. 6, n. 1, 2017. Disponível em: <https://portalrevistas.ucb.br/index.php/rmsbr/article/view/7530>. Acesso em: 10 ago. 2020.

MAMO, B. E.; HAYES, R. J.; TRUCO, M. J.; PURI, K. D.; MICHELMORE, R. W.; SUBBARAO, K. V.; SIMKO, I. Theoretical and The genetics of resistance to lettuce drop (*Sclerotinia* spp.) in lettuce in a recombinant inbred line population from Reine des Glaces×Eruption. **Theoretical and Applied Genetics**, [s.l.], v. 132, n. 8, p. 2439-2460, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03365-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00122-019-03365-6>. Acesso em: 12 out. 2020.

MAMPHOLO, B. M.; MABOKO, M. M.; SOUNDY, P.; SIVAKUMAR, D. Phytochemicals and overall quality of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown in closed hydroponic system. **Journal of Food Quality**, Westport, v. 39, n. 6, p. 805-815, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfq.12234>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jfq.12234>. Acesso em: 10 out. 2020.

MOVAHED, N.; PASTORE, C.; CELLINI, A.; ALLEGRO, G.; VALENTINI, G.; ZENONI, S.; CAVALLINI, E.; D'INCÀ, E.; TORNIELLI, G.B.; FILIPPETTI, I. The grapevine VviPrx31 peroxidase as a candidate gene involved in anthocyanin degradation in ripening berries under high temperature. **Journal of plant research**, Tokyo, v. 129, n. 3, p. 513-526, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0786-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10265-016-0786-3>. Acesso em 10 jun. 2020.

MULABAGAL, V.; MATHIEU, N.; AJAY, N.; YANJUN, Z.; ADITYA, L.; GOTTUMUKKALA; MURALEEDHARAN, G. N. In vitro evaluation of red and green lettuce (*Lactuca sativa*) for functional food properties. **Food Chemistry**, Barking, v. 18, n. 2, p. 300-306, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.119>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814609005974?via%3Dihub>. Acesso em 11 set. 2020.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v. 7, p. 40-51, 1978. Disponível em:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Improvement-of-yield-potential-of-the-ETO-blanco-by-Mulamba-Mock/8be6eba42c0e7d62b1a19535be64255aeb337b35>. Acesso em: 25 fev. 2020.

OLAWUYI, O. J.; JONATHAN, S. G.; BABATUNDE, F. E.; BABALOLA, B. J.; YAYA, O. O. S.; AGBOLADE, J. O.; AINA, D. A.; EGUN, C. J. Accession × treatment interaction, variability and correlation studies of pepper (*Capsicum* spp.) under the influence of arbuscular mycorrhiza fungus (*Glomus clarum*) and cow dung. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 5, p. 683-690, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.55083>.

OLIVEIRA, A. H. G.; MACIEL, G. M.; JACINTO, A. C. P.; SILVEIRA, A. J.; SILVA, E. C. Estimates of genetic parameters of pigments and agronomic traits in green and purple lettuce. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, p. 1-8, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1590/1413-7054201943013219>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542019000100226&tlng=en. Acesso em: 10 abr. 2020.

PEIXOTO, J. V. M.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; PEREIRA, L. M.; LUZ, J. M. Q.; MARQUES, D. J. Comparison between non-parametric indexes in the selection of biofortified curly lettuce. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 11, p. 3351, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v11i.3351>. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/3351>. Acesso em: 10 abr. 2020.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, 2009. 451 p.

QUEIROZ, J. P. S.; COSTA, A. J. M.; NEVES, L. G.; SEABRA JUNIOR, S.; BARELLI, M. A. A. Estabilidade fenotípica de alfaces em diferentes épocas e ambientes de cultivo. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 45, n. 2, p. 276-283, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000200007>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902014000200007. Acesso em: 10 out. 2020.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. 2015. Disponível em: <https://www.rproject.org/>. Acesso em: 1 jan. 2020.

RAGHEB, E. I. M. Mass Selection and Individual Plant Selection as Two Breeding Methods for Improving Lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Alexandria Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 60, n. 3, p. 213-220, 2015. DOI: <https://doi.org/10.21608/alexja.2015.31248>. Disponível em: https://alexja.journals.ekb.eg/article_31248.html. Acesso em: 10 set. 2020.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, 2012. 522 p.

RESENDE, G. M.; COSTA, N. D.; YURI, J. E.; MOTA, J. H. Adaptação de genótipos de alface crespa em condições semiaridas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 1, p.1145-1154, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n100553>. Disponível em: http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/553/pdf_323. Acesso em: 10 set. 2020.

ROCHA, D. S.; REED, E. Pigmentos naturais em alimentos e sua importância para a saúde. **Estudos Vida e Saúde**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 76-85, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.18224/est.v41i1.3366>. Disponível em: <http://seer.pucgoias.edu.br/index.php/estudos/article/view/3366>. Acesso em: 11 jun. 2020.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura brasileira**, Vitória da Conquista, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200002>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362012000200002&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 jun. 2020.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Melhoramento de alface. In: NICK, C.; BORÉM, A. **Melhoramento de hortaliças**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2016. p. 95-127.

SILVA, E. B.; RAPOSO, M. C. M.; CONCEIÇÃO, M. M.; SANTOS, V. O. Capacidade antioxidante de frutas e hortaliças. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 5, p. 93-98, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i5.3636>. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3636>. Acesso em: 13 jun. 2020.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; VITORINO, H. S.; RHEIN, A. F. L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 173-181, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15057>. Acesso em: 21 set. 2020.

SILVA, O. M. P.; LOPES, W. A. R.; NUNES, J. H. S.; NEGREIROS, M. Z.; SOBRINHO, J. E. Adaptability and phenotypic stability of lettuce cultivars in a semiarid region. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 552-558, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n228rc>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252019000200552&tlng=en. Acesso em: 21 set. 2020.

SILVEIRA, A. J.; FINZI, R. R.; CABRAL NETO, L. D.; MACIEL, G. M.; BELOTI, I. F.; JACINTO, A. C. P. Genetic dissimilarity between lettuce genotypes with different levels of carotenoids biofortification. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 6, p. 656-660, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7331>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7331>. Acesso em: 21 set. 2020.

SIMKO, I. Genetic variation and relationship among content of vitamins, pigments, and sugars in baby leaf lettuce. **Food Science & Nutrition**, Malden, v. 7, n. 10, p. 3317-3326, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1196>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.1196>. Acesso em: 19 out. 2020.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**, London, v. 7, n. 3, p. 240-250, 1936. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x>. Acesso em: 12 set. 2020.

SOUSA, C. S.; BONETTI, A. M.; GOULART FILHO, L. R.; MACHADO, J. R. A.; LONDE, L. N.; BAFFI, M. A.; RAMOS, R. G.; VIEIRA, C. U.; KERR, W. E. Divergência genética entre genótipos de alface por meio de marcadores AFLP. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 8, p. 11-16, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000100002>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052007000100002&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 13 abr. 2020.

SOUSA, L. A.; JACINTO, A. C. P. SILVEIRA, A. J.; CASTOLDI, R.; MACIEL, G. M.; BELOTI, I. F. Agronomic potential of biofortified crisphead lettuce (*Lactuca sativa*) and its reaction to Root-knot nematodes. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 13, n. 5, p.773-779, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.05.p1565>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333700383_Agronomic_potential_of_biofortified_crisphead_lettuce_Lactuca_sativa_and_its_reaction_to_Root-knot_nematodes. Acesso em: 26 jan. 2020.

SOUSA, L. A.; MACIEL, G. M.; JULIATTI, F. C.; BELOTI, I. F.; SIQUIEROLI, A. C. S.; CLEMENTE, A. A. Genetic dissimilarity between biofortified lettuce genotypes for leaf carotenoid levels. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 11, p. 3348, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v11i.3348>. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/3348>. Acesso em 20 set. 2020.

STOMMEL, J. R.; PUSHKO, M.; HAYNES, K. G.; WHITAKER, B. D. Differential inheritance of pepper (*Capsicum annuum*) fruit pigments results in black to violet fruit colour. **Plant breeding**, [s.l.], v. 133, n. 6, p. 788-793, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbr.12209>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/pbr.12209>. Acesso em: 13 set. 2020.

SYTAR, O.; ZIVCAK, M.; BRUCKOVA, K.; BRESTIC, M.; HEMMERICH, I.; RAUH, C.; SIMKO, I. Shift in accumulation of flavonoids and phenolic acids in lettuce attributable to changes in ultraviolet radiation and temperature. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 239, p. 193-204, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.020>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423818303467?via%3Dihub>. Acesso em 22 set. 2020.

TEIXEIRA, F. G.; HAMAWAKI, O. T.; NOGUEIRA, A. P. O.; HAMAWAKI, R. L.; JORGE, G. L.; HAMAWAKI, C. L.; MACHADO, B. Q. V.; SANTANA, A. J. O. Genetic parameters and selection of soybean lines based on selection indexes. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 3, p. 1- 17, 2017. DOI:

<https://doi.org/10.4238/gmr16039750>. Disponível em:

<http://www.funpecrp.com.br/gmr/year2017/vol16-3/pdf/gmr-16-03-gmr.16039750.pdf>. Acesso em: 29 set. 2020.

THAKUR, M.; KUMAR, R.; KUMAR, S. Studies on genetic variability, correlation and path analysis in lettuce (*Lactuca sativa* L.) under protected conditions. **Journal of Natural and Applied Science**, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 1924-1930, 2016. DOI: <https://doi.org/10.31018/jans.v8i4.1064>. Disponível em: <https://journals.ansfoundation.org/index.php/jans/article/view/1064>. Acesso em: 20 fev. 2020.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, Washington, v. 18, n. 3, p. 375-393, 1962. DOI: <https://doi.org/10.2307/2527479>. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/2527479?origin=crossref&seq=1#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 20 fev. 2020.

ZUFFO, A. M.; ZUFFO JÚNIOR, J. M.; da SILVA, L. M. A.; da SILVA, R. L.; de MENEZES, K. O. Análise de crescimento em cultivares de alface nas condições do sul do Piauí. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 2, p. 145-153, 2016. DOI:

<https://doi.org/10.1590/0034-737X201663020005>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2016000200145&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 13 set. 2020.