

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

CAROLINE FERNANDES MOROTTI

CARACTERIZAÇÃO DE ALFACES VERDES BIOFORTIFICADAS E
TROPICALIZADAS DO GEMOPLASMA DA UFU

MONTE CARMELO

2025

CAROLINE FERNANDES MOROTTI

**CARACTERIZAÇÃO DE ALFACES VERDES BIOFORTIFICADAS E
TROPICALIZADAS DO GEMOPLASMA DA UFU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Agronomia da Universidade
Federal de Uberlândia, Campus Monte
Carmelo, como requisito necessário para a
obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Silva
Squieroli

MONTE CARMELO

2025

CAROLINE FERNANDES MOROTTI

**CARACTERIZAÇÃO DE ALFACES VERDES BIOFORTIFICADAS E
TROPICALIZADAS DO GEMOPLASMA DA UFU**

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli

Orientadora

M.Sc Ana Luísa Alves Ribeiro

Membro da Banca

Eng. Agr. Marcos Paulo do Carmo Martins

Membro da Banca

MONTE CARMELO

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por em tudo ter me sustentado, por tantas bênçãos, saúde e sabedoria ao longo da graduação. À Nossa Senhora, pela proteção constante e conforto nos momentos de incerteza.

Ao meu pai, meu maior exemplo de dedicação, honestidade e amor pela terra. Foi acompanhando sua rotina que aprendi o verdadeiro valor do trabalho, da persistência e da esperança que existem em cada plantio. Minha mãe e meus irmãos pelo apoio, amor e incentivo que tanto me deram força, sem vocês nada disso teria sido possível.

À minha orientadora, Ana Carolina Silva Siqueroli, pela confiança, paciência e pelos conhecimentos - muito além de profissionais - que tanto me ensinaram sobre acolhimento, amor pelo que se faz e disposição. Sua amizade, críticas construtivas e apoio foram fundamentais nesse processo.

Aos docentes do curso de Agronomia da UFU campus Monte Carmelo, obrigada por todos os ensinamentos e vivência compartilhadas.

Aos meus amigos, que dividiram comigo essa caminhada, deixo minha gratidão pelo companheirismo, desabafos e boas risadas que tornaram essa trajetória mais leve e especial. Ressalto o agradecimento para a Lavínia Fernandes, Kamilla Kristina e Emilly Daniely por todo apoio e crescimento que tivemos juntas ao longo da graduação.

E a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa jornada, muito obrigada!

*É justo que muito custe o que muito vale.
Santa Teresa D'Ávila.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. JUSTIFICATIVA	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
4. OBJETIVO	11
5. MATERIAL E MÉTODOS	11
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
7. CONCLUSÃO	20
REFERÊNCIAS	20

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças folhosas mais consumidas no Brasil, ocupando posição de destaque no mercado nacional devido à sua importância econômica, nutricional e ao ciclo curto de produção. A crescente demanda por cultivares adaptadas às condições tropicais e com maior valor nutricional tem impulsionado pesquisas voltadas ao melhoramento genético e à biofortificação, visando conciliar produtividade, qualidade e aceitação comercial. O grupo de pesquisa de Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), campus Monte Carmelo vem conduzindo pesquisas que fazem parte do Programa de Melhoramento Genético de Alface Biofortificada e Tropicalizada da UFU, tendo toda sua genealogia cadastrada no Software "BG α BIOFORT". Nesse sentido, o estudo objetiva a caracterização das alfaces verdes cadastradas. Foram avaliadas nove linhagens e a cultivar comercial Uberândia 10.000 quanto aos teores de pigmentos e atributos agronômicos. Os resultados obtidos revelaram ampla diversidade entre os genótipos avaliados. Essa variabilidade permitiu a identificação de genótipos superiores, com potencial para atender às demandas de produtividade, qualidade nutricional e adaptação às condições tropicais. Os agrupamentos observados no mapa de calor destacam as linhagens UFU8, UFU34, UFU43, UFU44 e UFU53 como os mais promissores, conciliando qualidade nutricional, aspectos visuais e produtividade. Assim, o estudo evidenciou a relevância da caracterização de linhagens de alface verdes biofortificadas e tropicalizadas como estratégia para auxiliar na geração de novas cultivares mais competitivas, nutricionalmente enriquecidas e adaptadas ao cultivo em regiões tropicais.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., melhoramento genético, segurança alimentar

1. INTRODUÇÃO

A alface é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil, com diversas variedades como crespa, americana, lisa e romana (Echer et al., 2016). O mercado de alface movimenta anualmente cerca de 8 bilhões de reais no varejo, com produção superior a 1,5 milhões de toneladas por ano (ABCSEM, 2016). A alface verde é uma importante fonte de água e fibras, além de fornecer nutrientes essenciais à dieta (Silva et al., 2020). Para potencializar o valor nutricional e agronômico da cultura da alface, estratégias como a biofortificação (aumento de compostos bioativos) e a tropicalização (adaptação ao clima tropical) têm sido implementadas.

A biofortificação da alface vai além da adição de micronutrientes minerais, abrangendo também o aumento de compostos bioativos como antocianina, clorofila e carotenoides, que atuam como poderosos antioxidantes e desempenham funções essenciais no organismo humano, como a prevenção de doenças degenerativas e câncer (Braga et al., 2018; Bendokas et al., 2020). O uso do melhoramento genético convencional para biofortificação tem sido uma estratégia promissora para elevar o valor nutricional da alface. Nesse sentido, o melhoramento genético tem como objetivo a seleção de genótipos com maior quantidade de alelos favoráveis para a produção de bioativos, que apresenta ser uma herança poligênica e com ação gênica aditiva (Oliveira et al., 2021).

A tropicalização da alface é um processo essencial para adaptação das variedades de alface ao clima brasileiro, garantindo maior segurança para os produtores em termos de plantio e comercialização. A resistência ao calor e aos diversos estresses abióticos são características cruciais nas cultivares tropicalizadas. Segundo Maciel et al. (2021), o desenvolvimento de cultivares adaptadas ao clima tropical, aliadas a práticas agrícolas inovadoras, é uma solução sustentável para a produção de alface em regiões tropicais. A Universidade Federal de Uberlândia (UFU), campus Monte Carmelo, possui um importante germoplasma de alface biofortificada e tropicalizada registrado no “BG α BIOFORT” (Maciel et al., 2019). A combinação de técnicas de melhoramento genético com práticas adequadas de manejo representa uma estratégia eficaz para alcançar a biofortificação e tropicalização da alface. Além de combater deficiências nutricionais, essas estratégias contribuem para o aumento da sustentabilidade e da produtividade da cultura, contribuindo para maior segurança alimentar e saúde pública.

2. JUSTIFICATIVA

A alface é uma das hortaliças mais consumidas no Brasil e no mundo, destacando-se pela sua versatilidade, fácil cultivo e rápida colheita. No entanto, sua produção pode ser afetada por diversos fatores, como doenças, alterações climáticas e variabilidade genética, tornando essencial o desenvolvimento de cultivares adaptadas a diferentes condições de cultivo.

Nesse contexto, o banco de germoplasma desempenha um papel fundamental na conservação da diversidade genética das plantas, funcionando como um reservatório de material genético valioso que pode ser utilizado para o melhoramento das culturas.

A caracterização das alfaces verdes presentes no banco de germoplasma BG α BIOFOT possibilitará não apenas conservar esta diversidade, mas também identificar cultivares que apresentem atributos desejáveis. Posteriormente a multiplicação será importante para garantir a manutenção da viabilidade do germoplasma e aumentar a disponibilidade de sementes para estudos futuros, enquanto a caracterização permitirá identificar os melhores genótipos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Alface (*Lactuca sativa*)

Segundo o Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), existem 108.603 estabelecimentos que produzem alface no Brasil, totalizando uma produção de aproximadamente 908.186 toneladas/ano (IBGE, 2017).

A alface verde apresenta altos níveis de água e fibras, sendo uma fonte importante de nutrientes essenciais. Embora sua composição nutricional já ofereça benefícios, o aumento de compostos bioativos, como luteína, carotenoides e clorofila, pode elevar seu valor nutricional e funcional (Clemente, 2021). A biofortificação, com foco no aumento desses bioativos, e a tropicalização, que seleciona genótipos de alface a climas tropicais, são estratégias que buscam melhorar tanto a qualidade nutricional quanto a produtividade dessa hortaliça (Durães, 2024).

3.2 Biofortificação da alface verde

O termo "biofortificação" refere-se a uma estratégia de melhoramento de plantas com o objetivo de promover a melhoria da nutrição humana, sobretudo em países de baixa e média renda, onde deficiências de micronutrientes como ferro e zinco são comuns, contribuindo assim para a redução dos impactos negativos dessas carências na saúde da população (Bouis et al., 2024). Entretanto, a biofortificação da alface não se limita à adição de micronutrientes minerais, mas também pode ser direcionada ao aumento de compostos bioativos, por meio do melhoramento genético vegetal, como clorofitas e carotenoides, que são pigmentos vegetais e fortes antioxidantes que auxiliam em várias funções importantes do nosso organismo (Braga et al., 2018; Bendokas et al., 2020).

Carotenoides: como o beta-caroteno que têm um papel essencial na saúde humana, pois são precursores da vitamina A e desempenham funções antioxidantes fundamentais. A alface, especialmente as variedades verdes, possui carotenoides em níveis moderados, mas esse teor pode ser aumentado com o uso de estratégias de cultivo e por meio do melhoramento genético (Sanches, 2023).

Clorofila: outro composto relevante, não apenas desempenha um papel fundamental na fotossíntese das plantas, convertendo energia solar em energia química, mas também contribui para a desintoxicação do organismo humano (Sanches, 2023). A estratégia de biofortificação para aumentar o teor de clorofila tem sido considerada um método promissor para enriquecer o valor nutricional da alface, especialmente quando a planta é cultivada sob condições otimizadas (Lanfer-Marquez, 2007).

3.3 Tropicalização

A tropicalização é um processo indispensável que seleciona genótipos de alface ao clima brasileiro, garantindo maior segurança para os produtores do plantio à venda da olerícola. A resistência ao calor e ao estresse ambiental são características essenciais nas cultivares tropicalizadas de alface. O desenvolvimento de variedades resistentes ao pendoamento precoce

e ao estresse térmico são cruciais para garantir produtividade em climas tropicais (Maciel et al., 2021).

A utilização de técnicas de manejo como a irrigação e sombreamento, como ocorre em cultivos protegidos, podem ser usados para minimizar o estresse ambiental, porém, o melhoramento genético tem sido uma ferramenta fundamental na seleção de variedades mais adaptadas ao clima, visando otimizar o rendimento e a qualidade das folhas visto que existem variedades mais eficientes em suportar as altas temperaturas sem comprometer a produção dos compostos bioativos (Pereira, 2020).

4. OBJETIVO

Este estudo teve como objetivo a caracterização das alfaces verdes biofortificadas e tropicalizadas do germoplasma da UFU.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Estação Experimental de Hortaliças da UFU, campus Monte Carmelo (873 m de altitude). Foram selecionadas nove linhagens de alfaces verdes biofortificadas do Programa de Melhoramento Genético de Alface Biofortificada da UFU (UFU8, UFU12, UFU22, UFU32, UFU34, UFU43, UFU44, UFU48, UFU53), cadastradas no software "BG α BIOFORT" e a cultivar comercial Uberlândia 10.000 (Tabela 1).

Tabela 1. Genótipos das alfaces verdes utilizados no experimento

Linhagens	Tipos de folha
UFU22	lisa
UFU12	crespa
UFU8	lisa
UFU44	crespa
UFU48	lisa
UFU53	crespa
UFU43	lisa
UFU34	lisa
UFU32	lisa
Uberlândia 10.000	lisa

Essas linhagens foram obtidas a partir da hibridação entre a cultivar Pira Roxa *versus* Uberlândia 10.000. Após hibridação, utilizou-se o método genealógico até a geração F10 que se encontra com alta estabilidade e homogenidade.

A semeadura das linhagens foi realizada em bandejas com 200 células preenchidas com substrato a base de fibra de coco. Quarenta e cinco dias após a semeadura foi realizado o transplantio para o campo, em canteiros previamente preparados de acordo com as recomendações para a cultura. Cada parcela foi composta por 16 plantas, arranjadas em quatro linhas com espaçamento de 0,25m x 0,25m, sendo caracterizadas três plantas centrais. O delineamento experimental realizado foi em blocos casualizados com três repetições.



Figura 1. Registos do desenvolvimento das plantas. A: 0 dias; B: 22 dias; C: 44 dias após o transplantio. (Fonte: Autora, 2025)

Aos 44 dias após o transplantio as linhagens foram caracterizadas para: textura das folhas, peso da planta, massa verde, diâmetro da planta, número de folhas, comprimento das folhas, diâmetro e comprimento do caule, temperatura do solo e da planta e índice SPAD. Todas as linhagens foram fotografadas e arquivadas como imagens de alta resolução. Para a avaliação dos parâmetros nutricionais foram quantificados clorofila (CloA; CloB; CloTotal), luteína e betacaroteno, de cada planta em espectrofotômetro digital (Witham et al., 1971; Lichtenhaller; Wellburn, 1983). A significância das diferenças entre os dados obtidos foi avaliada por meio da análise de variância, pelo teste F ($p \leq 0,05$). As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) e os dados foram analisados no software R, Equipe Posit (2025).

Realizaram-se análises multivariadas de dissimilaridade genética entre os genótipos utilizando a distância generalizada de Mahalanobis, representada em um dendrograma elaborado pelo método UPGMA. Para avaliar a consistência do agrupamento, foi estimado o coeficiente de correlação cofenética, enquanto a contribuição relativa de cada variável foi determinada conforme o método proposto por Singh (1981).

As informações e imagens obtidas foram utilizadas para criar um catálogo que será utilizado na posterior atualização do Software “BG α BIOFORT” número de registro BR512019002403-6 no INPI, que reúne as informações de todo o germoplasma.

As sementes produzidas pelas linhagens por autopolinização natural foram colhidas, beneficiadas e armazenadas a 18°C. As sementes representam a geração F11 sendo de fundamental importância para o Programa de Melhoramento Genético de Alface Biofortificada e Tropicalizada da UFU.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os achados deste estudo confirmam a importância da cultura da alface verde para a horticultura brasileira, considerando seu valor nutricional e sua representatividade econômica. Os registros das características das linhagens verdes avaliadas estão apresentados na Figura 2.



Figura 2. Registros fotográficos das nove linhagens de alface verdes do Programa de Melhoramento Genético de Alface Biofortificada e Tropicalizada da UFU e a cultivar comercial Uberlândia 10.000.

Quanto à aceitação do consumidor, estudos apontam maior preferência pelo tipo crespa, seguido da americana e da lisa, sendo a textura, crocância e uniformidade das folhas critérios determinantes para a escolha comercial (Sala; Costa, 2012; Santos, 2019).

Esses achados indicam que a qualidade visual e nutricional influencia diretamente a competitividade comercial. Assim, a integração entre características fisiológicas, genéticas e sensoriais são essenciais para orientar programas de melhoramento que atendam simultaneamente aos critérios de qualidade, produtividade e preferência do consumidor (Henz; Suinaga, 2009).

O melhoramento genético vegetal busca o desenvolvimento de cultivares superiores e distintas, que sejam homogêneas e estáveis em relação às variedades já registradas, garantindo avanços tanto produtivos quanto comerciais (RNC, 2023).

Das nove linhagens analisadas quanto ao teor de compostos bioativos, os genótipos UFU12, UFU32 e UFU43 apresentaram concentrações significativamente superiores de CloA, em comparação as demais ($p < 0,05$). Para CloB houve destaque para a UFU53 e para CloTotal a maioria das linhagens (UFU8, UFU12, UFU32, UFU34, UFU43, UFU48 e UFU53) apresentaram concentrações significativamente superiores ($p < 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2. Concentração de clorofila A, clorofila B, clorofila Total, luteína e betacaroteno nas novas linhagens de alface verde do Programa de Melhoramento Genético de Alface Biofortificada e Tropicalizada da UFU e da cultivar comercial Uberlândia 10.000.

Linhagens	CloA		CloB		CloTotal		Luteína		Betacaroteno	
	mg 100g ⁻¹									
UFU22	1,808	ab	2,203	abc	5,115	ab	86,04	ab	78,808	a
UFU 12	1,821	a	2,289	abc	5,162	a	61,13	b	57,714	a
UFU 8	1,798	ab	2,51	abc	5,187	a	88,172	ab	84,424	a
UFU 44	1,703	c	1,613	c	4,687	b	61,537	b	59,951	a
UFU 48	1,788	abc	2,385	abc	5,138	a	78,886	ab	75,445	a
UFU 53	1,728	bc	3,477	a	5,1614	a	68,109	ab	68,62	a
UFU 43	1,819	a	2,896	abc	5,324	a	88,392	ab	98,4	a
UFU 34	1,775	abc	3,111	ab	5,255	a	112,376	a	105,06	a
UFU 32	1,827	a	2,545	abc	5,251	a	67,294	b	66,285	a
Uberlândia 10.000	1,784	abc	2,039	bc	5,023	ab	85,082	ab	82,01	a

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As cultivares avaliadas apresentaram níveis expressivos de clorofila, aspecto que reflete tanto a qualidade fisiológica das plantas quanto a atratividade do produto para o consumidor (Santos, 2022). A diversidade encontrada nos teores de clorofila e em outros compostos bioativos reforçam o potencial genético dos genótipos avaliados, indicando perspectivas para a obtenção de variedades com maior valor funcional e diferenciação competitiva no mercado (Rosa, 2024). No processo fotossintético, a CloA é o principal pigmento responsável pela conversão da energia luminosa, enquanto a CloB exerce função complementar, ampliando a faixa de absorção. O somatório desses pigmentos reflete a capacidade geral da planta em utilizar a radiação disponível (Taiz et al., 2017). Assim, pode-se inferir que as linhagens de alface verdes apresentam altos teores de clorofila contribuindo para sua eficiência fotossintética e maior qualidade nutricional.

A luteína apresentou maior amplitude de concentrações, com destaque para a linhagem UFU 34 ($p < 0,05$) (Tabela 2). A concentração de luteína observada sugere maior capacidade de fotoproteção e valor nutricional agregado, além de estar associada à tolerância a condições ambientais desfavoráveis (Cazzonelli, 2011).

O betacaroteno apresentou variações relevantes, mas sem diferença estatística significativa entre as linhagens (Tabela 2). Os valores variaram de 57,7 mg 100g⁻¹ (UFU12) a 105,06 mg 100g⁻¹ (UFU34) o que representa uma concentração 1,8 vezes superior, reforçando seu papel nutricional como precursor da vitamina A, atributo importante no enriquecimento funcional das cultivares de alface (Rodriguez-Amaya, 2001).

O peso fresco total e o peso das folhas são indicadores diretos de produtividade comercial. As linhagens UFU8, UFU34 e UFU53 apresentaram maior peso de planta, enquanto as linhagens UFU34 e UFU53 também apresentaram valores significativamente mais altos para peso de folhas, em comparação as demais ($p < 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros agronômicos das nove linhagens de alface verde do Programa de Melhoramento Genético de Alface Biofortificada e Tropicalizada da UFU e da cultivar comercial Uberlândia 10.000.

Linhagens	Peso da planta (g)	Peso das folhas (g)	Nº de folhas	Comp. Das folhas (cm)	Dim. Planta (cm)
UFU22	210,9	ab	184,4	ab	35 a
UFU 12	212	ab	185,7	ab	29 b
UFU 8	252	a	211,3	ab	30 ab
UFU 44	223,8	ab	195,8	ab	22 c
UFU 48	233	ab	202	ab	32 ab
UFU 53	261	a	235,9	a	20 c
UFU 43	175,1	b	156	b	29 b
UFU 34	246,8	a	215,5	a	33 ab
UFU 32	231,9	ab	201,1	ab	28 b
Uberlândia 10.000	232,2	ab	205,3	ab	35 a

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O número de folhas variou de 20 unidades (UFU53) à 35 unidades (UFU22 e Uberlândia 10.000), com diferenças significativas, demonstrando distintos padrões entre as linhagens avaliadas. A avaliação dos atributos número e peso de folhas são considerados importantes quanto ao viés econômico e de interesse do consumidor por ser a parte comestível da planta. A relação direta entre número de folhas e acúmulo de massa fresca já havia sido descrita por Souza et al. (2008), indicando que linhagens com maior emissão foliar apresentam, em geral, melhor desempenho produtivo.

O comprimento das folhas também apresentou variação significativa. A linhagem UFU12 (24,9 cm) obteve folhas longas, enquanto a linhagem UFU44 (16,8 cm) folha curtas. O comprimento das folhas está relacionado a área fotossintética disponível e ao aspecto comercial (Silva et al., 2021).

Não houve diferença significativa quanto ao diâmetro das plantas avaliadas, no entanto as médias variaram de 24 cm (UFU44) a 29,7 cm (UFU8), indicando diferentes arquiteturas de planta. Outro aspecto importante se refere à preferência dos consumidores por plantas de maior diâmetro, pois transmitem a percepção de melhor custo-benefício e qualidade comercial (Queiroz; Cruvinel; Figueiredo, 2017).

O diâmetro do caule é um parâmetro importante, pois confere resistência mecânica às plantas e auxilia na tolerância ao pendoamento. Embora não tenham ocorrido diferenças significativas entre os genótipos (Tabela 4), observou-se variação de 1,9 cm (UFU53) à 2,9 cm (UFU22 e UFU48) que pode ser explorada em programas de melhoramento, visto que caules mais espessos são desejáveis por garantir maior robustez (Sanches, 2023). Quanto ao comprimento do caule, a linhagem UFU12 apresentou alongamento mais acentuado (Tabela 4), comportamento indesejável por estar relacionado a perda de qualidade das folhas que passam a produzir látex em resposta ao pendoamento precoce (Hao et al., 2022).

Tabela 4. Parâmetros agronômicos das nove linhagens de alface verde do Programa de Melhoramento Genético de Alface Biofortificada e Tropicalizada da UFU e da cultivar comercial Uberlândia 10.000.

Genótipos	Diam. Caule (cm)	Comp. Caule (cm)	Temp. P (°C)	Temp. S (°C)	SPAD					
UFU22	2,9	a	3,7	bc	21,7	ab	32,9	a	28,1	ab
UFU 12	2,1	a	7,6	a	22,6	ab	32,4	a	21,7	bc
UFU 8	2,2	a	5,6	abc	21,2	b	32,1	a	27,5	ab
UFU 44	2,2	a	6,9	ab	22	ab	31,4	a	19	c
UFU 48	2,9	a	5,1	abc	22,3	ab	31,5	a	23,8	abc
UFU 53	1,9	a	5,9	abc	22,6	ab	31	a	25,2	abc
UFU 43	2,1	a	3,5	c	22,1	ab	31	a	25,2	abc
UFU 34	2,5	a	3,5	c	22	ab	31	a	28,1	ab
UFU 32	2,4	a	4,4	abc	23,9	a	31,7	a	29,2	a
Uberlândia 10.000	2,8	a	4,1	bc	22,3	ab	31	a	19,7	c

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em contrapartida, as linhagens UFU43 e UFU34 apresentaram os menores comprimentos de caule, aspecto positivo para a qualidade comercial e indicativo de tropicalização (Sala; Costa, 2012).

O índice SPAD é amplamente utilizado como ferramenta indireta para estimar o teor de clorofila e, consequentemente, a eficiência fotossintética e o estado nutricional da planta (Netto et al., 2005). Neste estudo, a linhagem UFU32 apresentou valores significativamente mais elevados ($p < 0,05$), sugerindo maior potencial fotossintético, enquanto UFU44 e Uberlândia 10.000 exibiram os menores índices. A literatura aponta que plantas com maior acúmulo de clorofilas possuem maior capacidade de fixação de carbono, o que contribui para o crescimento e ganhos em produtividade (Taiz et al., 2017). De maneira geral, os resultados demonstraram que algumas linhagens se destacaram pela alta produtividade (UFU8, UFU48 e UFU53), enquanto outros apresentaram maior potencial em termos de qualidade nutricional (UFU34 e UFU22). Já a linhagem UFU32 se destacou para esses dois aspectos. Esses achados corroboram com pesquisas anteriores que evidenciam a grande variabilidade genética da alface e sua importância para a seleção de cultivares voltadas tanto ao rendimento produtivo quanto ao enriquecimento funcional (Sala; Costa, 2012; Resende et al., 2018).

A análise multivariada, representada pelo mapa de calor e pelo dendrograma (Figura 3), destacou a existência de variabilidade genética entre os genótipos avaliados. A formação de agrupamentos distintos confirma a presença de diferenças relevantes em características morfofisiológicas e produtivas, reforçando a importância da caracterização desses genótipos para o Programa de Melhoramento Genético de Alface da UFU. Houve a formação de dois grandes grupos. O grupo I sendo formado pelas linhagens UFU8, UFU22, UFU34, UFU43, UFU48 e Uberlândia 10.000, e o grupo II formado pelas linhagens UFU12, UFU32, UFU44 e UFU53.

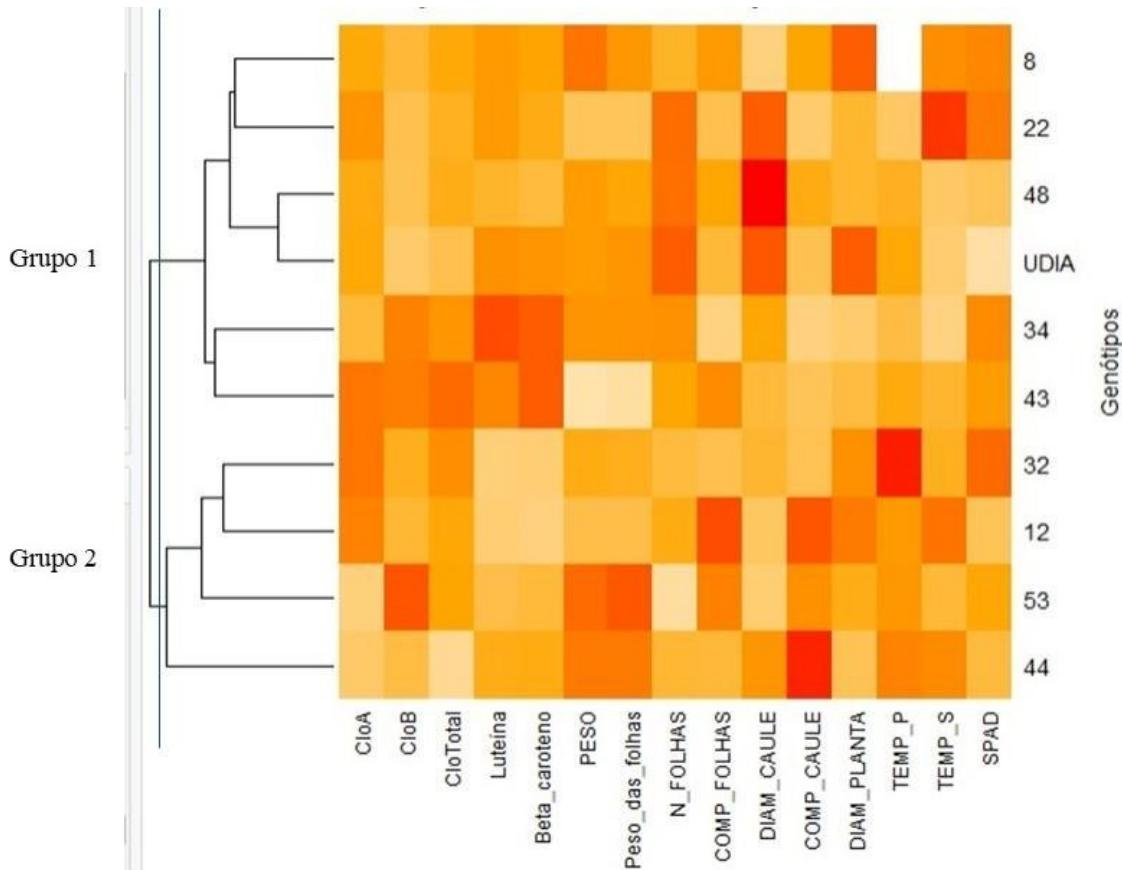


Figura 3: Mapa de calor dos pigmentos e parâmetros agronômicos das linhagens avaliadas. Cores mais escuras indicam que o genótipo apresentou maior resposta para a variável analisada e cores mais claras menores respostas.

Entre as linhagens avaliadas, destacaram-se UFU34 e UFU43, que apresentaram maior intensidade associada aos teores de pigmentos (clorofila e carotenoides). Por outro lado, as linhagens UFU8, UFU44 e UFU53 apresentaram maior destaque para características agronômicas relacionadas a produtividade. As linhagens UFU12 e UFU44 apresentaram maior comprimento de caule, consequência do pendoamento precoce que reduz a vida útil pós-colheita e a aceitação comercial do produto. Esse fenômeno é intensificado sob condições de altas temperaturas e longos períodos de luz, que alteram a arquitetura da planta e comprometem sua qualidade e produtividade (Silva; Resende; Yuri, 2013). Em contrapartida, todas as demais linhagens apresentaram reduzido comprimento de caule, confirmando sua tropicalização. Por fim, as linhagens UFU22 e UFU48 destacaram-se pelo maior diâmetro do caule, atributo ressaltado por Sanches (2023) como determinante para a robustez e resistência da planta, além de contribuir para a qualidade da produção e maior aceitação pelo mercado.

De modo geral, a análise multivariada evidencia que a associação de características fisiológicas (teores de pigmentos e eficiência fotossintética) e agronômicas (biomassa e arquitetura da planta) é essencial para a seleção de genótipos superiores. Os agrupamentos observados no mapa de calor destacam as linhagens UFU8, UFU34, UFU43, UFU44 e UFU53 como os mais promissores, conciliando qualidade nutricional, aspectos visuais e produtividade, atributos fundamentais para atender simultaneamente às exigências do mercado consumidor e às demandas de produção.

7. CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que as linhagens de alface verde biofortificadas e tropicalizadas do germoplasma da UFU apresentam potencial significativo com variações expressivas tanto em características agronômicas quanto fisiológicas, com destaque para as linhagens UFU8, UFU34, UFU43, UFU44 e UFU53.

REFERÊNCIAS

ABCSEM. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. O mercado de folhosas: números e tendências. 2016. Disponível em: <https://www.abcsem.org.br>. Acesso em: 16 nov. 2024.

BRAGA, A. R. C. et al. Bioavailability of anthocyanins: gaps in knowledge, challenges and future research. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 6, p. 31–40, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro Nacional de Cultivares – RNC. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/registro-nacional-de-cultivares>. Acesso em: 24 out. 2025.

BOUIS, H. et al. Biofortificação: desafios futuros para uma nova tecnologia emergente para melhorar a segurança nutricional de forma sustentável. *Current Developments in Nutrition*, no prelo, p. 104478, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2024.104478>
 Cassetari, LS; Gomes, MS; Santos, DC; Santiago, WD; Andrade, J.; Guimarães, AC; Souza, JA; Cardoso, MG; Maluf, WR; Gomes, LA Níveis de β-caroteno e clorofila em cultivares e linhagens de alface. *Acta Horticulturae*, v.1083, p.469-474, 2015. <https://10.17660/ActaHortic.2015.1083.60>

CAZZONELLI, C. I. Carotenoids in nature: insights from plants and beyond. *Functional Plant Biology*, v. 38, n. 11, p. 833–847, 2011.

CLEMENTE, A. A. Teores de antocianinas, carotenoides e clorofitas em germoplasma de alface roxa e verde a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada. 2021. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Informações Geoespaciais) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2021. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.118>.

DURÃES, Tânia Marta. *Linhagens de alface tropicalizadas com vantagens agronômicas e nutricionais*. 2024. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 44 f. DOI: 10.14393/ufu.di.2024.5197.

ECHER, R.; LOVATTO, P. B.; TRECHA, C. O.; SCHIEDECK, G. Alface à mesa: implicações socioeconômicas e ambientais da semente ao prato. *Revista Thema*, v. 13, n. 3, 2016.

LANFER-MARQUEZ, Umbelina M. O papel da clorofila na alimentação humana: uma revisão. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 43, n. 2, p. 181-192, 2007.

HAO, J. et al. Molecular basis of high temperature-induced bolting in lettuce revealed by multi-omics analysis. *BMC Genomics*, v. 23, p. 580, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-022-08814-z>.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. Tipos de alface cultivados no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. (Comunicado Técnico, 75). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/783588/1/cot75.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2025.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 nov. 2024.

NASCIMENTO, R. M. do et al. Desempenho de cultivares de alface em condições de cultivo tropical no oeste de Alagoas. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 36, n. 1, p. 1–10, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n11152>. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/11152>. Acesso em: 31 ago. 2025.

NETTO, A. T. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, v. 104, n. 2, p. 199–209, 2005.

PEIXOTO, J. V. M. Fenotipagem por imagem, estimativas de parâmetros genéticos e índices de seleção em alface biofortificada. 2020. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.419>.

PEREIRA, L. M. Seleção de genótipos de alfaces verdes biofortificadas utilizando a fenotipagem por imagem. 2020. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

QUEIROZ, A. A.; CRUVINEL, V. B.; FIGUEIREDO, K. M. E. Produção de alface americana em função da fertilização com organomineral. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 14, n. 25, p. 1053–1063, 2017.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. *A guide to carotenoid analysis in foods*. Washington, DC: ILSI Press, 2001.

ROSA, Y. I. D. Dissimilaridade genética para compostos bioativos em híbridos de alfaces biofortificadas. In: SIMPÓSIO CIENTÍFICO DA AGRONOMIA, 1., 2024, Uberlândia. Anais [...]. Uberlândia: UFU, 2024. Disponível em: <https://doity.com.br/anais/siccaa2024/trabalho/393781>. Acesso em: 31 ago. 2025.

RSTUDIO: Integrated Development Environment for R. Boston: Posit Software, PBC. Disponível em: <http://www.posit.co/>.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira. *Horticultura Brasileira*, v. 30, n. 2, p. 187–194, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/CBjR93vn5NKt4Z9BLMWYDJ/?lang=pt>. Acesso em: 31 ago. 2025.

SANCHES, A. A. Seleção de híbridos de alface visando a obtenção de populações produtivas e biofortificadas para carotenoides. 2023. 18 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Informações Geoespaciais) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/39194>. Acesso em: 31 ago. 2025.

SANTOS, M. T. M. Parâmetros agronômicos de alface cultivada em associação com adubação verde avaliados por índices de vegetação. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36154>. Acesso em: 31 ago. 2025.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, v. 41, p. 237-245, 1981.

SILVA, A. F.; RESENDE, L. V.; YURI, J. E. Desempenho de cultivos de alface sob diferentes condições climáticas: pendoamento precoce e implicações na produção. *Cadernos de Agroecologia*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, nov. 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/980690/1/14300623811PB1.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2025.

SILVA, A. M. et al. Teor de clorofila, carotenoides e índice SPAD na alface (*Lactuca sativa*) em função de lâminas de irrigação e níveis salinos. *Revista Ciência Agrícola*, v. 14, n. 2, p. 45-52, 2020. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/9468>. Acesso em: 14 set. 2025.

SILVA, E. C.; ROCHA, A. F. S.; MENDONÇA, T. G. Produção e qualidade de alface em diferentes sistemas de cultivo. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 64, p. 1–10, 2021.

SOUZA, A. F.; RESENDE, L. V.; YURI, J. E. Desempenho de cultivares de alface americana sob cultivo protegido. *Horticultura Brasileira*, v. 26, n. 2, p. 282–285, 2008.

TAIZ, L. et al. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

YANG, X. et al. Increasing carotenoid accumulation in lettuce through breeding and agronomic strategies. *Agricultural Systems*, v. 174, p. 72–79, 2019.