

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL – PPGPV**

**FÁTIMA ROSÂNGELA DE SOUZA SARAIVA**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CEBOLA (*Allium cepa L.*) PARA BAIXA  
PUNGÊNCIA, ADAPTADOS ÀS CONDIÇÕES DE CULTIVO NO ALTO VALE DO  
ITAJAÍ, SC**

**LAGES  
2022**

**FÁTIMA ROSÂNGELA DE SOUZA SARAIVA**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CEBOLA (*Allium cepa L.*) PARA BAIXA  
PUNGÊNCIA,ADAPTADOS ÀS CONDIÇÕES DE CULTIVO NO ALTO VALE DO  
ITAJAÍ, SC**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Altamir Frederico Guidolin.  
Coorientador: Dr. Daniel Pedrosa Alves.

**LAGES**

**2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

CERUTTI, FÁTIMA ROSÂNGELA DE SOUZA  
SELEÇÃO DE GENOTIPOS DE CEBOLA (*ALLIUM CEPA*  
L.) PARA BAIXA PUNGÊNCIA, ADAPTADOS AS CONDIÇÕES  
DE CULTIVO NO ALTO VALE DO ITAJAI, SC. / FÁTIMA  
ROSÂNGELA DE SOUZA CERUTTI. – 2022.  
69 p.

Orientador: ALTAMIR FREDERICO GUIDOLIN  
Tese (doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina,  
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação  
em Produção Vegetal, Lages, 2022.

1. CEBOLA. 2. PUNGÊNCIA. 3. MELHORAMENTO  
GENÉTICO. 4. LINHAGENS. I. GUIDOLIN, ALTAMIR  
FREDERICO . II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro  
de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Produção Vegetal. III. Título.

**FÁTIMA ROSÂNGELA DE SOUZA SARAIVA**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CEBOLA (*Allium cepa L.*) PARA BAIXA  
PUNGÊNCIA,ADAPTADOS ÀS CONDIÇÕES DE CULTIVO NO ALTO VALE DO  
ITAJAÍ, SC**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Altamir Frederico Guidolin  
UDESC-CAV

Membros:

---

Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto  
UDESC-CAV

---

Dr. Jefferson Luís Meirelles Coimbra  
UDESC-CAV

---

Dra. Candida Elisa Mamfio  
EPAGRI- ITAJAI

---

Dra. Nicole Trevisani  
UNIARP

Lages, 12 de abril de 2022.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro de tudo, gostaria de agradecer a Deus por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos e não desaninar com as dificuldades.

Chegou o momento de expressar sinceros agradecimentos aos meus orientadores, Prof. Dr. Altamir Frederico Guidolin, por aceitar o desafio de me orientar, por todo ensinamento, com certeza aprendi muito com o senhor e o admiro muito. Dr. Daniel Predosa Alves por estar sempre disponível para me ajudar, e Prof. Dr. Jefferson Coimbra, pela orientação, e além de tudo, pela amizade. Foi muito satisfatório ter a oportunidade de trabalhar com profissionais tão qualificados, éticos e generosos, a muitos e tantos adorados familiares e amigos – tanto aos ‘velhos’ e queridos quanto aos que se revelaram ao longo desse tempo, aos amigos e colegas do IMEGEM Rita, Paulo, Márcio, e todos os demais pela amizade e ensinamentos que me proporcionaram.

A minha amiga de muitas vidas, Maria Derci.

Aos meus filhos, Natáli, William e Alex e também, a Tatiane, Sophia, Alexia e Alice que trazem tanta luz e gosto para minha vida, um amor especial. Vocês são a lição mais profunda que vivi de ética, dignidade e amor...

Ao Francisco, meu companheiro, amigo, marido, que durante este período compreendeu e me apoiou durante a minha ausência.

Aos amigos, colegas do IFC por todo incentivo e parceria.

A EPAGRI, que me proporcionou esta oportunidade.

Agradeço a Universidade do Estado de Santa Catarina pelo ensino de qualidade e gratuito.

Bem sei que corro o risco de não dar conta deste ‘muitíssimo obrigado’ como é merecido, porque será difícil exprimir a beleza que foi esse movimento de energias e impulsos que foram chegando. Se o desafio era enorme, as motivações eram grandiosas, somadas às espontâneas generosidades que fizeram possível a transformação de instantâneos momentos de angústia e sofrimento em uma estrada larga, margeada de flores, frutos e frondosas árvores! Uma estrada toda verde – repleta de cheiros, cores e sons.

**GRATIDÃO!**

Ando devagar por que já tive pressa e levo esse sorriso, porque já chorei demais. Hoje me sinto mais forte, mais feliz quem sabe, só levo a certeza de que muito pouco eu sei, ou nada sei. [...] Cada um de nós compõe a sua história, e cada ser em si carrega o dom de ser capaz, de ser feliz (SATER; TEIXEIRA, 1990).

## RESUMO

O estado de Santa Catarina se destaca como o maior produtor nacional de bulbos de cebola. Devido à importância da cultura, pesquisas agronômicas são indispensáveis, especialmente, em programas de melhoramento vegetal. A cebola quando consumida crua é benéfica para a saúde, devido aos compostos organosulfurados e frutanas presentes nos bulbos, porém, quanto mais picante (pungente), mais difícil é o seu consumo *in natura*. Desta forma, um nicho de mercado para o desenvolvimento de cebolas de baixa pungência tem sido requisitado. Os objetivos do trabalho foram: *i)* Caracterizar grupos heteróticos em cebola para o desenvolvimento de cultivares híbridas com baixa pungência e produtivas; *ii)* Desenvolver híbridos de cebola para caracteres de qualidade e rendimento de bulbos. Os experimentos foram conduzidos na EPAGRI – Estação Experimental de Ituporanga, localizada no município de Ituporanga, Santa Catarina. Em 2019, foram estudados 26 genótipos de cebola, dentre linhagens (macho estéreis – LA e mantenedoras – LB), populações avançadas e cultivares, submetidos a dois níveis de adubação (com e sem enxofre). Foram avaliados os caracteres: ácido pirúvico (indicador de pungência), teor de enxofre no bulbo e produtividade de bulbos comerciais. Os genótipos revelaram comportamento diferencial segundo nível de adubação adotado. Na condição sem enxofre quatro grupos heteróticos foram sugeridos. Cruzamentos como LA11 *vs* LB24 e LA15 *vs* LB19 podem gerar variação genética e a respectiva seleção negativa para a pungência e positiva para produtividade de bulbos. No período de 2020/2021, foram avaliadas plantas de oito constituições genéticas (quatro híbridos e quatro linhagens) as quais foram retiradas dos grupos formados no estudo anterior, quanto aos caracteres morfológicos e produtivos, além do teor de sólidos solúveis, enxofre e ácido pirúvico. A análise revelou que a variação entre plantas dentro da parcela foi significativa, o que é esperado para a maioria dos caracteres considerados, sendo estas medidas adicionais desnecessárias para ganhos de informação no melhoramento genético. Nos caracteres teor de ácido pirúvico, teor de sólidos solúveis (BRIX) e altura de plantas foram detectados efeitos significativos para o fator genótipo. Por outro lado, no caráter rendimento de bulbos comerciais não foram identificados efeitos significativos entre as constituições genéticas. Dentre as combinações híbridas, uma revelou propriedades interessantes ao melhoramento (H1 – 09 x 10), com menor teor de ácido pirúvico e maior altura de planta, comparativamente à linhagem mantenedora. O trabalho indicou que híbridos de menor pungência podem ser obtidos em programas de melhoramento genético de cebola. Para tal, contudo, existe a necessidade da realização de um número maior de cruzamentos para que seja garantida uma maior variabilidade genética.

**Palavras-chave:** Cultivares; Hibridos; Melhoramento Genético; Linhagens Macho Esteril; Mantenedoras.

## ABSTRACT

The state of Santa Catarina stands out as the largest national producer in the production of onion bulbs. Due to the importance of the culture, research on onion culture is indispensable, especially in plant breeding programs. The onion when consumed raw is beneficial to health, due to the organosulfur compounds and fructans present in the bulbs, however, the more spicy (pungent), the more difficult it is to consume the onion in natura. Research has shown that, in order to obtain desirable genotypic characteristics, high yields and good conservation during storage, it is necessary that the cultivars be developed in the region of production itself, since the climatic and cultivation conditions considerably influence the chemical composition of the bulbs. The objectives of this work were: *i*) To characterize heterotic groups in onion for the development of hybrid cultivars with low pungency and; *ii*) To develop onion hybrids for bulb quality and yield characters. The experiments were conducted at EPAGRI – Experimental Station of Ituporanga, located in Ituporanga – Santa Catarina. In 2019, 26 onion genotypes were studied, among strains (male sterile – LA and maintainers – LB), advanced populations and cultivars, submitted to two levels of fertilization (with and without sulfur). The following characters were evaluated: pyruvic acid (pungency indicator), sulfur content in the bulb and yield of commercial bulbs. In this work, the genotypes showed differential behavior according to the adopted fertilization level. In the sulfur-free condition, four heterotic groups were suggested. Crosses such as LA11 vs LB24 and LA15 vs LB19 can generate genetic variation and the respective negative selection for pungency and positive for bulb yield. The study established, within the genetic variation available in EPAGRI's onion germplasm, four heterotic groups that can be recombined to select the best genetic background. In the period 2020/2021, plants of eight genetic constitutions (four hybrids and four lines) were evaluated for morphological and productive characters, in addition to the content of soluble solids, sulfur and pyruvic acid. The analysis revealed that the variation between plants within the plot was not significant for most of the considered characters, and these additional measures are unnecessary for information gains in genetic improvement. In the characters pyruvic acid content, soluble solids content (BRIX) and plant height, significant effects were detected for the genotype factor. On the other hand, in the yield character of commercial bulbs, no significant effects were identified between the genetic constitutions. Among the hybrid combinations, one showed interesting properties for breeding (H1 – 09 x 10), with lower pyruvic acid content and higher plant height, compared to the maintainer strain. The work indicated that hybrids with lower pungency can be obtained in onion breeding.

programs. However, there is a need to carry out a greater number of crosses to ensure greater genetic variability.

**Keywords:** Grow crops; Hybrids; Genetical enhancement; Male sterile lineages; Maintaining.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 – Planta de cebola ( <i>Allium cepa L.</i> ) .....	18
Figura 2 – Inflorescência da cebola.....	19
Figura 3 – Dispersão multivariada de 26 genótipos de cebola segundo os escores canônicos para ácido pirúvico (AP), enxofre (S) e produtividade de bulbos (PB): a) Condição sem adubação para todos os genótipos; b) Condição sem adubação somente para linhagens macho; c) Condição com adubação para todos os genótipos; d) Condição com adubação somente para linhagens macho. UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos 26 genótipos de cebola ( <i>Allium cepa L.</i> ) avaliados quanto ao uso atual. Codificação segundo sistema ABC de hibridação, linhagens com nome iniciando em “A” (LA) são macho estéreis e em “B” (LB) são mantenedoras. UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.....	33
Tabela 2 – Resumo da análise de variância multivariada por meio do teste Lambda de Wilk’s (U), para experimento em parcelas divididas. Indicados os graus de liberdade do numerador (NGL), do denominador (DGL) e a probabilidade para o teste F. UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.....	36
Tabela 3 – Contrastess multivariados entre genótipos de cebola (linhagens macho estéreis vs linhagens mantenedoras), considerando as variáveis ácido pirúvico (AP), enxofre (S) e produtividade de bulbos (PB). UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020. ....	40
Tabela 4 – Híbridos F1, linhagens mantenedoras e macho estéril em cebola avaliadas quanto aos caracteres de qualidade e rendimento de bulbos. UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020. ....	47
Tabela 5 – Análise de variância para genótipos de cebola considerando os caracteres: ácido pirúvico (AP), enxofre (S), teor de sólidos solúveis (BRIX), teor de matéria seca (MS), altura de planta (ALT), número de folhas (NF) e diâmetro do pseudocaule (DPC). UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.....	50
Tabela 6 – Análise de variância para genótipos de cebola considerando o caráter produtividade de bulbos comerciais ( $t \text{ ha}^{-1}$ ). UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020....	51
Tabela 7 – Médias corrigidas de genótipos de cebola (linhagens e híbridos) quanto aos caracteres ácido pirúvico (AP), teor de sólidos solúveis (BRIX) e altura de plantas (ALT). UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.....	52
Tabela 8 – Comparações genéticas entre híbridos F1 e genitores de cebola, quanto aos caracteres ácido pirúvico (AP), teor de sólidos solúveis (BRIX) e altura de plantas (AF). UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.....	52

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	ORIGEM E HISTÓRICO DO CULTIVO DA CULTURA DA CEBOLA .....	16
2.2	CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA E ASPECTOS MORFOLÓGICOS DA CEBOLA.	17
2.3	PLANTIO E ÉPOCAS DE PLANTIO .....	20
2.4	CULTIVARES.....	21
2.5	BREVE HISTÓRICO DO MELHORAMENTO DE PLANTAS .....	23
2.6	MELHORAMENTO GENÉTICO DA CEBOLA NO BRASIL.....	24
2.7	O DESENVOLVIMENTO DE HÍBRIDOS DE CEBOLA .....	26
2.8	CARÁTER PUNGÊNCIA.....	28
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO I: GRUPOS HETERÓTICOS EM CEBOLA PARA O DESENVOLVIMENTO DE HÍBRIDOS COM BAIXA PUNGÊNCIA .....</b>	<b>30</b>
3.1	RESUMO.....	30
3.2	INTRODUÇÃO.....	30
3.3	MATERIAL E MÉTODOS .....	32
3.3.1	<b>Local de estudo, constituições genéticas e unidades experimentais.....</b>	<b>32</b>
3.3.2	<b>Variáveis resposta .....</b>	<b>34</b>
3.3.3	<b>Análise estatística .....</b>	<b>35</b>
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
3.5	CONCLUSÃO .....	43
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO II: FORMAÇÃO DE HÍBRIDOS EM CEBOLA PARA CARACTERES DE QUALIDADE E RENDIMENTO DE BULBOS .....</b>	<b>44</b>
4.1	RESUMO.....	44
4.2	INTRODUÇÃO .....	44
4.3	MATERIAL E MÉTODOS .....	46
4.3.1	<b>Local e delineamento experimental.....</b>	<b>46</b>
4.3.2	<b>Constituições genéticas .....</b>	<b>47</b>
4.3.3	<b>Caracteres avaliados.....</b>	<b>47</b>
4.3.4	<b>Análise estatística .....</b>	<b>49</b>
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.5	CONCLUSÃO .....	53

<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente atender a demanda mundial por alimentos passou a ser um desafio ainda maior diante do cenário de crescimento populacional e alterações climáticas no planeta (WATSON *et al.*, 2018). Dentre as várias espécies cultivadas pertencentes ao gênero *Allium*, a cebola (*Allium cepa L.*) é considerada a mais importante, por ser a terceira hortaliça mais consumida no Brasil e no mundo (MENEZES JUNIOR; KURTZ, 2016; QUARTIERO *et al.*, 2014), ficando atrás apenas do tomate e da batata (FAO, 2020). A cebola é produzida em diversas partes do mundo, sendo os principais produtores a China, a Índia, Estados Unidos e o Egito, que juntos produzem 53,08% da produção mundial (EPAGRI, 2019).

O estado de Santa Catarina se destaca como o maior produtor nacional de bulbos de cebola, atividade tipicamente conduzida por agricultores familiares, responsáveis por significativa geração de emprego, renda e fixação do homem no meio rural. Estimativas indicam que somente em Santa Catarina a cultura envolva cerca de 8.289 estabelecimentos. No ano de 2020 foram produzidas no estado catarinense 528.439,05 toneladas de cebola numa área de 18.682 hectares, produtividade de 28,29 t ha<sup>-1</sup>, valor comercializado de R\$ 686.972,00 e preço médio por quilo de R\$ 1,30 (IBGE, 2020). A região do Alto Vale do Itajaí é considerada a maior produtora da hortaliça, concentrando de 70 a 80% da produção estadual (GUGEL, 2017). A região situa-se no Sul do Brasil entre as latitudes 26°34'S e 27°41'S, apresentando características climáticas propícias para a produção comercial de cebola que por apresentar alta rentabilidade tem sido opção de muitos agricultores.

Devido à importância da cultura para o país, pesquisas com cultura da cebola são indispensáveis, especialmente em programas de melhoramento vegetal. Nesses, os melhoristas necessitam de uma ampla base genética e boas estratégias de melhoramento para que sejam obtidos cultivares com as características demandadas por produtores e consumidores..

A cebola quando consumida crua é benéfica para a saúde, devido aos compostos organossulfurados e frutanas presentes nos bulbos, porém, quanto mais picante (pungente), mais difícil é o consumo *in natura* da cebola. Com a diversificação dos padrões de exigência do consumidor, atualmente os hábitos alimentares têm se voltado para o consumo de cebolas de tamanho médio (classe 3 – diâmetro transversal de 50 a 70 mm), formato globular, com pungência de moderado a suave, de paladar mais agradável quando comparada ao sabor picante. Diante dessa necessidade, faz-se necessário à identificação de genótipos com menor

pungência que atendam a demanda do mercado.

As pesquisas têm demonstrado que para a obtenção de características genotípicas desejáveis, altos rendimentos e boa conservação durante o armazenamento, é necessário que os cultivares sejam desenvolvidos na própria região de produção, já que as condições climáticas e de cultivo influenciam consideravelmente a composição química dos cultivares.

Além da pungência, outras características são de interesse ao melhoramento de plantas como: teor de enxofre, a produtividade de bulbo, o número de folhas, o diâmetro do pseudocaule, a altura de folhas, o teor de sólidos solúveis e a biomassa seca (massa ou matéria seca).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ORIGEM E HISTÓRICO DO CULTIVO DA CULTURA DA CEBOLA

A cebola é originária, provavelmente, das regiões que compreendem o Afeganistão, Irã e parte sul da Rússia, sendo mencionada em passagens bíblicas e no Alcorão islâmico como alimento, medicamento e objeto religioso (PINHEIRO *et al.*, 2012). O registro mais antigo sobre o cultivo dessa hortaliça data de cerca de 4.000 anos a. C. no antigo Egito. Os egípcios as usavam como moeda para pagar aos trabalhadores que construíram as pirâmides, como oferenda aos Deuses e ascolocavam nos túmulos dos faraós, como Tutankhamon. A partir do Egito, os romanos disseminaram a cebola pela Europa, principalmente na Idade Média. Autores da antiguidade, como Hipócrates, Teofrasto e Plínio descreveram várias variedades de cebola (BARBIERI; MEDEIROS, 2007).

A cebola está entre as primeiras plantas cultivadas trazidas da Europa para as Américas, inicialmente por Cristóvão Colombo em 1494, na sua segunda viagem para a República Dominicana. Mais tarde, os espanhóis disseminaram para as Américas Central e Sul, e no início do século 17 no Norte dos Estados Unidos. Os europeus também levaram a cebola para o Leste da Ásia durante o século 19 (SANTOS; OLIVEIRA; LEITE, 2013).

No Brasil, esta cultura foi introduzida pelos portugueses no litoral do Rio Grande do Sul no século XVIII (BARBIERI; MEDEIROS, 2007). Das cultivares plantadas a partir dessa época, passaram por seleção empírica, sendo também selecionadas pelos agricultores de acordo com seus interesses (MELO; BREDA JUNIOR; MELO, 2010).

A partir de 1938, no Rio Grande do Sul foram iniciados os trabalhos pioneiros de melhoramento genético de cebola, utilizando-se de populações dos tipos Baia Periforme e Pera Norte mantidas pelos produtores, as quais exibiam elevada variabilidade para o ciclo de maturação, potencial produtivo, conservação pós-colheita e resistência a doenças (MELO; BREDA JUNIOR; MELO, 2010). A diversidade genética dessas populações permitiu a formação de um banco de germoplasma e a obtenção de vários cultivares utilizados pelos programas de melhoramento da cultura no País (SANTOS; OLIVEIRA; LEITE, 2013).

Em Santa Catarina, os estudos em melhoramento que culminaram no desenvolvimento de cultivares de cebola adaptadas às condições edafoclimáticas do Estado, com características desejadas pelos produtores (como alto potencial produtivo e boa conservação pós-colheita) e pelo mercado consumidor foram iniciados pela Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária (EMPASC).

Em 1991, a EMPASC se funde a outras quatro empresas ligadas às atividades de pesquisa agrícola e de extensão rural, para formar a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).

Desde seu início, ainda EMPASC, as pesquisas de melhoramento de cebola foram desenvolvidas pela Estação Experimental de Ituporanga, localizada no município de Ituporanga. Na década de 1980 foram desenvolvidos os cultivares da série “EMPASC”. Na década de 1990 foram lançados mais dois cultivares com a denominação de EPAGRI 362 – Crioula Alto Vale e EPAGRI 363 – Superprecoce. Em 2011 foi lançado o cultivar SCS366 Poranga, originado da seleção dentro do cultivar EPAGRI 363 Superprecoce com o objetivo de antecipar o período de colheita. Em 2015, 2019 e 2020 foram lançados, respectivamente, os cultivares SCS373 Valessul, SCS379 Robusta e SC378 Galega. Com destaque para o cultivar Valessul que hoje ocupa a maior área de cultivo do estado catarinense por suas características de ciclo precoce, produtividade, coloração dos bulbos (marrom) e maior conservação em pós-colheita.

Sendo assim, a estação Experimental de Ituporanga ao longo de sua existência têm desenvolvido os principais cultivares de cebola em uso no estado catarinense. Atualmente, devido a sua produtividade e qualidade diferenciada, os cultivares de cebola de Santa Catarina têm sido cultivados também nos outros estados produtores do Sul do Brasil, ou seja, no Paraná e no Rio Grande do Sul.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA E ASPECTOS MORFOLÓGICOS DA CEBOLA

A primeira classificação da cebola foi feita por Carl Van Lineus em seu livro “Species Plantarum” como pertencente à família Liliaceae e ao gênero Allium, sendo a espécie *A. cepa L.* (Figura 1). Estudos recentes têm questionado o posicionamento do gênero Allium. Para alguns taxononistas, com base nas características morfológicas e fisiológicas, a classificação dentro da família Liliaceae ou da Amaryllidaceae (classe Monocotyledoneae, ordem Asparagales) deve ser mantida. Por outro lado, estudos morfológicos e moleculares têm reforçado a idéia de que o gênero Allium pertence a uma família monofilética (Alliaceae), que apresenta características distintas, porém estreitamente relacionadas com a família Amaryllidaceae (KIILL; RESENDE; SOUZA, 2007).

Figura 1 – Planta de cebola (*Allium cepa L.*)



Fonte: Alves, Wamser e Oliveira (2016).

No presente trabalho, a classificação adotada é: Sub-divisão – Angiospermae; Classe – Monocotiledoneae; Sub-classe – Liliidae; Ordem – Liliales; Família – Alliaceae; Gênero – Allium Espécie - *Allium cepa L.*. Além da cebola, o gênero Allium inclui outras espécies de importância econômica como o alho (*A. Sativum L.*), o alho porró (*A. Ampeloprasum L. var. porrum (L.) J. Gay*), a cebolinha (*A. Fistulosum L.*), entre outros (KIILL; RESENDE; SOUZA, 2007; BOITEUX; MELO, 2016). Morfologicamente, a espécie é descrita como uma planta herbácea, de ciclo anual para produção de bulbos e bianual para produção de sementes, atinge tamanho variável entre 60 e 80 centímetros de altura, as folhas podem ser cerosas ou não, lisas, de formato tubular (subcilíndricas ocas) afilando-se da base para a extremidade. O limbo foliar é de seção arredondada e oca. As bainhas foliares são anéis cilíndricos, cuja superfície concêntrica forma o pseudocaule. O caule verdadeiro está reduzido a um eixo quase em forma de disco na base do bulbo, no qual as folhas se inserem. O sistema radicular presente na cebola é do tipo fasciculado, apresenta poucas ramificações e pelos radiculares, apresentando até 200 raízes por planta, onde 80% destas se encontram na camada do solo de até 15 cm de profundidade (MAGALHÃES, 1993).

Os bulbos são formados em condições climáticas favoráveis, fotoperíodo e temperatura, por diversas túnicas, que são bainhas foliares superpostas, onde a externa constitui uma película seca, colorida (amarela, baia, branca, castanha, marrom, pinhão, roxa e vermelha) cuja parte comestível é o bulbo tunicado, que é formado por um conjunto de folhas modificadas entumescidas denominadas catáfilos, que apresenta variação em formato, cor (branca, branca com anéis roxos, creme, roxa/branca e vermelha), pungência, tamanho e conservação pós-colheita (FILGUEIRA, 2000, 2008).

Na fase de bulbificação a planta exige fotoperíodos maiores que o valor crítico do cultivar, temperaturas ligeiramente mais elevadas em relação à fase vegetativa, e um fornecimento adequado de água, sem ser excessivo. Na fase final – a da maturação – obtém-se bons bulbos comerciáveis sob fotoperíodos longos, temperaturas bem mais elevadas e completa ausência de chuvas ou de irrigação (FILGUEIRA, 1982).

Tem-se constatado que fotoperíodo e temperatura interagem, na bulbificação, no desenvolvimento do bulbo e no florescimento da planta. Ao contrário do que ocorre com o fotoperíodo, as temperaturas variam, num mesmo mês, ao longo dos anos - o que explica as diferenças no comportamento de um mesmo cultivar, em anos diferentes, semeada na mesma época, em uma localidade (FILGUEIRA, 1982).

A flor da cebola (Figura 2) é hermafrodita e comprehende três carpelos fundidos em seu pistilo, seis estames (três internos e três externos), um estilete, três segmentos de periantos interiores e três exteriores. O ovário é súpero e contém três lóculos, com dois rudimentos seminais em cada um. Os nectários se localizam na base dos estames e o néctar é acumulado entre os estames internos e externos. Quando a flor se abre o pistilo tem um centímetro de comprimento, mas não está receptiva para o pólen que é liberado. Adquire tal condição quando atinge uns cinco centímetros de comprimento. As anteras emitem quase todo o pólen durante um período de 9 a 17 horas, 26 a 36 horas antes que o estigma esteja receptivo. Esta diferença entre a liberação do pólen maduro e a não receptividade do estigma explica porque a cebola é uma planta tipicamente de polinização cruzada (alógama). Tal fenômeno recebe o nome de protandria ou dicogamia protândrica (MULLER; CASALI, 1982; MELO; BREDA JUNIOR; MELO, 2010).

Figura 2 – Inflorescência da cebola



Fonte: Alves, Wamser e Oliveira (2016).

A polinização é realizada, principalmente por abelhas, ainda que seja frequente

também a intervenção de moscas e vespas. As abelhas são atraídas pelo néctar e pólen produzidos pelas flores da umbela que permanecem abertas de 15 a 20 dias. As flores de todas as umbelas formadas na planta ficam abertas por cerca de 30 dias. O fruto da cebola é uma cápsula com três lóbulos, em que cada um deles contém uma ou duas sementes de cor preta (MELO; BREDA JUNIOR; MELO, 2010).

### 2.3 PLANTIO E ÉPOCAS DE PLANTIO

Os programas de melhoramento de cebola regionais têm contribuído decisivamente, disponibilizando cultivares de cebola adaptadas às mais variadas condições edafoclimáticas e preferências. As diferenças nas condições climáticas entre as várias regiões do Brasil, principalmente em relação ao fotoperíodo e temperatura, além das preferências regionais e práticas culturais utilizadas, torna a produção e consequentemente a oferta de cebola bem distribuída ao longo do ano no Brasil (FILGUEIRA, 1982).

Como para as demais hortaliças cultivadas em condições de campo no Brasil, considera-se como época ideal para o cultivo da cebola o período de março a novembro (FILGUEIRA, 1982). Neste período, as temperaturas são mais amenas, principalmente as noturnas. Neste período, a não ocorrência de períodos longos de chuva facilita o manejo da cultura, principalmente o controle de doenças. Assim, o período de março a novembro concentra a maior parte da produção de cebola nas principais regiões produtoras do Brasil.

O estado da Bahia e Pernambuco são exceções, pois planta-se cebola o ano todo, embora, como nas demais regiões, considera-se o período de setembro a março como adverso a cebola, tendo a temperatura como fator limitante para produção (FILGUEIRA, 1982).

Em regiões com latitudes maiores como Sul, Sudeste e Centro-Oeste, março, abril e maio são os melhores meses para o plantio da cebola, principalmente em termos de bulbificação (FILGUEIRA, 1982; ALVES; WAMSER; OLIVEIRA, 2016). Plantando-se nesta época, o crescimento ocorre sob condições adequadas de pluviosidade, de temperatura (mais elevadas) e num período de encurtamento de fotoperíodo, mas ainda suficientemente longo para o crescimento rápido das plantas. A partir do final de junho, o fotoperíodo volta a crescer, embora a temperatura continue decrescendo. Obviamente, embora as plantas continuem a crescer no inverno, a taxa de crescimento é menor. A bulbificação apenas irá iniciar quando a combinação de fatores determinantes da bulbificação de cada cultivar seja atingida, o que ocorre com as plantas completamente desenvolvidas. A colheita ocorre de finais de setembro a dezembro (FILGUEIRA, 1982; EPAGRI, 2013; ALVES; WAMSER;

OLIVEIRA, 2016).

Plantio tardio somente é possível em regiões de latitudes menores, onde o fotoperíodo varia pouco ao longo do ano. Nas regiões de latitudes maiores, o plantio tardio acarreta a bulbificação precoce das plantas, ou seja, com as plantas não totalmente desenvolvidas, resultando em alta proporção de bulbos pequenos, problema esse que pode ser reduzido com a utilização de cultivares apropriadas (FILGUEIRA, 1982).

O plantio no verão tem como principal inconveniente à bulbificação sob altas temperaturas, além das chuvas excessivas e da maior incidência de doenças, pragas e plantas daninhas. Já existem cultivares de cebola desenvolvidas para o verão (cv. Alfa Tropical). Outras cultivares com potencialidade para plantio nessas épocas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste são: Franciscana IPA 10 e Vale Ouro IPA 11, que por serem desenvolvidas para a região Nordeste do Brasil, sofrem menor efeito das altas temperaturas (FILGUEIRA, 1982).

O ponto ideal de colheita é quando o bulbo alcança sua maturidade fisiológica, que é manifestada pelo tombamento ou estalo da planta, devido ao murchamento do pseudocaule. Após o arranquio, realizado quando aproximadamente 70 a 80% das plantas atingem a maturidade fisiológica, segue-se a cura a campo que consiste no secamento da planta. Esse processo é realizado a campo por um período de 3 a 10 dias se o tempo se mantiver seco, quente e ensolarado. Após essa cura preliminar, recolhem-se os bulbos em galpões bem arejados e secos, para uma cura mais lenta. No armazém a cura se completa em poucas semanas, obtendo-se um produto, de melhor coloração e facilmente conservado (FILGUEIRA, 2008; EPAGRI, 2013).

## 2.4 CULTIVARES

A adaptação dos cultivares de cebola para a produção de bulbos para cada localidade de cultivo está relacionada primeiramente ao fotoperíodo, característico da latitude da região, e da temperatura. Estes fatores ambientais limitam o uso de determinado cultivar a localidade onde foi desenvolvido. Assim, os cultivares de cebola são regionalizados (ALVES; WAMSER; OLIVEIRA, 2016).

Os cultivares de cebola utilizados em Santa Catarina são agrupados de acordo com o ciclo em: superprecoce, precoces e médios, apresentando características diferenciadas, conforme descrito abaixo:

i) **Ciclo superprecoce:** cultivares semeados em abril e transplantados em junho.

Apresentam menor exigência quanto ao fotoperíodo e sua colheita é realizada durante

o mês de outubro. Seu cultivo é recomendado para regiões de menor altitude (abaixo de 500 m) a fim de evitar o florescimento prematuro. Trata-se de uma nova opção para o produtor, pois permitem antecipar operíodo de colheita em aproximadamente 20 dias em relação aos cultivares de ciclo precoce.

ii) **Ciclo precoce:** cultivares semeados em abril/maio e transplantados em junho/julho. Representam atualmente a maior área plantada no Estado, substituindo os cultivares de ciclo médio. Sua utilização cresceu muito nos últimos anos, pois possuem características de coloração e armazenamento semelhantes às dos cultivares de ciclo médio, mas com a vantagem de a colheita ser antecipada para novembro, evitando os problemas relacionados com o excesso de chuva, calor e ocorrência de granizos próximos à colheita.

iii) **Ciclo médio:** cultivares semeados em maio/junho e transplantados em agosto/setembro. Já representaram a maior área cultivada no Estado, mas vêm perdendo espaço para os cultivares precoces e agora os superprecoces. Por outro lado, estão sendo utilizados em novas áreas de cultivo no Estado, principalmente no Meio-Oeste, Planalto Serrano e Planalto Norte. Por apresentarem uma película mais resistente, são mais indicados para o armazenamento (EPAGRI, 2013).

Quanto à exigência de luz para que ocorra a bulbificação, os cultivares de cebola são classificados em três grupos: cebolas de dias curtos (DC), cebolas de dias intermediários (DI) e cebolas de dias longos (DL). Os cultivares de DC são aqueles que requerem fotoperíodo de 10 a 12 horas para que a bulbificação seja induzida. Os cultivares de DI requerem fotoperíodo de 12 a 14 horas para que haja bulbificação e os cultivares de DL exigem um fotoperíodo igual ou superiora 14 horas (BREWSTER, 1994).

Segundo Alves, Wamser e Oliveira (2016), a escolha do cultivar deve ocorrer de acordo com o fotoperíodo do local de cultivo, uma vez que o fotoperíodo varia com a latitude e a época do ano. O cultivo em locais ou em épocas do ano em que o fotoperíodo não esteja de acordo com as necessidades do cultivar poderá comprometer toda a produção. Assim, se um cultivar de DL for plantado em Goiás ( $15^{\circ}$  latitude sul), um elevado número de plantas vegetará por muito tempo sem formar bulbos, ou formará os chamados “charutos”, bulbos que não se desenvolveram devido à insuficiência de luz para induzir a bulbificação. Por sua vez, se um cultivar de DC for cultivado em outubro na cidade de São José do Norte, RS, ( $32^{\circ}$  latitude sul), onde o fotoperíodo é muito superior, haverá uma bulbificação prematura, obtendo-se bulbos pequenos e possivelmente sem valor comercial.

Em termos gerais, os cultivares de DC são semeados entre meados do verão e meados

do outono, sendo a colheita realizada entre meados do inverno e meados da primavera. Os cultivares de DI são semeados, normalmente, em meados a final do outono e a colheita na primavera a início do verão. Os cultivares de DL são geralmente semeados no início da primavera e colhidos entre o final do verão e o final do outono.

O padrão genético é outra forma de agrupamento de cultivares, que é determinado pelo grau de homogeneidade adquirido pela população por meio do melhoramento genético (OLIVEIRA *et al.*, 2003). No primeiro grupo estão as populações geneticamente heterogêneas, que constituem a base das cultivares/variedades brasileiras e apresentam tolerância a doenças, boa conservação pós-colheita e ampla variação em formato, tamanho, cor, número e espessura de película de bulbos. Cebolas desse grupo são adaptadas na região sul, seus bulbos possuem conservação pós-colheita muito boa, película marrom escura e ampla aceitação pelo mercado. O segundo é composto por seleções estabilizadas e bem adaptadas que são comercializadas como cultivares de polinização livre, a qual pertencem a maioria das cultivares brasileiras

## 2.5 BREVE HISTÓRICO DO MELHORAMENTO DE PLANTAS

Há cerca de dez mil anos, durante a revolução agrícola, o homem iniciou inconscientemente o melhoramento de plantas. Ao iniciar o cultivo de plantas modificações e adaptações ocorreram a exemplo de uma melhor retenção de sementes, aumento no tamanho e número de inflorescências e produtividade. A seleção empírica (“consciente”), cujo início não se pode precisar, deu uma nova dimensão ao processo de domesticação, resultado num novo tipo de pressão e a população passou a ter características deliberadamente escolhidas como cor, sabor, aroma, dentre outros aspectos (MACHADO, 2014). Assim a seleção empírica de plantas com características desejáveis foi o primeiro “método” de melhoramento de plantas (POEHLMAN; SLEPER, 1995).

A origem do melhoramento de plantas como ciência deve-se aos trabalhos de dois biólogos, Charles Darwin (1809 – 1882) e Gregor Mendel (1822 – 1884). Estes, segundo Betrán *et al.* (2009, *apud* MACHADO, 2014), motivaram inúmeros debates que se estenderiam até o início do século vinte, culminando na genética clássica.

Para Poehlman e Sleper (1995), a fundação do melhoramento de plantas foi baseada no reconhecimento do gene como a unidade da hereditariedade, em procedimentos de sua manipulação, e regras de comportamento genético que permitiram predizer de forma precisa os resultados da sua manipulação.

A ciência do melhoramento tem evoluído a passos largos, da hibridação como um dos principais métodos aos avanços atuais da genética molecular, a expansão do conhecimento ter permitido a solução de diversos problemas, contribuindo de forma decisiva para a segurança alimentar do planeta.

## 2.6 MELHORAMENTO GENÉTICO DA CEBOLA NO BRASIL

O início do cultivo de cebola amarela no Brasil ocorreu com a chegada dos imigrantes açorianos que colonizaram as regiões de Rio Grande e Pelotas no Rio Grande do Sul, durante o século XVIII e início do século XIX (FONTOURA, 1994; FRANÇA; CANDEIA, 1997; MELO; RIBEIRO; CHURATA-MASCA, 1988). Dos genótipos introduzidos, por seleção natural e pela ação de agricultores de Rio Grande e região, desenvolveram-se populações agrupadas conforme o cultivar de origem em “Baia Periforme”, relacionada as populações derivadas de uma cebola portuguesa conhecida como “Garrafal” e o tipo “Pêra Norte”, que provavelmente deriva de genótipos egípcios que foram introduzidos na Ilha dos Açores e posteriormente trazidos para o Brasil. Um terceiro tipo, possivelmente resultante do cruzamento entre populações do tipo Baia Periforme e Pêra Norte, denominado “Crioula” surgiu na região do Alto Vale do Itajaí, em Santa Catarina (COSTA, 1997). Estas populações básicas apresentam grande variabilidade para ciclo de maturação, potencial produtivo, características de bulbo, pungência, e em especial uma elevada tolerância a doenças e boa conservação pós-colheita, as quais além de garantir a sustentabilidade do cultivo da cebola no sul do Brasil, proporcionaram a formação de um banco de germoplasma de inestimável valor para o melhoramento da cultura no país. É importante salientar que todos os programas de melhoramento de cebola no Brasil, utilizaram ou utilizam este precioso conjunto gênico (LISBÃO, 1993; MELO; BOITEUX, 2001; LEITE *et al.*, 2009).

No Brasil, os programas de melhoramento genético das Instituições Públicas, como EPAGRI, IPA (Centro Universitário Metodista) e Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) possuem uma longa tradição de trabalho, sendo responsáveis pelo lançamento da maioria das cultivares em cultivo no país adaptadas as mais diversas condições edafoclimáticas e preferências regionais (LEITE *et al.*, 2009).

É importante que as instituições de pesquisa continuem a receber apoio e investimentos para o desenvolvimento e incremento das pesquisas com cebola, com vistas à criação de cultivares cada vez mais competitivas no mercado. Ainda mais diante das

importações anuais de cebola da Argentina, Chile, Holanda, Espanha e outros países, que somente em 2020 somaram 198 mil toneladas (EPAGRI, 2022).

O melhoramento genético da cebola tem focado, além da adaptação a cada localidade e desempenho agronômico, em características diferenciais de qualidade nutricional e organoléptica (RABOY, 2013). Um dos nichos de mercado de interesse no Brasil a ser ocupado com potencial de comércio diz respeito ao desenvolvimento de cebolas com baixa pungência.

Segundo Yoo *et al.* (2006), a genética continua sendo o principal fator determinante da pungência da cebola. Assim, um programa de melhoramento baseado na seleção para baixa pungência representa o método mais eficaz para a produção de variedades de cebola com esta característica, sendo assim os métodos de melhoramento devem ser voltados para seleção de bulbos de baixa pungência.

A produção de cebola no Brasil está baseada em cultivares de polinização aberta, correspondendo a cerca de 70% da área cultivada. Os cultivares de cebola têm sido obtidos por seleção massal dentro de uma população segregante originada após o cruzamento entre materiais genéticos de interesse. Estes cultivares apresentam, entre outras características, tolerância a doenças, boa conservação pós-colheita e variações em formato, tamanho, cor, número e espessura de películas de bulbos (LEITE *et al.*, 2009; ALVES; WAMSER, OLIVEIRA, 2016).

A seleção massal dentro de uma população segregante proporcionou a obtenção de vários cultivares de cebola lançados a partir da década de 80 pela EPAGRI em Santa Catarina. Com destaque recente ao cultivar SCS373 Valessul, originário do cruzamento entre os cultivares EMPASC 352 Bola Precoce e EPAGRI 362 Crioula Alto Vale (ALVES; WAMSER, OLIVEIRA, 2016).

Reconhecidamente, a obtenção de altas produtividades está condicionada ao uso de cultivares superiores associado a técnicas como manejo da irrigação, densidade populacional, mecanização e adubação equilibrada com base na análise de solo. No quesito produtividade, a adoção de cultivares híbridos associada ao uso de tecnologia de produção tem proporcionado aumentos significativamente superiores em relação às cultivares de polinização aberta (FARIA *et al.*, 2012). Além de maior produtividade, devido à heterose, os híbridos de cebola apresentam maior uniformidade de bulbos, aumentando assim a proporção de bulbos comerciais. No entanto, a maioria dos híbridos, atualmente comercializados no Brasil, foi desenvolvida em outros países, podendo apresentar vários problemas de adaptação aos fatores climáticos e susceptibilidade a doenças (LEITE *et al.*, 2009; FARIA *et al.*, 2012; ALVES;

WAMSER; OLIVEIRA, 2016). Estes fatores têm dificultado a adaptação destes genótipos na região Sul do Brasil que apresenta clima subtropical úmido.

O cultivo de híbridos no Brasil vem crescendo em regiões que possuem condições climáticas “mais bem definidas”, como as encontradas na região nordeste do Brasil. Nestas, as variações meteorológicas são menos bruscas em comparação a região Sul. De acordo com Resende *et al.* (2011), nestas condições além da maior produtividade, os híbridos mostram características como qualidade, precocidade, uniformidade, resistência a pragas e doenças e conservação pós-colheita, que garantem maior rentabilidade do cultivo. O desenvolvimento de híbridos adaptados às condições edafoclimáticas da região Sul do Brasil é um grande desafio. Contudo, trará aumentos em produtividade, qualidade e rentabilidade das lavouras.

## 2.7 O DESENVOLVIMENTO DE HÍBRIDOS DE CEBOLA

Para obter híbridos de cebola o tempo é de 15 a 20 anos, uma vez que um ciclo semente-semente da cultura leva aproximadamente dois anos. Os bulbos obtidos são selecionados, colhidos e armazenados no primeiro ano. No segundo ano, os bulbos são vernalizados ou frigorificados artificialmente em câmaras frias, em seguida são plantados no campo para florescimento e produção de sementes (JONES; MANN, 1963). Para reduzir os custos da produção de sementes híbridas de cebola, a utilização de macho-esterilidade é a forma mais utilizada difundida entre as empresas produtoras de sementes, dentro e fora do país.

Os híbridos de cebola desde que ficaram conhecidos no mercado tem aumentado a cada ano sua participação no comércio mundial de sementes, isso deve-se em função da superioridade agronômica desses em relação às cultivares de polinização livre (MAY *et al.*, 2007). Uma forma para desenvolver este tipo de cultivar é por meio da identificação de uma fonte de macho esterilidade, que pode ser originária de um programa de melhoramento ou um híbrido comercial estéril (testador).

O longo ciclo da cebola e o reduzido número de linhas macho-estéreis-MS (linhas A) e de linha mantenedora (B) têm limitado a obtenção de híbridos no Brasil.

Ao se realizar a combinação de linhagens de cebola, o intuito é que o híbrido produzido resulte em um genótipo altamente heterótico. Ainda, a utilização de híbridos é de grande importância no que diz respeito à maior uniformidade em relação a formato, coloração e maturação dos bulbos, que são características economicamente desejáveis (MAY *et al.*, 2007).

O baixo rendimento de sementes é um problema na produção de sementes híbridas em cebola. A principal causa é a depressão por endogamia que resulta na redução do vigor das linhagens usadas no processo da obtenção de híbridos. O que reduz o vigor das plantas é o processo de endogamia (cruzamento de indivíduos com certo grau de parentesco), que resulta em uma baixa produção de flores, que é caracterizada pelo reduzido tamanho e número de umbelas, decréscimo do período de receptividade de flores individuais e flores abortadas (PATHAK, 1999).

Para que sejam obtidos ganhos heteróticos há necessidade de informações sobre o comportamento e desempenho de linhagens e híbridos experimentais. No estado de Santa Catarina, poucos estudos se encontram disponíveis quanto a avaliação do comportamento de linhagens e híbridos experimentais de cebola, para fins de direcionar programas de melhoramento genético.

A cebola é uma espécie diploide ( $2n=2x=16$ ) com um número básico de cromossomos de  $x=8$ . Constitui-se numa espécie modelo para investigações citológicas devido ao tamanho relativamente grande dos seus cromossomos. Poucos genes foram identificados em cebola. Somente cerca de 20 genes foram caracterizados por estudos de herança. A dificuldade de obtenção de informações genéticas é atribuída a vários fatores: ser uma cultura bienal, tempo necessário para realização de análises de segregação; sua natureza alógama, portanto heterozigota, com sua importante depressão de vigor e possuir um dos maiores genomas de todas as plantas cultivadas (BREWSTER, 1994; GALMARINI; GOLDMAN; HAVEY, 2001).

Os genes que determinam a macho-esterilidade são qualitativos e têm grande importância nas espécies de *Allium* comestíveis. Em plantas macho-estéreis o pólen tem um colapso no seu desenvolvimento tornando-as, desta forma, incapazes de autopolinização. Qualquer semente produzida será o resultado de polinização cruzada. Esta propriedade tem sido utilizada para produzir cultivares híbridos F1 que demonstram heterose (BREWSTER, 1994).

Uma vez que uma linhagem mantenedora tenha sido identificada em uma população endogâmica local adaptada, a linhagem macho-estéril precisa ser desenvolvida para que ela seja quase idêntica à mantenedora, com exceção da presença do fator citoplasmático S. Isto é conseguido pelo repetido cruzamento da linhagem mantenedora adaptada com a progénie da linhagem macho-estéril (PIKE, 1986). Somente certos cruzamentos resultarão em híbridos F1 desejáveis. Desta forma, um número de pares de linhagens macho-estéreis e mantenedoras precisarão ser desenvolvidas para um programa de melhoramento ter uma boa chance de sucesso. O

melhorista precisa realizar muitos cruzamentos nas suas linhagens macho-estéreis e a cultivar polinizadora e avaliar as progênies para identificar quais resultam em híbridos desejáveis. Acumulando dados em tais cruzamentos-testes, o melhorista poderá obter informações que o ajudarão a predizer quais deles resultarão em híbridos desejáveis (BREWSTER, 1994).

## 2.8 CARÁTER PUNGÊNCIA

A pungência em cebola pode ser definida como a combinação entre aroma e sabor, que é produzida pela hidrólise de compostos precursores sulfóxidos, sendo na cebola o principal representante o S-alk(en)il-L-cisteína (sulfóxido de L-cisteína). Quando as células são mecanicamente rompidas, estes compostos são produzidos enzimaticamente pela hidrólise de precursores do sabor e ação da alinase em presença de água, produzindo sulfóxido de tiopropanal (composto que induz ao lacrimejamento), ácido pirúvico, amônia e muitos compostos voláteis sulfurados (SCHWIMMER; WESTON, 1961; WHITAKER, 1976; CROWTHER *et al.*, 2005; FAYOS; MALLOR; GARCES-CLAVER, 2018).

Porém, características como alta pungência e a liberação dos compostos voláteis que irritam os olhos e as mucosas nasais podem ser inconvenientes e limitar o consumo da cebola “*in natura*”. Diferente de outros países, a exemplo dos EUA, o Brasil se encontra no início do desenvolvimento de populações de cebola com baixa pungência. Segundo Costa (1997), nos EUA, onde foi desenvolvido o conceito de cebola suave para o uso *in natura*, o resultado foi o aumento do consumo de cebola de 9 kg/pessoa/ano, na década de 80, para 12 kg/pessoa/ano em 1996. O desenvolvimento no Brasil de cebolas doces, de acordo com Ramos, Deon e Aragão (2005), além da possibilidade de aumento do consumo interno, possui o potencial futuro de exploração de outros mercados, como o norte americano e europeu.

As variações na pungência da cebola podem ser atribuídas a fatores genéticos e ambientais, segundo Randle e Lancaster (2002, *apud* BREWSTER, 2008; FAYOS; MALLOR; GARCES-CLAVER, 2018). Do ponto de vista genético, grandes variações na pungência podem ser observadas entre os cultivares de cebola, o que se deve a maior ou menor quantidade de compostos sulfurados voláteis (BREWSTER, 1994). De acordo com Owen (1961, *apud* FAYOS; MALLOR; GARCES-CLAVER, 2018), a pungência da cebola é um caráter controlado pela ação de poucos genes. Porém o alto grau de alogamia, a depressão por consanguinidade e o caráter bienal que apresentam as populações de cebola, junto ao grande tamanho do genoma, que inclui um grande número de repetições, têm dificultado a identificação de genes e das rotas metabólicas relacionados à biossíntese dos sulfóxidos de

cisteína.

Galmarini, Goldman e Havey (2001), mediante estudos de mapeamento QTLs (“*quantitative trait loci*” ou locus de um caráter quantitativo) identificaram, a partir do cruzamento de dois cultivares de cebola (“BYG15-23” e “AC43”) um QTL localizado no cromossoma 5 diretamente relacionado com a pungência e o conteúdo total de matéria seca. Este locus foi posteriormente confirmado pelo cruzamento entre “W202A” x “Texas Grano 438”, além de outro QTL maior, diretamente relacionado ao conteúdo de sólidos solúveis e sem efeitos pleiotrópicos, muito ligado a dois genes do cromossoma 3 codificantes para as enzimas ATP sulforilase e sulfato redutase, envolvidas nas reações do metabolismo do enxofre e sua incorporação na cisteína, respectivamente (MCCALLUM *et al.*, 2007).

Fatores ambientais, como teor de enxofre no solo (relacionado ao teor de matéria orgânica no solo), tendem a influenciar a pungência da cebola. Além de melhorar o crescimento, vigor e desenvolvimento radicular, o enxofre é um nutriente fundamental na produção de aminoácidos, proteínas e clorofila, sendo componente de vitaminas e hormônios (HAWKESFORD *et al.*, 2012). O S é constituinte de compostos orgânicos (aminoácidos sulfurados), responsáveis pela pungência da cebola (RESENDE *et al.*, 2011).

A pungência da cebola é difícil de ser quantificada pela análise sensorial ou por instrumentos analíticos avançados e tem sido medida em função da quantidade de ácido pirúvico. A quantificação do nível de ácido pirúvico como o índice de pungência tem se tornado um procedimento de rotina para garantir o desenvolvimento de cebola de melhor qualidade para produtores e consumidores (YOO; PIKE, 2001), sendo sua quantificação um dos métodos mais aceitáveis para sua avaliação.

Segundo os autores Dhumal, Datir e Pandey (2007), as cebolas são classificadas como de pungência baixa/doce quando apresentam de 0 a 3 µmol de ácido pirúvico/g de massa fresca, de pungência média quando contêm de 3 a 7 µmol de ácido pirúvico/g de massa fresca, e de pungência alta quando possuem mais que 7 µmol de ácido pirúvico/g de massa fresca. Entretanto, Schwimmer e Weston (1961) classificam a pungência da cebola como fraca (2 a 4 µmol/g), intermediária (8 a 10 µmol g<sup>-1</sup>) e forte (15 a 20 µmol g<sup>-1</sup>). Já o *National Onion Labs* (2019, *apud* SANTOS; YURI; COSTA, 2019) certifica as cebolas nos Estados Unidos como: extra suave < 3,5 µmol g<sup>-1</sup>, suave a leve de 3,6 µmol g<sup>-1</sup> a 5,0 µmol g<sup>-1</sup>, intensa de 5,1 µmol g<sup>-1</sup> a 7,5 µmol g<sup>-1</sup>, e muita intensa > 7,6 µmol g<sup>-1</sup>. Yoo, Lee e Patil (2012) classificam como suave valores de ácido pirúvico inferiores a 4,0 µmol mL<sup>-1</sup>.

### **3 CAPÍTULO I: GRUPOS HETERÓTICOS EM CEBOLA PARA O DESENVOLVIMENTO DE HÍBRIDOS COM BAIXA PUNGÊNCIA**

#### **3.1 RESUMO**

A demanda por cultivares de cebola que expressem baixa pungência tem exigido programas de melhoramento para suprir este nicho de mercado. O objetivo do trabalho foi caracterizar grupos heteróticos em cebola para o desenvolvimento de cultivares híbridas com baixa pungência. O experimento foi conduzido a campo durante o ano de 2019 em Ituporanga/SC, sob delineamento de blocos casualizados. Dois fatores (genótipo e adubação) arranjados em parcelas divididas foram considerados. Na parcela, dois níveis de adubação (com e sem enxofre). Na subparcela, vinte e seis genótipos de cebola, considerando germoplasma proveniente de linhagens (macho estéreis – LA e mantenedoras – LB), populações avançadas e cultivares. Os caracteres: ácido pirúvico (indicador depungência), teor de enxofre no bulbo e produtividade de bulbos foram avaliados. Os genótipos revelaram comportamento diferencial segundo nível de adubação adotado. Na condição sem enxofre quatro grupos heteróticos foram sugeridos. Cruzamentos como LA11 vs LB24 e LA15 vs LB19 podem gerar variação genética e a respectiva seleção negativa para a pungência e positiva para produtividade de bulbos.

**Palavras-chave:** *Allium cepa L.*; Teor de ácido pirúvico; Macho esterilidade; Ideótipo; Análise multivariada; Coeficiente canônico padronizado.

#### **3.2 INTRODUÇÃO**

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma das culturas oleráceas mais importantes, sendo cultivada no mundo todo. No Brasil, a cebolicultura é praticada principalmente por pequenos agricultores, sendo o estado de Santa Catarina o maior produtor nacional. A produção se concentra principalmente na região do Alto Vale do Itajaí e estimativas atuais indicam que somente no estado catarinense, a cultura envolva 8.282 estabelecimentos produtores (EPAGRI, 2019). Os agricultores que cultivam cebola buscam não apenas cultivares mais produtivas, mas também que apresentem um diferencial de qualidade para que o produto seja competitivo e de alto valor agregado (PORTA *et al.*, 2014). Dentre tantas qualidades oferecidas, a capacidade de melhorar ou acentuar o sabor de outros alimentos chama a atenção

(ABAYOMI *et al.*, 2006; MALLOR *et al.*, 2011). Neste sentido, um nicho de mercado para desenvolvimento de cebolas com baixa pungência vem ganhando destaque (MALLOR *et al.*, 2011; MALLOR; SALES, 2012; KIM *et al.*, 2017; YOO *et al.*, 2019; YOO *et al.*, 2020).

Cebolas com baixa pungência são utilizadas para consumo direto sem nenhum beneficiamento. Nos Estados Unidos, por exemplo, as cebolas com baixa pungência são consumidas como “maçãs” ou diretamente em saladas (VILELA *et al.*, 2005).

No Brasil, ainda não foram disponibilizadas cultivares que apresentem baixa pungência. Desta forma, os programas de melhoramento devem buscar fontes de variabilidade genética e propor estratégias para aproveitamento desta variação, que resultem no desenvolvimento de cebolas com baixa pungência mantendo as características desejáveis, como a produtividade de bulbos. A cebola é uma cultura exigente em enxofre (S). Este elemento é constituinte importante de alguns aminoácidos, como a cistina, metionina, cisteína e triptofano, além de ser precursor de compostos sulfurados voláteis. A quantidade destes compostos à base de S é que determinam a pungência da cebola. O conteúdo de pungência da cebola pode ser verificado por uma medida indireta do teor de ácido pirúvico (WALL; CORGAN, 1992).

Em áreas de produção em que a cebola é anualmente cultivada, e aquelas em que culturas com alta extração de enxofre sucedem a cebola (por exemplo, brássicas), a reposição deste nutriente via adubação tem sido uma prática frequente, com o objetivo de repor a elevada exportação (SANTOS; YURI; COSTA, 2019). Desta maneira, a considerar o fator adubação com enxofre em estudos genéticos pode revelar efeitos de interação importantes entre a genética e o ambiente.

Devido ao sistema reprodutivo da cebola, o programa de melhoramento pode ser conduzido via: *i*) Melhoramento de populações, no qual suas características são ao menos parcialmente descritas, em termos de frequências gênicas (FALCONER; MACKAY, 1996), buscando aumentar a frequência dos alelos favoráveis, ou *ii*) Melhoramento de híbridos, sendo os efeitos benéficos da heterose aproveitados (BRIGGS; KNOWLES, 1967).

As principais vantagens da produção de híbridos em cebola estão relacionadas a uniformidade genética do produto comercial (bulbos) e, por conseguinte, das características qualitativas e quantitativas.

O melhoramento via híbridos foi vislumbrado dado o reconhecimento de um sistema eficiente de macho esterilidade genético-citoplasmática, no qual o cruzamento de linhagens macho-estéreis e mantenedoras é uma etapa obrigatória.

Para explorar os efeitos da heterose, um passo inicial é a classificação das populações

em distintos grupos heteróticos. Um grupo heterótico é um grupo de genótipos relacionados ou não, provenientes do mesmo germoplasma ou não, que exibem capacidade de combinação e resposta heterótica semelhantes quando cruzados com genótipos de outros grupos geneticamente distintos (MELCHINGER; GUMBER, 1998). Quanto mais divergentes forem os genitores, maior a variabilidade genética resultante na população segregante, e mais chances de reagrupar os alelos em novas combinações favoráveis. Neste sentido, o objetivo foi caracterizar grupos heteróticos entre genótipos de cebola, visando a produção de híbridos que combinem baixa pungência e mantenham a produtividade de bulbos.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.3.1 Local de estudo, constituições genéticas e unidades experimentais

O experimento foi conduzido entre os meses de abril a novembro do ano de 2019 na Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI)/Estação Experimental de Ituporanga, localizada no município de Ituporanga/SC (27°38' S, 49°60' O, altitude de 475 metros), Brasil. O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Húmico de textura média, sendo os atributos químicos (análise básica e micronutrientes).

Foram avaliados 26 genótipos de cebola provenientes do Programa de Melhoramento de Cebola da EPAGRI (Tabela 1). Os genótipos apresentam como origem o germoplasma proveniente de cultivares (8), linhagens (14) e populações avançadas (4). Os cultivares utilizados como padrão são representativos das condições de cultivo praticadas no Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina, Brasil. As mudas de cebola foram produzidas com base nos referenciais tecnológicos propostos pelo Sistema de Produção para a Cebola (EPAGRI, 2013).

A adubação dos canteiros de produção de mudas constou de 0,5 kg m<sup>-2</sup> de esterco de peru (EP) e 200 g m<sup>-2</sup> da formulação química (NPK) 5-20-10. O tratamento fitossanitário foi realizado com os fungicidas convencionais recomendados para a cultura nas doses indicadas pelos fabricantes. A semeadura foi realizada, de acordo com a precocidade de cada cultivar, sendo as mais precoces semeadas antes (08 de abril) e as mais tardias posteriormente (15 de abril).

Tabela 1 – Descrição dos 26 genótipos de cebola (*Allium cepa L.*) avaliados quanto ao uso atual. Codificação segundo sistema ABC de hibridação, linhagens com nome iniciando em “A” (LA) são macho estéreis e em “B” (LB) são mantenedoras. UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.

Genótipo	Uso atual	Codificação
Koreana	Cultivar	C1
Bela Vista	Cultivar	C2
EMPASC 352 Bola Precoce	Cultivar	C3
SCS373 Poranga	Cultivar	C4
EPAGRI 363 SP	Cultivar	C5
P16000	População avançada	PA6
Valessul	Cultivar	C7
Bola precoce-Agroec.	População avançada	PA8
SCS379 Robusta	Cultivar	C9
SCS378 Pérola	Cultivar	C10
A16003-1638-23	Linhagem	LA11
A16008-1616-20	Linhagem	LA12
A16008-1616-22	Linhagem	LA13
A16009-1606-21	Linhagem	LA14
A16010-1601-22	Linhagem	LA15
A16013-16232-23	Linhagem	LA16
A16027-1650-24	Linhagem	LA17
B16001-22	Linhagem	LB18
B16006-21	Linhagem	LB19
B16007-22	Linhagem	LB20
B16030-21	Linhagem	LB21
B16035-23	Linhagem	LB22
B16133-23	Linhagem	LB23
B16232-22	Linhagem	LB24
P16001	População avançada	PA25
P16002	População avançada	PA26

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Para compreender a relação com o enxofre aplicado no solo e a característica pungência, foi praticado no experimento o controle da aplicação de enxofre. O experimento

resultou no controle dos genótipos (26 níveis) e adubação com enxofre (dois níveis, com e sem 2). Diante disto, visando propiciar uma sistematização mais adequada para aplicação da adubação, bem como, maior controle sobre o efeito de genótipos, o experimento foi arranjado em esquema de parcelas divididas.

O fator adubação foi alocado na parcela, enquanto o fator genótipo na subparcela. O experimento resultou em 52 parcelas por bloco, 104 parcelas no total com as repetições.

A quantidade de fertilizante mineral adicionada, a exceção do fator adubação com enxofre, seguiram as recomendações da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS, 2016). A adubação com enxofre foi realizada tendo como base a fonte gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  com 18.6% de S) na dose de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ , aplicado antes do transplante.

As mudas de cada genótipo foram transplantadas para as subparcelas após a adubação, de acordo com cada tratamento (com ou sem enxofre), no espaçamento  $35 \times 10 \text{ cm}$ , equivalente a 285.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . A parcela continha 7 linhas, sendo aproveitadas as cinco linhas centrais, restando uma área útil de  $3 \text{ m}^2$ . O transplante foi realizado dia 12 de julho de 2019.

### **3.3.2 Variáveis resposta**

Após um evento de chuva de granizo em 24 de outubro de 2019 realizou-se o tombamento da cultura, sendo os bulbos de todas as parcelas colhidos em novembro de 2019, ao quais passaram pelo processo de cura no campo. Após, para cada tratamento foram realizadas uma amostra de quatro bulbos por tratamento para as determinações de pungência e enxofre no bulbo. Na preparação das amostras foram removidas as cascas e as porções não comestíveis. Os bulbos foram cortados longitudinalmente em quatro partes ( $\frac{1}{4}$ ) para melhor representação da condição do bulbo. Uma parte ( $\frac{1}{4}$ ) foi triturada em centrífuga, sendo que o suco obtido foi congelado até o momento de realizar a análise de ácido pirúvico. Para o teor de enxofre nos bulbos, foram separadas mais uma fração ( $\frac{1}{4}$ ) que foi acondicionada em saco de papel e seca em estufa de circulação de ar a  $65^\circ\text{C}$  até atingir massa constante, sendo trituradas em moinhos de facas.

O teor de pungência (AP) foi obtido via medida indireta do teor de ácido pirúvico, utilizando-se o reagente 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNPH), pelo método colorímetro (RANDLE; BUSSARD; WARNOCK, 1993; SCHWIMMER; WESTON, 1961). O cálculo de pungência foi realizado a partir da elaboração da curva padrão do piruvato de sódio (0 a 50  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ). Os resultados foram obtidos em  $\mu\text{mol g}^{-1}$ . Para a determinação do teor de enxofre

nos bulbos (S), as amostras foram submetidas a digestão nitro-perclórica, e no extrato foi determinado S, pelo método de turbidimetria, em  $\text{mg g}^{-1}$  (TEDESCO *et al.*, 1995). Os demais bulbos após serem colhidos passaram pelo processo de cura a campo. A classificação dos bulbos foi feita com base em seu diâmetro transversal (DT), considerando os bulbos comerciais aqueles com diâmetro superior a 35 mm (classes 2, 3 e 4).

Mediu-se a massa fresca de bulbos e determinou-se a produtividade comercial (PB) em  $\text{t ha}^{-1}$ .

### 3.3.3 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância multivariada (MANOVA). Esta análise considera a dependência entre as variáveis resposta (covariância) (HAIR *et al.*, 2009). O modelo matemático que representa o experimento compreende:

$$Y_{ijkl} = m + B_i + A_j + G_k + A^*G_{jk} + e_{1ijkl} + e_{2ijkl}$$

Sendo:  $Y_{ijkl}$  os valores observados para os vetores de médias na  $l$ -ésima unidade experimental no  $i$ -ésimo bloco na  $j$ -ésima adubação no  $k$ -ésimo genótipo;  $m$  é o efeito da média geral;  $B_i$  é o efeito do  $i$ -ésimo nível do fator bloco;  $A_j$  é o efeito do  $j$ -ésimo nível do fator adubação;  $G_k$  é o efeito do  $k$ -ésimo nível do fator genótipo;  $A^*G_{ij}$  é o efeito da interação do  $j$ -ésimo nível do fator adubação com o  $k$ -ésimo nível do fator genótipo;  $e_{1ijkl}$  é o efeito do resíduo da parcela e  $e_{2ijkl}$  é o efeito do resíduo da subparcela.

Após o teste global de variância, foi realizada análise discriminante canônica, com o intuito de auxiliar na visualização de grupos heteróticos. Posteriormente, visando testar os grupos formados foram realizados contrastes multivariados. Para cada comparação, foram obtidos os coeficientes canônicos padronizados, visando identificar as variáveis que mais contribuíram para discriminar os tratamentos. Os coeficientes canônicos foram interpretados da seguinte forma: valores positivos indicam efeito de separação entre os tratamentos enquanto valores negativos podem ser interpretados de maneira semelhante, mas com direção contrária a Hair *et al.* (2009). Todas as análises foram executadas no software estatístico SAS *University Edition* (versão disponível para estudantes), sendo utilizados os procedimentos PROC GLM e PROC CANDISC.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ideia de melhorar uma cultura com base em ideotipos já é conhecida há muito tempo (DONALD, 1968). O ideótipo de cebola almejado neste estudo deve reunir na mesma constituição genética a capacidade de gerar bulbos em quantidades referência para a cultura, além de revelar menores teores de ácido pirúvico (baixa pungência). A análise multivariada apresenta a vantagem de contemplar a variação conjunta de inúmeros caracteres, especialmente quando estas variáveis estabelecem uma estrutura de dependência relevante (HAIR *et al.*, 2009). Neste contexto, a análise de variância multivariada (MANOVA) revelou efeito significativo para todos os fatores ( $p < 0.05$ ), considerando simultaneamente o ácido pirúvico (AP), o enxofre (S) e a produtividade de bulbos (PB) (Tabela 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância multivariada por meio do teste Lambda de Wilk's (U), para experimento em parcelas divididas. Indicados os graus de liberdade do numerador (NGL), do denominador (DGL) e a probabilidade para o teste F. UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.

Causa de variação	Erro	NGL	DGL	U	Pr >F
Bloco	Parcela	3	41	0.8909	0.1876
Adubação (A)	Parcela	3	41	0.6601	0.0006
Genótipo (G)	Sub-parcela	72	123.39	0.0092	0.0001
A * G	Sub-parcela	72	123.39	0.1064	0.0008
<i>i) Sem A</i>	VC (%)	Pr > F	<i>ii) Com A</i>	VC (%)	Pr > F
	1º - 80.03	0.0001		1º - 73.33	0.0001
	2º - 93.73	0.0058		2º - 89.86	0.0014

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

\*Para realização da análise de variância multivariada foram consideradas as variáveis: teor de pungência (AP), teor de enxofre (S) e produtividade comercial de bulbos (PB). Variância acumulada (VC).

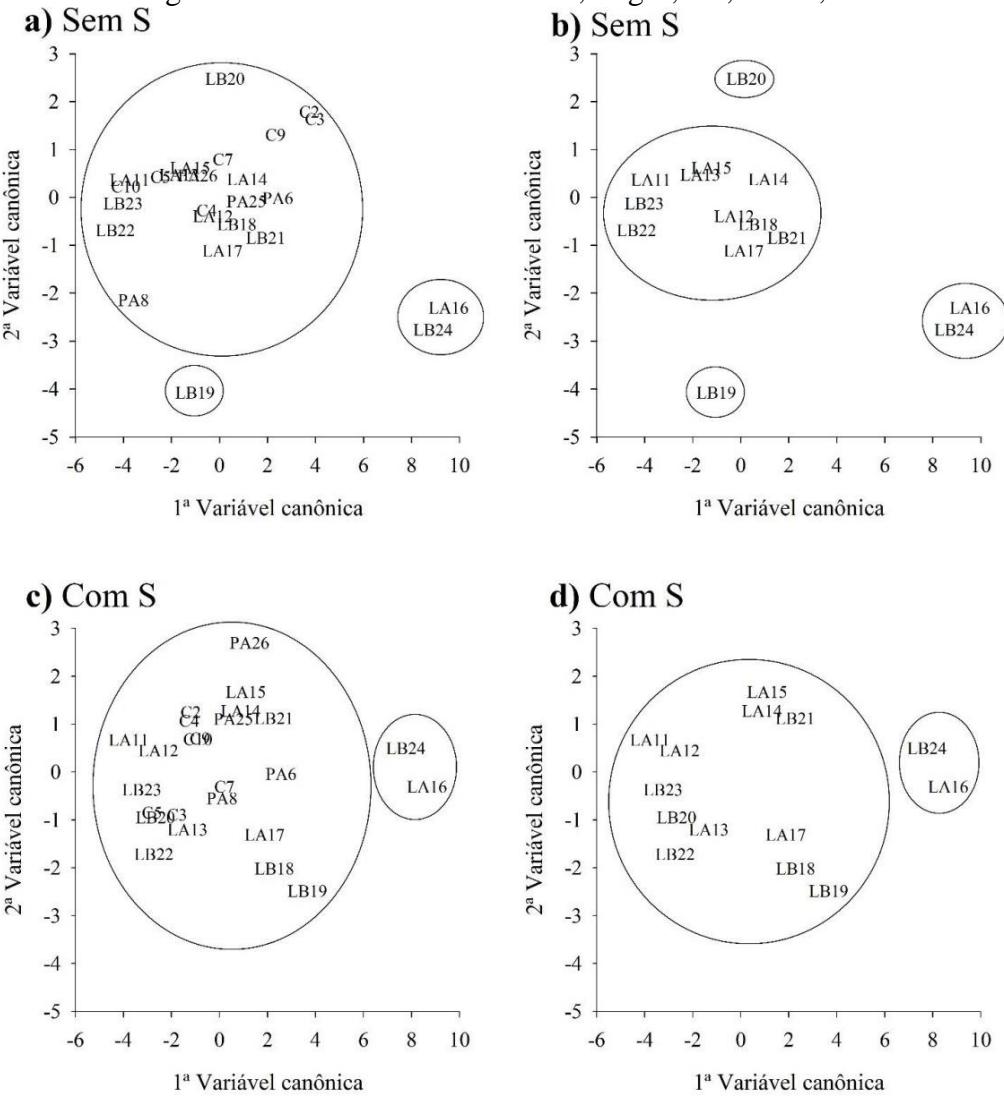
Para máxima exploração da heterose, os genitores devem ser escolhidos com base na origem do germoplasma, a partir de grupos não relacionados, comumente denominados de grupos heteróticos (MELCHINGER; GUMBER, 1998). A superioridade dos filhos em relação aos genitores para o caráter em questão, pode ser alcançada mediante o cruzamento entre indivíduos situados em diferentes grupos. Em estudo de divergência genética foi proposta a análise de descritores morfológicos, agronômicos e bioquímicos por meio de

métodos multivariados, onde treze grupos foram indicados dentre 64 acessos de cebola avaliados (BUZAR; OLIVEIRA; BOITEUX, 2007). Dentre os grupos, podem ser indicadas variedades para cruzamento e exploração da heterose.

Com relação ao fator adubação estudos anteriores têm enfatizado a problemática da aplicação deste elemento sobre o teor de pungência (ou ácido pirúvico) da cebola. Alguns defendem que a aplicação de enxofre extra em solos com alto teor de enxofre não aumenta a pungência e nem compostos relacionados em cebolas de dias curto (LEE *et al.*, 2009). Outros também confirmam que a pungência e o teor de açúcar das cebolas não podem ser significativamente alterados pela escolha do tipo de solo ou pela aplicação de enxofre extra em solo com níveis suficientes de enxofre (HAMILTON; YOO; PIKE, 1998). Entretanto, existem relatos que o fornecimento de enxofre aumenta significativamente a pungência em cebolinha (*Allium fistulosum* L.), com níveis médios de ácido pirúvico de 2.34 e 6.76  $\mu\text{mol g}^{-1}$  para todas as cultivares cultivadas a 0.01 e 4.00  $\text{mmol L}^{-1} \text{SO}_4^{2-}$  (LIU *et al.*, 2009). Considerando o exposto, existe a necessidade de caracterizar geneticamente os genótipos brasileiros quanto aos caracteres que compõem o ideotipo. As condições de solo, manejo e clima são intrínsecas de cada ambiente, sendo inapropriada a generalização de comportamento. Este estudo objetiva reconhecer os grupos heteróticos considerando simultaneamente a pungência e a produtividade de bulbos (Tabela 2).

O efeito significativo da interação indica a necessidade de derivar inferências sobre os genótipos de forma diferencial para cada nível de adubação adotado. Em outros termos, há a necessidade de uma descrição qualitativa da interação. Como o efeito de maior interesse são os genótipos, pode-se observar suas variações no ambiente com e sem adubação, separadamente. Esta análise pode sugerir a formação de diferentes grupos heteróticos, conforme o ambiente que serão cultivados os genótipos. A primeira variável canônica capturou 80.03% e 73.33% da variância acumulada nos níveis sem e com adubação (Tabela 2). Para interpretação satisfatória da variabilidade manifestada pelos genótipos é necessário que as duas primeiras variáveis canônicas representem 80% de variação total contida no conjunto de dados analisados (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Assim, com duas dimensões pode-se identificar a contribuição dos caracteres agronômicos e constituir os devidos grupos heteróticos satisfatoriamente (Figura 3).

Figura 3 – Dispersão multivariada de 26 genótipos de cebola segundo os escores canônicos para ácido pirúvico (AP), enxofre (S) e produtividade de bulbos (PB): a) Condição sem adubação para todos os genótipos; b) Condição sem adubação somente para linhagens macho; c) Condição com adubação para todos os genótipos; d) Condição com adubação somente para linhagens macho. UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.



A análise discriminante canônica permitiu a visualização dos escores para cada genótipo segundo os níveis de adubação controlados. Ainda, considerando a fonte do germoplasma, as linhagens macho estéreis (LA) e mantenedoras (LB) foram separadas (Figura 3 b,d) dos demais genótipos, visando indicar cruzamentos entre grupos heteróticos que detenham o citoplasma machoestéril e os respectivos mantenedores. De acordo com a inspeção visual, na condição sem adubação (Figura 3 a,b) foram formados três e quatro grupos, enquanto na condição com adubação (Figura 3 c,d) apenas dois grupos foram constituídos. Os resultados indicam existir um efeito de tamponamento pelo fator adubação com enxofre na caracterização dos genótipos, considerando que um número inferior de grupos foi constituído

no ambiente onde o elemento enxofre foi fornecido. Este resultado fica também evidenciado quando se observam as combinações lineares das variáveis canônicas. Na condição sem adubação, a primeira variável canônica revelou que a função que separa os acessos de cebola mais efetivamente é  $\text{Can1} = 0.469 \times \text{AP} + 51.994 \times \text{S} + 0.016 \times \text{PB}$ . Enquanto na condição com adubação a função referência consiste em  $\text{Can1} = 0.043 \times \text{AP} + 36.745 \times \text{S} - 0.168 \times \text{PB}$ . Ou seja, comparativamente, a contribuição das variáveis é superiora condição sem adubação. Quando o elemento é oferecido, por exemplo, a produtividade de bulbos não configura como uma variável de importância na discriminação dos acessos.

No que tange aos genótipos candidatos à hibridação (linhagens macho estéreis e mantenedoras) e o agrupamento na condição sem adubação, foi sugerida a formação de quatro grupos heteróticos (Figura 3).

Porém, considerando que a análise discriminante propôs a formação dos grupos com base em inspeção visual, testes de comparação de médias via contrastes e a contribuição dos coeficientes canônicos padronizados torna-se fundamental para compreender quais genótipos são diferentes e quais variáveis contribuem para esta diferença (Tabela 3). Considerando que a formação dos grupos heteróticos objetiva a formação de híbridos em cebola, as comparações foram realizadas entre as linhagens macho estéreis *vs* linhagens mantenedoras (LA *vs* LB).

Dado o agrupamento sugerido, todas as linhagens macho estéreis foram comparadas com as linhagens mantenedoras LB19, LB20 e LB24 (contrastos C1 ao C18), exceto a linhagem LA16 que em função do seu maior distanciamento, foi comparada com todas as linhagens mantenedoras (contrastos C19 ao C24) exceto a LB24 que constitui o mesmo grupo.

O contraste C1 (LA11 *vs* LB19) revelou diferença significativa considerando os vetores de médias (Tabela 3). As variáveis que contribuíram para a diferença entre as linhagens foram AP (0.04) e PB (1.54). Apesar de ambas as linhagens revelaram valores inferiores de pungência comparativamente aos demais genótipos (7.42 e 7.03  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ), os valores de produtividade de bulbos são contrastantes, no qual a linhagem 11 produziu três vezes o valor da linhagem 19. Ou seja, estes genótipos pertencem a diferentes grupos heteróticos e quando cruzados podem explorar os efeitos benéficos da heterose para pungência (seleção negativa) e produtividade de bulbos (seleção positiva).

De forma semelhante, a comparação entre as linhagens LA11 vs LB20 foi significativa (contraste C2), no entanto a pungência (-0.22) não contribuiu para a diferença observada (Tabela 3). Neste caso, o vetor de média que revelou contribuição expressiva foi S (2.28). A linhagem mantenedora LB20 revelou um teor de  $0.32 \text{ mg.g}^{-1}$  de enxofre em detrimento da linhagem macho estéril LA11 com  $0.23 \text{ mg.g}^{-1}$ . Mesmo na condição sem adubação, os

genótipos revelam distintos comportamentos em relação a absorção do elemento enxofre, o que reforça a importância de entender estas relações e exercer uma seleção de plantas efetiva.

Tabela 3 – Contrastess multivariados entre genótipos de cebola (linhagens macho estéreis vs linhagens mantenedoras), considerando as variáveis ácido pirúvico (AP), enxofre (S) e produtividade de bulbos (PB). UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.

<b>Comparação</b>	<b>U</b>	<b>Pr &gt; F</b>	<b>AP</b>	<b>S</b>	<b>PB</b>
C1: LA11 vs LB19	0.59	0.0001	0.04	-1.09	1.54
C2: LA11 vs LB20	0.66	0.0006	-0.22	2.28	0.22
C3: LA11 vs LB24	0.30	0.0001	0.54	1.90	-0.84
C4: LA12 vs LB19	0.77	0.0145	0.37	-0.89	1.73
C5: LA12 vs LB20	0.79	0.0234	-0.70	1.13	1.19
C6: LA12 vs LB24	0.44	0.0001	0.61	1.86	-0.84
C7: LA13 vs LB19	0.68	0.0011	0.11	-0.50	1.71
C8: LA13 vs LB20	0.82	0.0416	-0.45	2.00	0.63
C9: LA13 vs LB24	0.36	0.0001	0.61	1.80	-0.90
C10: LA14 vs LB19	0.65	0.0005	0.71	0.04	1.59
C11: LA14 vs LB20	0.72	0.0034	1.21	-0.77	-0.51
C12: LA14 vs LB24	0.45	0.0001	0.32	1.80	-1.06
C13: LA15 vs LB19	0.70	0.0020	0.04	-0.22	1.76
C14: LA15 vs LB20	0.88	0.1534	-0.38	1.88	0.90
C15: LA15 vs LB24	0.38	0.0001	0.68	1.72	-0.92
C16: LA17 vs LB19	0.81	0.0359	0.62	-0.07	1.63
C17: LA17 vs LB20	0.72	0.0031	-0.76	0.89	1.25
C18: LA17 vs LB24	0.48	0.0001	0.56	1.97	-0.76
C19: LA16 vs LB18	0.49	0.0001	0.68	1.89	-0.73
C20: LA16 vs LB19	0.54	0.0001	0.86	2.06	0.06
C21: LA16 vs LB20	0.38	0.0001	0.79	1.38	-1.06
C22: LA16 vs LB21	0.56	0.0001	0.72	1.87	-0.71
C23: LA16 vs LB22	0.28	0.0001	0.53	2.07	-0.65
C24: LA16 vs LB23	0.28	0.0001	0.56	2.00	-0.71

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

A linhagem LA11 também revelou efeito significativo quando comparada com a linhagem mantenedora LB24 (contraste C3). Entretanto, os caracteres que revelam maior

contribuição na discriminação foram AP (0.54) e S (1.90). Neste caso, a linhagem mantenedora LB24 revela elevada pungência comparativamente aos demais com valor médio de  $13.86 \mu\text{mol g}^{-1}$ , enquanto alinhagem macho estéril LA11 revelou metade deste valor, com média de  $7.42 \mu\text{mol g}^{-1}$ . Além disso, a linhagem mantenedora revelou um dos piores rendimento de bulbos dentre todos os genótipos avaliados.

As bases genéticas que explicam a heterose se fundamentam no princípio da existência de locos em heterozigose (CROW, 1998). Desta forma, quanto mais distantes e homozigotas forem as populações envolvidas no cruzamento, maiores serão as expectativas de exploração de vigor híbrido (maior heterozigose resultante na população F1). Como a cebola é uma espécie que sofre depressão por endogamia, as variedades mantêm alelos recessivos em homozigose, que são escondidos na condição heterozigota. Assim, de acordo com o cruzamento realizado podem ser detectados híbridos que revelem valores inferiores de ácido pirúvico.

As linhagens macho estéreis LA12 e LA13 revelaram o mesmo comportamento que LA11 quando cruzadas com as linhagens mantenedoras (contrastes C4 a C9). Com contribuições expressivas da produtividade de bulbos na discriminação dos tratamentos, quando envolvidas as linhagens LB19 e LB20, e para o caráter pungência quando envolvidas as linhagens LB19 e LB24. Provavelmente, as linhagens macho estéreis LA11, LA12 e LA13, além de pertencerem ao mesmo grupo heterótico, são oriundas do melhoramento da mesma população, constituindo apenas diferentes seleções sobre a mesma variedade de polinização aberta, por exemplo.

Em todas as comparações envolvendo a linhagem LA14 o caráter AP contribuiu significativamente para discriminação dos tratamentos (contrastes C10 a C12) (Tabela 3). Em média, a linhagem LA14 apresenta  $5.0 \mu\text{mol g}^{-1}$  a mais de ácido pirúvico que as linhagens LB19 e LB20. No contraste C10, particularmente, todos os caracteres contribuíram para a discriminação dos tratamentos, com destaque para a produtividade de bulbos com maior contribuição efetiva (1.59). Por outro lado, a única comparação que não revelou diferença significativa foi o contraste C14 ( $p=0.1534$ ). Apesar de se situarem em grupos heteróticos diferentes, os escores multivariados das linhagens LA15 e LB20 são proximamente relacionados, o que pode ter justificado a não significância desta comparação. Por isso a importância de realizar as comparações amparadas em valores de probabilidade, e não apenas em decisões com base em inspeção visual. Ainda com relação as comparações C13 a C15, dentre todas as linhagens macho estéril, a LA15 revelou o menor teor de pungência, tanto na condição sem adubação ( $6.83 \mu\text{mol g}^{-1}$ ) como na condição com adubação ( $5.80 \mu\text{mol g}^{-1}$ ). Ou

seja, a linhagem não é responsiva a este fator de ambiente, o que torna muito desejável para incorporação em programas de melhoramento que visem selecionar genótipos de baixa pungência.

Os contrastes que envolvem a linhagem macho estéril LA16 foram todos significativos (C19ao C24). Apesar das contribuições da pungência e do enxofre nos bulbos para diferenciar as linhagens, elas são próximas em relação ao caráter rendimento de bulbos (Tabela 3). Além disso, ao contrário da linhagem LA15, a linhagem LA16 revelou o maior teor de ácido pirúvico ( $14.08 \mu\text{mol g}^{-1}$ ) dentre todos os genótipos considerados.

O *National Onion Labs Inc.* (NOL) situado nos Estados Unidos, certifica as cebolas de acordocom o conteúdo de ácido pirúvico (segundo o mesmo protocolo adotado neste estudo), sendo cebolas de baixa a média pungência com teores entre 0 a  $5.5 \mu\text{mol g}^{-1}$ . Nosso germoplasma é comparativamente mais pungente em relação aos teores mencionados. Em estudo realizado em Chapadão do Lageado (região do Alto Vale do Itajaí/SC), seguindo o mesmo método de análise, foi observada variação para este caráter de  $4.84$  a  $7.61 \mu\text{mol g}^{-1}$  (SCHUNEMANN *et al.*, 2006).

Dentre o germoplasma considerado, uma cultivar comum foi a Bola Precoce, que revelou teor de ácido pirúvico inferior ( $5.80 \mu\text{mol g}^{-1}$ ) ao detectado neste estudo ( $10.16 \mu\text{mol g}^{-1}$ ). Possivelmente, as condições locais e o próprio enxofre já disponível no solo antes da adubação, podem ter aumentado significativamente a pungência dos acessos de cebola testados em Ituporanga/SC.

Gerar novos genótipos para atender demandas atuais do consumidor está entre os desafios mais marcantes encontrados no melhoramento genético. Ainda mais, quando não existem informações sobre o caráter de interesse dentro dos acessos disponíveis no programa. Ou seja, o processo de caracterização deve ser iniciado. Porém, considerar mais de um caráter simultaneamente – e assim a covariância existente entre as variáveis respostas que compõem o ideotipo – pode trazer importantes vantagens na eficiência e no tempo decorrido para seleção dos genótipos. Além disso, não faz sentido agregar uma qualidade diferente em uma cultura (baixa pungência) e não manter os níveis esperados de produtividade de bulbos (neste caso). Este estudo permitiu reconhecer dentro da variação genética disponível do germoplasma de cebola da EPAGRI, quatro grupos heteróticos que futuramente serão recombinados para seleção das melhores constituições genéticas.

Dentre as hibridações sugeridas, algumas sugerem: *i)* cruzamento de genótipos de baixa pungência e contrastantes para o caráter rendimento de bulbos (LA11 vs LB19) (Figura 3), *ii)* cruzamento de genótipos contrastantes para o caráter pungência, mas próximos em

relação ao caráter produtividade de bulbos (LA11 vs LB24), *iii*) cruzamento de linhagens macho estéreis com maior pungência em comparação à linhagem mantenedora (LA14 vs LB19) e o *iv*) cruzamento de linhagens macho estéreis pouco pungentes e estáveis independente do sistema de cultivo (LA15 vs LB19).

### 3.5 CONCLUSÃO

Este estudo estabeleceu, dentro da variação genética disponível no germoplasma de cebola da EPAGRI, quatro grupos heteróticos que podem ser recombinados no futuro para selecionar o melhor background genético.

## **4 CAPÍTULO II: FORMAÇÃO DE HÍBRIDOS EM CEBOLA PARA CARACTERES DE QUALIDADE E RENDIMENTO DE BULBOS**

### **4.1 RESUMO**

O melhoramento genético da cebola no Brasil revela grandes desafios tanto para o estabelecimento de cultivares mais produtivas quanto para características de qualidade. Considerando a variabilidade genética disponível, a formação de híbridos pode resultar em constituições que reúnam estes caracteres, além de promover maior uniformidade na produção de bulbos. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de híbridos de cebola quanto aos caracteres de qualidade e rendimento de bulbos, determinando possíveis efeitos de vigor. Um experimento foi conduzido no município de Ituporanga, Santa Catarina, entre os anos 2020 e 2021, sob delineamento de blocos completos. Foram avaliadas plantas de oito constituições genéticas (quatro híbridos e quatro linhagens) quanto aos caracteres morfológicos e produtivos, além do teor de sólidos solúveis, enxofre e ácido pirúvico. Os dados foram submetidos à análise de variância, e contrastes de médias entre linhagens genitoras vs híbridos foram estabelecidos. A análise revelou que a variação entre plantas dentro da parcela não foi significativa para a maioria dos caracteres considerados, sendo estas medidas adicionais desnecessárias para ganhos de informação no melhoramento genético. Nos caracteres teor de ácido pirúvico, teor de sólidos solúveis (BRIX) e altura de plantas foram detectados efeitos significativos para o fator genótipo. Por outro lado, no caráter rendimento de bulbos comerciais não foram identificados efeitos significativos entre as constituições genéticas. Dentre as combinações híbridas, uma revelou propriedades interessantes ao melhoramento (H1 - 09 x 10), com menor teor de ácido pirúvico e maior altura de planta, comparativamente à linhagem mantenedora. Híbridos de menor pungência podem ser obtidos em programas de melhoramento genético de cebola, porém, um número superior de cruzamentos deve ser efetuado para garantir maior variação genética.

**Palavras-chave:** *Allium cepa*; Pungência; Linhagens macho estéril e mantenedora; Heterose; Melhoramento genético.

### **4.2 INTRODUÇÃO**

A cebola (*Allium cepa*, 2n = 16) é a terceira hortaliça de maior valor agregado no mundo,

junto com a batata e o tomate (MANFRON; GARCIA; ANDRIOLI, 1992). No Brasil, a cebola possui elevada importância socio econômica, destacando-se como a cultura mais produzida dentro do gênero *Allium*. Em 2018, a produção brasileira de cebola foi de 1.549 milhão de toneladas com um rendimento médio de 31.95 t ha<sup>-1</sup>; apesar do país revelar potencial para produção desta hortaliça, se estima que em 2018 foram importadas mais de 117 mil toneladas (EPAGRI, 2019). Dentre os motivos para importação, a elevação do preço interno comparativamente ao mercado externo, o que foi associado a perdas de produção. Neste sentido, os programas de melhoramento de cebola devem considerar diversos caracteres relacionados a qualidade e rendimento dos bulbos, visando explorar todo o potencial dos genótipos disponíveis para cultivo (CRAMER *et al.*, 2021).

Dentre as principais características que são almejadas na cultura da cebola se destacam a produtividade de bulbos comerciais, visando garantir níveis superiores de produção e consequentemente, o aumento da renda dos produtores; além dos caracteres relacionados a qualidade dos bulbos. Dado seu uso como um dos principais condimentos utilizados em refeições, os teores de sólidos solúveis, enxofre e pungência, determinam nichos específicos de mercado (KIM *et al.*, 2017; YOO *et al.*, 2020). Particularmente, a pungência pode ser definida como uma combinação de sabor e aroma exalados quando os tecidos são rompidos e expostos ao oxigênio, com consequente irritação das mucosas e efeito lacrimogêneo (MANFRON; GARCIA; ANDRIOLI, 1992). Neste sentido, a procura de cebolas com baixa pungência ou cebolas “doce” têm aumentado significativamente (SCHUNEMANN *et al.*, 2006; LO SCALZO *et al.*, 2021). Este caráter tem sido avaliado a partir do ácido pirúvico, produto obtido da reação de compostos sulfurados e oxigênio (WALL; CORGAN, 1992). Entretanto, a disponibilidade de cebolas com baixa pungência no Brasil ainda não constitui realidade, comparativamente ao germoplasma disponível nos Estados Unidos e Europa, em que os teores de ácido pirúvico podem ser inferiores a 3.5 µmol g<sup>-1</sup> (MALLOR *et al.*, 2011). A alta pungência, comum na maioria das cultivares brasileiras, limita o consumo da cebola *in natura*. Neste sentido, o melhoramento genético desta cultura apresenta grandes desafios.

As estratégias de melhoramento a serem adotadas na cultura da cebola -podem resultar em variedades de polinização aberta (VPA) ou híbridos. No Brasil, as variedades de polinização livre dominam o mercado de sementes (cerca de 80% da área plantada), tendo como origem genética as populações introduzidas da Europa ‘Baia Periforme’ e ‘Pêra Norte’, e um terceiro tipo, possivelmente resultante do cruzamento destas, denominado ‘Crioula’ surgindo na região do Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina (COSTA, 1997). Essas três populações básicas de cebola, com grande variabilidade genética para ciclo de maturação,

potencial produtivo e características de bulbo, permitiram a formação de um banco de germoplasma de grande valor para o melhoramento da cultura no País (SANTOS; OLIVEIRA; LEITE, 2013). Entretanto, dentro da variabilidade genética destas populações básicas e de populações derivadas por seleção, não foi possível ainda originar cultivares com caracteres desejáveis para pungência, por exemplo. Desta forma, a hibridação pode ser uma alternativa para reunir alelos favoráveis quanto ao caráter em questão (ALLARD, 1960). Além disso, a utilização deste tipo de cultivar torna-se de grande importância no que diz respeito à maior uniformidade obtida em relação ao formato, coloração e maturação dos bulbos, características economicamente desejáveis em cebola (SANTOS *et al.*, 2010; EPAGRI, 2013). Considerando a condução de estudos prévios para formação de grupos heteróticos em cebola, este estudo objetivou a avaliação de híbridos quanto aos caracteres de pungência e produtividade de bulbos, determinando possíveis efeitos de vigor.

#### 4.3 MATERIAL E MÉTODOS

##### 4.3.1 Local e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em Ituporanga, Santa Catarina, Brasil ( $27^{\circ}38' S$ ,  $49^{\circ}60' O$ , altitude de 475 metros), na área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI - EEItu), entre os anos 2020 e 2021. Em abril de 2020 foi realizada a semeadura e as mudas foram transplantadas em julho. Entre os meses de setembro a novembro de 2020, quando as plantas atingiram o ponto de floração foi realizada a polinização dirigida. As sementes oriundas dos cruzamentos foram colhidas em dezembro. Posteriormente, os híbridos obtidos e as linhagens foram semeados em abril de 2021 e o transplante entre os meses de julho a agosto. O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Húmico de textura média. Segundo a classificação de Köppen, o clima local é classificado como Subtropical Úmido (Cfa).

O delineamento experimental foi em blocos completos com duas repetições. Cada parcela consistiu em cinco linhas com dois metros cada. Em cada linha foram transplantadas 12.5 mudas por metro, totalizando 25 plantas por linha e 125 plantas por parcela. As mudas foram transplantadas para as parcelas aos 55 dias após a semeadura, período que proporcionou que elas atingissem aproximadamente 0.20 m de altura e entre 0.05 e 0.06 m de diâmetro de pseudocaule, conforme a recomendação expressa em (VARGAS; BRAZ; MAY, 2007).

#### 4.3.2 Constituições genéticas

A partir de estudos anteriores foram selecionadas linhagens de diferentes grupos heteróticos, visando compor híbridos com caracteres desejáveis, como baixa pungência e elevado rendimento de bulbos. Dentre as linhagens, três mantenedoras e uma macho-estéril que permitiram a constituição de quatro híbridos F<sub>1</sub> (Tabela 4). Neste sentido, os híbridos são constituídos por pelo menos uma linhagem avaliada no experimento. As linhagens pertencem ao programa de melhoramento genético da EPAGRI e são adaptadas às condições de cultivo da região Sul. O uso da machoesterilidade torna possível a obtenção de sementes híbridas em escala comercial, dispensando a onerosa atividade de emasculação manual de flores. Nas plantas macho-estéreis, o pólen revela um colapso no seu desenvolvimento tornando-as incapazes de autopolinização. Para realização dos cruzamentos, as plantas foram acomodadas em gaiolas de metal envolta por tecido para impedir a entrada de insetos e, consequentemente, uma polinização indesejada. As hibridações dirigidas foram então realizadas por moscas advindas de uma criação da própria EPAGRI.

Tabela 4 – Híbridos F<sub>1</sub>, linhagens mantenedoras e macho estéril em cebola avaliadas quanto aos caracteres de qualidade e rendimento de bulbos. UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.

Codificação	Categoria genética
10	Linhagem mantenedora
17	Linhagem mantenedora
1	Linhagem mantenedora
9	Linhagem macho estéril
H1 - 09 x 10	Híbrido F <sub>1</sub>
H6 - 06 x 17	Híbrido F <sub>1</sub>
H2 - 06 x 01	Híbrido F <sub>1</sub>
H7 - 11 x 10	Híbrido F <sub>1</sub>

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

#### 4.3.3 Caracteres avaliados

Quando as plantas atingiram 90 dias após o plantio, período que correspondeu aproximadamente ao início da bulbificação, cinco plantas de cada parcela foram amostradas quanto aos caracteres: *a) Altura das plantas (ALT, cm)*: medida entre o nível do solo e a

extremidade da maior folha completamente estendida; b) *Número de folhas (NF, unidade)*: contagem das folhas fotossinteticamente ativas e completamente desenvolvidas. Foram desconsideradas as folhas secas e mortas; c) *Diâmetro do pseudocaule (DPC, mm)*: obtido na base da planta junto ao solo com auxílio de paquímetro digital.

No final do ciclo reprodutivo, o ponto de colheita foi determinado pelo estalo de 80% das plantas em todas as parcelas (tombamento da parte aérea com folhas ainda verdes). Após acolheita, a parte aérea da planta foi eliminada e os bulbos foram armazenados em galpão sob estrados de madeira. Os bulbos compreendiam a colheita total da área útil, como também, foram separadas amostras de bulbos de cinco plantas da parcela. Após 15 dias de cura em galpão, os bulbos foram avaliados quanto às características: d) *Produtividade de bulbos comerciais (PROD, t ha<sup>-1</sup>)*: obtida a partir da pesagem dos bulbos comerciais colhidos na área útil da parcela; e) *Teor de ácido pirúvico / “pungência” (AP, µmol g<sup>-1</sup>)*: para cada amostra de bulbos das cinco plantas, as cascas e porções não comestíveis foram removidas. Os bulbos foram triturados em centrífuga, e o suco obtido deste processo foi congelado até o momento de determinação do teor de ácido pirúvico.

O triturado foi filtrado em papel de filtro whatmam número 4, por 10 minutos. Em seguida, 0,5mL do filtrado foram transferidos para um tubo de ensaio de 40 mL. A esse filtrado adicionou-se 1,5mL de ácido tricloroacético 5% (TCA), depois, agitou-se essa solução em vortex. A solução homogeneizada ficou em repouso por uma hora. Em seguida, adicionou-se 18 mL de água destilada e agitou-se novamente. Para determinação do ácido pirúvico, 1 mL da solução anterior foi transferido para um tubo de ensaio de 20 mL, em seguida, adicionou-se 1 mL da solução de 2,4 - dinitrofenilhidrazina (DNPH) e 1 mL de água destilada. A solução foi agitada em vortex, os tubos foram colocados em banho-maria a 37 °C por 10 minutos e, posteriormente, colocados em água com gelo. Depois de resfriados, adicionaram-se 5 mL de NaOH a 0,6 mol L<sup>-1</sup> e agitou-se em vortex. A solução ficou em repouso por 5 minutos, para desenvolver a cor e, em seguida, fez-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro (Hitachi V-1100) a 420 nm. A concentração de ácido pirúvico na amostra foi calculada a partir da equação obtida por regressão linear, considerando a absorbância como variável dependente (X) e a concentração (piruvato de sódio 0 a 50 µ mol L<sup>-1</sup>) como variável independente (Y). Os resultados foram expressos em µmol de ácido pirúvico por grama de cebola para cada constituição genética.

*Os Sólidos Solúveis (BRIX, ° BRIX) f:* nas amostras de suco processado de cada planta, foram extraídas algumas gotas a serem colocadas sobre o prisma do refratômetro. Antes de cada leitura, o refratômetro foi calibrado com água destilada; g) *Teor de massa seca (MS, %)*: uma amostra de cada planta foi colocada em saco de papel individual, pesados em balança analítica e colocadas em estufa de circulação de ar a 65° C para secagem, até atingir o peso

constante. Após esse período, as amostras de cada planta foram retiradas da estufa e pesadas novamente. A precisão da balança utilizada foi de três casas decimais. O teor de massa seca foi obtido a partir da relação entre a diferença do peso inicial e o final, multiplicado por 100 e  $h$ ) Teor de enxofre ( $S, mg\ g^{-1}$ ): a massa seca de cada planta foi triturada em moinhos de facas para determinação do teor de enxofre. O material triturado foi submetido a digestão nitroperclórica, e no extrato foi determinado o teor de S pelo método de turbidimetria (TEDESCO *et al.*, 1995).

#### **4.3.4 Análise estatística**

Os dados foram submetidos a análise de variância univariada. Para os caracteres na qual foram obtidas medidas de plantas dentro da parcela, o seguinte modelo estatístico foi determinado:  $Y_{ijk} = \text{bloco}_i + \text{genótipo}_j + e_{ij} + d_{ijk}$ . Neste modelo estão especificados os efeitos de bloco e genótipos, além dos resíduos experimental e amostral, provenientes da variação entre blocos mais genótipos ( $e_{ij}$ ), e entre plantas dentro de cada parcela ( $d_{ijk}$ ). Para o caráter rendimento de bulbos, obtido via dados coletados em toda área útil da unidade experimental, o modelo compreendeu as causas controladas de bloco e genótipo, porém, apenas o resíduo experimental ( $e_{ij}$ ). Os híbridos F1 foram comparados aos genitores por meio de contrastes. Todas as análises foram executadas no software SAS *On Demand for Academics*, com o uso do procedimento GLM.

### **4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Durante avaliação do experimento pode ser necessária a coleta de dados com mais de uma observação por parcela. A variação de natureza genética aliada a possíveis fontes de origem aleatória estimula que os melhoristas colem diferentes plantas dentro da unidade experimental, visando identificar o quanto desta variação pode ser aproveitada vantajosamente ou não. Inicialmente, para os caracteres em que foram avaliadas cinco plantas, foi determinada a magnitude e significância da variação entre plantas. Para todas as variáveis este componente da variação (razão “entre / dentro”) não foi significativo, exceto para o teor demassa seca (MS) e número de folhas (NF), nos quais o resíduo entre plantas foi tão expressivo quanto o resíduo entre parcelas (Tabela 5).

Tabela 5 – Análise de variância para genótipos de cebola considerando os caracteres: ácido pirúvico (AP), enxofre (S), teor de sólidos solúveis (BRIX), teor de matéria seca (MS), altura de planta (ALT), número de folhas (NF) e diâmetro do pseudocaule (DPC). UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.

C.V.	GL	AP	S	BRIX	MS	ALT	NF	DPC
Bloco (B)	1	3.40	0.25	2.32	11.04	2.06	11.20	15.56
Genótipo (G)	7	43.70*	4.52	17.82*	99.11	510.39*	8.26	11.75
B*G - e	6	0.57	1.69	1.60	65.94	65.66	5.53	8.99
B*G(Planta) - d	60	3.98	1.29	1.78	23.04	29.71	1.24	4.67
Valor F: e / d <sup>†</sup>	6	0.14 <sup>NS</sup>	1.31 <sup>NS</sup>	0.90 <sup>NS</sup>	2.86*	2.21 <sup>NS</sup>	4.46*	1.92 <sup>NS</sup>

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

\*Valores de F da razão entre os resíduos entre e dentro, apresentando a decisão: <sup>NS</sup> não significativo ou \* significativo a 5% de probabilidade.

A origem da variação entre plantas para os caracteres MS e NF pode estar atrelada ao crescimento das plantas e a competição por água e nutrientes, levando ao desenvolvimento de indivíduos com maior número de folhas, e consequentemente, maior volume de matéria seca. Além disso, caracteres medidos em condições de ambiente com menor grau de controle (experimentos em campo) podem originar erros de origem sistemática, provocados pela própria aferição. Em alguns casos, também pode estar relacionada a segregação dos indivíduos, entretanto, tal efeito não pode ser esperado em linhagens e híbridos F<sub>1</sub> de cebola.

Em todos os casos, o resíduo apropriado para os testes de hipótese (erro entre) foi utilizado para obtenção de testes F exatos. Se esta especificação não fosse determinada e o quadrado médio do resíduo total (resíduo entre mais dentro) compusesse os testes, efeitos significativos para o fator genótipo seriam evidenciados para MS e NF, fato este que não foi verdadeiro utilizando o resíduo adequado (Tabela 5). Isto revela a importância desta análise para determinadas características e em outras não. Possivelmente, a ausência de manifestação de origem aleatória nos caracteres aferidos a partir do suco dos bulbos da cebola se relaciona com os menores desvios provocados em análises laboratoriais. Neste sentido, para a determinação de características relacionadas a qualidade dos bulbos, tais como a pungência, a obtenção de diversas medidas para a mesma unidade experimental não se torna necessária.

Nos caracteres teor de ácido pirúvico (AP), teor de sólidos solúveis (BRIX) e altura de plantas (ALT) foram detectados efeitos significativos para o fator genótipo (Tabela 5). Nestas características foi notável a magnitude dos quadrados médios de genótipo, comparativamente ao resíduo do experimento. Isto realça a possibilidade de existência de híbridos que apresentem características vantajosas, comparativamente às linhagens que os originaram. Em outras

palavras, podem existir comparações entre médias de genótipos que são de interesse ao melhoramento genético da cebola. Por outro lado, no caráter rendimento de bulbos comerciais não foram identificados efeitos significativos entre as constituições genéticas (Tabela 6). Possivelmente, as linhagens que deram origem aos híbridos revelam potenciais produtivos similares. Ou seja, a distância genética entre as mesmas não foi suficientemente expressiva para produzir híbridos de maior potencial.

Tabela 6 – Análise de variância para genótipos de cebola considerando o caráter produtividade de bulbos comerciais ( $t\ ha^{-1}$ ). UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.

Causa de variação	GL	QM	Valor F	P > F
Bloco	1	292.74	2.15	0.2028
Genótipo	7	142.90	1.05	0.4971
Erro	5	136.36		

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

As comparações foram estabelecidas entre os genótipos, considerando as características ácido pirúvico (AP), teor de sólidos solúveis (BRIX) e altura de plantas (ALT). As comparações foram determinadas com base na média dos genótipos (Tabela 7). Cada híbrido foi comparado com a linhagem genitora A ou/e B (Tabela 8). O híbrido H1 (09 x 10) revelou diferenças significativas quando comparado com a linhagem macho estéril (09 - A16003-168-23), tanto para o caráter AP como o BRIX (Tabela 8). Entretanto, nesta comparação a linhagem mãe revelou menor pungência ( $6.78\ \mu\text{mol g}^{-1}$ ) comparativamente ao híbrido ( $8.86\ \mu\text{mol g}^{-1}$ ). Ou seja, a combinação híbrida não expressou a característica de “cebola doce”. Enquanto, a mesma linhagem genitora exibiu maior teor de sólidos solúveis totais - Brix ( $11.85^{\circ}\text{Brix}$ ) comparado ao híbrido. Este resultado pode ser esperado, visto que existe uma correlação negativa e significativa entre o teor de ácido pirúvico e o Brix (-0.39).

Por outro lado, a comparação H1 - 09 x 10 vs 10 - B16006-21 revelou que o híbrido apresenta menor pungência que a linhagem mantenedora ( $p=0.0175$ ) (Tabela 8). Esta combinação híbrida também mostrou maior altura de planta comparada a linhagem pai ( $p=0.0001$ ). Tal resultado se revela promissor em termos de produção cebola para nichos específicos de mercado.

Tabela 7 – Médias corrigidas de genótipos de cebola (linhagens e híbridos) quanto aos caracteres ácido pirúvico (AP), teor de sólidos solúveis (BRIX) e altura de plantas (ALT). UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.

<b>Genótipos</b>	<b>Tipo</b>	<b>AP (<math>\mu\text{mol g}^{-1}</math>)</b>	<b>BRIX (<math>^{\circ}\text{Brix}</math>)</b>	<b>ALT (cm)</b>
10 -	MA	10.95	10.42	60.70
17 -	MA	11.72	8.55	55.10
01 -	MA	7.35	11.28	56.70
09 -	ME	6.78	11.85	70.70
H1 - 09 x 10	F <sub>1</sub>	8.86	9.40	73.60
H6 - 06 x 17	F <sub>1</sub>	11.93	7.84	72.60
H2 - 06 x 01	F <sub>1</sub>	12.03	10.15	66.80
H7 - 11 x 10	F <sub>1</sub>	10.61	10.46	68.43

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Tabela 8 – Comparações genéticas entre híbridos F1 e genitores de cebola, quanto aos caracteres ácido pirúvico (AP), teor de sólidos solúveis (BRIX) e altura de plantas (ALT). UDESC-IMEGEM, Lages, SC, Brasil, 2020.

<b>Efeito</b>	<b>AP</b>		<b>BRIX</b>		<b>ALT</b>	
	Valor	Pr >  t	Valor	Pr >  t	Valor	Pr >  t
H1 - 09 x 10 vs 09 -	2.07	0.0183	-2.45	0.0001	2.90	0.2629
H1 - 09 x 10 vs 10 -	-2.08	0.0175	-1.02	0.0909	12.90	0.0001
H6 - 06 x 17 vs 17 -	0.22	0.8018	-0.71	0.2367	17.50	0.0001
H2 - 06 x 01 vs 01 -	4.69	0.0001	-1.13	0.0617	10.10	0.0002
H7 - 11 x 10 vs 10 -	-0.33	0.7539	0.04	0.9558	7.72	0.0192

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

As médias dos genitores (09 - A16003-168-23 e 10 - B16006-21) e da progênie F1 derivada (H1 - 09 x 10), fornece indicativos de uma possível interação alélica aditiva para o caráter ácido pirúvico e de dominância para o caráter altura de plantas (Tabela 7). Entretanto, estes resultados são preliminares e devem ser suportados com um maior número de cruzamentos. Em caso positivo, a presença de aditividade no caráter pungência poderia dificultar a seleção de populações segregantes de cebola mais suaves. Isto porque, em plantas alógamas nas quais podem ser explorados híbridos comerciais, o cruzamento entre linhagens contrastantes não resultaria em progêniess menos pungentes, pela ausência dos efeitos de dominância negativos. Na exploração de híbridos de qualquer espécie, fatores envolvidos na manifestação da heterose são a divergência genética e os efeitos de dominância diferentes de zero (FALCONER; MACKAY, 1996). Desta forma, este cruzamento poderia ser incluído em

estudos de herança genética, gerando as populações segregantes e fornecendo subsídios mais claros de como aproveitar a variação genética disponível.

O cruzamento H6 - 06 x 17 não revelou diferenças significativas quando comparado com a linhagem mantenedora para os caracteres AP ( $p=0.8018$ ) e BRIX ( $p=0.2367$ ) (Tabela 8). Foram evidenciadas diferenças apenas quanto ao caráter altura de plantas, tal como o padrão observado nos demais cruzamentos com maior expressão de altura no híbrido comparativamente à linhagem genitora. Particularmente, este híbrido F1 revelou a maior diferença comparativamente aos pais (17.50 cm) dentre todas as combinações avaliadas. O vigor ou a superioridade do híbrido quanto à altura de plantas tem sido observada em outros cruzamentos de cebola. Em estudo sobre a performance agronômica de híbridos foi detectado que os híbridos Serena F1 e Mata Hari tiveram altura superior às cultivares avaliadas (NUNES; OLIVEIRA; DUTRA, 2014). Este padrão também tem sido relatado em outras alógamás como a cenoura e o milho.

Os resultados obtidos para o híbrido H6 - 06 x 17 foram similares ao híbrido H7 - 11 x 10, quando comparado com a linhagem mantenedora (Tabela 8). Entretanto, a diferença observada quanto à altura de plantas (7.72 cm) foi menos que a metade observada em H6 - 06 x 17 (17.50 cm). Já com relação a combinação H2 - 06 x 01, apesar de revelar diferenças quanto ao caráter ácido pirúvico ( $p=0.0001$ ), ficou evidenciado maior pungência no híbrido comparativamente à linhagem mantenedora, o que não favorece ou não atende ao objetivo do programa de melhoramento para geração de cebolas suaves ou adocicadas.

De modo geral, as populações de cebola e seus híbridos derivados revelaram rendimento de bulbos similares, sendo os desvios observados apenas em função da variação casual. Durante o biênio 2020 a 2021, também foram observados eventos climáticos extremos como chuvas e granizos, que comprometeram demasiadamente a avaliação deste caráter. Igualmente, comprometeram a sobrevivência de outras linhagens e híbridos F1, que não puderam ser avaliados neste estudo. Assim, segundo os valores de pungência observados, podem ser obtidos híbridos de “moderada pungência” ( $5.6$  a  $7.5 \mu\text{mol g}^{-1}$  de ácido pirúvico). Mais combinações híbridas devem ser avaliadas e populações segregantes geradas, visando permitir o estudo da herança genética deste caráter.

#### 4.5 CONCLUSÃO

Dentre os cruzamentos que evidenciaram diferenças quanto ao teor ácido pirúvico,

apenas o híbrido H1 - 09 x 10 revelou-se menos pungente comparativamente à linhagem genitora. Este híbrido também exibiu maior altura de plantas, o que pode resultar na maior produção de fotoassimilados e energia para a planta. Neste sentido, híbridos com menor pungência e com características produtivas superiores podem ser obtidos em programas de melhoramento genético de cebola, porém, um número superior de cruzamentos deve ser efetuado para garantir maior variação genética.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O melhoramento da cebola tem sido concentrado no aprimoramento das características envolvidas diretamente com a produtividade de bulbos. Entretanto, o aumento da demanda de consumidores por alimentos com características organolépticas especiais tem motivado a avaliação de caracteres pouco estudados, tal como a pungência. Atualmente, as cultivares de cebola disponíveis para consumo no Brasil tem como característica a elevada pungência ou “ardor”, restringindo assim seu consumo em alimentos com maior beneficiamento. Neste sentido, existe a necessidade de incorporar constituições genéticas que permitam a geração de cultivares também de baixa pungência (cebolas doces). Considerando que a pungência é controlada geneticamente, os genótipos já adaptados às condições de cultivo na região Sul Brasileira podem ser caracterizados quanto a sua variabilidade genética, visando futuramente incluí-los em programas de hibridação.

Este estudo revelou que podem ser explorados grupos heteróticos na cultura da cebola, considerando simultaneamente a pungência e a produtividade de bulbos. Mais especificamente, quatro grupos heteróticos foram propostos, sugerindo a hibridação de genótipos com baixa pungência e contrastantes para o caráter rendimento de bulbos, como também o cruzamento de linhagens macho estéreis pouco pungentes e estáveis independente do sistema de cultivo.

A partir da formação dos grupos heteróticos foram realizados os cruzamentos entre linhagens, utilizando o esquema de macho esterilidade. Contudo, a realização desta etapa e a obtenção de progêniens F1 é considerada extremamente dificultosa. Por isso, a utilização de híbridos F1 comerciais no mercado nacional ainda é incipiente, bem como as informações referentes às respostas agronômicas dos híbridos. Dentre as combinações híbridas obtidas neste estudo, uma revelou propriedades interessantes ao melhoramento (H1 - 09 x 10), com menor teor de ácido pirúvico e maior altura de planta, comparativamente à linhagem mantenedora.

Neste sentido, híbridos de menor pungência podem ser obtidos em programas de melhoramento genético de cebola, porém, um número superior de cruzamentos deve ser efetuado para permitir um maior vigor híbrido. Ou seja, a medida que aumentamos o número de híbridos sintetizados entre os grupos heteróticos aumentamos a chance de obter híbridos com potencial comercial para baixa pungência.

## 6 CONCLUSÕES FINAIS

### ESTUDO I

Os genótipos inicialmente avaliados revelaram comportamento diferencial segundo nível de adubação adotado.

Na condição sem enxofre quatro grupos heteróticos foram sugeridos.

Cruzamentos, como LA11 *vs* LB24 e LA15 *vs* LB19, podem gerar variação genética e a respectiva seleção negativa para a pungência e positiva para produtividade de bulbos.

O estudo estabeleceu, dentro da variação genética disponível no germoplasma de cebola da EPAGRI, quatro grupos heteróticos que podem ser recombinados para selecionar o melhor background genético.

### ESTUDO II

As avaliações de oito constituições genéticas (quatro híbridos e quatro linhagens) revelou diferenças significativas entre os genótipos para teor de ácido pirúvico, Brix e altura de planta.

Portanto, medidas adicionais dos caracteres teor de enxofre, massa seca, número de folhas e diâmetro do pseudocaule são desnecessárias para a diferenciação dos genótipos.

No caráter rendimento de bulbos comerciais não foram identificados efeitos significativos entre as constituições genéticas.

Dentre as combinações híbridas, uma revelou propriedades interessantes ao melhoramento (H1 - 09 x 10), com menor teor de ácido pirúvico e maior altura de planta, comparativamente à linhagem mantenedora.

## REFERÊNCIAS

- ABAYOMI, L. A.; TERRY, L. A.; WHITE, S. F.; WARNER, P. J. Development of a disposable pyruvate biosensor to determine pungency in onions (*Allium cepa* L.). **Biosensors and Bioelectronics**, v. 21, n. 11, p. 2176-2179, 2006.
- ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. Davis, Califórnia: USAID, 1960.
- ALVES, D. P.; WAMSER, G. H.; OLIVEIRA, V.R. Escolha do cultivar. In: MENEZES JÚNIOR, F. O. G.; MARCUZZO, L. L. (Orgs.). **Manual de práticas agrícolas: guia para a sustentabilidade das lavouras de cebola do estado de Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 2016. p. 25-40.
- BARBIERI, R. L.; MEDEIROS, A. R. M. A cebola ao longo da história. In: BARBIERI, R. L. (Ed). **Cebola: ciência, arte e história**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2007. p. 13-20.
- BOITEUX, L. S.; MELO, P. C. T. **Cultivo da cebola: taxonomia e origem**. EMBRAPA, 2016. Disponível em: [http://www.cnph.embrapa.br/paginas/sistemas\\_producao/cultivo\\_da\\_cebola/taxonomia\\_e\\_origem.htm](http://www.cnph.embrapa.br/paginas/sistemas_producao/cultivo_da_cebola/taxonomia_e_origem.htm). Acesso em: 20 jul. 2021.
- BREWSTER, J. **Onions and other vegetable alliums**. Cambridge: CAB Internacional, 1994.
- BREWSTER, J. **Onions and other vegetable Alliums**. 2. ed. Wallingford, UK: CAB International, 2008.
- BRIGGS, F.; KNOWLES, P. **Introduction to plant breeding**. New York: Reinhold Publishing Corp., 1967.
- BUZAR, A. G. R.; OLIVEIRA, V. R.; BOITEUX, L. S. Estimativa da diversidade genética de germoplasma de cebola via descritores morfológicos, agronômicos e bioquímicos. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 4, p. 527–532, 2007.
- COSTA, C. P. Germoplasma de cebola brasileiro e seu uso no melhoramento. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CEBOLA, 9, 1997, Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1997. p. 2.
- CRAMER, C. S. *et al.* Recent advances in onion genetic improvement. **Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 1-16, 2021.
- CROW, J. F. 90 Years Ago: the Beginning of Hybrid Maize. **Genetics**, v. 148, n. 3, p. 923-928, 1998.
- CROWTHER, T. *et al.* Assessment of the flavour of fresh uncooked onions by taste-panels and analysis of the flavour precursors, pyruvate and sugars. **Journal Science Food Agriculture**, London, v. 85, p. 112-120, 2005.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 480 p.

DHUMAL, K.; DATIR, S.; PANDEY, R. Assessment of bulb pungency level in different Indian cultivars of onion (*Allium cepa* L.). **Food Chemistry**, v. 100, n. 4, p. 1328-1330, 2007.

DONALD, C. M. The breeding of crop ideotypes. **Euphytica**, v. 17, n. 3, p. 385-403, 1968.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI. **Sistema de produção para a cebola:** Santa Catarina. 4. rev. Florianópolis: EPAGRI/Cepa, 2013. 106 p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2018 – 2019.** v. 1. Florianópolis: EPAGRI/Cepa, 2019. 200 p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI/CEPA. **Boletim Agropecuário.** Janeiro/2022. Florianópolis: EPAGRI/Cepa, 2022. 49 p.

FALCONER, D.; MACKAY, T. **Introduction to Quantitative Genetics.** 4. ed. Harlow, England: Prentice Hall, 1996.

FARIA, M. V. *et al.* Desempenho agronômico e heterose de genótipos de cebola. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 220-225, 2012.

FAYOS, O.; MALLOR, C.; GARCÉS-CLAVER, A. **Evolución del conocimiento sobre la pungencia de la cebolla (*Allium cepa* L.) y del pimiento (*Capsicum spp.*):** desde sus orígenes hasta el potencial nutracéutico actual. Zaragoza, España: Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, 2018.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de Olericultura:** Cultura e comercialização de hortaliças. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura:** Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2000. 402 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura:** Agrotecnologia moderna para a produção de hortaliças. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. 421 p.

FONTOURA, L. F. M. **As relações de produção e a produção do espaço agrário em São José do Norte.** 1994. 126 f. Dissertação (Mestrado em Sociologia) – Curso de Pós-graduação em Sociologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Global forest resources assessment.** Report Malaysia, 2020.

FRANÇA, J. G. E.; CANDEIA, J. A. Development of short-day yellow onion for tropical environment of the brazilian northeast. **Acta Horticultae**, v. 433, n. 29, p. 285-290, 1997.

GALMARINI, C. R.; GOLDMAN, I. L.; HAVEY, M. J. Genetic analyses of correlated solids,

flavor, and health-enhancing traits in onion (*Allium cepa L.*). **Molecular Genetics and Genomics**, n. 256, p. 543-551, 2001.

GUGEL, J. T. Cebola. In: SANTOS, A. A. et al. (Elab.). **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina**. v. 1. Florianópolis: EPAGRI/Cepa, 2017. p. 49-54.

HAIR, J. F. J. et al. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. São Paulo: Bookmam, 2009.

HAMILTON, B. K.; YOO, K. S.; PIKE, L. M. Changes in pungency of onions by soil type, sulphur nutrition and bulb maturity. **Scientia Horticulturae**, v. 74, n. 4, p. 249-256, 1998.

HAWKESFORD M. et al. **Function of nutrients: macronutrients**. Marschner's mineral nutrition of higher plants. London, UK: Academic Press, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **INPC – Índice nacional de preços ao consumidor**. Séries históricas – Variação acumulada no ano durante o Plano Real (%), dezembro 1995 – dezembro 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9258-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor.html?edicao=26615&t=series-historicas>. Acesso: 10 dez. 2020.

KIILL, L. H. P.; RESENDE, G. M.; SOUZA, R. J. Botânica. In: COSTA, N. D.; RESENDE, G. M. **Cultivo da cebola no Nordeste**. Petrolina: Embrapa SemiÁrido, 2007. p. 4–8

KIM, H. Y. et al. Relationship Between Consumer Acceptability and Pungency-Related Flavor Compounds of Vidalia Onions. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 10, p. 2396-2402, 2017.

JONES, H. A.; MANN, L. K. **Onions and their allies**: botany, cultivation and utilization. London: Leonard Hill, 1963. 286 p.

LEE, E. J. et al. Application of extra sulfur to high-sulfur soils does not increase pungency and related compounds in shortday onions. **Scientia Horticulturae**, v. 123, n. 2, p. 178-183, 2009.

LEITE, D. L. et al. Melhoramento genético de cebola para as condições tropicais e subtropicais do Brasil. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v. 3, n.1, p. 18-27, 2009.

LISBÃO, R. S. Cebola. In: FURLAN, A. M. C.; VIÉGAS, G. P. (Eds). **O melhoramento de plantas no Instituto Agronômico**. Campinas: Instituto Agronômico, 1993. 524 p.

LIU, S. et al. Effect of nitrogen and sulfur interaction on growth and pungency of different pseudostem types of Chinese spring onion (*Allium fistulosum L.*). **Scientia Horticulturae**, v. 121, n. 1, p. 12-18, 2009.

LO SCALZO, R. et al. Low pungency and phytochemicals relationship during bulb assessment in the sweet onion breeding program. **Scientia Horticulturae**, v. 285, p. 110-191, 2021.

MACHADO, A. T. Construção histórica do melhoramento genético de plantas: do

convencional ao participativo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 1, p. 35-50, 2014.

MAGALHÃES, J. R. Nutrição e adubação da cebola. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLA N. E. P. D.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 381-393.

MALLOR, C. et al. Genetic variation for bulb size, soluble solids content and pungency in the Spanish sweet onion variety Fuentes de Ebro. Response to selection for low pungency. **Plant Breeding**, v. 130, n. 1, p. 55-59, 2011.

MALLOR, C.; SALES, E. Yield and traits of bulb quality in the Spanish sweet onion cultivar “Fuentes de Ebro” after selection for low pungency. **Scientia Horticulturae**, v. 140, p. 60-65, 2012.

MANFRON, P. A.; GARCIA, D. C.; ANDRIOLI, J. L. Aspectos morfo-fisiológicos da cebola. **Ciência Rural**, v. 22, n. 1, p. 101-107, 1992.

MAY, A. et al. **A cultura da couve-flor**. Boletim Técnico n. 200. Campinas/SP: Instituto Agronômico (IAC), 2007. 36 p.

MCCALLUM, J. et al. Genetic mapping of sulphur assimilation genes reveals a QTL for onion bulb pungency. **Theoretical and Applied Genetics**, n. 114, p. 815-822, 2007.

MELCHINGER, A. E.; GUMBER, R. K. **Overview of Heterosis and Heterotic Groups in Agronomic Crops**. CSSA, 1998.

MELO, P. C. T.; BREDA JUNIOR, J. M.; MELO, R. A. Retrospectiva e avanços da cebolicultura brasileira na década de 2000. **Revista Nosso Alho (ANAPA)**, São José do Rio Pardo/SP, 6. ed., 2010.

MELO, P. C. T.; RIBEIRO, A.; CHURATA-MASCA, M. G. C. Sistemas de produção, cultivares de cebola e seu desenvolvimento para as condições brasileiras. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CEBOLA, 3, 1988, Piedade/SP. **Anais [...]**. Piedade/SP: FUNEP, 1988. p. 27-61.

MELO, P. C. T.; BOITEUX, L. S. Análise retrospectiva do melhoramento genético de cebola (*Allium cepa L.*) no Brasil e potencial aplicação de novas estratégias biotecnológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1, 2001, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2001.

MENEZES JUNIOR, F. O. G.; KURTZ, C. Produtividade da cebola fertirrigada sob diferentes doses de nitrogênio e densidades populacionais. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 571-579, 2016.

MULLER, J. V.; CASALI, V. W. D. **Produção de sementes de cebola**. Florianópolis: EMPASC, 1982. 64 p.

NUNES, R. L. C.; OLIVEIRA, A. B.; DUTRA, A. S. Agronomic performance of onion hybrids in Baraúna, in the semi-arid region of Brazil. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 45, n. 3, p. 606-611, 2014.

OLIVEIRA, V. R. *et al.* **Produção de Cebola em Função da Aplicação de Enxofre no Solo.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2003.

PATHAK, C. S. Hybrid seed production in onion. **Journal of New Seeds**, Oxfordshire, v. 1, n. 3/4, p. 89-108, 1999.

PIKE, L. M. Onion breeding. In: BASSET, M. J. (Ed.). BREEDING VEGETABLE CROPS, 1986, Connecticut. **Anais [...].** Connecticut: AVI Publishing Company, 1986. p. 368-370.

PINHEIRO, G. S. *et al.* Germinação de sementes de cebola sob diferentes temperaturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 52, 2012, Salvador. **Anais [...].** Salvador: Horticultura Brasileira, 2012. p. S7961-S7966.

POEHLMAN, J. M.; SLEPER, D. **Breeding Field Crops.** 4. ed. United States of America: Wiley, 1995.

PORTA, B. *et al.* Variability, heritability, and correlations of agronomic traits in an onion landrace and derived S1 lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, n. 1, p. 29-35, 2014.

QUARTIERO, A. *et al.* Desempenho agronômico, heterose e estabilidade fenotípica de genótipos de cebola. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 259-266, 2014.

RABOY, V. The future of crop breeding for nutricional quality. **SABRAO Journal of Breeding and Genetics**, v. 45, n. 1, p. 100-111, 2013.

RAMOS, P. S. R.; DEON, J. S. dos; ARAGÃO, C. A. Desempenho e pungência de genótipos de cebola na região do Submédio São Francisco. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, 2005.

RANDLE, W. M.; BUSSARD, M. L.; WARNOCK, D. F. Ontogeny and sulfur fertility affect leaf sulfur in short-day onions. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 118, n. 6, p. 762-765, 1993.

RESENDE J. T. V. *et al.* Aplicação complementar de enxofre em diferentes doses na cultura do alho. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 217-221, 2011.

SANTOS, C. A. F. *et al.* Avaliação preliminar de híbridos de cebola derivados de ‘Baia periforme’ no vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 2542-2545, 2010.

SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R.; LEITE, D. L. Melhoramento Genético de Cebola no Brasil: Avanços e Desafios. **Embrapa Semiárido**, v. 1, p. 5-20, 2013.

SANTOS, C. A. F.; YURI, J. E.; COSTA, N. D. **Efeito do enxofre na produtividade e no teor de ácido pirúvico em cultivares de cebola.** Petrolina/PE: Embrapa Semiárido, 2019. 18 p.

SCHUNEMANN, A. P. *et al.* Pungência e características químicas em bulbos de genótipos de cebola (*Allium cepa L.*) cultivados no Alto Vale do Itajaí, SC, Brasil. **Revista Brasileira de**

**Agrociência**, v. 12, n. 1, p. 77-80, 2006.

SCHWIMMER, S.; WESTON, W. J. Onion Flavor And Odor Enzymatic Development of Pyruvic Acid in Onion as a Measure of Pungency. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 9, n. 4, p. 301-304, 1961.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – SBCS. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016. 376 p.

TEDESCO, M. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, 1995.

VARGAS, P. F.; BRAZ, L. T.; MAY, A. Produtividade de cultivares de cebola em função do número de mudas por célula de bandeja e espaçamento entre covas. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 247-251, 2007.

VILELA, N. J. *et al.* Desafios e oportunidades para o agronegócio da cebola no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 4, p. 1029-1033, 2005.

WALL, M. M.; CORGAN, J. N. Relationship between Pyruvate Analysis and Flavor Perception for Onion Pungency Determination. **HortScience**, v. 27, n. 9, p. 1029-1030, 1992.

WATSON, J. E. M. *et al.* Protect the last of the wild. **Nature**, v. 563, p. 27-30, 2018.

WHITAKER, J. Development of flavor, odor, and pungency in onion and garlic. **Advances in Food Researches**, v. 22, p. 73-133, 1976.

YOO, K. S.; PIKE, L. M. Determination of background of pyruvic acid concentration in onions, Allium species and other vegetables. **Scientia Horticulturae**, v. 89, p. 249-256, 2001.

YOO, K. S. *et al.* Effects of leaf cutting on bulb weightand pungency of short-day onions after lifting the plants. **Scientia Horticulturae**, v. 257, p. 108720, 2019.

YOO, K. S. *et al.* Developing sweet onions by recurrent selection in a short-day onion breeding program. **Scientia Horticulturae**, v. 266, p. 109269, 2020.

YOO, K. S. *et al.* Differences in onion pungencydue to cultivars, growth environment, and bulb sizes. **Sci. Hortic.**, v. 110, n. 2, p. 144-149, 2006.

YOO, K. S.; LEE, E. J.; PATIL, B. S. Changes in fl avor precursor, pungency, and sugar contents in shorday onion bulbs during fi ve month storage at various temperatures and controlled-atmosphere. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 2, p. 216-221, 2012.