

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CAMPUS VENDA NOVA DO IMIGRANTE  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**CLEIDIANA VIEIRA GUIMARÃES**

**MALTAGEM NO CAFÉ ARÁBICA: MODIFICAÇÕES NO PERFIL SENSORIAL,  
ENZIMÁTICO E QUÍMICO**

VENDA NOVA DO IMIGRANTE-ES

2022

CLEIDIANA VIEIRA GUIMARÃES

**MALTAGEM NO CAFÉ ARÁBICA: MODIFICAÇÕES NO PERFIL SENSORIAL,  
ENZIMÁTICO E QUÍMICO**

Monografia apresentada à Coordenadoria do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Venda Nova do Imigrante, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Lucas Louzada Pereira

VENDA NOVA DO IMIGRANTE-ES

2022

(Biblioteca do Campus Venda Nova do Imigrante)

G963m Guimarães, Cleidiana Vieira .

Maltagem no café arábica : modificações no perfil sensorial, enzimático e químico / Cleidiana Vieira Guimarães. - 2022.  
41 f. : il ; 30 cm.

Orientador: Lucas Louzada Pereira

TCC (Graduação) Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Venda Nova do Imigrante, Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2022.

1. Café arábica. 2. Maltagem . 3. Perfil sensorial. 4. Enzimas. I. Pereira, Lucas Louzada . II.Título III. Instituto Federal do Espírito Santo.

CDD: 633.73

Bibliotecário/a: Adriana Souza Machado CRB6-ES nº 572

# FICHA DE APROVAÇÃO

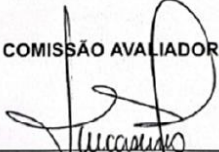
CLEIDIANA VIEIRA GUIMARÃES

## MALTAGEM NO CAFÉ ARÁBICA: MODIFICAÇÕES NO PERFIL SENSORIAL, ENZIMÁTICO E QUÍMICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal do Espírito Santo, *Campus* Venda Nova do Imigrante, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovado em 21 de março de 2022.

COMISSÃO AVALIADORA



---

Prof. Dr. Lucas Louzada Pereira  
Instituto Federal do Espírito Santo - Orientador

MAIRA MACIEL MATTOS DE OLIVEIRA:05970486655

Assinado de forma digital por MAIRA MACIEL MATTOS DE OLIVEIRA:05970486655  
Dados: 2022.04.04 17:17:27 -03'00'

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maira Maciel Mattos de Oliveira  
Instituto Federal do Espírito Santo

*Eduardo*

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Emanuele Catarina da Silva Oliveira  
Instituto Federal do Espírito Santo

*Vanessa Cristina de Castro*

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>.Vanessa Cristina de Castro  
Instituto Federal do Espírito Santo

*Tomás Gomes Reis Veloso*

---

Prof. Dr.Tomás Gomes Reis Veloso  
Universidade Federal de Viçosa

*José Maria Rodrigues da Luz*

---

Prof. Dr. José Maria Rodrigues da Luz  
Universidade Federal de Viçosa

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sempre acalmar meu coração nos momentos mais angustiantes e desafiadores.

A minha mãe, meu pai, irmãos e avó, por me ajudarem na realização desse sonho em fazer um curso superior.

A meu orientador Lucas Louzada Pereira, por acolher e lapidar a ideia do trabalho.

Ao IFES Campus Venda Nova do Imigrante, por toda disponibilidade de recursos e espaço necessários.

Aos meus colegas de trabalho, pela ajuda na realização do experimento e das análises.

A todos vocês meus sinceros agradecimentos e gratidão. Vamos avante.

## RESUMO

Os grãos de café são altamente suscetíveis a transformações químicas, físicas e estruturais após determinados processamentos, fornecendo um amplo escopo para o aprimoramento e desenvolvimento de técnicas e investigações adicionais. O presente estudo avaliou a viabilidade de aplicação da técnica de maltagem em grãos de café arábica, com foco na construção de vias metabólicas e seu subsequente impacto na qualidade sensorial, além de verificar o comportamento das sementes em diferentes condições de embebição, de forma a estimular processos bioquímicos na etapa de maceração dos frutos, ocorrida na primeira etapa da maltagem. O experimento ocorreu com 4 tratamentos de embebição (embebição com glicose a 5%; embebição com celulase a 3,4 g.L<sup>-1</sup> em tampão citrato de potássio 0,05 M e pH=4,8; embebição com frutose a 5% e embebição com água), além de um tratamento testemunha, sem embebição. Análise sensorial, caracterização do perfil enzimático do mosto de embebição e análise de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foram realizadas neste estudo. O tratamento de embebição com frutose apresentou a melhor média final na análise sensorial e seus descritores evidenciaram as modificações do perfil sensorial em comparação com o tratamento testemunha. Todos os tratamentos de embebição foram capazes de induzir a expressão das enzimas: celulase, pectina liase, beta-glucanase e polifenoloxidase nos intervalos de 0h, 12h, 24h e 36h. A celulase, os arabinogalactanos e as galactomananas foram os possíveis compostos que mais diferenciaram os tratamentos no espectro de infravermelho. A aplicação da técnica de maltagem em grãos de café arábica se mostrou uma alternativa viável e inovadora.

Palavras-chave: Maltagem. Perfil sensorial. Enzimas. Café arábica.

## ABSTRACT

Coffee beans are highly susceptible to chemical, physical and structural transformations after certain processing, providing a wide scope for the improvement and development of additional techniques and investigations. The present study aimed to evaluate the feasibility of applying the malting technique in Arabica coffee beans, focusing on the construction of metabolic pathways and their subsequent impact on sensory quality, in addition to verifying the behavior of the seeds under different imbibition conditions in order to stimulate biochemical processes in the fruit maceration stage. The assay was carried out with 4 different imbibition treatments (5% glucose imbibition; 3.4 gL<sup>-1</sup> cellulase imbibition in 0.05 M potassium citrate buffer and pH=4.8; 5% fructose imbibition and imbibition with water), in addition to a control treatment. Sensory analysis, characterization of the enzymatic profile of the imbibition must and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis were performed in this study. The treatment of imbibition with 5% fructose presented the best final average in the sensorial analysis and its descriptors evidenced the modifications of the sensorial profile in comparison with the control treatment. All soaking treatments were able to induce the expression of the following enzymes: cellulase, pectin lyase, beta-glucanase and polyphenoloxidase at intervals of 0h, 12h, 24h and 36h. Cellulase, arabinogalactans and galactomannans were the possible compounds that most differentiated the treatments in the infrared spectrum. The application of the malting technique in arabica coffee beans proved to be a viable and innovative alternative.

**Keywords:** Malting. Sensory profile. Enzymes. *Coffea arabica*.

## LISTA DE ABREVIATURAS

**ABA** - Ácido abscísico

**GAs** – Giberelinas

**MID** – Espectroscopia de Infravermelho médio

**PPO** – Polifenoloxidase

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
2.1 Objetivo geral	5
2.2 Objetivos específicos	6
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>6</b>
<b>3.1 O CAFÉ ARÁBICA</b>	<b>6</b>
3.1.1 Morfologia do grão de café	7
3.1.2 Processamento dos frutos do cafeeiro	9
<b>3.2 FERMENTAÇÃO E ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DO CAFÉ ARÁBICA</b>	<b>10</b>
<b>3.3 GERMINAÇÃO DO CAFÉ ARÁBICA E EVENTOS FISIOLÓGICOS ASSOCIADOS</b>	<b>12</b>
<b>3.4 PROCESSO DE MALTEAÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>4 METODOLOGIA</b>	<b>17</b>
4.1 Aquisição da matéria-prima e caracterização dos frutos	17
4.2 Maceração e condições de germinação	17
4.3 Preparo das amostras para análise sensorial	17
4.4 Análise de infravermelho	19
4.5 Caracterização de perfil enzimático	19
4.5.1 Celulase	19
4.5.2 Polifenoloxidase	20
4.5.3 Pectina-liase	20
4.5.4 $\beta$ -glucanase	20
4.6 Delineamento experimental e análises estatísticas	21
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>21</b>
<b>5.1 ANÁLISE SENSORIAL</b>	<b>21</b>
<b>5.2 PERFIL ENZIMÁTICO</b>	<b>25</b>
<b>5.3 PAINEL DE ANÁLISES POR INFRAVERMELHO</b>	<b>29</b>
<b>6. CONCLUSÃO</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>33</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O café é um importante produto comercial com forte influência econômica em diversos países (CONAB, 2018). Seu consumo se estende globalmente e o torna a segunda *commodity* mais representativa dos mercados mundiais, estando atrás apenas do petróleo. O Brasil detém o posto de maior produtor e exportador mundial de café arábica, seguido pelo Vietnã, Colômbia, Indonésia, Etiópia e Índia (OIC, 2018).

A saber, os métodos de processamento por via seca ou úmida, em sinergia com fatores genéticos, microbianos, edafoclimáticos e demais etapas do pós-colheita (Da Mota et al., 2020), estão intimamente relacionados a reações metabólicas nos frutos de café, influenciando a composição química dos grãos e subsequente qualidade sensorial.

A fermentação do café compreende um processo de degradação da camada de mucilagem de forma anaeróbia, mediado por complexas interações microbiológicas envolvendo bactérias do ácido láctico (BAL), bactérias do ácido acético (BAA), *Bacillus*, *Enterobacteriaceae*, além de fungos filamentosos e leveduras (AVALLONE et al., 2001). Estudos revelam que metabólitos secundários gerados na fermentação se transformam em precursores de compostos voláteis evidenciados durante a torra, como ésteres, álcoois e cetonas (DE MELO PEREIRA, 2015).

Grãos de café apresentam germinação assíncrona e são categorizados como sementes intermediárias, fisiologicamente localizadas entre as ortodoxas e recalcitrantes. A germinação precoce dentro do fruto é provavelmente evitada pela ação conjunta do ácido abscísico (ABA) e do potencial osmótico da polpa (BEWLEY e BLACK, 1994).

Pesquisas tentaram confirmar que sementes de café iniciam o processo germinativo durante o processamento, com base na expressão da isocitrato liase específica para germinação (ICL) e um aumento na abundância de  $\beta$ -tubulina, um marcador para a divisão celular ou alongamento (SELMAR et al., 2006; HAILE; KANG, 2019), porém, esse fenômeno não está completamente elucidado.

A germinação pode ser considerada um módulo biotecnológico com fortes perspectivas futuras, no que tange a melhorias do valor nutricional de produtos

alimentícios, através de mudanças significativas no cenário bioquímico, nutricional e sensorial de sementes (KIM, et al., 2012). O início da germinação, bem como a quantificação de seu progresso podem ser avaliados de diferentes maneiras, uma delas é a determinação de enzimas específicas presentes em diferentes estágios de eventos germinativos (BYTOF et al., 2007).

Uma das aplicações mais importantes do processo de germinação na tecnologia de alimentos é a maltagem (FRANK et al., 2011). Esse processo compreende uma abordagem biotecnológica envolvendo a maceração, germinação e posterior secagem de sementes sob condições controladas de temperatura e umidade (JONES e BUDDE, 2005). Com a interrupção da germinação pelo processo de secagem, um espectro de mudanças significativas no conteúdo de metabólitos é evidenciado, em especial a maximização do extrato fermentativo (FRANK et al., 2011).

A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica analítica bem estabelecida para análise rápida, de alto rendimento e não destrutiva de uma ampla gama de tipos de amostras, fornecendo uma impressão digital característica de substâncias químicas ou bioquímicas presentes na amostra (RODRIGUEZ; GUZMAN; HERNANDEZ, 2020). A especificidade química da imagem FTIR se origina da interação (via absorção) da luz infravermelha com os modos vibracionais das moléculas que estão sendo interrogadas (KAZARIAN; CHAN, 2013).

Assim, apresentamos duas hipóteses neste estudo, sendo a primeira referente a aplicação da técnica de maltagem em grãos de café arábica, com foco na construção de vias metabólicas e seu subsequente impacto no painel sensorial do café, e a segunda, com foco em diferentes condições de embebição de forma a estimular processos bioquímicos na fase de maceração dos frutos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Este estudo possui como finalidade a compreensão dos impactos gerados pela aplicação da técnica de malteação em grãos de café, como uma alternativa de ativação de vias metabólicas para modificação do perfil sensorial e químico da bebida.

## 2.2 Objetivos específicos

- Estimular a germinação em sementes de café arábica sob condições controláveis;
- Verificar a eficiência da celulase, glicose, frutose e água como forma de acelerar a germinação na etapa de embebição das sementes;
- Analisar a sucessão enzimática predominante durante a aplicação da técnica de maltagem;
- Avaliar a qualidade sensorial dos cafés maltados;
- Verificar a alteração do perfil químico dos cafés por espectroscopia de infravermelho médio (MID).

## 3 REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 O CAFÉ ARÁBICA

O café é um produto de importância econômica mundial (OIC, 2021), com destaque as espécies de *Coffea arabica* L e *Coffea canephora*, pertencente à família botânica Rubiaceae e provenientes do gênero *Coffea* (ICO, 2008). Atualmente o *Coffea arabica* L., lidera 76,4% de toda produção mundial e o *Coffea canephora*, possui 24,6% de representatividade (CONAB, 2018).

O café é uma lenhosa de porte baixo, originária das florestas tropicais do continente Africano em especial da Etiópia, Sudão e Quênia, no caso do café arábica, enquanto as primeiras plantas da espécie conilon foram localizadas no oeste da África, em locais de menores altitudes (FERNANDES et al., 2012).

O Brasil detém o posto de maior produtor e exportador mundial de café arábica há mais de 150 anos, além de ocupar a segunda posição entre os países que mais consomem a bebida, estando atrás apenas dos EUA. Entre novembro de 2019 a outubro de 2020, houve um crescimento de 1,34% acerca do consumo nacional per capita da bebida em torno de 5,99 kg por ano de café cru e 4,79 kg por ano de café torrado, correspondendo a 21,2 milhões de sacas de 60 kg (ABIC, 2020).

A composição química do café possui relação direta com as condições ambientais e genéticas da planta, além das etapas de beneficiamento dos grãos. Os principais constituintes dos frutos são os compostos nitrogenados, carboidratos e lipídeos, além

de compostos bioativos, como cafeína, ácidos clorogênicos, flavonóides, vitaminas, minerais, entre outros (LIMA et al., 2010).

No tocante aos aspectos sensoriais da bebida, após a etapa de torrefação dos grãos já processados, além dos constituintes principais, encontram-se importantes compostos voláteis e não-voláteis responsáveis pela formação de atributos, por meio das modificações bioquímicas que ocorrem durante o processo (SIQUEIRA e ABREU, 2006). A tabela 1, expressa os teores de alguns componentes químicos do café arábica.

Tabela 1- Composição química do grão de café arábica cru e torrado

Componente	Arábica	
	Cru	Torrado
Minerais	3,0- 4,2	3,5- 4,5
Cafeína	0,9- 1,2	1,0
Trigonelina	1,0- 1,2	0,5- 1,0
Lipídeos	12,0- 18,0	14,5- 20,0
Ácido Clorogênico Total	5,5- 8,0	1,2- 2,3
Ácidos alifáticos	1,5- 2,0	1,0- 1,5
Oligossacarídeos	6,0- 8,0	0- 3,5
Polissacarídeos Total	50,0- 55,0	24,0- 39,0
Aminoácidos	2,0	0
Proteínas	11,0- 13,0	13,0- 15

\*Valores expressos em % de base seca.

Fonte: SMITH, 1985 adaptado.

### 3.1.1 Morfologia do grão de café

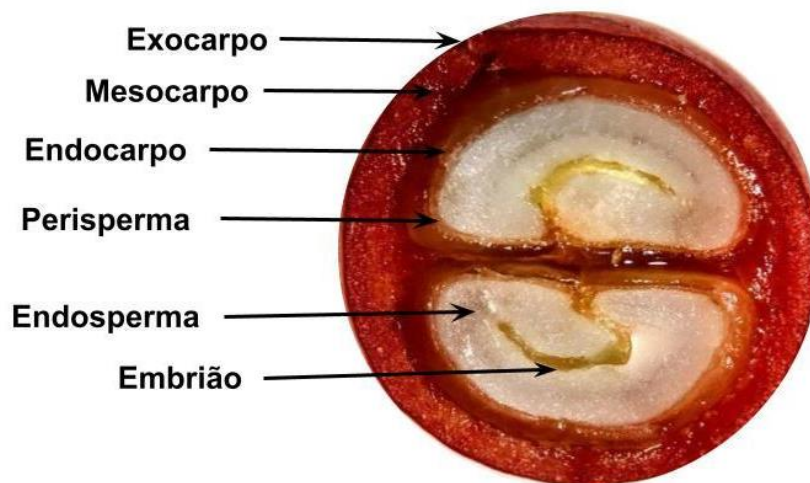
A camada mais externa do fruto do café (figura 1) é denominada exocarpo ou casca e em virtude da presença de cloroplastos nos tecidos celulares, é possível acompanhar a maturação dos frutos através da mudança de cores. No estágio inicial, o café apresenta coloração verde e durante seu desenvolvimento, torna-se vermelho, ou amarelo, de acordo com a variedade. As cores vermelhas são decorrência do desaparecimento de pigmentos de clorofila seguido do acúmulo das antocianinas,

enquanto a cor amarelada é atribuída à luteolina (DE CASTRO; MARRACCINI, 2006; MARÍN, 2004).

O mesocarpo, comumente conhecido como mucilagem, é uma estrutura constituída principalmente de proteínas (14,2%), celulose (9,1%), substâncias pécnicas (32,2%) e açúcares (50%) (AVALLONE et al., 2001). Nos frutos verdes o tecido é rígido e compactado, tornando-se mais fino com a degradação da pectina pela ação de enzimas pectinolíticas (BOREM, 2008).

Mais internamente no fruto, localiza-se o endocarpo, que após a maturação do fruto torna-se o pergaminho. Essa estrutura compreende um tecido duro e lignificado, composto por celulose, hemicelulose, lignina e proteína. O endocarpo exerce a função de proteger o endosperma de enzimas digestivas do intestino de animais frugívoros (URBANEJA et al., 1996). Além disso, Geromel et al., 2006 afirma que essa camada atua como uma barreira física capaz de limitar a difusão de certos compostos bioquímicos de outros tecidos, como o pericarpo.

Figura 1 - Representação esquemática dos tecidos presentes na fase madura de frutos de café arábica



Fonte: Autoria Própria (2021).

O perisperma ou “*Silver skin*”, consiste em uma película prateada com cerca de 70  $\mu\text{m}$  de espessura que envolve o endosperma. Essas películas são eliminadas durante a

torrefação dos grãos e, quando em grandes quantidades, sugerem que a colheita não foi realizada no estágio ideal de maturação (DEDECCA, 1957).

Do ponto de vista econômico e fisiológico, o endosperma é a parte mais importante do fruto (GOULART, 2007). Segundo Borem (2008), encontra-se no endosperma a cafeína, trigonelina, diferentes ácidos, proteínas, lipídeos, altos conteúdos de polissacarídeos, lignina e minerais. Em seu estágio maduro, o endosperma atua como um tecido de reserva de nutrientes e compostos que posteriormente são mobilizados pelo embrião durante o processo germinativo do grão de café (DE CASTRO; MARRACCINI, 2006).

### **3.1.2 Processamento dos frutos do cafeeiro**

Os atributos sensoriais resultantes em uma xícara de café, são ditados por uma série de parâmetros relacionados ao pré e pós-colheita, o que possibilita a aplicação de diferentes metodologias de melhoramento visando potencializar a qualidade da bebida. Os fatores de pré-colheita estão associados a condições genéticas e ambientais, enquanto o pós-colheita inclui o processamento por via seca ou via úmida, secagem, armazenamento e transporte decorrente dos grãos. (RIBEIRO, 2017; SELMAR et al., 2014).

Melhorias na qualidade da bebida são estratégias complementares a melhorias na produtividade, que podem justificar o crescimento da inserção de produtores em segmentos de mercado de alto valor, impactando diretamente no aumento da produção de cafés especiais em nível mundial (CORTÉS-MACÍAS, 2022; GUTIÉRREZ-GUZMÁN, 2018).

O processamento por via seca abrange a colheita das cerejas de café em seu estágio ideal de maturação, que são separadas dos frutos verdes e bóias e direcionadas à secagem com os frutos intactos e sem a remoção do exocarpo, resultando em cafés naturais. No processamento por via úmida, o exocarpo é retirado e pode-se obter três tipos de cafés: o cereja descascado, proveniente da remoção do exocarpo e posterior secagem com a mucilagem aderida ao pergaminho; o café totalmente lavado, com a completa remoção do exocarpo e da mucilagem remanescente, através da degradação e solubilização proveniente do processo fermentativo; e o café desmucilado, com a retirada mecânica da mucilagem (TAVEIRA et al., 2015). Vale

frisar que os cafés processados por via úmida costumam apresentar maior tolerância à secagem, o que é evidenciado pela maior atividade de enzimas antioxidantes e melhor desempenho fisiológico do que aqueles processados por via seca.

A umidade do café recém-colhido e processado é de 55-60% e após a secagem fica entre 11% a 12%. Convencionalmente, são utilizados dois tipos de secagem: a secagem ao sol e a secagem mecânica. O processo deve ocorrer de maneira uniforme para garantir inocuidade e qualidade dos grãos, bem como evitar fermentações indesejáveis (GHOSH; VENKATACHALA, 2014).

Foram demonstradas evidências de que os diferentes métodos de processamento induzem o processo germinativo dos grãos e criam rotas metabólicas que interferem diretamente nos perfis sensoriais da bebida (HAILE; KANG, 2019). A hipótese de que as sementes germinam durante o processamento foram propostas com base na expressão da isocitrato liase (ICL), enzima específica da germinação, seguida do aumento do conteúdo de  $\beta$ -tubulina, um marcador da divisão celular ou alongamento (SELMAR et al., 2006).

Portanto, grãos devidamente preparados, podem apresentar qualidade igualmente superior, uma vez que infusões provenientes do processo úmido, são marcadas por aromas memoráveis e acidez agradável, enquanto os cafés “naturais” apresentam corpo mais intenso e maior doçura (SELMAR et al., 2014).

### **3.2 FERMENTAÇÃO E ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DO CAFÉ ARÁBICA**

A fermentação em estágio úmido do café compreende um processo de degradação da camada de mucilagem de forma anaeróbia, mediado por complexas interações microbiológicas envolvendo bactérias do ácido láctico (LAB), bactérias do ácido acético (AAB), *Bacillus*, *Enterobacteriaceae*, fungos filamentosos e leveduras (AVALLONE et al., 2001). A microbiota envolvida no processo pode variar de acordo com fatores genéticos e ambientais, bem como a composição do fruto e o método de fermentação (HUCH e FRANZ, 2015; SILVA et al., 2008;).

As espécies de leveduras mais frequentemente isoladas durante a fermentação compreendem as espécies *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia kluyveri*, *P. anomala*, *Hanseniaspora uvarum* e *Debaryomyces hansenii delbrueckii* (VILELA, 2010; SILVA

et al., 2008). Além disso, bactérias com atividade pectinolítica pertencentes aos gêneros *Erwinia*, *Klebsiella*, *Aerobacter*, *Escherichia* e *Bacillus*, e uma variedade de fungos filamentosos também são constantemente isolados (VILELA, 2010; SILVA et al., 2008).

Esses microrganismos utilizam o endosperma do grão como fonte de carbono e nitrogênio, resultando na produção de etanol e acidificação do meio (pH passa de 5,5-6,0 para 3,5-4,0), proveniente de ácidos acéticos e láticos. Estudos ainda revelam que metabólitos secundários gerados na fermentação se transformam em precursores de compostos voláteis evidenciados durante a torra, como ésteres, álcoois e cetonas (DE MELO PEREIRA, 2015).

A mucilagem dos grãos de café consiste principalmente em proteínas (14,2%), açúcares (50%), celulose (9,1%) e substâncias pécticas (32,2%) (AVALLONE et al., 2001; ELHALIS et al., 2021). Durante a fermentação, as enzimas naturais presentes no fruto são ativadas, sendo as celulasas, amilases, proteases e pectinases, as principais (LARA et al., 2014).

Todavia, a degradação completa das substâncias pécticas contidas na mucilagem necessita da ação conjunta das enzimas mencionadas anteriormente, com outras que são produzidas e acionadas por microrganismos do grão, bem como espécies que se originam como contaminantes naturais do processo. De acordo com Silva et al., (2013), as principais enzimas presentes na fermentação do café são a poligalacturonase, responsável por catalisar a hidrólise das ligações glicosídicas  $\alpha$  1-4; a pectina liase, que catalisa a degradação da pectina por transeliminação, liberando ácidos galacturônicos insaturados e pectina metil esterase, responsável pela desesterificação do grupo metoxila da pectina formando ácido péctico e metanol.

Um dos principais desafios dos produtores é a dificuldade de controlar o processo fermentativo do café, que ocorrendo de maneira espontânea pode desencadear em uma bebida de qualidade inconsistente e imprevisível (ELHALIS, 2021). Quando ocorrem falhas na fermentação, microrganismos indesejáveis como bactérias e fungos patogênicos e deteriorantes contaminam o processo. Além disso, a fermentação estimula a produção de ácidos butíricos e propiônicos, notadamente responsáveis por

atribuírem sabores estranhos e comprometedores da qualidade final do café (KRUG, 1940).

### **3.3 GERMINAÇÃO DO CAFÉ ARÁBICA E EVENTOS FISIOLÓGICOS ASSOCIADOS**

A germinação consiste em uma série de eventos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos de extrema importância para a propagação de espécies e melhoria da biodiversidade agrícola mundial. Sob a ótica morfológica, o processo se baseia na retomada do crescimento do embrião, seguido pela emergência da plântula (COPELAND e MCDONALD, 1995). Em termos fisiológicos e bioquímicos, ocorre o reinício da transcrição do genoma, seguido da retomada de atividades metabólicas, bem como processos bioquímicos relacionados ao desenvolvimento e crescimento vegetativo das sementes (JANN e AMEN, 1980).

Os grãos de café arábica são categorizados como sementes intermediárias, com um certo grau de tolerância à dessecação (entre 10% e 12%), sem perderem sua viabilidade. As sementes são consideradas fisiologicamente dormentes (BASKIN e BASKIN, 2004) e possuem germinação assíncrona e influenciada por fatores intrínsecos, como quantidade e qualidade das reservas energéticas, morfologia funcional dos cotilédones e síntese de hormônios vegetais, além de influenciadores abióticos (temperatura e disponibilidade de O<sub>2</sub> e luz, excesso ou déficit hídrico, salinidade, processamento e armazenamento) (TAIZ; ZEIGER, 2009).

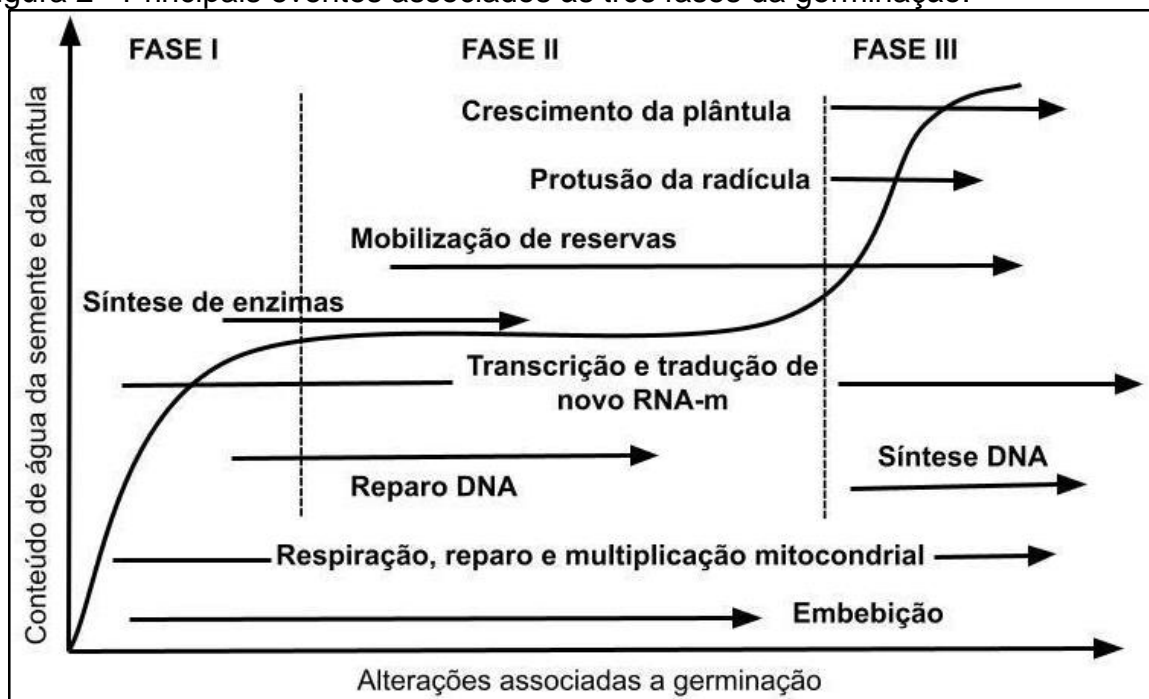
Pereira (2002), relata que as causas da germinação lenta do café ainda não foram totalmente elucidadas, mas segundo Válio (1980), há evidências de que o endocarpo pode exercer influências inibidoras, não por dificultar a absorção de água e O<sub>2</sub> pelos tecidos, mas por restrições mecânicas que limitam a extensibilidade da parede celular e o crescimento do embrião. Além disso, pode-se relacionar a lenta germinação com os baixos teores de substâncias semelhantes ao ácido giberélico no grão, bem como a liberação de cafeína pelo perisperma, a qual é considerada um inibidor natural (SILVA et al., 2004).

O processo de germinação do café arábica consiste em três fases principais. A primeira compreende a embebição das sementes, marcada pela quebra da dormência, rápida absorção de água nas horas iniciais, acarretando na hidratação do

citoplasma; reativação de atividades metabólicas, como respiração e reparo nas mitocôndrias, com a retomada na produção de moléculas de adenosina trifosfato (ATP); biossíntese de proteínas pelo mRNA; retomada da biogênese e atividade de enzimas e início da mobilização e digestão das reservas energéticas da semente (BEWLEY & BLACK, 2013). Nessa primeira fase ainda ocorre reparos no DNA, em virtude das danificações provenientes do desenvolvimento, processamento e dessecação das sementes, esse processo envolve a enzima DNAligase, ativada com a embebição (BEWLEY, 1997).

Uma vez que a velocidade de embebição e respiração tonam-se estáveis, inicia-se a fase 2, marcada em especial pela digestão das reservas energéticas seguida da translocação e difusão dos compostos hidrolisados para pontos de crescimento do embrião. Essa fase é finalizada com a formação de novos tecidos, evento denominado assimilação. Por fim, na terceira e última etapa da germinação ocorre a emergência e o crescimento da plântula (BEWLEY & BLACK, 2013). Uma representação esquemática dessas fases pode ser observada abaixo, na figura 2.

Figura 2 - Principais eventos associados às três fases da germinação.



Fonte: BEWLEY (1997) adaptado.

No embrião, um aumento no potencial de turgor é observado na fase I, indicando que as células estão absorvendo água e se preparando para posterior expansão e crescimento. O tecido do endosperma é composto por paredes espessas constituídas

por polímeros ricos em hemicelulose, celulose e mananos insolúveis (BEWLEY, 2013).

As principais enzimas envolvidas no enfraquecimento do endosperma de sementes de café são a endo- $\beta$ -mananase,  $\beta$ -manosidase e  $\alpha$ -galactosidase. Concomitantemente, é observado um aumento na porosidade das paredes celulares próximas ao embrião, em que a síntese de DNA e o acúmulo da proteína  $\beta$ -tubulina ocorrem simultaneamente (SILVA et al., 2005), colaborando para sua expansão e alongamento. Uma maior protuberância é evidenciada a partir do quinto ou sexto dia de germinação, em condições laboratoriais (30°C no escuro). Cerca de 50% das sementes exibem a protrusão no dia 10, e até o décimo quinto dia a embebição é completamente concluída, conforme ilustrado na figura 3 (VÁLIO, 1980; DA SILVA et al., 2004).

Figura 3 - Germinação de semente de café *sensu stricto* e posterior crescimento da radícula.



Fonte: EIRA et al., 2006.

Além dos nutrientes e enzimas importantes para a germinação do café arábica, os hormônios vegetais ácido abscísico e giberelina, desempenham papéis importantes na regulação da indução, manutenção e liberação da dormência das sementes (EIRA et al., 2006). O ácido abscísico sesquiterpeno regula os principais eventos durante a formação das sementes, como a deposição de reservas de armazenamento, prevenção da germinação precoce, aquisição de tolerância à dessecação e indução de dormência primária (KERMODE, 2005).

Válio (1976) e Da Silva (2004), mostraram que a ocorrência e o aumento transitório do conteúdo de ABA impedem o crescimento do embrião através da inibição da extensibilidade da parede celular, por dificultar o aumento no turgor da célula. O ABA inibe a segunda etapa do enfraquecimento do endosperma e reduz a atividade de pelo menos duas isoformas da endo- $\beta$ -mananase (DA SILVA, 2004).

Os mecanismos de ação das giberelinas (GAs), bem como sua importância na germinação do café arábica, foram propostos por elas estarem presentes tanto no embrião quanto no endosperma (KARSSEN, 1989). Ácidos giberélicos endógenos são necessários para o alongamento das células embrionárias e para o enfraquecimento do endosperma durante a germinação. Entretanto, ao contrário dos efeitos estimuladores da GA na germinação de sementes, o ácido giberélico exógeno inibe a protrusão e emergência da plântula em sementes de café (VÁLIO, 1976; DA SILVA 2004; EIRA et al., 2006).

De acordo com Da Silva et al.(2005), concentrações supra ótimas de GA (100  $\mu$ M) liberadas no endosperma podem acarretar na morte celular do eixo embrionário. O embrião seria afetado por açúcares prejudiciais como a manose, liberados durante a degradação do endosperma. O mesmo estudo evidenciou os efeitos prejudiciais da luz sob a germinação, uma vez que estimula a biossíntese de GA exógenas em excesso, tornando-a tóxica e nociva para a germinação.

### **3.4 PROCESSO DE MALTEAÇÃO**

Uma das aplicações mais importantes do processo de germinação na tecnologia de alimentos é a maltagem (FRANK et al., 2011). Esse processo compreende uma abordagem biotecnológica envolvendo a maceração, germinação e subsequente secagem de sementes sob condições controladas de temperatura e umidade (JONES e BUDDE, 2005).

Em virtude de sua composição química e alta disponibilidade de amido, a cevada é o grão mais utilizado na maltagem; entretanto, é comum encontrar maltes de trigo, arroz, sorgo, centeio e aveia, destinados à produção de bebidas fermentadas e outros alimentos (MacLeod e Evans, 2016).

A etapa inicial da malteação é denominada maceração ou embebição. Os grãos de cevada são secos e armazenados em um nível de umidade entre 10% e 14%, de modo a evitar contaminações fúngicas indesejáveis e preservar a viabilidade germinativa. Durante a maceração os grãos são submersos em água com alguns períodos de aeração, levando a reidratação dos tecidos celulares por osmose e ativação de importantes enzimas (CONTRERAS-JIMÉNEZ et al., 2019). O principal objetivo dessa etapa é promover a limpeza da cevada e fornecer umidade suficiente (44% em base úmida) para o início da germinação.

O processo de conversão da cevada em malte ocorre pela ação de enzimas naturalmente presentes no grão, como a  $\beta$ -amilase, em conjunto com outras sintetizadas na maceração. A síntese ocorre na camada de aleurona, impulsionadas pelas giberelinas durante a germinação, onde aminoácidos são liberados e  $\beta$ -glucanases, proteases e  $\alpha$ -amilases são formadas (SCHMITT e MARINAC, 2008).

O processo de germinação tem como principal objetivo a síntese de enzimas hidrolíticas para enfraquecimento da parede celular do endosperma, a degradação de reservas energéticas de alto peso molecular e a solubilização de nitrogênio armazenado, levando a alterações físicas e bioquímicas desejáveis (CELUS et al., 2006).

Ao longo da maltagem observa-se um aumento da atividade de  $\beta$ -glucanases em detrimento de  $\beta$ -glucanas, através da hidrólise e despolimerização dessas moléculas (MONTANUCI et al., 2017). As  $\alpha$ -amilases são endoenzimas que predominam durante a germinação, responsáveis por hidrolisar as ligações  $\alpha(1-4)$  das cadeias de amilose e amilopectina, colaborando na maximização do extrato fermentativo. A  $\beta$ -amilase é considerada a principal enzima responsável pelo poder diastático dos maltes e hidrolisa as ligações  $\alpha-1,4$ -D-glucana, liberando unidades de maltose a partir de extremidades não redutoras de cadeia de amilose (FENNEMA, 2010). Assim, o grão germinado é denominado “malte verde” (MacLeod e Evans, 2016).

A germinação é interrompida pelo processo de secagem, em que o teor de umidade dos grãos é reduzido para valores entre 4% e 5%, acompanhado por um espectro de mudanças significativas no conteúdo de metabólitos (FRANK et al., 2011). Durante a secagem ocorre a formação das melanoidinas, como resultado das reações de

Maillard, entre açúcares redutores e aminoácidos, provenientes da degradação enzimática do amido e das proteínas (PALMER, 2006).

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Aquisição da matéria-prima e caracterização dos frutos**

Os procedimentos experimentais foram realizados em cerejas de *Coffea Arabica* L., provenientes da safra de 2021, em Venda Nova do Imigrante, no Estado do Espírito Santo, Brasil. A colheita foi manual com auxílio de peneiras.

Após a colheita, o café foi encaminhado para o Laboratório de Análise e Pesquisa em Cafés (LAPC), do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) - Campus Venda Nova do Imigrante-ES, passando pelo processamento por via seca, em que frutos verdes, grãos estragados, folhas e impurezas foram removidos por lavagem com água potável. Posteriormente, os grãos foram dispostos a secagem em estufas com terreiros suspensos até que atingissem umidade entre 25% e 30%.

### **4.2 Maceração e condições de germinação**

As sementes foram submetidas à embebição em quatro tratamentos diferentes e armazenadas em 3 incubadoras verticais BOD modelo NL 161/01, com temperatura programável de 30 °C, variação de  $\pm 0,1$  °C e circulação de ar forçada por ventilação interna, por 36h. Os tratamentos foram codificados como T1, T2, T3, T4 e T5, sendo T1: sementes sem embebição; T2: embebição com solução de glicose a 5%; T3: embebição em solução de celulase a  $3,4 \text{ g.L}^{-1}$  em tampão citrato de potássio 0,05 e pH=4,8; T4: embebição com solução de frutose a 5% e T5: embebição com água.

Finalizadas as 36h de embebição, as soluções foram drenadas e as condições de temperatura (30°C), umidade e luz foram controladas durante 15 dias nas incubadoras verticais BOD, de forma a garantir a continuidade e eficiência da germinação. Após os 15 dias, os grãos foram submetidos a secagem novamente até que fosse alcançado um teor de 12% em base úmida e as sementes germinadas foram conduzidas para torra e análises posteriores.

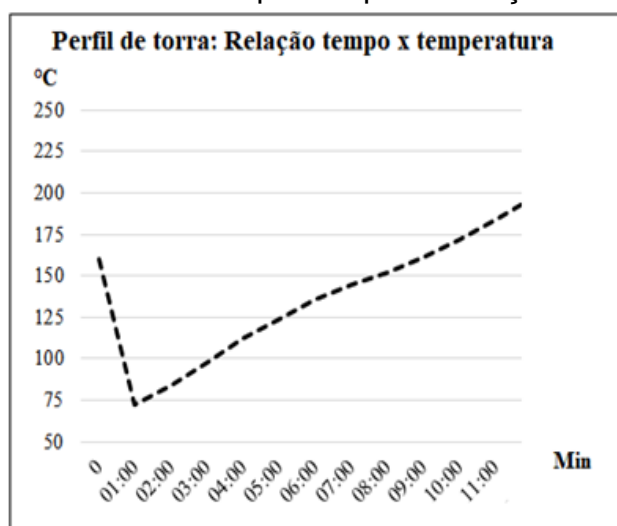
### **4.3 Preparo das amostras para análise sensorial**

As amostras de café foram preparadas no Laboratório de Análise e Pesquisa em Café – LAPC, do Ifes de Venda Nova do Imigrante. O processo de avaliação sensorial foi

realizado seguindo a metodologia *Specialty Coffee Association* (SCA). O café já seco, foi submetido a classificação física, onde todos os grãos defeituosos foram descartados. Os grãos sadios, então, foram direcionados para o processo de torrefação.

As torras foram conduzidas no torrador Probatino com capacidade de 1,5kg, da marca Probat ©. O perfil de torra padrão, foi definido a partir dos estudos de GLOESS et al., (2014), SCHENKER et al., 2017, considerando como referência, a coloração final do café torrado, baseando-se no conjunto de discos Agtron-SCAA, assim o ponto final de torra destas amostras foi padronizado pelo disco #60. A figura 4 expressa o perfil de torra desenvolvido para o experimento.

Figura 4 - Perfil de torra desenvolvido para experimentação



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para cada amostra, utilizou-se 150 g de café verde que após torrado foi separado em duas embalagens de poliéster metalizadas com válvulas. A primeira embalagem foi armazenada em um ambiente de até -10°C para as análises químicas, e a segunda embalagem foi depositada em temperaturas de até 25°C por 24 horas, para posterior análise sensorial.

A qualidade dos cafés foi avaliada através do protocolo de análise sensorial da *Specialty Coffee Association* - SCA (SCA, 2015), expressa através de uma escala numérica centesimal. O formulário de degustação consiste na avaliação de 11 (onze) importantes atributos para o café: Fragrância/Aroma, Uniformidade, Ausência de Defeitos (Xícara Limpa), doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio/balanço,

defeitos e avaliação global. As análises sensoriais foram realizadas por 6 Q-Graders conforme Pereira et al., (2018).

#### **4.4 Análise de infravermelho**

As análises de espectroscopia na região do infravermelho (IV) foram realizadas no Laboratório de Análise e Pesquisa em Cafés (LAPC) do Ifes campus Venda Nova do Imigrante. Os espectros de infravermelho médio das amostras de café torrado e moído foram obtidos em um espectrômetro modelo Cary 630 FTIR do fabricante Agilent Technologies, num acessório ATR (Reflexão Total Atenuada do inglês, *attenuated total reflectance*) de diamante com ângulo de reflexão de 45°, 1mm de diâmetro, 200 mm de área ativa e aproximadamente 2 mm de profundidade de penetração na amostra, utilizando um detector de reflectância de Seleneto de Zinco (ZnSe). O espectro registrado foi obtido como a média de 8 varreduras consecutivas, com resolução de 4 cm<sup>-1</sup> na faixa de trabalho de 4000 a 630 cm<sup>-1</sup>.

#### **4.5 Caracterização de perfil enzimático**

A caracterização do perfil enzimático foi realizada através da atividade das enzimas, celulasas, polifenoloxidase, pectinase e β-glucanases no mosto e no extrato do tratamento 1, sem embebição.

##### **4.5.1 Celulase**

A atividade enzimática de celulase foi analisada de acordo com o método descrito por Mandels et al., (1976). Para a reação, foi utilizado 250 µl de carboximetilcelulose como substrato, 500 µl de tampão citrato de sódio (50 mmol L<sup>-1</sup>, pH 4,8), 100 µl de extrato enzimático bruto (EEB). O branco foi realizado com a substituição do EEB por 100 µl de solução tampão. Essa mistura de reação foi mantida por 10 minutos a 50°C em banho maria. O teor de açúcares redutores foi determinado pela adição de 1 mL de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS). Em seguida, a mistura foi incubada em banho maria por 5 min a 100°C. A reação foi diluída com a adição de 6 mL de água em 100 µl da amostra. A absorvância das amostras foi medida a 540 nm. Uma unidade (U) de atividade foi definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 µmol de açúcar redutor por min sob as condições de ensaio.

#### 4.5.2 Polifenoloxidase

A atividade enzimática da polifenoloxidase no tratamento 1 (sementes sem embebição) foi determinada em amostra de grãos de cafés moídos em moinho de discos (Bunn Coffee Mill, modelo G3A HD), com granulometria entre 70 e 75% das partículas passando por peneira 20 mesh, US Standards. O método de extração da enzima consiste na extração descrita por Draeta & Lima (1976), para isso foram pesados 5g da amostra de café previamente moída e adicionados 40 mL da solução de tampão acetato 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 5,5, agitando-se a amostra por 5 min. O material utilizado foi mantido em baixa temperatura (4°C). Após a agitação, a amostra foi filtrada em papel de filtro Whatman n° 1. Para os outros tratamentos (T2, T3, T4 e T5) utilizou-se 200 µl do extrato bruto enzimático (EEB), 100 µl de catecol 0,1% e 800 µl de água destilada. A atividade da enzima foi determinada pelo método descrito por Ponting & Joslyng (1948), utilizando-se o extrato da amostra sem catecol 0,1%, como branco, expressa em U g<sup>-1</sup> de grãos (U é a unidade de atividade enzimática equivalente a 0,001 da densidade ótica por minuto). A absorvância foi medida a 420 nm.

#### 4.5.3 Pectina-liase

Para a determinação da atividade de pectina-liase, primeiramente foi realizada a incubação da enzima. Para isso, foram adicionados 300 µl do extrato bruto enzimático e 750 µl de uma solução de pectina cítrica (Sigma) 0,5%, 1500 µl de tampão acetato de sódio 0,05 M, pH 4,5. O branco foi determinado pela substituição do EEB por solução tampão. Os tubos foram incubados em banho-maria a 40 °C por 30 min (SANTI, 2005). Em cada tubo de ensaio foram adicionados 600 µl de HCl 0,5 M. A absorvância foi medida em espectrofotômetro em comprimento de onda de 235 nm. A atividade da enzima foi expressa em U/min/mL.

#### 4.5.4 β-glucanase

A determinação de β-glucanase foi realizada segundo MARCO e FELIX (2007) com algumas modificações, usando lactose 1% em tampão acetato 50 mM, pH 5,0. A reação seguiu com a adição de 100 µL da amostra e 250 µL de lactose 1% (em tampão acetato 50 mM pH 5,0). As soluções foram incubadas a 37°C por 30 minutos e a reação foi parada com a adição de 1,0 mL de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS). Ao

branco foi adicionado 125  $\mu\text{L}$  de enzima previamente desnaturada por fervura, por 10 minutos. Em seguida, as soluções foram incubadas em água fervente por 5 minutos com consequente adição de 5 mL de água para posterior leitura do produto da reação, o açúcar reduzido, a 550 nm em espectrofotômetro. Uma unidade da atividade enzimática foi definida como sendo a quantidade de enzima necessária para liberar 1  $\mu\text{mol}$  de glicose por minuto de reação, sendo definida como U/min/mL, conforme as condições descritas.

#### **4.6 Delineamento experimental e análises estatísticas**

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições no esquema fatorial  $1 \times 5 \times 5$ , ou seja, um processamento (via seca), cinco tratamentos e 5 repetições, sendo quatro deles submetidos a diferentes condições de embebição das sementes, para a primeira etapa da técnica de malteação (embebição com solução de glicose a 5%; celulase a  $3,4 \text{ g.L}^{-1}$  em tampão citrato de potássio 0,05 M e  $\text{pH}=4,8$ ; solução de frutose a 5% e embebição com água) e um deles sem utilizar técnica. Para as análises sensoriais, foram realizadas análises estatísticas de variância (ANOVAs) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As médias do perfil enzimático foram comparadas pelo teste de Scott- Knott após análises de estatísticas de variância (ANOVAs). Os resultados da análise de infravermelho foram submetidos a análise de componentes principais (PCA) e análise de agrupamentos hierárquicos (HCA). Todas análises foram realizadas utilizando o software R 4.1.2 (R Core Team, 2021).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 ANÁLISE SENSORIAL**

Os resultados obtidos na análise sensorial dos cinco tratamentos evidenciaram a viabilidade de aplicação da técnica de maltagem em grãos de café arábica, confirmada pelas mudanças no perfil sensorial da bebida, mostrados na tabela 2.

Tabela 2 – Médias da característica nota final de cinco tratamentos.

Tratamento	Nota Final
1 - Natural (sementes sem embebição)	83.78 ab
2 - Embebição com glicose (5%)	83.33 ab
3 - Embebição com celulase	83.10 ab
4 - Embebição com frutose (5%)	84.05 a
5 - Embebição com água	82.66 b
Média	83.38
CV(%)	0,85

<sup>1</sup>Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com a SCA (2013), todas as infusões de café que apresentam avaliações finais superiores a 80 pontos, permitem a classificação dos cafés como especiais. A classificação do produto final pode ser afetada por diversos fatores como o processamento pós-colheita, manejo da lavoura, torrefação, moagem e até mesmo a percepção sensorial dos consumidores e/ou degustadores (UFER; LIN; ORTEGA, 2019). No presente estudo, as diferenças nos atributos sensoriais foram atribuídas principalmente aos métodos pós-colheitas empregados com a indução de eventos germinativos e posterior interrupção com a secagem, caracterizando a técnica de maltagem.

A média final do tratamento 4 (embebição com frutose), foi superior aos demais tratamentos, porém não se diferenciou do restante pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O protocolo da SCA é projetado para avaliações de qualidade relacionadas às características do café, tornando complexo encontrar diferenças significativas entre as amostras (GLOESS et al., 2014).

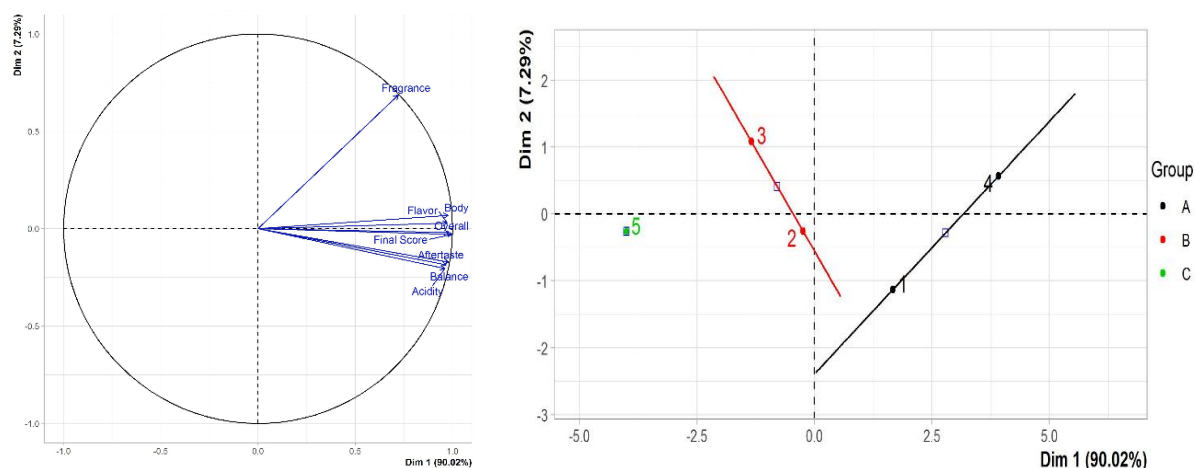
Na tentativa de discriminar os cinco tratamentos quanto ao perfil sensorial, os atributos fragrância/aroma, sabor, retrogosto, acidez, corpo, equilíbrio, doçura, copo limpo, uniformidade, pontuação geral e final foram estudados através da Análise de Componentes Principais (PCA).

O gráfico de *scores* do PCA é mostrado na figura 5 e foi baseado nos dois primeiros componentes principais, PC1 (90,02%) e PC2 (7,29%), responsáveis por uma variação cumulativa de 97,31%. No primeiro componente principal, destacaram-se

todas as variáveis, ao passo que no segundo componente principal, destacou-se a variável Fragrância. Pereira et. al (2020) observaram maior contribuição do equilíbrio, fragrância/aroma, sabor e acidez para a diferenciação dos tratamentos.

A Figura 5 mostra a formação de três grupos, sendo o grupo A formado pelos tratamentos 4 e 1, ou seja, tratamentos com maiores notas finais, respectivamente, 84,05 e 83,78, o grupo B composto pelos tratamentos 2 e 3 com notas finais 83,33 e 83,10, respectivamente e, por fim, o grupo C instituído pelo tratamento 5 (embebição com água), com a nota mais baixa.

Figura 5 – Diagrama de dispersão em relação aos dois primeiros componentes principais, obtidos a partir de cinco tratamentos quanto às características sensoriais.



Fonte: Autoria própria (2022)

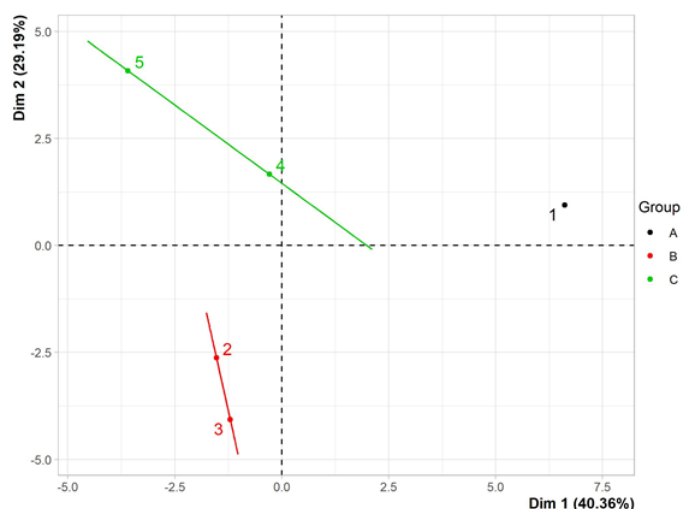
Os descritores sensoriais das amostras demonstraram diferença entre os tratamentos (figura 6). O tratamento de embebição com frutose (T4), com a maior média final, foi associado aos descritores “chocolate”, “fermentado”, “alcoólico”, além de notas florais, frutadas e exóticas que valorizam bebidas de café, como “melão andino” e “cupuaçu”, enaltecendo as modificações no painel sensorial proporcionadas pela embebição com frutose. Resultados semelhantes foram descritos por (CORTÉS-MACÍAS, 2022), com cafés submetidos a tratamentos úmidos e semi-secos.

As moléculas de sacarose, frutose e glicose são os principais açúcares detectados em grãos de café, além de serem as fontes preferidas utilizadas por microrganismos da fermentação (TAYLOR, 2019; DA MOTA, 2022) como leveduras e bactérias lácticas.

O metabolismo de açúcares por microrganismos seguido da produção de ácidos como ácido cítrico e ácido láctico podem contribuir para maior acidez, aromas frutados e florais de bebidas de café (WANG, 2019; VANDENBERGHE, 2018), corroborando nossos achados.

O agrupamento formado pelos tratamentos com glicose e celulase, quanto aos descritores sensoriais está associado a notas de “*melaço*” e “*caramelo*”, porém, observou-se maior adstringência, além da presença dos descritores “*herbal*” e “*áspero*”. Por fim, o tratamento T1 (sementes sem embebição), se distanciou dos demais, estando associado principalmente a “*rapadura*”, “*cereal*” e “*amêndoas*”, inferindo que as mudanças bioquímicas proporcionadas pela aplicação da técnica de maltagem foram capazes de induzir modificações benéficas e inovadoras no painel sensorial da bebida, com destaque a utilização da frutose nas etapas iniciais.

Figura 6 - Diagrama de dispersão em relação aos dois primeiros componentes principais, obtido a partir dos descritores da bebida de café obtida de cinco tratamentos.



Fonte: Autoria própria (2022).

A fermentação durante os processos úmidos e semi-secos influencia vigorosamente o perfil sensorial das bebidas de café, uma vez que a atividade microbiana gera uma ampla gama de metabólitos finais que afetam fortemente a composição química dos cafés processados (HAILE; KANG, 2019).

Além disso, é importante destacar que a extensão dos eventos germinativos proporcionados pela aplicação da técnica de maltagem nos grãos de café arábica,

parecem ter desempenhado um forte impacto na ocorrência de numerosos e importantes eventos metabólicos, intimamente relacionados às modificações químicas e estruturais, refletidas na qualidade final da bebida.

## **5.2 PERFIL ENZIMÁTICO**

No geral, todos os tratamentos de embebição foram capazes de induzir a expressão das quatro enzimas: celulase, pectina liase, beta-glucanase e polifenoloxidase (figura 7). O tratamento T2 (embebição com glicose) foi o que apresentou a resposta mais rápida para a celulase, que demonstrou quase duas vezes mais atividade do que os demais tratamentos até as 36 horas.

De acordo com Couto et al., (2005), é necessária maior concentração de enzimas nas primeiras horas de fermentação devido à baixa disponibilidade de monômeros e da matéria-prima, necessários para o desenvolvimento da microbiota. Esta baixa disponibilidade estimula a expressão das enzimas hidrolíticas necessárias para a disponibilização desses monômeros.

A celulose em conjunto com hemicelulose e substâncias pécnicas se destacam entre a complexa rede de polissacarídeos que constitui a parede celular primária das principais frutas e vegetais (DANALACHE et al., 2018; TOUSHIK et al., 2017). A degradação da parede celular do endosperma de sementes de café durante a germinação é mediada por enzimas hidrolíticas, como celulasas, hemicelulasas e pectinases, que atuam de forma sinérgica para o enfraquecimento da estrutura a fim de favorecer a expansão radicular e a mobilização de reservas energéticas para o metabolismo e desenvolvimento das sementes.

Em um estudo realizado por Sales et al., (2001), utilizando sementes de café imersas em solução de celulase, tampão e água destilada, verificou-se que a aplicação exógena de celulase não contribuiu para um melhor desempenho das sementes. Resultados semelhantes foram observados no presente estudo, embasados nas médias sensoriais dos tratamentos T2 e T3, com as menores avaliações sensoriais, respectivamente.

A queda da atividade enzimática da celulase pode ser atribuída entre outros fatores, a extrapolação do nível do teor de água ideal, diminuição de substrato e a inibição do

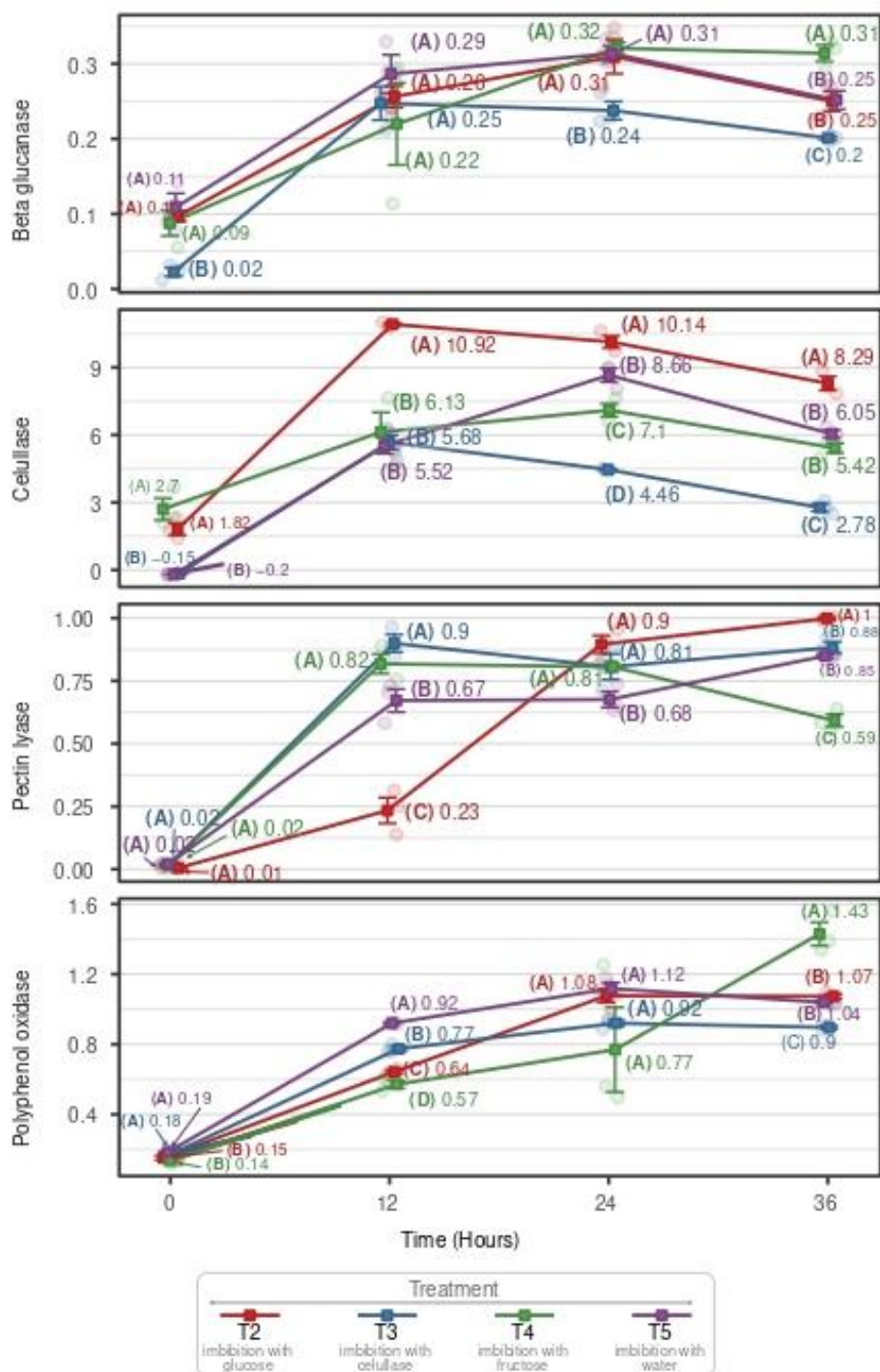
sistema enzimático devido à formação de subprodutos da degradação por enzimas proteolíticas (GAO et al., 2014).

Celulases são detectadas em grãos de café antes do início da germinação (Takaki et al., 1979) e em conjunto com hemicelulases, desempenha um papel importante na hidrólise de substratos lignocelulósicos. Essas enzimas hidrolisam as ligações do tipo beta-1,4-glicosídicas da celulose, composta por glicose (DE SOUZA; KAWAGUTI, 2021).

Enzimas pectinolíticas (pectinases), possuem um significativo potencial biotecnológico, enaltecido por sua grande importância industrial e representatividade no mercado global de enzimas (DANALACHE et al., 2018). São produzidas por plantas e microrganismos, em especial os fungos, que secretam cerca de 90% das enzimas pectinolíticas produzidas a nível industrial (BLANDINO et al., 2001).

A atividade da pectina liase, por sua vez, é fortemente inibida nas horas iniciais pela presença de seu repressor natural, a glicose (Das et al., 2011), porém após 24 e 36 horas, o tratamento com glicose é surpreendentemente o tratamento que apresentou maiores valores de atividade para esta enzima.

Figura 7- Avaliação da atividade das enzimas beta-glucanase, celulase, pectina liase e polifenoloxidase em intervalos ao longo de 36 horas em quatro tratamentos de embebição. Valores no gráfico indicam a média a partir de 3 repetições. Médias com a mesma letra entre parênteses não apresentam diferença significativa entre si para cada tempo avaliado (0, 12, 24 ou 36 horas)



Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme mencionado por Souza et al., (2003), a síntese de pectinases é fortemente influenciada por parâmetros como fontes de carbono, substratos, pH, aeração, agitação e tempo de incubação da enzima. A camada de mucilagem de grãos de café constitui a principal fonte de pectinas degradadas por pectinases nas etapas de

fermentação, sendo essas, secretadas pelos próprios microrganismos provenientes da fermentação.

Técnicas de fermentação em estado sólido, são em geral preferidas, favorecendo a produção mais concentrada da enzima (SILVA et al., 2005). A fermentação ocorrida na presente investigação, se caracteriza como semi-sólida, sendo uma justificativa para os valores da atividade.

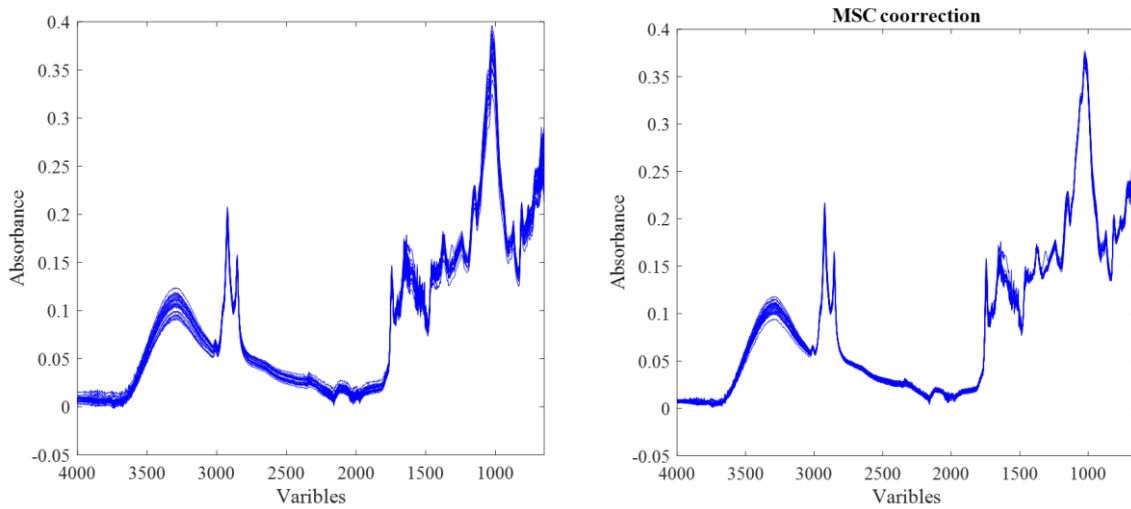
O tratamento T4 (embebição em frutose), o qual apresentou o melhor resultado sensorial foi o tratamento que após 36 horas apresentou os maiores valores para atividade de beta glucanase e polifenoloxidase. As beta-glucanases são as principais enzimas envolvidas na germinação de grãos de cevada, em especial na hidrólise de componentes estruturais presentes nas paredes celulares destes grãos (BRASIL et al., 2019).

A polifenoloxidase (PPO) é uma enzima cúprica (ROBINSON; ESKIN) amplamente distribuída na natureza e protagonista de eventos indesejáveis como escurecimento enzimático de frutas e vegetais, além de estar relacionada à qualidade do café (CARVALHO, 1997). Seus mecanismos de ação são mediados principalmente por danos em membranas celulares, expondo substratos fenólicos a ação das polifenoloxidases, oxidando-os a quinonas (MAZZAFERA; ROBINSON, 2000). Os resultados da presente investigação, possuem sólida concordância com os de Carvalho (1997) e Lacerda et al., (2018), em que a atividade da PPO pode ser utilizada como um indicador bioquímico de qualidade da bebida, uma vez que valores altos da atividade enzimática sugerem classes superiores de bebida de café, conforme confirmado nos resultados da análise sensorial.

Celulases, hemicelulases e pectinases podem ser utilizadas no processo de produção do vinho tinto e, quando utilizadas em conjunto, são chamadas de enzimas de maceração, pois atuam na fração polissacarídica da parede celular das células da pele da uva, permitindo melhor maceração da pele, aumento da extração de cor e compostos fenólicos (KUHAD et al., 2016). Além disso, as enzimas do complexo celulolítico e hemicelulolítico contribuem na precursão de compostos voláteis que agregam qualidade em bebidas como vinho e chá (DE SOUZA; KAWAGUTI, 2021), sugerindo que o mesmo pode ter ocorrido nos grãos de café.

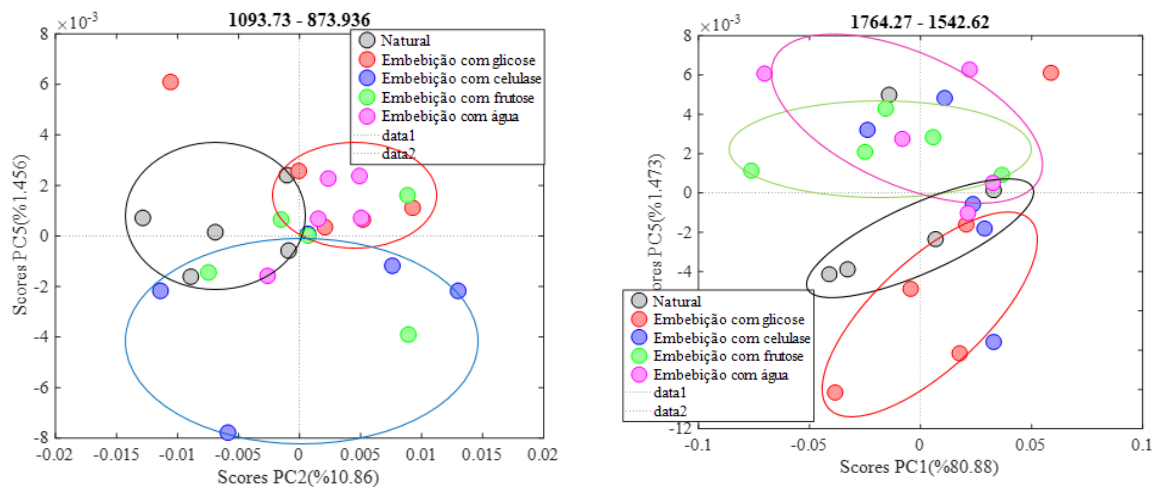


Figura 9 - Espectros de NIR obtidos pelos tratamentos com embebição e pelo tratamento testemunha



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 10 - Análise de componentes principais nas bandas de maior intensidade de absorção



Fonte: Autoria própria (2022).

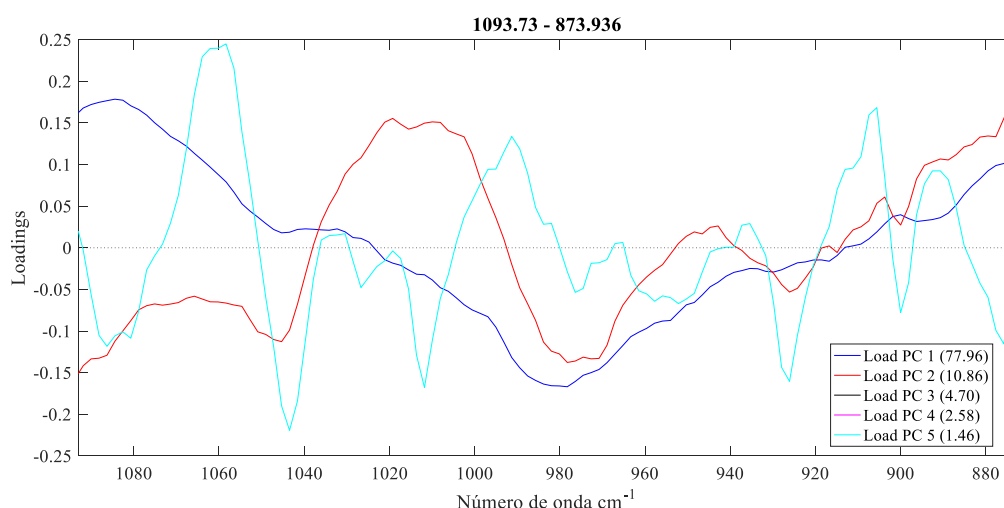
As diferenças espectrais mais significativas ao considerar os tratamentos com embebição e o tratamento testemunha, apareceram nas faixas entre 1093-873  $\text{cm}^{-1}$  podendo estar relacionadas tanto a celulose quanto a ácido quínico (Craig et al., 2018), 1764-1542  $\text{cm}^{-1}$ , associados com o alongamento assimétrico de  $\text{CH}_2$  de lipídios (Craig et al., 2018).

É possível correlacionar tais variáveis detectadas com as mudanças na composição química dos grãos durante a aplicação da técnica de maltagem, além das reações que ocorrem durante a torra, mediadas pela formação ou degradação de certos compostos responsáveis por absorções particulares que afetam fortemente o perfil espectral observado (ESTEBAN; GONZÁLEZ; PIZARRO, 2004).

Carboidratos absorvem fortemente na região de 1130-950  $\text{cm}^{-1}$  (CRAIG et al., 2018). Celulose, arabinogalactanas e galactomananas são os polissacarídeos de reserva predominantes nas espécies de café arábica e robusta, representando 30% a 43% do peso de grãos de café torrado (MOREIRA et al., 2015). Uma banda forte em 1740  $\text{cm}^{-1}$  foi observada na PC1, (Figura 11) do intervalo de 1764 a 1542  $\text{cm}^{-1}$  nos tratamentos de embebição com glicose e sementes testemunhas, podendo estar relacionada ao estiramento da ligação C=O presentes em hemicelulose (XU et al., 2013).

Um exame exploratório da figura 11, sugere que os tratamentos separados principalmente na PC5 e PC2 do intervalo 1093-873  $\text{cm}^{-1}$  podem estar associados a presença de celulose, por apresentarem bandas fortes entre 1059-1040  $\text{cm}^{-1}$ , estando de acordo com CRAIG et al., (2018) e RODRÍGUEZ et al., (2021).

Figura 11 – Análise de componentes principais do intervalo entre 1093 a 873  $\text{cm}^{-1}$



Fonte: Autoria própria (2022)

No entanto, não se esperava que o tratamento com celulase fosse apresentar as maiores absorções na região proeminente a presença de celulose, em conjunto com o as sementes testemunhas, uma vez que o objetivo da utilização da enzima na etapa

de embebição foi justamente a degradação de compostos lignocelulósicos presentes na parede celular do grão, a fim de acelerar os eventos germinativos.

Os arabinogalactanos podem absorver em  $1065\text{ cm}^{-1}$  e  $1020\text{ cm}^{-1}$  (Robert et al., 2005) ou  $1078\text{ cm}^{-1}$  e  $1043\text{ cm}^{-1}$  (Kacurakova et al., 2000). Bandas de absorção em torno de  $1035\text{ cm}^{-1}$  indicam vibração das ligações C-O, C=O e C-C-O, que são características da ligação entre polissacarídeos e lignina. O tratamento sem embebição apresentou bandas de absorção na região entre  $1079\text{ cm}^{-1}$  e  $1040\text{ cm}^{-1}$ , podendo ser justificadas pela estrutura intacta da parede celular destes grãos.

Essa hipótese corrobora para as evidências da ação sinérgica e eficiente do complexo enzimático envolvido no enfraquecimento do endosperma e mobilização de reservas energéticas para fortalecimento e alongamento do eixo embrionário durante a germinação.

## **6. CONCLUSÃO**

A aplicação da técnica de maltagem em grãos de café arábica se mostrou uma alternativa viável e inovadora. O perfil sensorial com as maiores médias finais foi correspondente ao tratamento 4 (embebição com frutose), complementado com importantes resultados de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).

Todos os tratamentos de embebição foram capazes de induzir a expressão das enzimas: celulase, pectina liase, beta-glucanase e polifenoloxidase, relacionadas a importantes eventos germinativos. O tratamento T2 (embebição com glicose) foi o que apresentou a resposta mais rápida para a celulase e apesar da glicose ser considerada um repressor natural da pectinase, após 24 e 36h, foi o tratamento de embebição com os maiores valores para a atividade da enzima pectina-liase.

As definições e extensão das modificações bioquímicas e estruturais, que podem estar relacionadas a aplicação da técnica de maltagem pela primeira vez em grãos de café arábica, estão longe de serem elucidadas, configurando uma nova abordagem para pesquisas futuras e modernas de café.

## REFERÊNCIAS

- ABIC - Associação Brasileira Da Indústria De Café. **Indicadores da Indústria de Café**. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2020/>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2022.
- AVALLONE, Sylvie et al. Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. **Current microbiology**, v. 42, n. 4, p. 252-256, 2001.
- BARRIOS-RODRÍGUEZ, Yeison Fernando et al. Espectroscopia de infravermelho acoplada à quimiometria em processos de pós-colheita de café como complemento à análise sensorial. **LWT**, v. 145, p. 111304, 2021.
- BASKIN, Jerry M.; BASKIN, Carol C. A classification system for seed dormancy. **Seed science research**, v. 14, n. 1, p. 1-16, 2004.
- BEWLEY, J. Derek. Seed germination and dormancy. **The plant cell**, v. 9, n. 7, p. 1055, 1997.
- BEWLEY, J. Derek; BLACK, Michael. **Seeds: physiology of development and germination**. Springer Science & Business Media, 2013.
- Borem, F. ed. *Pos-colheita do café*. Lavras: Editora UFLA, 2008
- CELUS, Inge; BRIJS, Kristof; DELCOUR, Jan A. The effects of malting and mashing on barley protein extractability. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 2, p. 203-211, 2006.
- CONAB – Companhia Nacional De Abastecimento (2018). Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em 29 de março de 2021.
- CONTRERAS-JIMÉNEZ, Brenda et al. Physicochemical changes in barley starch during malting. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 125, n. 1, p. 10-17, 2019.
- COPELAND, L. O. AND MCDONALD, M. B. 1995. **Principles of seed science and technology**. 3rd. ed. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.

CORTÉS-MACÍAS, Erika Tatiana et al. Impact of post-harvest treatments on physicochemical and sensory characteristics of coffee beans in Huila, Colombia. **Postharvest Biology and Technology**, v. 187, p. 111852, 2022.

COUTO, S. Rodríguez; SANROMÁN, MA A. Aplicação da fermentação em estado sólido para a produção de enzimas ligninolíticas. **Revista de Engenharia Bioquímica**, v. 22, n. 3, pág. 211-219, 2005.

CRAIG, Ana Paula et al. Mid infrared spectroscopy and chemometrics as tools for the classification of roasted coffees by cup quality. **Food Chemistry**, v. 245, p. 1052-1061, 2018

Da Mota, M. C. B., Batista, N. N., Rabelo, M. H. S., Ribeiro, D. E., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2020). Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. **Food Research International**, 136, 109482.

DA SILVA, EA Amaral et al. Abscisic acid controls embryo growth potential and endosperm cap weakening during coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seed germination. **Planta**, v. 220, n. 2, p. 251-261, 2004

DA SILVA, EA Amaral et al. Exogenous gibberellins inhibit coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seed germination and cause cell death in the embryo. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 413, p. 1029-1038, 2005.

DE CASTRO, Renato D.; MARRACCINI, Pierre. Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Braz. J. Plant Physiol.**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 175-199, 2006.

DE MELO PEREIRA, Gilberto Vinícius et al. Conducting starter culture-controlled fermentations of coffee beans during on-farm wet processing: Growth, metabolic analyses and sensorial effects. **Food Research International**, v. 75, p. 348-356, 2015.

DE MELO PEREIRA, Gilberto Vinícius et al. Isolation, selection and evaluation of yeasts for use in fermentation of coffee beans by the wet process. **International journal of food microbiology**, v. 188, p. 60-66, 2014.

DEDECCA, D.M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de **Coffea arabica L.** var. Typica Cramer. **Bragantina**, v.16, p.315-355, 1957.

DRAETA, E. S.; LIMA, D. C. Isolamentos e caracterização das polifenoloxidasas do café. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 7, p. 3-28, 1976.

EIRA, Mirian TS et al. Coffee seed physiology. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 149-163, 2006.

ELHALIS, Hosam et al. Microbiological and biochemical performances of six yeast species as potential starter cultures for wet fermentation of coffee beans. **LWT**, v. 137, p. 110430, 2021.

Fennema, O. R., DAMODARAN, S., & Parkin, K. L. (2010). Química de alimentos de Fennema. *Editorial Acribia, Espanha*, 1258.

FERNANDES, André Luís Teixeira, et al. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 2012, 42.2: 231-240.

Frank, T., Scholz, B., Peter, S., & Engel, K. H. (2011). Metabolite profiling of barley: influence of the malting process. *Food chemistry*, 124(3), 948-957.

GEROMEL, Clara et al. Biochemical and genomic analysis of sucrose metabolism during coffee (*Coffea arabica*) fruit development. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 12, p. 3243-3258, 2006.

GHOSH, Payel; VENKATACHALAPATHY, N. Processing and drying of coffee—a review. **Int. J. Eng. Res. Technol**, v. 3, n. 12, p. 784-794, 2014.

Gloess, A. N., Vietri, A., Wieland, F., Smrke, S., Schönbächler, B., López, J. A. S., Petrozzi, S., Bongers, S., Kozirowski, T., & Yeretzian, C. (2014). Evidence of different flavour formation dynamics by roasting coffee from different origins: On-line analysis with PTR-ToF-MS. **International Journal of Mass Spectrometry**, 365–366, 324–337

GOULART, Patrícia de Fátima Pereira et al. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 662-666, 2007.

GUTIÉRREZ-GUZMÁN, Nelson et al. A novel tasting platform for sensory analysis of specialty coffee. 2018.

HAILE, Mesfin; KANG, Won Hee. The role of microbes in coffee fermentation and their impact on coffee quality. **Journal of Food Quality**, v. 2019, 2019.

HUCH, M.; FRANZ, C. M. A. P. Coffee: Fermentation and microbiota. In: **Advances in fermented foods and beverages**. Woodhead Publishing, 2015. p. 501-513.

JANN, R. C.; AMEN, R. D. What is germination? In: KHAN, A. A. (Ed.). **The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination**. New York: Elsevier/North-Holland, 2nd ed., p. 7-28, 1980.

JONES, Berne L.; BUDDE, Allen D. How various malt endoproteinase classes affect wort soluble protein levels. **Journal of Cereal Science**, v. 41, n. 1, p. 95-106, 2005.

KACURAKOVA, M. et al. FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. **Carbohydrate polymers**, v. 43, n. 2, p. 195-203, 2000.

KARSSSEN, C\_M et al. Key role for endogenous gibberellins in the control of seed germination. **Annals of Botany**, v. 63, n. 1, p. 71-80, 1989.

KAZARIAN, Sergei G.; CHAN, KL Andrew. ATR-FTIR spectroscopic imaging: recent advances and applications to biological systems. **Analyst**, v. 138, n. 7, p. 1940-1951, 2013.

KERMODE, Allison R. Role of abscisic acid in seed dormancy. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 24, n. 4, p. 319-344, 2005.

KRUG III, H. P. Cafés Duros III. Relação entre a porcentagem de microrganismos e qualidade do café. **Revista do Instituto do Café**, v. 27, p. 1827-1831, 1940.

LACERDA, José S. et al. Importance of zinc for arabica coffee and its effects on the chemical composition of raw grain and beverage quality. **Crop Science**, v. 58, n. 3, p. 1360-1370, 2018.

LIMA, Adriene Ribeiro et al . Compostos bioativos do café: atividade antioxidante in vitro do café verde e torrado antes e após a descafeinação. **Quím. Nova**, São Paulo , v. 33, n. 1, p. 20-24, 2010

MacLeod, L., & Evans, E. (2016). Barley: malting.

MANDELS, Mary; ANDREOTTI, Raymond; ROCHE, Charles. Measurement of saccharifying cellulase. In: **Biotechnol. Bioeng. Symp.;(United States)**. Army Natick Development Center, MA, 1976.

MARCO, Janice Lisboa de; FELIX, Carlos Roberto. Purification and characterization of a beta-Glucanase produced by *Trichoderma harzianum* showing biocontrol potential. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 50, p. 21-29, 2007.

MARÍN, S. M. et al. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café *coffea Arabica* I var Colombia. 2004.

MONTANUCI, Flávia Daiana et al. Effect of steeping time and temperature on malting process. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 4, p. e12519, 2017.

MOREIRA, Ana SP et al. Galactomananas em café. In: **Café na Saúde e Prevenção de Doenças** . Imprensa Acadêmica, 2015. p. 173-182.

OIC - Organização Internacional do Café. **Aspectos Botânicos**, 2008. Disponível em < [http://www.ico.org/pt/botanical\\_p.asp](http://www.ico.org/pt/botanical_p.asp)>. Acesso em 30 de março de 2021.PEREIRA, Carlos Eduardo et al . Determinação de inibidores da germinação no espermoderma de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Rev. bras. sementes**, Londrina , v. 24, n. 1, p. 306-311, 2002

OIC – Organização Internacional do Café. **Relatório do mercado cafeeiro** – setembro de 2021. Disponível em <<https://www.ico.org/documents/cy2020-21/cmr-0921-e.pdf>> . Acesso em 28 de fevereiro de 2022

PEREIRA, Lucas Louzada et al. New propositions about coffee wet processing: Chemical and sensory perspectives. **Food Chemistry**, v. 310, p. 125943, 2020.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, Luciana Silva et al. Controlled fermentation of semi-dry coffee (*Coffea arabica*) using starter cultures: A sensory perspective. **LWT-Food Science and Technology**, v. 82, p. 32-38, 2017.

ROBERT, Paul et al. FT-IR investigation of cell wall polysaccharides from cereal grains. Arabinoxylan infrared assignment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 18, p. 7014-7018, 2005.

RODRIGUEZ, Yeison FB; GUZMAN, Nelson G.; HERNANDEZ, Joel G. Effect of the postharvest processing method on the biochemical composition and sensory analysis of arabica coffee. **Engenharia Agrícola**, v. 40, p. 177-183, 2020.

SANTI, L.; Produção, caracterização e aplicação de preparados pectinolíticos produzidos por *Penicillium oxalicum* utilizando resíduos agroindustriais. Dissertação de mestrado. UFRGS, Porto Alegre, 2005.

SCA. ESPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Protocols**. Janeiro 2013. Disponível em: <[http://coffeetraveler.net/wp-content/files/901-SCAACuppingProtocolsTSC\\_DocV\\_RevDec08\\_Portuguese.pdf](http://coffeetraveler.net/wp-content/files/901-SCAACuppingProtocolsTSC_DocV_RevDec08_Portuguese.pdf)> Acesso em: 19 jan. 2021

SCHENKER, Stefan; ROTHGEB, Trish. The roast—Creating the Beans' signature. In: **The craft and science of coffee**. Academic Press, 2017. p. 245-271.

SCHMITT, Mark R.; MARINAC, Laurie. Beta-amylase degradation by serine endoproteinases from green barley malt. **Journal of Cereal Science**, v. 47, n. 3, p. 480-488, 2008.

SCHWAN, ROSANE F.; PEREIRA, GV de M.; FLEET, GRAHAM H. Microbial activities during cocoa fermentation. **Cocoa and coffee fermentations**, p. 125-135, 2014.

SELMAR, D. I. R. K.; KLEINWÄCHTER, M. A. I. K.; BYTOF, GERHARD. Metabolic responses of coffee beans during processing and their impact on coffee flavor. **Cocoa and coffee fermentations**, p. 431-476, 2014.

SILVA, Cristina Ferreira et al. Evaluation of a potential starter culture for enhance quality of coffee fermentation. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 29, n. 2, p. 235-247, 2013.

SILVA, Cristina Ferreira et al. Succession of bacterial and fungal communities during natural coffee (*Coffea arabica*) fermentation. **Food microbiology**, v. 25, n. 8, p. 951-957, 2008.

SIQUEIRA, Heloisa Helena de; ABREU, Celeste Maria Patto de. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciênc. agrotec.**, Lavras , v. 30, n. 1, p. 112-117, Feb. 2006 . Disponível em <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext & pid=S1413-70542006000100016](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542006000100016)>. Acesso em 31 de Mar. 2021

SMITH, A. W. Introduction. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffee: chemistry**. New York: Elsevier Applied Science, v. 1 , cap. 1, p- 1-41, 1985.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. SCAA Protocols: Cupping Specialty Coffee. SCAA, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TAVEIRA, JH Da S. et al. Post-harvest effects on beverage quality and physiological performance of coffee beans. **Embrapa Café-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015.

URBANEJA, G. et al. Acid hydrolysis and carbohydrates characterization of coffee pulp. **Renewable energy**, v. 9, n. 1-4, p. 1041-1044, 1996. VALIO, I. F. M. Germination of coffee seeds (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo). **Journal of Experimental Botany**, v. 27, n. 5, p. 983-991, 1976.

VALIO, I. F. M. Inhibition of germination of coffee seeds (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo) by the endocarp. **Journal of Seed Technology**, p. 32-39, 1980.

VILELA, Danielle Marques et al. Molecular ecology and polyphasic characterization of the microbiota associated with semi-dry processed coffee (*Coffea arabica* L.). **Food Microbiology**, v. 27, n. 8, p. 1128-1135, 2010.

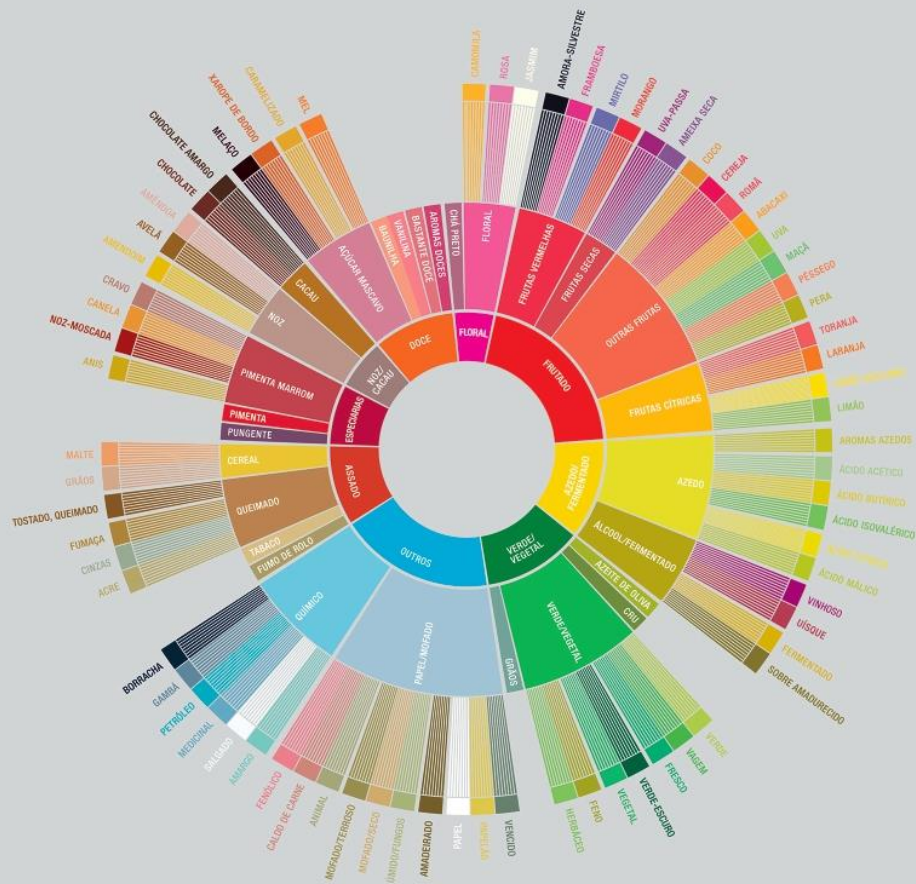
XU, H., LI, B. and MU, X. Review of alkali-based pretreatment to enhance enzymatic saccharification for lignocellulosic biomass conversion. **Industrial & engineering chemistry research**, v.55, p. 8691-8705, 2016.

# ANEXO I

## Roda de Sabores do Café arábica

SCA

Roda de Sabores do Proveedor de Café



RODA DE SABORES DO PROVEEDOR DE CAFÉ CRIADA USANDO O LÉXICO SENSORIAL DESENVOLVIDO PELA WORLD COFFEE RESEARCH

AVISO LEGAL: ESTA RODA DE SABORES FOI TRADUZIDA DO INGLÊS E PODE REFLETIR EQUIVALENTES REGIONAIS DOS CRIADORES ORIGINAIS. CONSULTE O LÉXICO SENSORIAL DA WORLD COFFEE RESEARCH PARA VER UMA EXPLICAÇÃO DO TEXTO ORIGINAL.

© 2016 SCA E WCR  
V.1