



CAMILA MENDES ARISTIDES

**VARIAÇÃO DA ANATOMIA DE GRÃOS DE CAFÉ EM
FUNÇÃO DA FERMENTAÇÃO**

LAVRAS-MG

2023

CAMILA MENDES ARISTIDES

**VARIAÇÃO DA ANATOMIA DE GRÃOS DE CAFÉ EM FUNÇÃO DA
FERMENTAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dra. Dalysse Toledo Castanheira
Orientadora

Dra. Ana Cristina de Souza
Coorientadora

LAVRAS-MG

2023

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Aristides, Camila Mendes.

Varição da anatomia de grãos de café em função da fermentação/ Camila Mendes Aristides - 2023.

28 p.

Orientador(a): Dalys Toledo

Castanheira. Coorientador(a): Ana

Cristina de Souza.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras,
2023. Bibliografia.

1. pós-colheita. 2. maceração carbônica. 3. morfologia dos grãos I. Castanheira, Dalys Toledo. II. Souza, Ana Cristina de. III.

Título

CAMILA MENDES ARISTIDES

**VARIAÇÃO DA ANATOMIA DE GRÃOS DE CAFÉ EM FUNÇÃO DA
FERMENTAÇÃO.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dra. Dalysse Toledo Castanheira
Orientadora

Dra. Ana Cristina de Souza Vilela
Coorientadora

LAVRAS-MG

2023

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, minha mãe, aos meus irmãos Felipe e Karolina, ao João e Joaquim

Dedico

AGRADECIMENTOS

Á Deus, pela minha vida e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

Agradeço aos meus irmãos, pela inesgotável dedicação de me proporcionar o que nunca tiveram e pelo apoio que dão aos meus infinitos sonhos. A minha mãe, por sempre ser a minha estrela guia, por se emocionar a cada conquista minha, por me dizer todos os dias que o mundo pode ser meu, se eu quiser. A sua confiança em mim é o que me move.

Gratidão ao meu filho que por mais cansativo que tenha sido meu dia, chegar em casa e ver um sorriso seu, faz qualquer cansaço desaparecer. Sou tão feliz por ter um filho como você!

Ao João, por sua paciência e cumplicidade, por me manter firme em minha meta. Obrigada por todas as vezes em que contribuiu para a realização de meus sonhos, continue com esse coração.

Ao Daniel Soares Ferreira que permitiu que a utilização dos materiais de estudo da sua tese de doutorado para a realização deste trabalho.

À professora Dalyse, pelo exemplo de pessoa e profissional a ser seguido, pela confiança, paciência, dedicação e pela busca constante em repassar seus conhecimentos que tanto contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

À Ana Cristina (Tininha) cuja dedicação e atenção foram essenciais para que este trabalho fosse concluído satisfatoriamente.

Aos meus amigos que a vida acadêmica me deu, pelo companheirismo nesses quatro anos da nossa trajetória, por estarem comigo em todos os momentos, por segurarem a minha mão nos períodos difíceis, por nos cafés, conversas e risadas que mantiveram a minha sanidade durante esse tempo.

À Universidade Federal de Lavras (Ufla), que foi essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

A todos que de alguma maneira contribuíram em minha vida acadêmica.

Muito obrigada!

RESUMO

O café é a segunda bebida mais consumida no mundo, ficando atrás somente da água. Tendenciando agradar um público com um paladar mais refinado, que estão em busca de bebidas de café com perfis sensoriais únicos, torna-se necessário o estudo de novas técnicas capazes de agregar maior valor ao produto. A fermentação dos frutos na etapa de pós-colheita se destaca no sentido de contribuir com a qualidade e complexidade da bebida do café. Neste cenário, pretende-se avaliar o efeito da fermentação microbiana por maceração carbônica em temperaturas e tempos diferentes nas características morfológicas de grãos de duas cultivares de café. Frutos de café das cultivares Sacramento MG1 e o MGS Turmalina, provenientes da colheita do ano de 2021, do município de Alegre, Espírito Santo foram fermentadas em diferentes tempos (24hs, 48hs, 72hs, 96hs e 120hs) e temperaturas (30 e 60°C). Após o processo de fermentação foram retiradas amostras dos grãos já secos que foram incorporados em historesina e cortados com ajuda de um micrótomo. Os cortes transversais obtidos foram alocados em lâminas e parte foram observados e fotografadas em microscópio óptico, e na lupa. As imagens foram analisadas em software para análise de imagens e foram avaliadas o tamanho, largura e espessura dos grãos. Outra parte das amostras foram utilizados para análises morfológicas dos grãos.

Palavras-chave: Pós-colheita, maceração carbônica, morfologia dos grãos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	Erro! Nenhum nome foi dado ao indicador.
2.1 Cenário da cafeicultura - produção, importância	10
1.2 Morfologia e anatomia do café	12
1.3 Qualidade - café especial	12
1.4 Fatores que interferem na qualidade: colheita e pós colheita	12
1.5 Fermentação - ferramenta pós-colheita para promover ganhos no perfil	13
2. METODOLOGIA.....	14
2.1 Material vegetal	15
2.2 Características anatômicas dos grãos de café	15
2.3 Características morfológicas dos grãos	16
2.4 Delineamento experimental e análise estatística	Erro! Nenhum nome foi dado ao indicador.
3. RESULTADOS.....	16
3.1 Sacramento MG1	17
3.2 MGS Turmalina.....	18
4. DISCUSSÃO.....	Erro! Nenhum nome foi dado ao indicador.
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	Erro! Nenhum nome foi dado ao indicador.
6. CONCLUSÃO	Erro! Indicador não definido.
7. REFERÊNCIAS	Erro! Nenhum nome foi dado ao indicador.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por cafés especiais provavelmente é fruto de mais conhecimento sobre cafés, suas características, as diferentes formas de preparo, as diferentes regiões produtoras e, além disso o aumento das informações sobre os benefícios do café a saúde humana. A qualidade do café está diretamente relacionada com as características dos grãos quanto à cor, aspecto, número de defeitos, aroma e gosto da bebida. No entanto, estas características dependem de vários fatores, tais como: composição química do grão, sistema de cultivo, época de colheita, preparo de pós colheita, armazenamento e torração (VERDIN;et al.,2018).

A pós-colheita do café interfere de modo direto no aroma, no sabor e na consistência da bebida final. Além disso, algumas técnicas envolvidas no processo de pós-colheita do café, como a fermentação, podem agregar valor aos grãos, viabilizando a produção e a comercialização de cafés especiais e de alta qualidade (AGROBAYER; 2023).

Salienta-se que técnicas como a fermentação podem modificar a estrutura/morfologia e a composição química dos grãos. As fermentações podem ocorrer no fruto do café desde o seu amadurecimento, ainda na planta, até a etapa de secagem (CHALFOUN; FERNANDES, 2013). Esse fenômeno ocorre em resposta às reações de catabolismo e anabolismo que ocorrem durante a pós-colheita onde o substrato (açúcares) é consumido podendo resultar em produtos que são interessantes ou não para a qualidade sensorial da bebida (CARDOSO et al., 2020).

Entre os métodos de fermentação, vem se destacado a maceração carbônica. Essa técnica é descrita como um processo que explora a adaptabilidade dos frutos intactos a um ambiente fechado, privado de oxigênio e preenchido com dióxido de carbono (CO₂) (BRIOSCHI JUNIOR et al., 2021)..

Com base no contexto atual, torna-se importante compreender o efeito da ação de microrganismos por meio da fermentação na qualidade sensorial do cafeeiro. Deste modo, o objetivo com o referido trabalho foi avaliar o efeito de diferentes tempos e temperatura de fermentação por maceração carbônica na anatomia de grãos de café arábica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cenário da cafeicultura - produção, importância

O Brasil é o maior exportador de café no mercado mundial e ocupa a segunda posição, entre os países consumidores da bebida (ABIC). Além de maior exportador também é o maior produtor, colocação que ocupa desde 1727 ano da sua chegada no Brasil. Desde então o café se tornou umas das maiores riquezas e o produto mais importante da história nacional (EMPRABA). Como diz o Coelho Neto “ A história do Brasil foi escrita com tinta de café” (Soares e Vieira Filho, 2008). O arbusto do café, que pertence ao gênero *Coffea* e à família Rubiaceae, produz frutos com polpa doce e fina, utilizados na indústria cafeeira para produção da bebida, cuja qualidade é um dos fatores mais relevantes e discutidos atualmente (CHALFOUN E FERNANDES, 2013). As espécies mais importantes de café, cultivadas em larga escala nas regiões cafeeiras são *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café robusta ou conilon), sendo o café arábica com participação de 60% na produção mundial e o café robusta ou conilon com 40%, juntas representam 100% de todo o café comercializado (MATIELLO, SANTINATO, ALMEIDA, GARCIA, 2016). As plantas possuem morfologias diferentes, o que exige manejos culturais e colheitas exclusivos para cada variedade (SENAR, 2017). Os grãos são formados pelo exocarpo, cuja característica é uma casca que pode variar do amarelo, vermelho alaranjada a vermelha na etapa de maturação, chamados de frutos cereja; pelo mesocarpo amarelo-branco contendo polpa e mucilagem, pelo endocarpo, um pergaminho amarelo liso, pela película prateada, conhecida como tegumento, e pelo endosperma, sendo este último a semente do café (PEREIRA et al., 2017). O formato do grão arábica é oval e com a cor amarelo-esverdeado, mais leve, aromático, doce e suavemente mais ácido quando comparado ao conilon. O grão conilon é arredondado e de cor marrom amarelado, mais amargo, menos aromático, com maior nível de adstringência e mais encorpado (SENAR, 2017).

Hoje, o café continua sendo um importante gerador de divisas (US\$ 2 bilhões anuais, ou 26 milhões de sacas exportadas ao ano), contribuindo com mais de 2% do valor total das exportações brasileiras, e respondendo por mais de um terço da produção mundial. Um mercado ainda em franca expansão, cujo agronegócio gera, no mundo todo, recursos da ordem de 91 bilhões de dólares ao comercializar os 115 milhões de sacas que, em média, são produzidas. A atividade envolve, ainda, meio bilhão de pessoas da produção ao consumo final (8% da população mundial). (Portal Embrapa). O Brasil exportou 36,4 milhões de sacas de 60 quilos

de café no acumulado de janeiro a novembro de 2022, segundo dados disponibilizados pelo Ministério da Economia. Além do mais, observa-se um crescimento na busca por grãos de cafés especiais, que segundo a Brazil Specialty Coffee Association (BSCA, 2022), essa demanda cresce em torno de 15% ao ano, ao contrário do crescimento do café commodity em torno de 2%.

Os dados mostrados são atualizados e demonstra a importância do café para a economia brasileira, no entanto, segundo Medeiros e Rodrigues (2017) entender a história desta commodity em território brasileiro, permite compreender que grande parte dos avanços econômicos, políticos e sociais do país ao êxito do chamado “ciclo econômico do café”, que se inicia por volta de 1825 quando o Haiti. Então maior produtor do grão - passa por uma longa crise política, e o Brasil, aproveitando-se desta oportunidade, aumenta sua produção, assumindo posição de destaque no comércio internacional (FURTADO, 1968)

Furtado (1968), procurando uma reconstrução da história econômica brasileira a partir dos fluxos de renda, registra, em meados do século XIX, uma taxa relativamente alta de crescimento, com forte aumento das exportações graças à produção do café.

O declínio econômico da produção do açúcar e a ascensão da lavoura cafeeira no centro-sul do país trouxe o desenvolvimento para esta região, sobretudo para os estados de Minas Gerais e São Paulo – maiores produtores do grão, que, no período republicano, irão alternar representantes na condução da política nacional (MEDEIROS; RODRIGUES, 2017) . De acordo com Medeiros e Rodrigues (2017) os recursos financeiros provenientes da produção cafeeira agilizaram o desenvolvimento brasileiro e colocaram o país nas relações do comércio internacional.

Ao longo do século XIX e início do XX o café foi a grande riqueza brasileira, seu cultivo propiciou a substituição da mão de obra escrava pela assalariada, viabilizando a formação de um mercado interno com a consolidação e expansão da classe média, além de viabilizar o primeiro surto de industrialização do país (FURTADO, 1968).

Os lucros da economia do café e a percepção de que era necessário expandi-la proporcionou uma mecanização parcial do processo produtivo – processo de beneficiamento dos grãos, acompanhada da construção de estradas de ferro para otimizar o transporte, permitindo um escoamento mais rápido da produção (MEDEIROS; RODRIGUES, 2017). Surgem as casas de exportação e a rede bancária, ambas financiadas pelos próprios produtores do grão, para atender uma produção que atingia milhões de sacas anuais e que buscava ampliar-se (SILVA, 1978).

1.2 Morfologia e anatomia do café

O arbusto do café, que pertence ao gênero *Coffea* e à família Rubiaceae, produz frutos com polpa doce e fina, utilizados na indústria cafeeira para produção da bebida, cuja qualidade é um dos fatores mais relevantes e discutidos atualmente (CHALFOUN E FERNANDES, 2013). As espécies mais importantes de café, cultivadas em larga escala nas regiões cafeeiras são *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café robusta ou conilon), sendo o café arábica com participação de 60% na produção mundial e o café robusta ou conilon com 40%, juntas representam 100% de todo o café comercializado (MATIELLO, SANTINATO, ALMEIDA, GARCIA, 2016). As plantas possuem morfologias diferentes, o que exige manejos culturais e colheitas exclusivos para cada variedade (SENAR, 2017).

O trabalho anatômico pioneiro elaborado por DEDECCA (1957) expôs que o fruto de café cereja é formado de exocarpo ou casca, mesocarpo, contendo a polpa e mucilagem e o grão, recoberto pelo pergaminho. Por ser o endosperma a parte mais importante do grão, do ponto de vista econômico e fisiológico, tem sido objeto de estudos no que diz respeito a sua composição química (Goulart et al, 2007). De acordo com DEDECCA (1957), o endosperma encerra além de água, proteínas, os alcalóides cafeína e cofearina, óleos, açúcares, dextrina, pentosanas, celulose, ácidos derivados da cafeína, outros ácidos e componentes menores. A reserva gordurosa pode ser facilmente apreciada nas seções de endosperma, notando-se numerosas gotas esféricas de óleo em cada célula. .

O formato do grão arábica é oval e com a cor amarelo-esverdeado, mais leve, aromático, doce e suavemente mais ácido quando comparado ao conilon. O grão conilon é arredondado e de cor marrom amarelado, mais amargo, menos aromático, com maior nível de adstringência e mais encorpado (SENAR, 2017)

1.3 Qualidade - café especial

Essa demanda por cafés especiais provavelmente é fruto de mais conhecimento sobre cafés, suas características, as diferentes formas de preparo, as diferentes regiões produtoras e, além disso o aumento das informações sobre os benefícios do café a saúde humana.

BOAVENTURA et al(2018) citam que estamos vivendo a terceira "onda" do café. Nesse sentido conforme defende Guimarães; Junior; Andrade (2016), que o mercado de café especiais está relacionada a mudança de percepção do produto, que agora é considerado

artesanal mais complexo que o próprio vinho. A origem da expressão “cafés especiais” é creditada a Erna Knutsen, que criou a Knutsen Coffees, que o teria usado pela primeira vez em uma palestra em uma conferência internacional de café, promovida na França, em 1978. Para época, a compreensão era bem simples: cafés especiais correspondiam àqueles originados de microclimas geográficos especiais, que [gerariam](#) grãos com perfis sensoriais únicos/exclusivos (RHINEHART, 2009).

No entanto, nos dias atuais para ser considerado café especial vai além dos microclimas geográficos especiais. Existem critérios técnicos de avaliação e, segundo a classificação da Specialty Coffee Association (SCA), antiga SCAA, o café deve ser analisado por meio de uma degustação feita oficialmente por um Q-Grader (Arabica Quality Grader) certificado pelo Coffee Quality Institute (CQI), que é um profissional especializado na degustação e classificação de cafés. Classifica-se o café como especial quando a pontuação mínima de 80 pontos é alcançada após a degustação. Os grãos livres de impurezas, defeitos e que possuem características sensoriais diferenciadas recebem uma pontuação acima de 80 pontos (BSCA,2022).

1.4 Fatores que interferem na qualidade: colheita e pós colheita

A qualidade do café está diretamente relacionada com as características dos grãos quanto à cor, aspecto, número de defeitos, aroma e gosto da bebida. No entanto, estas características dependem de vários fatores, tais como: composição química do grão, sistema de cultivo, época de colheita, preparo de pós colheita, armazenamento e torração (VERDIN;et al.,2018). O sabor e o aroma da bebida café são complexos, resultantes da presença combinada de vários constituintes químicos voláteis e não voláteis, entre eles os ácidos, aldeídos, cetonas, açúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos graxos, compostos fenólicos (HALAL,2008)

A influência do sistema de produção do cafeeiro sobre o produto final,segundo Gonçalves (2022), os atributos sensoriais avaliados apresentaram notas bem similares recebem em relação a variável uniformidade, xícara limpa e doçura ambos os sistemas receberam as notas máximas (10) e, os cafés receberam pontuação 83. De acordo com Mello (2016), sabor e aroma são características da composição original dos grãos e são atributos que validam a qualidade da bebida na prova de xícara.

Matiello et al. (2013) apontam que o processo da colheita do café necessita de atenção redobrada, notado o elevado custo de mão de obra e a grande importância que representa para a qualidade do produto final. A qualidade final do café depende de fatores relacionados à

colheita, como maturação dos frutos e período de início, duração e tipo de colheita empregada. A maturação dos frutos, por sua vez, depende de fatores ambientais (temperatura, altitude, radiação solar, precipitação), como também do tipo da cultivar (Simas; 2021).

Em condições normais a colheita pode ser iniciada em março ou abril terminando em setembro, ou entre junho e agosto (Matiello et al., 2016). A colheita, ou derriça do café, é possível ser seletiva ou plena. A seletiva é efetuada de acordo com a maturação dos frutos, enquanto a plena acontece de uma só vez colhendo todos os grãos em distintos graus de maturação, havendo o cuidado de começar a colheita quando as plantas estiverem com mínimo de 70% dos grãos maduros, e se possível de grãos verdes não ultrapassar os 30% do total. A colheita pode ser manual, semi-mecanizada ou mecanizada e após a colheita do café, os grãos passam por inúmeras etapas, como lavagem, secagem, beneficiamento e outras (SENAR). Essas etapas fazem parte do pós-colheita, processo que carece ser realizado de forma muito eficaz para conservar a qualidade do produto.

A pós-colheita do café interfere de modo direto o aroma, o sabor e a consistência da bebida final. Além disso, algumas técnicas envolvidas no processo de pós-colheita do café podem agregar valor aos grãos, viabilizando a produção e a comercialização de cafés especiais e de alta qualidade (AgroBayer; 2023).

A armazenagem também afeta a qualidade do café, precisa ser controlada de modo correto até o oferecimento ao consumidor. Para que o café possa chegar ao consumidor com a alta qualidade inicial, é necessário conhecer as alterações possíveis de ocorrer durante o armazenamento, como as alterações na cor, na matéria seca e as alterações químicas e sensoriais (Coradi; Borém 2008).

1.5 Fermentação - ferramenta pós-colheita para promover ganhos no perfil

As fermentações podem ocorrer no fruto do café desde o seu amadurecimento, ainda na planta, até a etapa de secagem (CHALFOUN; FERNANDES, 2013). Esse fenômeno ocorre em resposta às reações de catabolismo e anabolismo que ocorrem durante a pós-colheita onde o substrato (açúcares) é consumido podendo resultar em produtos que são interessantes ou não para a qualidade sensorial da bebida (CARDOSO et al., 2020). A fermentação por meio da ação de microrganismos, tende a proporcionar ao café notas de sabor adicionais (BRIOSCHI JUNIOR et al., 2021), produzindo dessa maneira, padrões únicos de sabor a bebida. O processo de fermentação pode ser desenvolvido sob duas formas: fermentação

aeróbica (chamada de fermentação seca) e fermentação anaeróbica (fermentação sob água) (CHALFOUN; FERNANDES,2013).

Segundo os autores Chalfoun; Fernandes (2013) O objetivo final é permitir a remoção da mucilagem do grão com pergaminho, sem ocorrência de fermentações indesejáveis. Se o produtor pretende alcançar uma bebida superior, com o objetivo de distinguir para a qualidade de seu café, é possível utilizar vários tipos de fermentação. Desse modo, medidas cautelosas quanto à escolha do sistema de fermentação, devem ser tomadas, assim como se atentar às características que se quer acentuar na bebida, com a finalidade de dar-lhe valor agregado ao produto (RODRIGUES, CUNHA, ALMEIDA, 2020).

Entre os métodos de fermentação, vem se destacado a maceração carbônica. Essa técnica nomeada maceração carbônica foi relatada pela primeira vez por Flanzy, Flanzy e Benard (1987), mas a primeira patente foi registrada por Hickinbotham (1986) para a utilização no processo de produção de vinho, com o intuito de diminuir o tempo de processamento e produzir corpo e aroma únicos para o vinho final. Assim, a maceração carbônica é descrita como um processo que explora a adaptabilidade dos frutos intactos a um ambiente fechado, privado de oxigênio e preenchido com dióxido de carbono (CO₂) (BRIOSCHI JUNIOR et al., 2021).

Adição de CO₂ provoca a transição do metabolismo respiratório aeróbico para o metabolismo fermentativo anaeróbico dentro de cada fruta (Tesniere & Flanzy, 2011). Esse fenômeno tende a melhorar o perfil sensorial e químico dos cafés (BRIOSCHI JUNIOR et al., 2021; GOMES et al., 2022).

2. METODOLOGIA

2.1 Material vegetal

O estudo foi realizado com frutos de café provenientes das colheitas dos anos 2021, 2022, no distrito de Lagoa Seca, interior do município de Alegre, no sul do estado do Espírito Santo (20° 52' 07" S e 41° 28' 43" W). A região, mediante sua altitude 640 m, está localizada na zona de transição entre o cultivo de cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) e do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* ()), apresentando precipitação média anual de 1200 mm e temperatura média de 20,85 °C (BRAGANÇA et al., 2012; RODRIGUES et al., 2016, FERREIRA et al., 2021).

Para o estudo foram realizados dois experimentos com genótipos de *Coffea arabica* L. (Sacramento MG1 e o MGS Turmalina conduzidos em sistema de irrigação do tipo

fertirrigação para compor os ensaios experimentais. Esses materiais foram escolhidos em virtude de seu caráter produtivo e por serem promissores para a produção de cafés de qualidade (RODRIGUES et al., 2016; FERREIRA et al., 2021). O cafeeiro foi implantando com espaçamento de 2,5 m x 1,0 m, totalizando uma população de 4000 plantas por hectare.

O procedimento de colheita dos frutos foi manual, foram excluídas impurezas bem como frutos mal granados e secos por meio de separação em recipientes com água potável. Posteriormente, 5 litros de frutos por unidade experimental foram acondicionados em sacolas de plásticos e encaminhados imediatamente para a unidade de pós-colheita do Instituto de Educação Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), campus de Venda Nova do Imigrante.

Para remover o ar atmosférico das unidades experimentais foi utilizado uma seladora a vácuo (modelo ROBOTIC 900/1200 PLACAS) por 20 segundos com CO₂ (pureza de 99,9%) injetado com 20 kgf cm⁻² de pressão. As unidades experimentais foram colocadas em 3 incubadoras verticais BOD modelo NL 161/01, com temperatura programável entre -10 a 60 °C, variação de ± 0,1°C e circulação de ar forçada por ventilação interna. Ao final de cada fermentação, foi verificada a integridade física dos sacos plásticos, de forma a garantir que não houve contaminação com o ar atmosférico, sendo então encaminhados para a unidade de secagem, previamente higienizada (BRIOSCHI JUNIOR et al., 2021).

2.2 Características anatômicas dos grãos de café

Para os estudos anatômicos das secções transversais o material vegetal foi incorporado em historesina de acordo com as instruções do fabricante (Leica Microsystems, Wetzlar, Alemanha), obtendo-se secções (8 µm de espessura) com o auxílio de um micrótomo rotativo semiautomático modelo MRP 2015 da marca Lupetec Tecnologia Aplicada. Parte das lâminas obtidas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico, modelo Red 200, marca Kasvi/Motic, acoplado à câmera digital modelo D-Moticam 5MP marca Motic e outra parte observadas com auxílio de uma lupa. Posteriormente, as imagens foram analisadas em software para análise de imagens UTHSCSA-Imagetool.

Para as imagens fotografadas em microscópio óptico foram feitas avaliações de altura e comprimento do grão. Para as imagens fotografadas em lupa foram avaliados altura, comprimento e volume total dos grãos.

2.3 Características morfológicas dos grãos

Para os estudos das características morfológicas dos grãos foram determinadas a largura, comprimento e altura dos grãos com auxílio de um paquímetro.

2.4 Delineamento experimental e análise estatística

As avaliações foram conduzidas em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, com três repetições, no esquema fatorial 2 x 5 em parcelas subdivididas, sendo que as parcelas foram compostas por duas temperaturas (30 e 60°C) em BOD's e as subparcelas compostas por cinco tempos de fermentação, pelo método de maceração carbônica (0, 48, 96, 144 e 192 horas). Os resultados para as características anatômicas foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade (FERREIRA, 2014).

3. RESULTADOS

3.1 Sacramento MG1

Não foram observadas diferenças significativas para as análises morfológicas realizadas com auxílio de um paquímetro digital para o comprimento do grão com média geral de 9,20 mm. Para o diâmetro de grãos de café da cultivar MGS Turmalina pôde-se observar diferenças significativas entre as diferentes temperaturas quando os grão foram fermentados por 48 e 96 horas e para altura a 96 horas de fermentação (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios do diâmetro e altura (mm) de grãos de café cultivar Sacramento MG1 em fermentação microbiana por maceração carbônica em diferentes temperaturas.

	Diâmetro (mm)		Altura (mm)	
	30°C	60°C	30°C	60°C
24hs	6,51 aA	6,84 bA	3,81 aA	3,74 aA
48hs	6,50 aB	7,24 aA	3,71 aA	3,86 aA
72hs	6,69 aA	6,86 bA	3,87 aA	3,65 aA
96hs	6,86 aA	6,46 bB	3,82 aA	3,48 aB
120hs	6,64 aA	6,65 bA	3,74 aA	3,72 aA
CV(%)	3,40		3,84	

Médias seguidas por letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott, ao nível de 5% probabilidade.

Para a análise de imagens com auxílio de uma lupa podemos observar que houve diferenças significativas para o comprimento nas duas temperaturas testadas. Os grãos que foram fermentados a 30°C apresentaram maior comprimento dos grãos (Tabela 2 e Figura 1).

Tabela 2. Valores médios do comprimento (μm^2) de grãos de café cultivar Sacramento MG1 em fermentação microbiana por maceração carbônica em diferentes temperaturas.

TEMPERATURA (°C)	COMPRIMENTO (μm^2)
30	826,46 a
60	757,89 b
CV(%) 5,97	

Médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott, ao nível de 5% probabilidade.

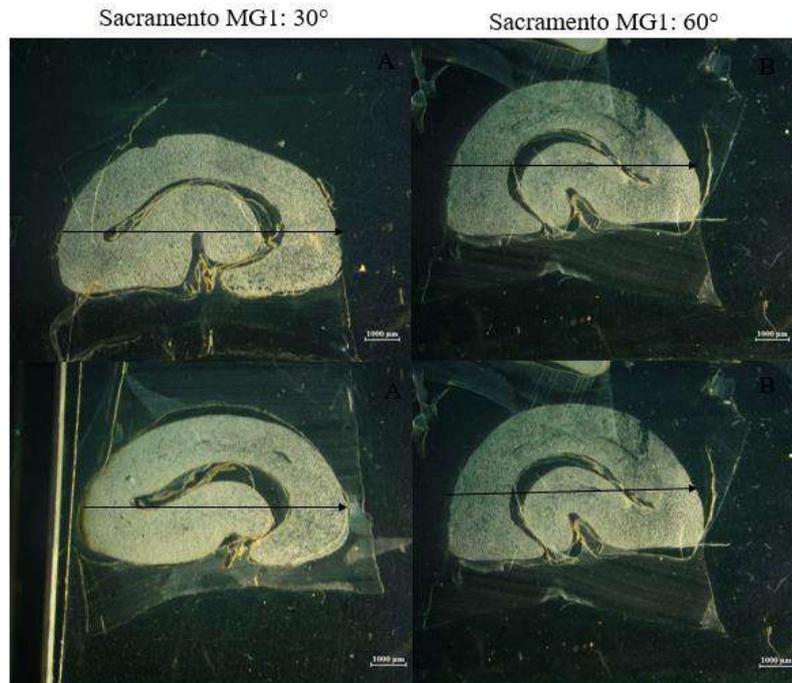


Figura 1: Imagens de uma lupa estereoscópio de um grão de café. Demonstrando a diferença visual entre temperaturas diferentes da cultivar Sacramento MG1 temperatura 30°(A) com maior comprimento e 60°(B) com o menor comprimento.

Para a análise de imagens com auxílio de uma lupa podemos observar que houve diferenças significativas na interação temperatura e horas para o comprimento e altura. Não houve diferença significativa para o volume. Os grãos que foram fermentados a 30°C apresentaram maior comprimento dos grãos no tempo de 72hs e 96hs de fermentação e para altura os grãos que foram fermentados a 72hs (Tabela 3 e Figura 2).

Tabela 3. Valores médios do comprimento (μm^2), altura (μm^2) e volume (μm^2) de grãos de café cultivar Sacramento MG1 em fermentação microbiana por maceração carbônica em temperaturas e tempos diferentes.

	Comprimento (μm^2)		Altura (μm^2)		Volume (μm^2)	
	30°C	60°C	30°C	60°C	30°C	60°C
24hs	836 aA	787 aA	506 aA	483 aA	300890 aA	266282 aA
48hs	799 aA	776 aA	486 aA	513 aA	275341 aA	227923 aA
72hs	882 aA	763 aB	563 aA	478 aB	327962 aA	262856 aA
96hs	832 aA	717 aB	502 aA	450 aA	281060 aA	240458 aA
120hs	780 aA	744 aA	483 aA	443 aA	241707 aA	251045 aA
CV	5,97		9,66		21,02	

Médias seguidas por letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott, ao nível de 5% probabilidade.

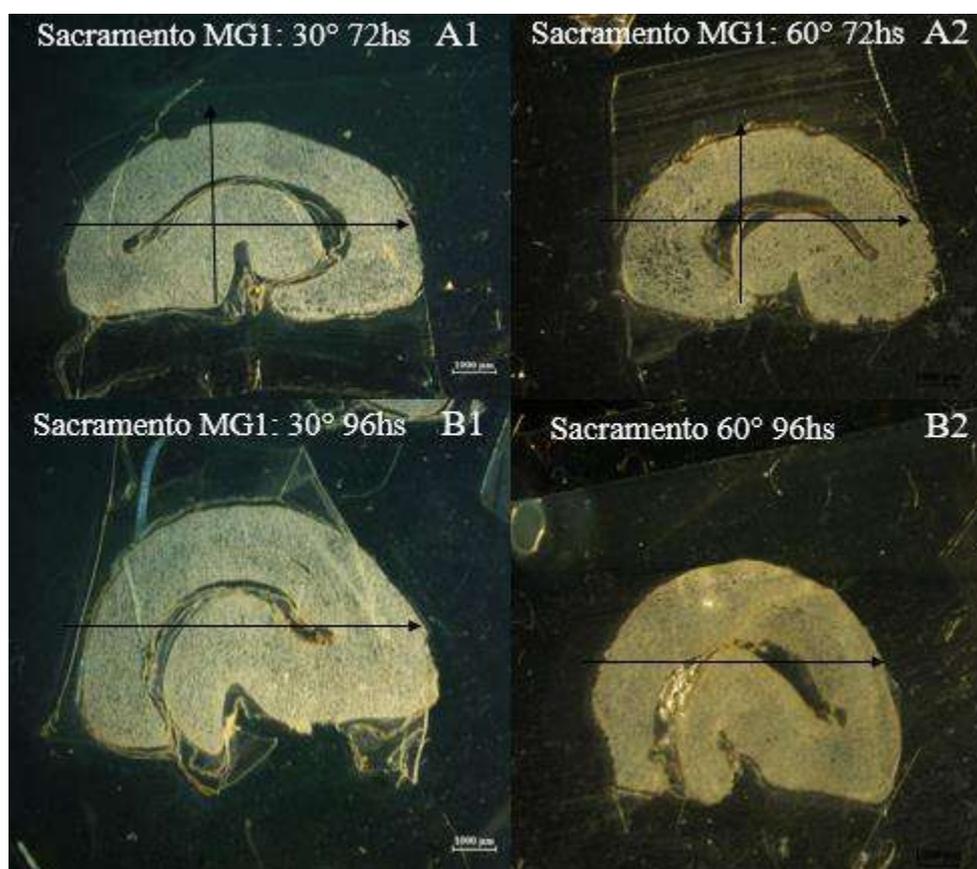


Figura 2: Imagens de uma lupa estereoscópio de um grão de café. Figura (A) demonstra a diferença de comprimento e altura entre duas temperaturas e o mesmo tempo 72hs de fermentação diferentes 30° e 60°. A figura (B) duas temperaturas 30° e 60° e o mesmo tempo 96hs evidencia a diferença de comprimento.

3.2 MGS Turmalina

Não foram encontradas diferenças significativas para as análises morfológicas para cultivar MGS Turmalina. A média geral para o comprimento foi de 8,6 mm. diâmetro 7,0 mm e altura 3,86 mm. Também não foram observadas diferenças significativas para as análises feitas com auxílio de microscópio óptico. A média geral para o comprimento foi de 87,18 μm^2 , para altura 79,29 μm^2 .

Para a análise de imagens com auxílio de uma lupa podemos observar que houve diferenças significativas para o comprimento. Os grãos que permaneceram a mais tempo 120hs de fermentação apresentaram maior comprimento dos grãos (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios do comprimento (μm^2) de grãos de café cultivar MGS Turmalina em fermentação microbiana por maceração carbônica em tempos diferentes.

TEMPO (horas)	COMPRIMENTO (μm^2)
24hs	784 b
48hs	769 b
72hs	768 b
96hs	783 b
120hs	888 a
CV(%)	7,70

Médias seguidas mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott, ao nível de 5% probabilidade.

Foram observadas diferenças significativas na interação temperatura e tempo. Pôde-se observar que os grãos quando fermentados a 30°C os que permaneceram por 120hs apresentaram maior comprimento em relação aos demais tempos testados. Para altura observa-se que os grãos quando fermentados aos 30°C nos tempos de 24 e 120hs apresentaram-se maiores (Tabela 5 e Figura 3). De maneira geral os grãos que permaneceram por um período maior de fermentação (120hs) a 30°C apresentaram maiores comprimento, altura e volume.

Tabela 5. Valores médios do comprimento (μm^2), altura (μm^2) e volume (μm^2) de grãos de café cultivar MGS Turmalina em fermentação microbiana por maceração carbônica em temperaturas e tempos diferentes.

	Comprimento (μm^2)		Altura (μm^2)		Volume (μm^2)	
	30°C	60°C	30°C	60°C	30°C	60°C
24hs	776 bA	793 aA	528 aA	491 aA	284711 bA	287509 aA
48hs	738 bA	800 aA	430 bB	529 aA	236835 bB	303402 aA
72hs	758 bA	779 aA	470 bA	478 aA	261352 bA	262099 aA
96hs	790 bA	777 aA	469 bA	529 aA	264705 bA	270247 aA
120hs	918 aA	859 aA	546 aA	557 aA	336509 aA	314161 aA
CV(%)	7,70		7,66		11,18	

Médias seguidas por letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott, ao nível de 5% probabilidade.

Para avaliação do tempo de fermentação podemos observar que aquelas que permaneceram por mais tempo 120hs apresentaram maior altura e volume entre os demais tempos testados (tabela 6).

Tabela 6. Valores médios de altura e volume (μm^2) de grãos de café cultivar MGS Turmalina em fermentação microbiana por maceração carbônica em tempos diferentes observadas e fotografadas com auxílio de lupa.

TEMPO (horas)	ALTURA (μm^2)	VOLUME (μm^2)
24hs	510 b	286110 b
48hs	479 b	270118 b
72hs	474 b	261726 b
96hs	499 b	267476 b
120hs	551 a	325335 a
CV(%)	7,66	11,18

Médias seguidas mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott, ao nível de 5% probabilidade.

4. DISCUSSÃO

De modo geral, verifico-se que a fermentação por maceração carbônica modificou a morfologia e anatomia dos grãos de café arábica. Observou-se que os grãos submetidos à fermentação a 30°C apresentaram maior comprimento, altura e volume em comparação com os grãos fermentados a 60°C. Esse resultado sugere que a temperatura da fermentação pode influenciar o desenvolvimento morfológico dos grãos de café, possivelmente afetando suas características sensoriais e qualidade final da bebida.

Além disso, foi observado que o tempo de fermentação também teve impacto na morfologia dos grãos de café. Os grãos submetidos à fermentação por um período maior de 120 horas apresentaram maiores dimensões em comparação com os demais tempos testados. Esse resultado indica que a duração da fermentação pode ser um fator crítico para obter grãos com características específicas, o que pode ser relevante para a produção de cafés especiais com sabores diferenciados.

A ausência de diferenças significativas no comprimento dos grãos entre as temperaturas pode indicar que a temperatura de fermentação não influencia diretamente o crescimento dos grãos de café durante o processo de fermentação. No entanto, a maior expansão em diâmetro e altura a 30°C sugere que essa temperatura pode favorecer o desenvolvimento mais uniforme e volumoso dos grãos durante o processo de fermentação, visto que Anselmi et al (2018) ressalta que na maceração carbônica o gás penetra na uva já nas primeiras horas e a absorção é influenciada pela temperatura. Quanto mais frio, mais as bagas absorvem o gás e menos liberam os compostos fenólicos. por isso grãos fermentados a 30°C apresentaram maior comprimento em relação aos fermentados a 60°C. Isso sugere que a fermentação prolongada a 30°C pode promover a liberação de mais compostos voláteis e enzimas que afetam diretamente as características morfológicas dos grãos.

A diferença observada após 96 horas de fermentação pode estar relacionada ao tempo adicional de interação dos grãos com as leveduras presentes no processo de maceração carbônica. Já que em seus estudos Palumbo (2020) constatou que o aumento (73,6%) na concentração de ácido cítrico no final da fermentação (96 horas) pode estar relacionada a abundância do gênero *Bacillus* no final do processamento.

A falta de diferenças significativas nas análises morfológicas pode indicar que a cultivar MGS Turmalina pode ser menos sensível às variações de temperatura e tempo de fermentação em comparação com a cultivar Sacramento MG1. Isso pode ser atribuído às características genéticas e fisiológicas específicas dessa variedade, que podem influenciar seu

desenvolvimento morfológico de forma menos suscetível às condições de fermentação testadas. Assim como na cultivar Sacramento MG1, a interação entre temperatura e tempo de fermentação é um fator importante para a cultivar MGS Turmalina. Os resultados indicam que a fermentação prolongada a 30°C pode promover o desenvolvimento mais expressivo dos grãos em termos de comprimento, altura e volume para essa variedade também.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto do uso fermentação na pós-colheita do café, é importante destacar que a fermentação por maceração carbônica é uma técnica complexa e que pode variar de acordo com diversos fatores, como a cultivar do café, as condições ambientais, o manejo pós-colheita e os microrganismos envolvidos no processo. Portanto, são necessárias mais pesquisas para aprofundar o entendimento dos efeitos da fermentação na qualidade do café arábica.

De modo geral, os resultados obtidos neste estudo contribuem para o conhecimento sobre a influência da fermentação na morfologia dos grãos de café arábica, fornecendo informações relevantes para a produção de cafés especiais de alta qualidade. A fermentação por maceração carbônica pode ser uma ferramenta promissora no processo pós-colheita para promover ganhos no perfil sensorial da bebida, porém, mais pesquisas são necessárias para aprimorar o entendimento dessa técnica e seus efeitos na qualidade do café.

Por fim, a cafeicultura continua sendo um importante pilar da economia brasileira, e investir em pesquisas e tecnologias que visam aprimorar a qualidade do café é fundamental para fortalecer o setor e ampliar a competitividade do país no mercado mundial de café.

6. CONCLUSÃO

O tempo e a temperatura de fermentação afetaram as características morfológicas dos grãos de café arábica. As dimensões maiores dos grãos de café foram encontradas em tempos de fermentação mais prolongados e temperatura a 30°C.

7. REFERÊNCIAS

104, 2017.

2017. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1067759>

A importância do café nosso de todos os dias - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17987068/a-importancia-do-cafe-nosso-de-todos-os-dias#:~:text=Hoje%2C%20o%20caf%C3%A9%20continua%20sendo>>.

A importância do café nosso de todos os dias - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17987068/a-importancia-do-cafe-nosso-de-todos-os-dias>>.

A importância do pós-colheita na qualidade do café | Agro Bayer. Disponível em: <<https://www.agro.bayer.com.br/conteudos/a-importancia-do-pos-colheita-na-qualidade-do-cafe>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

BAMPI, GABRIEL BONETTO; ERECHIM, RS-BRASIL. MICROENCAPSULAÇÃO DE PROBIÓTICOS POR SPRAY CHILLING E APLICAÇÃO EM BARRA DE CEREAL SALGADA.

BRIOSCHI JUNIOR, D.; GUARÇONI, R.C.; SILVA, M.C.S.; VELOSO, T.G.R.; KASUYA, M.C.M.; OLIVEIRA, E.C.S.O.; LUZ, J.M.R.; MOREIRA, L.R.; DEBONA, D.G.; PEREIRA, L.L. Microbial fermentation affects sensorial, chemical, and microbial profile of coffee under carbonic maceration. *Food Chemistry*, v. 9, p. 128296, 2020.

BSCA - Associação Brasileira de Cafés Especiais. Disponível em:

CHALFOUN, Sara Maria; FERNANDES, Ana Paula. Efeitos da fermentação na qualidade da bebida do café. *Visão Agrícola*, USP, p. 105-108, 2013.

CORADI, Paulo C.; BORÉM, Flávio M.; OLIVEIRA, João A. Qualidade do café natural e despulpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, p. 181-188, 2008.

de café no Brasil: Manual de recomendações: ed. 2015. Futurama, p. 585.

EL HALAL, Shanise Lisie Mello. Composição, processamento e qualidade do café. 2017.

FERRÃO, R. G. et al. Porcentagem de café cereja, verde, seco e chocho no cafeeiro arábica

conduzido com a poda programada de ciclo.

Geísa Martins Soares, G. M.; Vieira Filho N. A. Q. As Fazendas dos Barões do Café no Brasil: Patrimônio Histórico Rural e Turismo. Reuna - Belo Horizonte, v.13, nº3, p.41-53 – 2008.

GONCALVES, Jessica de Melo. Efeito do manejo convencional e orgânico na qualidade do grão e bebida de café. 2022.

GUIMARÃES, Elisa Reis; DE CASTRO JÚNIOR, Luiz Gonzaga; DE ANDRADE, Helga Cristina Carvalho. A terceira onda do café em Minas Gerais. Organizações Rurais & Agroindustriais, v. 18, n. 3, p. 214-227, 2016.

<https://brazilcoffeenation.com.br/a-bsca>. Acesso em 22 abr.2023

MACERAÇÃO CARBÔNICA EM VINHOS TINTOS. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2018/CA_03176.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2023.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. Cultura Matiello, J.B., Santinato, R., Almeida, S.R., Garcia, A.W.R. (2016) Processamento ou preparo pós colheita. In: Matiello, J.B., Santinato, R., Almeida, S.R., Garcia, A.W.R. Cultura do café no Brasil. Varginha: Futurama, p.104

O café brasileiro na atualidade. Disponível em: <<https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/o-cafe-brasileiro-na-atualidade/>>.

PEREIRA V. M., G. et al. Microbial ecology and starter culture technology in coffee processing. Critical reviews in food science and nutrition, v. 57, n. 13, p. 2775-2788, Rhinehart, R. (2009). Specialty Coffee Association of America. Disponível em: <<https://www.scaa.org/?page=RicArtp>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

RODRIGUES, Guilherme Zatti; DA CUNHA, Luciane Tavares; ALMEIDA, Gustavo Rennó Reis. Desenvolvimento e validação da fermentação controlada de frutos do café no pós-colheita em diferentes tempos. Revista Agroveterinária do Sul de Minas-ISSN: 2674-9661, v. 2, n. 1, p. 45-52, 2020.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Café: cafés especiais. Brasília. p.

SIMÃO, Flávio Pavesi. RELAÇÕES ENTRE FATORES AMBIENTAIS, TEMPO DE SECAGEM E ATRIBUTOS SENSORIAIS DE QUALIDADE DO CAFÉ ARÁBICA DO CAPARAÓ, AVALIADAS EM DIFERENTES DATAS DE COLHEITA. 2021.

TESNIÈRE, C.; FLANZY, C. Carbonic Maceration Wines. In Advances in Food and Nutrition Research; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2011; pp. 1–15.