



PEDRO HENRIQUE TOLEDO DA COSTA

**INFLUÊNCIA DA FERMENTAÇÃO NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS DE CAFÉ ARÁBICA VARIEDADE CATUAI 62**

**LAVRAS-MG
2023**

PEDRO HENRIQUE TOLEDO DA COSTA

**INFLUÊNCIA DA FERMENTAÇÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE CAFÉ
ARÁBICA VARIEDADE CATUAI 62**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Agronomia, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Flávio Meira Borém
Orientador

Me. Luana Haerberlin
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

RESUMO

Com o avanço da tecnologia no universo cafeeiro e surgimento de novas alternativas para obtenção de um café de qualidade, o processamento de fermentação vem ganhando notoriedade na cafeicultura nacional. Sabe-se que para a realização de fermentação controlada de forma eficaz, os fatores como a variedade utilizada, a microbiota (natural do café ou inoculada), o processamento (via seca ou via úmida), dentre outros diversos aspectos, podem influenciar na qualidade final da bebida. Como a fermentação do café ainda é uma prática recente, não são apresentados estudos científicos sobre a sua interferência nas propriedades físicas do café, principalmente em relação à modificação da massa específica aparente e coloração dos grãos diante de diferentes tempos de fermentação. Portanto, o intuito deste trabalho é analisar a interferência da fermentação controlada nas propriedades físicas dos grãos de café Catuaí Amarelo 62, cultivados em duas diferentes altitudes e submetidos a diferentes tempos de fermentação. O experimento foi desenvolvido na região da Serra da Mantiqueira de Minas, onde foi realizada a colheita de frutos de café da variedade em estudo cultivada a 980 m e a 1240 m. Os frutos colhidos foram divididos em 5 tempos de fermentação para cada altitude, sendo eles: 0, 48, 72, 96 e 120 h, contanto com 3 repetições para cada tempo. Foram realizadas aferições de temperatura da massa e °brix da mucilagem do café fermentado a cada 12 horas. Após a fermentação, os cafés foram destinados para a secagem, descanso e beneficiamento. Então, foram realizadas as análises de cor e de massa específica dos grãos beneficiados crus. Os resultados indicaram que após o período de 48h as alterações na temperatura e no °brix se estabilizaram, demonstrando que os microrganismos haviam reduzido ou até mesmo finalizado o processo fermentativo. Para este trabalho, a coloração dos grãos não sofreu interferência ao passar do tempo de fermentação. Por outro lado, a massa específica reduziu a partir de 72 h de fermentação. Portanto, de acordo com as condições do experimento, os parâmetros de fermentação e propriedades físicas dos grãos analisadas, recomenda-se fermentação para Catuaí Amarelo 62 de 48 h. Pois após esse período os resultados das análises apresentam efeitos que podem ser considerados negativos,, como uma redução abrupta da massa específica, o que consequentemente trará prejuízos ao valor do produto.

Palavras-chave: Cor; Massa específica; °Brix; temperatura; Café fermentado.

ABSTRACT

With the advancement of technology in the coffee industry and the emergence of new alternatives for obtaining quality coffee, fermentation processing has been gaining prominence in national coffee cultivation. It is known that for effective controlled fermentation, factors such as the variety used, the microbiota (natural or inoculated), the processing method (dry or wet), among other diverse aspects, can influence the final quality of the beverage. As coffee fermentation is still a recent practice, there are no scientific studies on its interference in the physical properties of coffee, especially regarding the modification of its apparent specific mass and the color of the beans with different fermentation times. Therefore, the purpose of this study is to analyze the interference of controlled fermentation on the physical properties of Catuaí Amarelo 62 coffee beans, cultivated at two different altitudes and subjected to different fermentation times. The experiment was conducted in the Serra da Mantiqueira region of Minas, where coffee fruits of the variety under study were harvested at 980 m and 1240 m altitudes. The harvested fruits were divided into 5 fermentation times for each altitude, namely: 0, 48, 72, 96, and 120 hours, with 3 repetitions for each time. Measurements of the mass temperature and mucilage °Brix of the fermented coffee were taken every 12 hours. After fermentation, the coffees were subjected to drying, resting, and processing. Color and specific mass analyses were then performed on the raw processed beans. The results indicated that after the 48-hour period, changes in temperature and °Brix stabilized, indicating that the microorganisms had reduced or even finished the fermentation process. For this study, the color of the beans did not undergo any interference as fermentation time passed. On the other hand, the specific mass decreased after 72 hours of fermentation. Therefore, according to the experiment conditions, the fermentation parameters and physical properties of the analyzed beans, it is recommended to ferment Catuaí Amarelo 62 for 48 hours. After this period, the results of the fermentation process analyses no longer indicate any effects, not to mention that shortly after this period (at 72 hours), there is a sharp decrease in specific mass, which consequently brings losses to the product value.

Keywords: Color; Bulk density; Brix; temperature; Fermented coffee.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do desenho experimental.	15
Figura 2 – Valores médios de temperatura ao longo da fermentação por 48 h.	18
Figura 3 – Valores médios de °Brix para os diferentes tempos de fermentação.	20
Figura 4 – Valores médios de temperatura para os diferentes tempos de fermentação.	21
Figura 5 – Valores médios de brix para os diferentes tempos de fermentação.	22
Figura 6 – Valores médios de temperatura para os diferentes tempos de fermentação.	22
Figura 7 – Valores médios de brix para os diferentes tempos de fermentação.	23
Figura 8 – Valores médios de temperatura para os diferentes tempos de fermentação.	25
Figura 9 – Valores médios de brix para os diferentes tempos de fermentação.	26
Figura 10 – Resultados médios para a coordenada b dos grãos beneficiados crus de café arábica var. Catuaí Amarelo 62, sob diferentes períodos de fermentação.	27
Figura 11 – Resultados médios para a massa específica dos grãos beneficiados crus de café arábica var. Catuaí Amarelo 62, sob diferentes períodos de fermentação.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temperatura média (°C), a cada 12 horas de fermentação, ao longo de 0, 48, 72, 96 e 120 horas de fermentação, para cafés arábica var. Catuaí Amarelo 62 naturais com fermentação sólida e anaeróbica, provenientes de 980 e 1240 metros de altitude. 16	
Tabela 2 – Brix médio (°), a cada 12 horas de fermentação, ao longo de 0, 48, 72, 96 e 120 horas de fermentação, para cafés arábica var. Catuaí naturais com fermentação sólida e anaeróbica, provenientes de 980 e 1240 metros de altitude. 18	18
Tabela 3 – Resultados médios para o °Brix dos frutos do café arábica var. Catuaí Amarelo 62 de diferentes altitudes sob fermentação por 48 horas. 19	19
Tabela 4 – Valores para as coordenadas L , a , b e massa específica do café. 26	26
Tabela 5 – Resultados médios para a coordenada b dos grãos beneficiados cru de café arábica var. Catuaí Amarelo 62 de altitude 980 e 1240 m, sob diferentes períodos de fermentação..... 27	27
Tabela 6 – Resultados médios para a coordenada b dos grãos beneficiados crus de café arábica var. Catuaí Amarelo 62, sob diferentes períodos de fermentação. 27	27
Tabela 7 – Análise de Variância: Temperatura para fermentação de 48 horas 35	35
Tabela 8 – Análise de Variância: Brix para fermentação de 48h 35	35
Tabela 9 – Análise de Variância: Temperatura para fermentação de 72 h 35	35
Tabela 10 – Análise de Variância: Brix para fermentação de 72 h 36	36
Tabela 11 – Análise de Variância: Temperatura fermentação de 96 h..... 36	36
Tabela 12 – Análise de Variância: Brix fermentação de 96h 36	36
Tabela 13 – Análise de Variância: Temperatura fermentação de 120 h..... 37	37
Tabela 14 – Análise de Variância: Brix fermentação de 120h 37	37
Tabela 15 – Análise de Variância: Coordenada L 37	37
Tabela 16 – Análise de Variância: Coordenada a 37	37
Tabela 17 – Análise de Variância: Coordenada b 38	38
Tabela 18 – Análise de Variância: Massa específica aparente 38	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVO.....	8
3	REFERENCIAL TEÓRICO	9
3.1	Interferência da altitude na produção de cafés	9
3.2	Aspectos gerais da cultivar.....	10
3.3	Fermentação	10
3.4	Propriedades físicas dos grãos de cafés	13
4	MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1	Análise dos processos fermentativos	14
4.2	Análise de cor.....	15
4.3	Análise de massa específica aparente	15
4.4	Representação esquemática experimental.....	15
4.5	Análise estatística.....	16
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
6	CONCLUSÃO	29
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
	APÊNDICE.....	35

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das commodities de mais importância dentro do cenário agrícola mundial, sendo responsável por alavancar a economia de diversos países e ser cultivado por mais de 50. Segundo a EMBRAPA, a expectativa de safra mundial para o ano agrícola 2022/2023 é de 171 milhões de sacas, produção essa que atende a demanda de um produto que é a segunda bebida mais consumida do planeta.

Dentre esses países, Brasil, Vietnã, Colômbia, Honduras e Etiópia se destacam. Juntos, são responsáveis por mais de 60% da produção mundial de café, sendo o Brasil o maior produtor e exportador, com vastas plantações espalhadas por seu território, principalmente nas regiões do Sul, mais precisamente o estado do Paraná, e do Sudeste.

A cafeicultura é uma atividade que contribui para a geração de empregos e renda em muitas regiões rurais. Além disso, a produção de café também desempenha um papel importante na preservação do meio ambiente, já que as áreas de cultivo muitas vezes são cercadas por florestas e *habitats* naturais.

A altitude é um fator crucial para produção do grão, pois afeta diretamente suas propriedades físicas e, conseqüentemente, seu sabor e aroma. Diversos estudos têm comprovado a influência da altitude na qualidade do café. Em altitudes mais baixas, observa-se um acúmulo antecipado de amido nos frutos do cafeeiro. Isso implica que o enchimento dos grãos se torna mais crítico em altitudes menores, já que a planta completa esse processo em menos tempo (SILVEIRA et al., 2015).

Além disso, a altitude também afeta a maturação dos frutos do café. Em altitudes mais elevadas, as temperaturas são mais baixas. Assim, nesse ambiente, os frutos amadurecem mais lentamente. Isso proporciona um desenvolvimento mais uniforme dos sabores e aromas do café (BERTRAND *et al.*, 2003).

A altitude também influencia outros aspectos físicos do grão, como tamanho e massa específica. Em altitudes mais elevadas, os grãos de café tendem a ser menores e mais densos, o que está relacionado a uma maior concentração de sólidos solúveis, responsáveis pelo sabor e corpo da bebida (DAMATTA et al., 2003; KAWAKAMI et al., 2014; MONTAGNON et al., 2005).

Com o avanço da tecnologia no meio cafeeiro nos últimos anos, novas alternativas de processamento têm se tornado cada vez mais atrativas para os produtores, sendo assim, a busca de inovações nessa área se faz necessária para atender tais demandas.

Entre as tecnologias disponíveis, uma opção é a fermentação controlada dos frutos de café. No entanto, para que esse processo ocorra adequadamente, é crucial considerar diversos

fatores que podem impactar no resultado final. Alguns desses fatores incluem a microbiota presente no meio, a presença ou não de culturas iniciadoras, temperatura ambiente e temperatura da massa em fermentação, PH e °Brix da mucilagem.

A fermentação é um processamento que ocorre sem oxigênio, sendo um processo metabólico que tem como base a modificação de açúcares. Para que esse procedimento tenha sucesso, é necessário que se tenha a presença de microrganismos, como leveduras, bactérias e/ou fungos, que degradam a mucilagem do fruto e produzindo enzimas, álcoois e ácidos, podendo originar cafés de excelente qualidade (SCHWAN; FLEET, 2014).

A massa específica é a propriedade física que relaciona a massa e o volume dos grãos, sendo capaz de indicar a quantidade de matéria seca presentes neles. É importante ressaltar que a concentração de massa interfere no processo de aquecimento dos grãos na torração. O café torrado em temperaturas elevadas demonstra expansão volumétrica mais acentuada e poros maiores, auxiliando na migração de óleo e na oxidação no período de armazenamento (GEIGER, 2004; SCHENKER et al., 2000), o que contribui para uma queda na qualidade da bebida e conseqüentemente no valor de mercado.

Diante do exposto, é possível perceber a necessidade de estudos sobre a influência da fermentação nas propriedades físicas dos grãos de café, que conseqüentemente, são relacionadas com a qualidade final do produto. Portanto o objetivo deste trabalho é analisar a interferência da fermentação anaeróbica controlada nas propriedades físicas de café Catuaí Amarelo 62.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é investigar como a fermentação controlada afeta as características físicas finais dos grãos de café Catuaí Amarelo 62, levando em consideração o tempo de fermentação e duas altitudes distintas.

2.2 Objetivos específicos

Acompanhar o processo fermentativo ao longo do tempo, através de análises do °Brix e da temperatura da fermentação.

Averiguar a interferência da altitude na fermentação anaeróbica do café Catuaí Amarelo 62 em diferentes tempos.

Analisar a interferência da fermentação controlada nas propriedades físicas cor e massa específica dos grãos de café crus.

Descobrir o melhor tempo de fermentação para café Catuaí Amarelo 62 de acordo com as condições deste trabalho.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Interferência da altitude na produção de cafés

A qualidade do café é afetada pela altitude em que é cultivado, uma vez que as condições ambientais têm um impacto direto nas características dos grãos (SILVA; ANDRADE, 2017). É importante considerar as interações complexas que ocorrem entre a temperatura, a pressão atmosférica, a luminosidade e a radiação solar. Esses fatores desempenham um papel fundamental na determinação da densidade dos grãos, tamanho, aromas e sabores resultantes (SILVA; NETO; VILAS BOAS, 2016). Por essa razão, muitos produtores e negociantes de café especial estão buscando produzir em altitudes mais elevadas, com o objetivo de alcançar bebidas de qualidade excepcional e sabores distintos.

De modo geral, pesquisas apontam que a produção em altitudes mais elevadas afeta diversos fatores como exposição ao sol, temperatura, umidade atmosférica, disponibilidade de água e nutrientes. Essas variações ambientais têm consequências diretas nas características da planta de café, que, por sua vez, influenciam o sabor, o aroma, a acidez e a estrutura da bebida final (ARANTES, 2014; VIANI, 2014).

De acordo com um estudo realizado por Davis et al. (2003), a altitude em que os grãos de café são cultivados pode influenciar significativamente a composição química da bebida. Os pesquisadores analisaram cafés cultivados a 400, 800 e 1200 metros acima do nível do mar e descobriram que a concentração de cafeína aumentou gradualmente com a elevação da altitude.

Outro estudo conduzido por Farah e colaboradores (2005) investigaram o impacto da altitude do cultivo nas concentrações de ácido clorogênico e polifenóis em grãos de café. Os resultados mostraram que a concentração desses compostos também aumentou com a altitude. Além disso, os polifenóis encontrados nos grãos de café cultivados em altitudes mais elevadas apresentaram maior atividade antioxidante em comparação com os cultivados em áreas mais baixas.

Esses estudos indicam que a altitude tem um papel importante na determinação da composição química dos grãos de café e, subsequentemente, na qualidade e características sensoriais da bebida. No entanto, é importante ressaltar que outros fatores, como variedade do

café e práticas de cultivo, também podem influenciar os resultados (DAVIS; GOLE; BAENA, 2003; FARAH et al., 2005).

Embora a altitude seja um fator-chave na produção de cafés de alta qualidade, outros componentes do ambiente de cultivo e as práticas de manejo são igualmente importantes na determinação da excelência do café. A combinação desses fatores pode resultar em bebidas especiais, com sabores distintos e características únicas (WINTGENS et al., 2004).

3.2 Aspectos gerais da cultivar

O Catuaí Amarelo 62, produzido no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), é uma das variantes extensivamente plantadas em território brasileiro. Essa cultivar de café traz consigo atributos únicos, que a tornam interessante aos agricultores.

Ele surge como fruto de um encontro entre as variedades Mundo Novo e Caturra. Seu principal destaque reside em sua abundante produtividade. Além disso, essa cultivar é resistente contra a ferrugem, uma doença que pode destruir os cafezais (ABIC, 2023). Em termos de qualidade de bebida, o Catuaí Amarelo 62 é apreciado por ter uma boa acidez, corpo médio e aroma envolvente. Seus grãos são geralmente classificados como bebida dura e mole, o que é ideal para a produção de cafés especiais (WINTGENS, 2004).

Sob uma perspectiva agrônômica, a sua versatilidade se destaca, sendo capaz de se adaptar com facilidade a uma variedade de condições de solo e clima. Desse modo, demonstra excelente resistência à seca e capacidade de suportar temperaturas elevadas em comparação a outras variedades de café, essa cultivar se torna uma opção bastante procurada em regiões com climas mais quentes, onde outras espécies enfrentam desafios na sua produção (SANTOS et al., 2019).

O Catuaí Amarelo 62 é reconhecido e desejado no mercado nacional e internacional. Sua impressionante eficiência na produção e excelência no sabor fazem dele uma escolha rentável para os agricultores, além de atender às mais altas exigências, sendo elas a produtividade, adaptabilidade e a qualidade.

3.3 Processamento do café

Uma das maneiras de garantir a produção de cafés de alta qualidade é trabalhar com lotes homogêneos e seguir boas práticas pós-colheita em todas as etapas, desde a colheita até a secagem. O café, como planta, apresenta diferentes estágios de maturação em um único pé. Portanto, durante a colheita, é necessário observar esses diferentes estágios e separá-los em

lotes, como café verde, verde-cana, maduro e passa. É importante seguir recomendações específicas de pós-colheita para cada tipo de lote, a fim de preservar a qualidade inicial do produto. Assim, a colheita seletiva desempenha um papel fundamental na produção de cafés de qualidade superior (BORÉM, 2015).

No processo de homogeneização dos lotes, máquinas como o lavador hidráulico são utilizadas para separar por densidade os cafés bóia dos cafés maduros e verdes. Na via úmida, é removida a casca do café, resultando no café cereja descascado – "CD". Já na via seca, os frutos são processados sem a remoção da casca, apresentando maior teor de água em comparação com o CD. (Borém, 2015)

Considerando as diferentes formas de processamento do grão de café, a decisão de como realizá-lo é crucial para garantir a rentabilidade da atividade cafeeira, levando em conta diversos fatores. Diante de tantas variáveis a serem consideradas, os produtores se questionam sobre a melhor opção: descascar o café ou produzir cafés naturais. Essa resposta não é simples e requer o uso de ferramentas de tomada de decisão, além dos cálculos que o produtor deve ser capaz de realizar, levando em conta os custos fixos e variáveis envolvidos (BORÉM, 2015b).

Um processamento que vem ganhando notoriedade no universo cafeeiro nos últimos tempos é a fermentação, sendo a mesma um elemento de extrema relevância para a criação das características sensoriais únicas a cafés especiais. Sua ocorrência prevê interação entre a população de microrganismos e os grãos de café, resultando na metabolização dos açúcares e outros compostos encontrados nos grãos. Como consequência desses processos metabólicos, são produzidos ácidos, álcoois e outras substâncias que dão origem a notas únicas de sabor e aroma presentes nos cafés especiais (SILVA et al., 2020).

Durante essa etapa, ocorre uma série de transformações químicas que influenciam diretamente as características sensoriais e químicas da bebida final. Dentre as variáveis que podem ser controladas nesse processo, destacam-se o °Brix, temperatura e pH.

Primeiramente apresente os métodos de fermentação: sólida; semissólida e com imersão. Quanto à movimentação: sem agitação ou com agitação.

O processo fermentativo pode ser conduzido em diferentes temperaturas e por diferentes períodos de tempo, dependendo do perfil de sabor e aroma desejado pelo produtor. Alguns produtores preferem fermentações mais curtas e quentes, enquanto outros preferem fermentações mais longas e frias (SILVA et al., 2020).

Além da fermentação anaeróbica, o processo de fermentação em ambiente aeróbico também é uma opção, entretanto este processamento favorece a respiração e não a fermentação. A respiração acontece na presença de oxigênio, por meio da oxidação de alguma fonte de

energia (preferivelmente açúcares). Na respiração ocorre liberação de água, dióxido de carbono e ATP. Na fermentação, o aceptor final de hidrogênio não é o oxigênio, mas um radical orgânico, resultando da “respiração anaeróbica” o gás carbônico, uma substância orgânica (como álcoois, ácidos) e ATP. Entretanto, a quantidade de ATP produzida pela fermentação é inferior do que pela respiração. Então, na presença de oxigênio, os microrganismos aeróbicos e os grãos vão realizar respiração ao mesmo tempo que os microrganismos anaeróbicos vão ter dificuldade de realizar fermentação devido à presença de oxigênio. Durante essa técnica, os grãos de café são expostos ao ar ambiente, permitindo que os microrganismos presentes na atmosfera realizem a metabolização dos açúcares e outros compostos encontrados nos grãos (SILVA; LIMA; GOMES, 2019). Podendo resultar em características de sabor e aroma distintos, como notas frutadas, florais ou herbáceas. No entanto, é importante ressaltar que esse método é menos controlado e apresenta a possibilidade de contaminação (SMITH, 2021).

O °Brix representa a concentração de sólidos solúveis no mosto de fermentação, concentração essa que varia durante a fermentação controlada do café. Na etapa inicial desse processo, os açúcares presentes na mucilagem sofrem hidrólise e fermentação pela microbiota presente no ambiente. Essa transformação resulta na produção de metabólitos secundários, como alguns ácidos que conferem ao café fermentado seu sabor e aroma característicos. À medida que o processo de fermentação continua, os açúcares são consumidos, impactando na diminuição do °Brix da solução (BORÉM; SILVA; PADILHA, 2019).

A temperatura é um fator importante na fermentação, pois influencia a atividade dos microrganismos envolvidos. Temperaturas mais altas aceleram as reações químicas e biológicas, permitindo uma fermentação mais rápida e intensa. Isso pode ser vantajoso em alguns casos, pois a fermentação controlada é desejada para desenvolver certas características de sabor e aroma no café. Por outro lado, temperaturas muito baixas podem retardar ou até inibir o crescimento dos microrganismos, resultando em uma fermentação incompleta. Isso pode levar a problemas de qualidade no café, como sabores indesejáveis ou deterioração do produto. Além disso, a temperatura também pode afetar a composição das espécies bacterianas presentes no ambiente de fermentação. Algumas espécies podem se destacar em temperaturas mais elevadas e ter um desempenho superior, enquanto outras podem ser mais sensíveis e apresentar um desempenho inferior em temperaturas mais baixas (RODRIGUES et al., 2019).

Por fim, o pH é uma medida da acidez da solução e pode ser influenciado pelas bactérias, fungos e leveduras utilizadas durante a fermentação controlada de café. Algumas espécies bacterianas produzem ácidos que reduzem o pH da solução, enquanto outras produzem álcalis que aumentam o pH. É importante manter esse parâmetro equilibrado durante o processo de

fermentação, pois valores muito baixos ou muito altos podem afetar negativamente a qualidade final da bebida (RODRIGUES et al., 2017).

Em resumo, a fermentação controlada de café é um processo complexo que envolve uma série de variáveis, incluindo o °Brix, temperatura e pH. É importante manter um controle adequado dessas variáveis para obter uma bebida final de alta qualidade e sabor característico e também não afete nas propriedades físicas, alterando a coloração e influenciando na massa específica dos grãos

3.4 Propriedades físicas dos grãos de cafés

Os grãos de café, como todos os outros produtos agrícolas, possuem características físicas únicas que desempenham um papel essencial na qualidade da colheita, na produtividade e na eficiência dos processos de beneficiamento e torrefação. Alguns dos diferentes aspectos físicos que distinguem os grãos de café, como por exemplo massa específica e cor.

A massa específica dos grãos de café é um atributo essencial que pode ser explorado para avaliar a excelência e consistência dos diferentes lotes de café. Essa propriedade dos grãos é a razão entre a massa de grãos e o volume que eles ocupam, incluindo os espaços granulares. Há uma série de fatores que contribuem para a densidade dos grãos, incluindo a espécie da planta, a dimensão e o grau de maturidade dos frutos, o tratamento pós-colheita e a forma de armazenamento (ALLI et al., 2017).

A cor dos grãos de café crus é uma propriedade física essencial para a identificação de sua qualidade e um fator determinante para a sua classificação. A cor é uma característica visual que pode variar entre tons de verde, amarelo, marrom e até preto, dependendo do grau de maturação e processamento dos grãos. Dentre os principais fatores que influenciam a cor dos grãos de café crus, destacam-se a variedade do café, as condições climáticas durante o cultivo, a fertilidade do solo, o nível de umidade, assim como o tipo de processamento adotado na colheita e pós-colheita do café (SCA.COFFEE, 2023).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na região da serra da Mantiqueira, no município de Cristina, Minas Gerais, Brasil, onde foram colhidos manualmente frutos de *Coffea arabica* var. Catuaí Amarelo 62, provenientes de duas altitudes diferentes (980 e 1240m). Após a colheita, os frutos foram destinados a sede de processamento da Fazenda da Pedra onde passaram por separação

hidráulica, para separação dos frutos densos (maduros e verdes) e leves (secos, mal granados). Posteriormente, os frutos densos passaram por seleção manual de frutos maduros.

Então, os frutos maduros foram destinados a fermentação em embalagens alta barreira (a gases, vapor d'água e luz), fechadas com o auxílio de braçadeiras. Ao centro das amarrações foram colocadas mangueiras que conectavam o ambiente interno dos sacos á baldes de água. Esta adaptação permite a saída do dióxido de carbono (CO₂) da embalagem de fermentação ao mesmo tempo que impede a entrada de oxigênio, garantindo um sistema anaeróbico sem acúmulo de CO₂. A fermentação sólida foi realizada por 0, 24, 48, 72, 96 e 120 horas. Para essa fase do experimento, as amostras foram transportadas pra a universidade federal de Lavras, onde também ocorreu todas as outras etapas.

Após a fermentação, as amostras foram destinadas para secagem em secadores de camada fixa, com revolvimentos a cada 30 minutos e temperatura na massa dos frutos de 40°C. A secagem foi finalizada com o teor de água de 11% (base úmida), o qual foi determinado pelo método pelo método de estufa, a 105°C, durante 16 horas, conforme a Norma ISO 6673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STARDARDIZATION - ISO, 2003). Foram feitas duas repetições para cada amostra e os valores foram expressos em porcentagem base úmida (%b.u.).

Após a secagem, as amostras passaram por um período de descanso de 30 dias em embalagens de papel envolvidas em sacos plásticos em ambiente de baixa iluminação e sem controle de temperatura e umidade relativa. Então as amostras foram beneficiadas, alocado no galpão do LPPA(Laboratório de processamento de produtos agrícolas). Posteriormente foi realizada a classificação do café, utilizando as peneiras 19, para separação de grãos muito grandes, 16 para padronização, 11 para retirada dos grãos mocas e a de fundo, para que não houvesse interferência do tamanho e formato dos grãos nas análises físicas. Logo após esses processos foram realizadas as análises de cor e massa específica.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, no sistema 2x5 [2 altitudes (980e 1240 m) x 5 tempos de fermentação (0, 48, 72, 96 e 120 horas)] com 3 repetições, totalizando 30 amostras.

4.1 Análise dos processos fermentativos

Nas embalagens herméticas onde foram alocados os cafés para fermentação, com tempo de duração de 0, 48, 72, 96 e 120h foram realizadas as determinações do °Brix dos frutos de café e temperatura da massa de grãos a cada 12h de fermentação.

A determinação do °Brix foi realizada por refratômetro manual *Biosystems*, com a utilização da mucilagem de 10 frutos, em três repetições.

Para medição de temperatura, utilizou-se termômetros *Incoterm*, que foram inseridos ao centro da massa de café. A média das leituras foi obtida após 5 min da inserção dos termômetros na massa.

4.2 Análise de cor

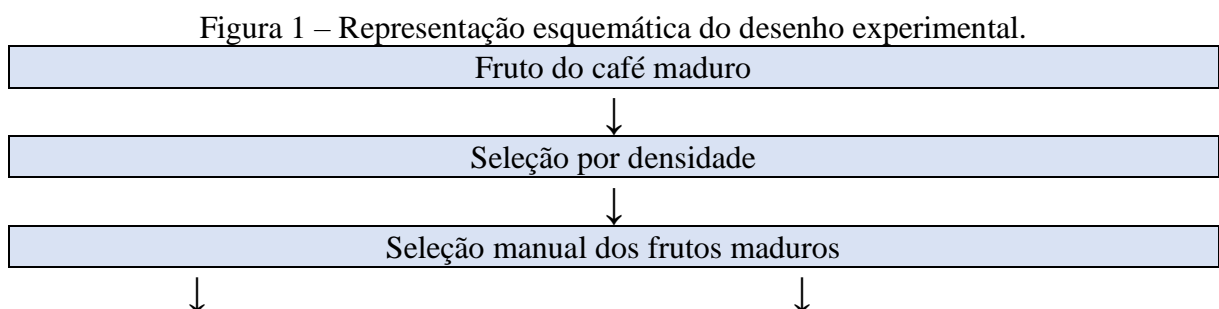
A avaliação da cor dos grãos crus de café foi realizada através de colorímetro/espectrofotômetro digital Delta Color (Delta Vista d.0) do tipo refletância, o qual foi previamente calibrado com fonte de iluminação de D65 e ângulo de observação de 10°, medindo-se os parâmetros L (luminosidade), a e b (coordenadas de cromaticidade). Nesse sistema, L indica a luminosidade, que varia de zero 0 (correspondente à cor preta) até 100 (correspondente à cor branca). As coordenadas a e b indicam as direções que a cor pode assumir, valores positivos de a correspondente ao vermelho e valores negativos, ao verde. De forma semelhante, valores positivos de b correspondem ao amarelo e valores negativos, ao azul, conforme descrito por Nobre (2005). A cor foi avaliada em quintuplicata para cada amostra.

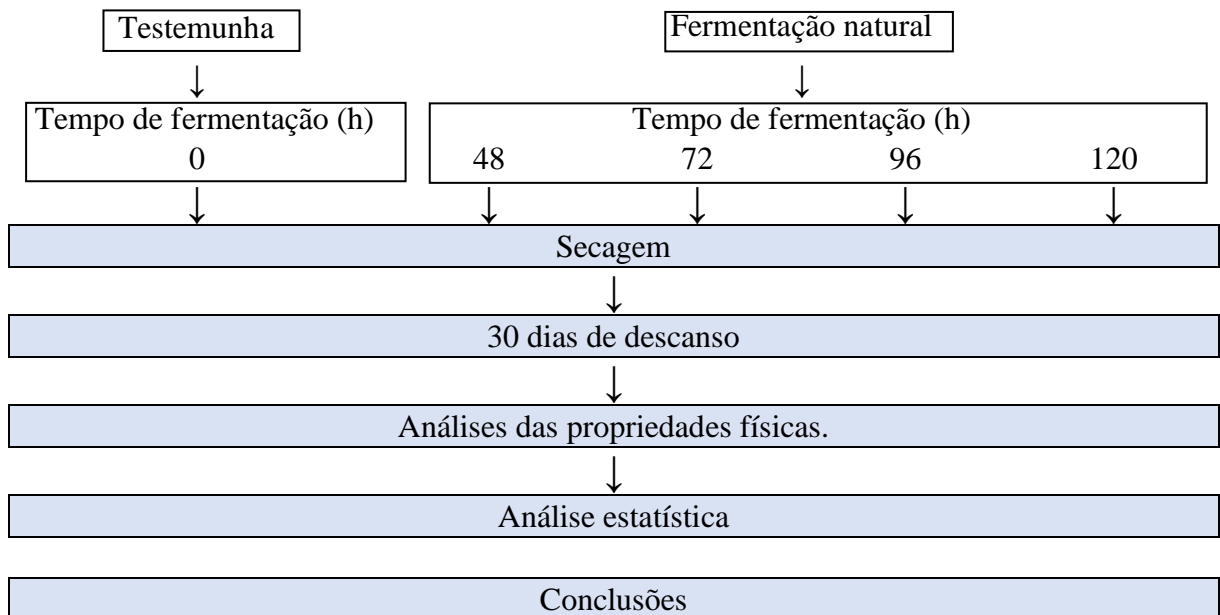
4.3 Análise de massa específica aparente

A massa específica aparente foi obtida utilizando-se uma balança de peso hectolitro com capacidade de 125 ml, conforme a metodologia da Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009). A medição ocorreu em triplicata e os resultados médios foram expressos em kg.m^{-3} .

4.4 Representação esquemática experimental

Na Figura 1, é apresentada a representação esquemática experimental, a fim de promover um melhor entendimento da metodologia utilizada.





Nº de amostras com 3 repetições: (2 altitudes + 4 tempos de fermentação + 1 testemunha) x 3 repetições = 30 amostras.

4.5 Análise estatística

Os resultados encontrados nos tratamentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Ao identificar diferenças significativas no teste F, aplicaram-se o teste de Tukey e regressão utilizando-se do *software* estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados na Tabela 1 os resultados médios obtidos ao longo do tempo de fermentação para a variável temperatura.

Tabela 1 – Temperatura média (°C), a cada 12 horas de fermentação, ao longo de 0, 48, 72, 96 e 120 horas de fermentação, para cafés arábica var. Catuai Amarelo 62 naturais com fermentação sólida e anaeróbica, provenientes de 980 e 1240 metros de altitude.

Tratamento	Tempo de fermentação (h)											
	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	
0 h	980 m	19.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1240 m	19.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Média	19.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48 h	980 m	19.67	19.34	22.28	20.92	23.78	-	-	-	-	-	-
	1240 m	19.67	19.89	22.22	20.67	24.50	-	-	-	-	-	-
	Média	19.67	19.61	22.25	20.79	24.14	-	-	-	-	-	-

	980 m	19.67	19.67	21.78	20.55	23.94	21.78	22.50	-	-	-	-
72 h	1240 m	19.67	19.89	22.00	20.56	23.89	22.94	21.89	-	-	-	-
	Média	19.67	19.78	21.89	20.56	23.92	22.36	22.20	-	-	-	-
	980 m	19.67	20.11	21.94	21.28	24.94	22.34	22.72	21.22	22.28	-	-
96 h	1240 m	19.67	19.33	22.33	20.72	24.22	22.78	22.11	21.45	22.37	-	-
	Média	19.67	19.72	22.14	21.00	24.58	22.56	22.42	21.34	22.32	-	-
	980 m	19.67	19.05	22.11	21.39	24.06	22.72	22.00	20.89	22.10	20.28	19.94
120 h	1240 m	19.67	19.58	21.94	20.83	23.95	22.39	22.11	21.11	21.71	20.22	20.28
	Média	19.67	19.32	22.03	21.11	24.00	22.56	22.06	21.00	21.91	20.25	20.11

A Tabela 2 apresenta os dados médios obtidos ao longo do tempo de fermentação para a variável °Brix.

Tabela 2 – °Brix médio (°), a cada 12 horas de fermentação, ao longo de 0, 48, 72, 96 e 120 horas de fermentação, para cafés arábica var. Catuaí naturais com fermentação sólida e anaeróbica, provenientes de 980 e 1240 metros de altitude.

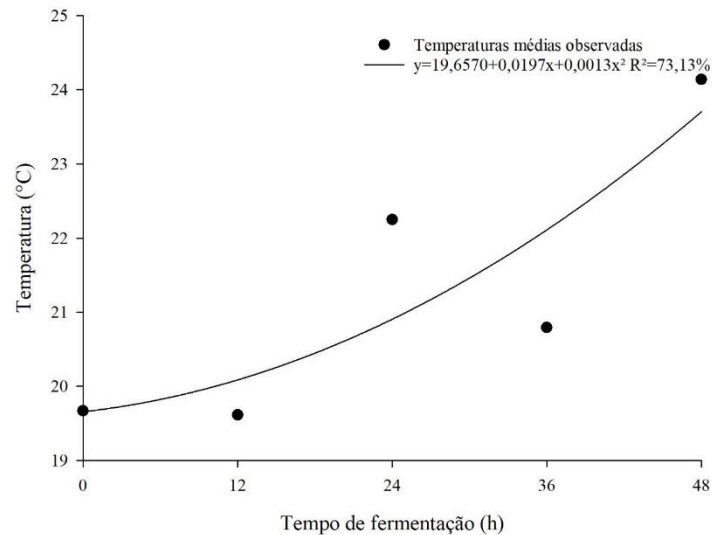
Tratamento	Tempo de fermentação (h)											
	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	
0 h	980 m	18.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1240 m	21.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Média	19.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48 h	980 m	18.50	18.50	17.72	16.83	14.83	-	-	-	-	-	-
	1240 m	21.16	19.05	17.89	18.22	16.06	-	-	-	-	-	-
	Média	19.83	18.78	17.81	17.53	15.45	-	-	-	-	-	-
72 h	980 m	18.50	18.83	16.67	16.61	16.06	14.28	13.78	-	-	-	-
	1240 m	21.16	19.00	17.28	18.78	16.17	15.72	15.39	-	-	-	-
	Média	19.83	18.92	16.97	17.69	16.11	15.00	14.58	-	-	-	-
96 h	980 m	18.50	17.00	18.50	17.00	15.06	14.45	14.00	13.11	12.22	-	-
	1240 m	21.16	19.89	17.17	18.33	15.67	16.22	15.28	14.94	14.89	-	-
	Média	19.83	18.44	17.83	17.67	15.36	15.34	14.64	14.03	13.56	-	-
120 h	980 m	18.50	18.83	17.67	17.06	15.22	14.61	13.72	13.22	12.56	12.56	11.11
	1240 m	21.16	18.22	18.56	19.05	15.72	15.39	15.50	14.78	14.78	14.61	14.45
	Média	19.83	18.53	18.11	18.06	15.47	15.00	14.61	14.00	13.67	13.58	12.78

As análises de variância foram realizadas separadamente para cada tempo de fermentação, pois esta análise exige que os tratamentos apresentem a mesma quantidade de observações para comparação. Como as determinações dos parâmetros de fermentação foram determinadas a cada 12 horas e, a cada 24 h as amostras dos determinados tratamentos foram destinadas à secagem, interrompendo as medições, desta forma os tratamentos ficaram com números de observações diferentes, não havendo possibilidade de comparação. Assim, a seguir são apresentados separadamente os resultados para temperatura e brix do processo de fermentação dos frutos de café arábica por 48, 72, 96 e 120 h.

As tabelas de análise de variância de temperatura e °Brix, para todos tratamentos de fermentação estão apresentadas no APÊNDICE.

De acordo com a análise de variância para fermentação por 48h o fator de variação altitude não apresentou diferença significativa entre os valores de temperatura. Entretanto, foram verificadas variações de temperatura ao longo da fermentação, independentemente da altitude de produção do café. Os resultados obtidos por meio da análise de regressão, para a temperatura média da massa de café ao longo da fermentação de 48 h, foram apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Valores médios de temperatura ao longo da fermentação por 48 h.



A Figura 2 demonstra que houve elevação da temperatura ao longo da fermentação por 48h. Assim o aumento da temperatura percebido indica que ocorreu fermentação nos frutos de café durante esse tempo.

Os resultados da análise de variância do °Brix ao longo da fermentação sólida de café arábica por 48 horas indicaram diferença significativa na quantidade de sólidos solúveis de acordo com a altitude de produção e os resultados médios são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados médios para o °Brix dos frutos do café arábica var. Catuaí Amarelo 62 de diferentes altitudes sob fermentação por 48 horas.

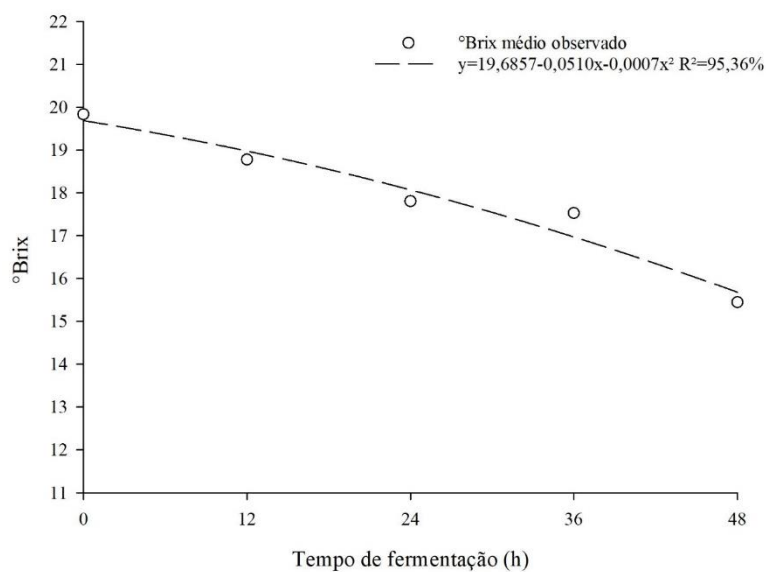
Altitude (m)	°Brix médio
980	17,2780 b
1240	18,4760 a

*Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Como observado na Tabela 3, os maiores teores de °Brix foram encontrados para os cafés de maior altitude. Estudos indicam que o aumento da altitude dos cafezais tem impacto em vários aspectos como a incidência solar, as condições de temperatura, a umidade do ar, a disponibilidade de água e nutrientes, fatores estes os quais justificam as diferenças nos valores de °Brix em relação a altitude. Essas alterações ambientais possuem efeitos significativos nas características da planta de café, o que conseqüentemente afeta o sabor, aroma, acidez e composição da bebida final (ARANTES, 2014; VIANI, 2014).

Além disso, a quantidade de sólidos solúveis da mucilagem apresentou diferença significativa ao longo do tempo de fermentação, entretanto, esta variação não depende da altitude de produção. Isto indica que, apesar da maior quantidade de sólidos solúveis apresentada pelos frutos da altitude de 1240 m, o comportamento ao longo da fermentação por 48h foi similar aos frutos de café produzidos a 980 m. Assim, na Figura 3, foram apresentados os valores médios de °Brix ao longo da fermentação por 48h.

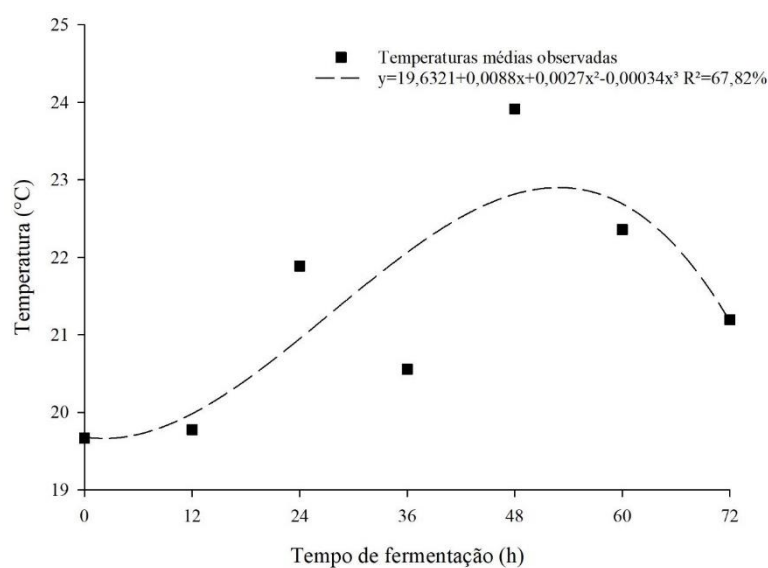
Figura 3 – Valores médios de °Brix para os diferentes tempos de fermentação.



Percebe-se que ao longo da fermentação no intervalo de 0 a 48h houve redução do °Brix da mucilagem dos frutos, desta forma se entende que houve consumo dos sólidos solúveis, principalmente a sacarose, comprovando o processo fermentativo.

De acordo com a ANOVA, não foram apresentadas diferenças significativas de acordo com a altitude de produção e a variação de temperatura ao longo do tempo de 72h foram independentes da altitude, sendo apresentados apenas os valores médios da temperatura ao longo da fermentação (Figura 4).

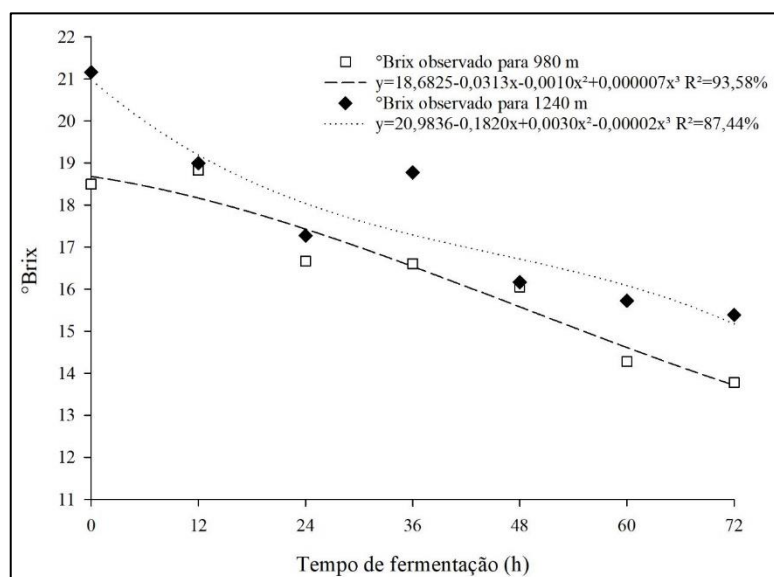
Figura 4 – Valores médios de temperatura para os diferentes tempos de fermentação.



Nota-se que a temperatura se elevou até 48h de fermentação, comparando os dados das Figuras 2 e 4, após isso percebe-se uma certa redução na mesma, o que pode indicar que após 48h de fermentação pode ter sido reduzida. Aumento nas temperaturas impulsiona a velocidade das reações químicas e biológicas, resultando em uma fermentação turbulenta e acelerada. Tal fenômeno pode ser benéfico em determinadas situações, uma vez que é desejável controlar a fermentação para realçar os sabores e aromas característicos do café (RODRIGUES et al., 2019), o que comprova que a redução na temperatura contribuiu com a diminuição do processo fermentativo.

Por meio da análise de variância pode ser observado que as variações no °Brix da mucilagem ao longo da fermentação são dependentes da altitude em que o café foi produzido e o tempo da fermentação, apresentando significância para a interação. Assim, é apresentada a variação do °Brix para os cafés produzidos em 980 e 1240 m, ao longo de 72h de fermentação (Figura 5).

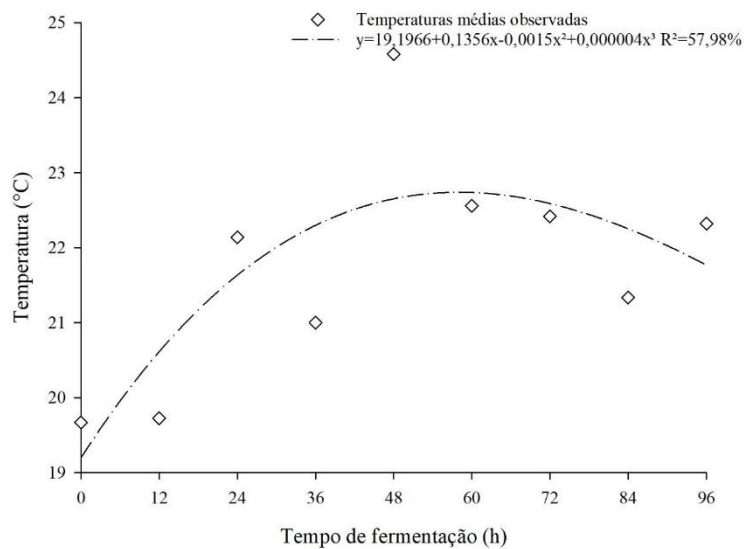
Figura 5 – Valores médios de brix para os diferentes tempos de fermentação.



Percebe-se para as duas altitudes as medições de °Brix foram reduzindo ao longo do tempo até as 72h, porém essa redução se mostra de forma mais intensa para a altitude de 1240m, o que pode ser justificado pela mesma ter apresentado maior concentração de sólidos solúveis desde o início, como apresentado na Figura 6. À medida que o processo de fermentação continua, os açúcares são consumidos, impactando na diminuição do °Brix da solução (BORÉM; SILVA; PADILHA, 2019), desta forma se comprova que o processo fermentativo foi reduzido.

Os resultados da Figura 6 demonstram que, segundo ANOVA, não houve diferenças significativas observadas com base na altitude de produção, porém houve variação de temperatura ao longo de 96 horas. Estas constatações permaneceram constantes independentemente da altitude, com apenas os valores médios sendo exibidos.

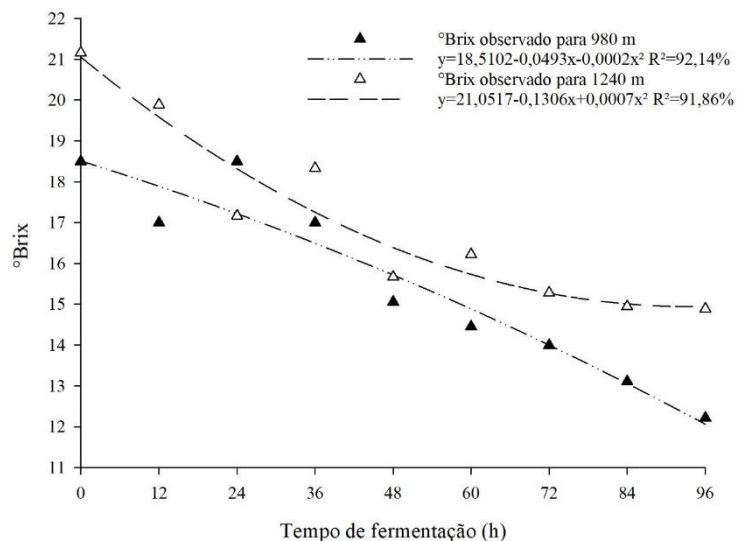
Figura 6 – Valores médios de temperatura para os diferentes tempos de fermentação.



Ao analisar os dados da Figura 7 percebe-se se teve alterações na temperatura para o tempo de 96h, porém de forma menos intensa que os tempos anteriores, demonstrando que a fermentação continuou de forma reduzida a partir do tempo de 48 h.

Ao utilizar a técnica de análise de variância, é possível observar que as mudanças no teor de °Brix da mucilagem durante a fermentação do café são afetadas tanto pela altitude de cultivo quanto pelo tempo de fermentação, para fermentação com duração e 96 h. É importante ressaltar a interação entre esses dois fatores. Com isso, podemos demonstrar as variações no teor de °Brix nos grãos de café cultivados a 980 e 1240 metros de altitude ao longo de um período de 96 horas de fermentação.

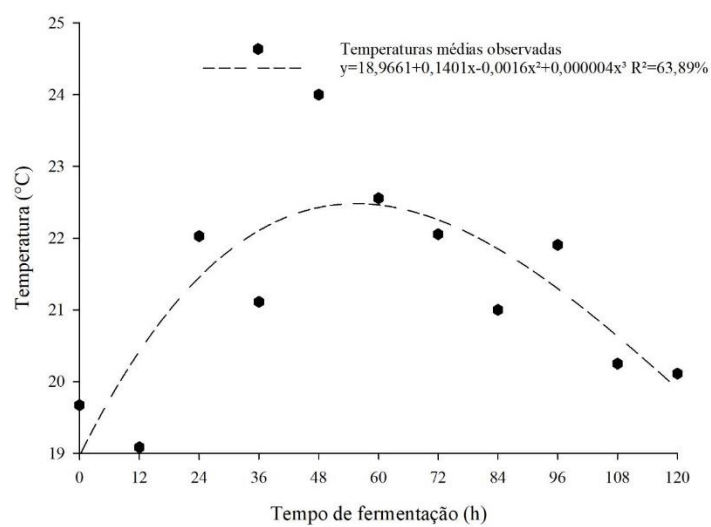
Figura 7 – Valores médios de brix para os diferentes tempos de fermentação.



Percebe-se para as duas altitudes as medições de °Brix foram reduzindo ao longo do tempo até 96 h, assim como para o tempo de 72h, da mesma forma a redução se torna ainda mais pronunciada na altitude mais elevada, o que pode ser atribuído ao fato de que essa altitude apresentou uma concentração mais elevada de sólidos solúveis desde o início, como evidenciado na Tabela 2. No tempo de 96h também foi percebido uma estabilidade das medições, se mantendo de forma semelhante ao tempo de 72 h, reforçando que o processo fermentativo foi mais evidente até o tempo de 48h.

As constatações extraídas da Figura 8 apontam que não houve discrepâncias notáveis considerando a altitude de produção e a flutuação da temperatura durante um período de 120 horas. Estas conclusões se mantiveram uniformes, independentemente da altitude, revelando somente os valores médios.

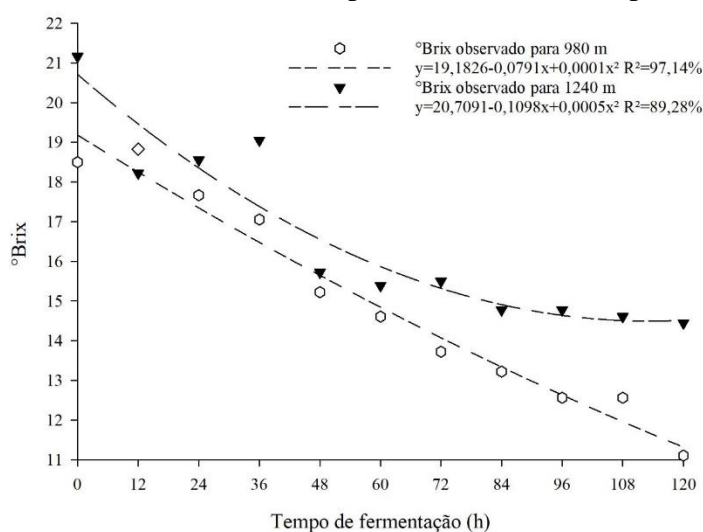
Figura 8 – Valores médios de temperatura para os diferentes tempos de fermentação.



Como demonstrado anteriormente, para os tempos de 72 e 96h, ao completar 120h de processo fermentativo as medições de temperatura continuaram em queda, deixando ainda mais evidente que havia redução ou finalização na fermentação a partir das 48h.

Utilizando a técnica da análise de variância, é possível notar que as alterações no teor de °Brix da mucilagem durante o processo de fermentação são influenciadas tanto pela altitude na qual o café foi cultivado quanto pelo tempo de fermentação, destacando-se a importância da interação entre esses fatores. Dessa forma, são demonstradas as alterações no teor de brix para os grãos de café produzidos a 980 e 1240 metros de altitude ao longo de um período de 120 horas de fermentação (Figura 9).

Figura 9 – Valores médios de brix para os diferentes tempos de fermentação.



Observa-se que, para ambas as altitudes, as medições de °Brix diminuíram ao longo do tempo até atingir 120 horas. Da mesma forma, para o tempo de 72 e 96h, a redução se tornou ainda mais acentuada na altitude mais elevada. Além disso, no tempo de 120 horas, também foi observada uma diminuição na redução das medições, o que reforça que o processo fermentativo foi mais evidente até o tempo de 48 horas.

Na Tabela 4 podem ser observados os valores médios para as coordenadas de cor (L , a e b) e os valores médios obtidos nas análises de massa específica para as diferentes amostras.

Os resultados para as análises das propriedades físicas foram possíveis de serem analisados estatisticamente com a presença de todos os tempos, pois todos os tratamentos contavam com o mesmo número de amostras.

Tabela 4 – Valores para as coordenadas L , a , b e massa específica do café.

Altitude (m)	Tempo de fermentação (h)	L^*	a^*	b^*	Massa específica aparente ($\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$)
980	0	50.857	1.108	11.040	627.058
	48	50.455	1.208	12.091	605.677
	72	50.608	1.269	11.939	607.911
	96	50.226	1.618	12.143	574.957
	120	50.213	1.355	11.829	573.293

	0	50.577	0.923	10.527	628.767
	48	51.093	1.148	11.835	620.920
1240	72	49.659	1.385	10.651	608.041
	96	50.107	1.347	11.303	577.138
	120	50.475	1.052	11.077	573.293

De acordo com a análise de variância realizada, não foram encontradas diferenças significativas para as coordenadas L e a , para os fatores de variação altitude de produção e tempo de fermentação, da mesma forma, a interação não apresentou diferença significativa. Existem diversos elementos que exercem influência sobre a tonalidade dos grãos de café não torrados. Entre eles, podemos mencionar a espécie da planta de café, as características meteorológicas durante o período de cultivo, a qualidade do solo, o nível de umidade presente e até mesmo os métodos utilizados na colheita e no processamento do café (SCA.COFFE, 2023), porém o processamento do café via natural com fermentação não apresentou diferenças para este trabalho em comparação ao mesmo café somente natural.

Para a coordenada b , foram apresentadas diferenças significativas de acordo com a altitude de produção e com o tempo de fermentação. No entanto, a interação entre os dois fatores não foi significativa, desta forma apresentaram-se os dados médios na Tabela 5 e 6 bem como na Figura 10.

Tabela 5 – Resultados médios para a coordenada b dos grãos beneficiados cru de café arábica var. Catuaí Amarelo 62 de altitude 980 e 1240 m, sob diferentes períodos de fermentação.

Altitude (m)	Coordenada b
980	11,8085 a
1240	11,0785 b

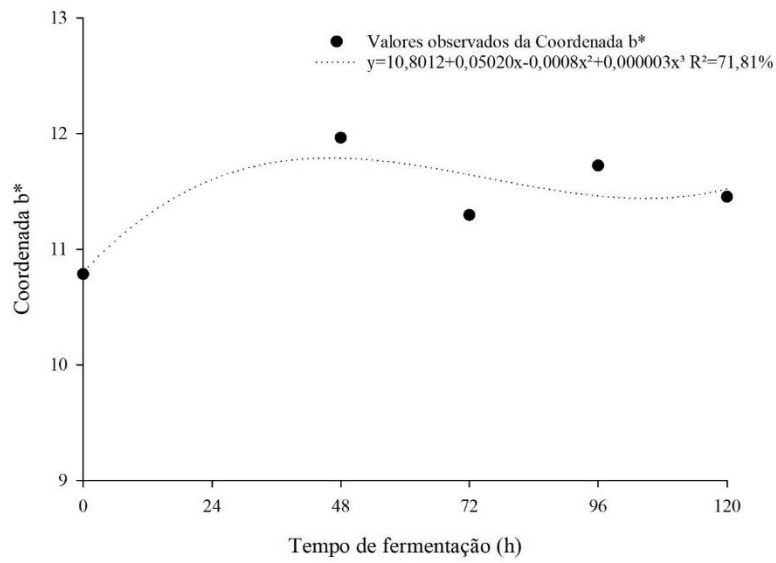
*Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6 – Resultados médios para a coordenada b dos grãos beneficiados crus de café arábica var. Catuaí Amarelo 62, sob diferentes períodos de fermentação.

Tempo de fermentação (h)	Coordenada b
0	10,7837 b
48	11,9630 a
72	11,2950 ab
96	11,7230 ab
120	11,4530 ab

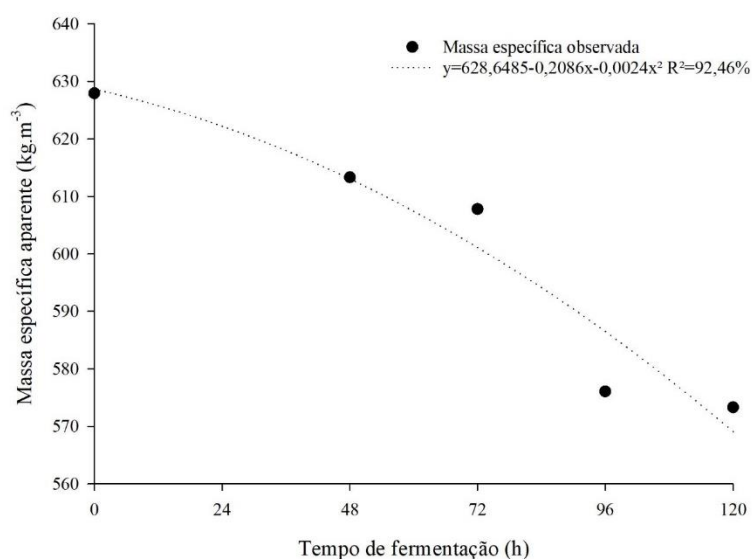
*Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

Figura 10 – Resultados médios para a coordenada b dos grãos beneficiados crus de café arábica var. Catuaí Amarelo 62, sob diferentes períodos de fermentação.



A massa específica apresentou, de acordo com ANOVA, diferença significativa de acordo com o tempo de fermentação, independentemente, da altitude de produção dos frutos. Os resultados médios de massa específica são apresentados na Figura 11.

Figura 11 – Resultados médios para a massa específica dos grãos beneficiados crus de café arábica var. Catuaí Amarelo 62, sob diferentes períodos de fermentação.



Observa-se que houve redução nos valores de massa específicas em relação ao tempo de fermentação, o que pode ser notado de forma mais acentuada nos tempos de 96 e 120 h.

Existem diversos trabalhos na literatura sobre massa específica dos grãos crus de café e de diversas outras culturas, porém para os resultados obtidos neste trabalho, onde foi analisado a interferência da fermentação na mesma, não foram encontrados estudos, o que torna este trabalho de grande importância para a cafeicultura.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que as ações dos microrganismos são mais evidentes até o tempo de 48h, como pode ser percebido em todas as análises do processo fermentativo, após isso houve uma tendência de estabilização nos resultados de temperatura e redução na diminuição do °Brix, o que afirma que o melhor tempo para fermentação nas duas altitudes para o café Catuaí Amarelo 62 é o tempo de fermentação com 48h, nas condições deste experimento.

Para análises de cor, não ocorreram diferenças significativas em relação a todos os tempos de fermentação, o que demonstra que a fermentação não tem interferência para essa propriedade física nas condições deste trabalho. Houve diferença significativa apenas para a coordenada b em relação a altitude, demonstrando que os valores foram mais baixos para a altitude de 980 m, concluindo que para este trabalho o café Catuaí Amarelo 62 apresenta coloração mais azulada em altitudes mais baixas.

Já para a massa específica aparente, os resultados demonstraram que houve redução significativa em todos os tempos de fermentação, porém com diminuição acentuada para os tempos de 96 e 120h, evidenciando que a partir de 72h de processo fermentativo há uma perda de massa abrupta, o que pode trazer prejuízos ao produtor, porém para se ter certeza deste

prejuízo, teria a necessidade de análise sensorial, para saber se o ganho causaria uma equivalência.

Portanto, o tempo mais adequado para realizar uma fermentação de acordo com esse trabalho para o Catuaí Amarelo 62 em diferentes altitudes é de 48 h de fermentação, pois foram verificadas alterações de temperatura e °Brix da fermentação que evidenciam o processo, e não foram apresentadas variações significativas de massa específica nos grãos crus de café fermentado até esse tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIC. Associação Brasileira da Indústria de Café. 2023. Disponível em: <https://abic.com.br/>. Acesso em 14 jul. 2023.
- ALLI, M. R. *et al.* Proximate Composition, Physical Characteristics, and Sensory Descriptive Analysis of Commercial Coffee Beans from Different Geographic Origins. **Journal of Food Science and Technology**, [S. l.], v. 54, n. 4, p. 955-964, 2017.
- ALVES, G. S. *et al.* Effect of altitude on coffee quality and its interaction with other factors: A review. **Food Research International**, [S. l.], v. 107, p. 334-340, 2018.
- ARANTES, S. D. S. Efeito da altitude nas características do café. **Coffee Science**, 2012.
- BERTRAND, Benoît *et al.* Impact of the *Coffea canephora* gene introgression on beverage quality of *C. arabica*. **Theoretical and Applied Genetics**, [S.l.], v. 107, n. 3, p. 387-394, maio 2003. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1203-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00122-003-1203-6> Acesso em: 14 jul. 2023.
- BLOG DO CAFÉ. 2023. Disponível em: <https://www.blogdocafe.com.br/como-assegurar-uma-producao-exemplar-plantacoes-catuai62> Acesso em: 10 jul. 2023.
- BORÉM, F. M.; SILVA, G. W. S.; PADILHA, M. S. Understanding coffee fermentation: a review. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 84, n. 29-36, 2019.
- BORÉM, F. M. Processamento do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-Colheita do Café. Lavras (MG)**: Editora da UFLA, 2015b, p. 127-158
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária, Brasília: Mapa/ACS, 399 p. 2009.
- DAVIS, A. P.; GOLE, T. W.; BAENA, S. **The impact of altitude on coffee yield and quality**. Colombo, Sri Lanka: International Center for Tropical Agriculture (CIAT). 2003.
- DOMINGUEZ, J.; YAN; WANG X. Role of anaerobic fermentation in the flavor development of specialty coffee. **Food Research International**, [S. l.], v. 151, 2022.
- FARAH, Adriana et al. Chlorogenic acids from green coffee extract are highly bioavailable in humans. **The Journal of nutrition**, [S.l.], v. 138, n. 12, p. 2309-2315, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.108.095554>. Disponível em: <https://academic.oup.com/jn/article/138/12/2309/4670148?login=false>. Acesso em: 13 jul. 2023.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh> Acesso em: 14 jul. 2023.
- GEIGER, R. **Development of coffee bean structure during roasting – Investigations on resistance and driving forces**. 2004. Tese (Doutorado Technical Sciences) – Swiss Federal Institute of Technology Zürich, Zurich, 2004. Disponível em: <https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/148068/eth-27186-01.pdf?sequence=1> Acesso em: 12 jul. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6673:2003: **Green Coffee**: determination of loss mass at 105°C. 2^a ed. Switzerland, 2003. 4 p.

NOBRE, G. W. **Alterações qualitativas do café cereja descascado durante o armazenamento**. 2005. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/6715>. Acesso em: 20 jul. 2023.

RODRIGUES, C. M. C. *et al.* Temperature-driven shifts in bacterial community composition and metabolic pathways in Brazilian coffee fermentations. **Frontiers in Microbiology**, [S. l.], v. 10, 2019. DOI: doi: 10.3389/fmicb.2019.02539

RODRIGUES, C., *et al.* Impact of processing conditions on the pH evolution and microbial dynamics during the fermentation of coffee cherries. **International Journal of Food Microbiology**, [S. l.], v. 243, p. 52-59, 2017.

SANTOS, L. S. *et al.* Adaptabilidade do Catuaí 62 a diferentes condições de solo e clima. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 121-132, 2019. Disponível em: <https://www.agriculturasustentavel.org.br/rbas/article/view/729506>. Acesso em: 10 jan. 2022.

SCA. COFFEE. The Specialty Coffee Association (SCA), 2023. Disponível em: <https://sca.coffee/> Acesso em: 10 jul. 2023.

SCHENKER, S. *et al.* Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 65, n. 3, p. 452 – 457, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16026.x>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16026.x>. Acesso em: 28 jun. 2008.

SCHWAN, R. F.; FLEET, G. H. (ed.). **Cocoa and Coffee Fermentations**. 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

SILVA, C. F. N.; LIMA, J. M.; GOMES, A. P. B. Fermentation process in coffee beans: an aerobic approach. *International Journal of Food Studies*, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 230-240, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7455/ijfs/8.2.2019.a5>

SILVA, C. F.; ALMEIDA, R. H. V. B.; LIMA, D. L.; MENDES, T. D.; SANTOS, E. F. Influence of Anaerobic Fermentation and Controlled Drying on the Chemical and Sensorial Attributes of Arabica and Conilon Coffee Beans. *Foods*, [S. l.], v. 9, n. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9060738>

SILVA, C. M. L.; NETO, S. L. P.; VILAS BOAS, A. B., **Bioscience Journal**: Altitude and its effect on coffee quality. 2016.

SILVA, R. M.; ANDRADE, A. C. Influência do clima e da altitude na qualidade do café. **Coffee Science**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 385-393, 2017.

SILVEIRA, Alice de Souza. **Atributos sensoriais dos cafés cultivados em diferentes altitudes e faces de exposição na Região das Matas de Minas. 2015. 60 f. Dissertação (Mestrado)** - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

SMITH, J. Características distintas da fermentação em ambiente aeróbico. São Paulo: Editora ABC, 2021.

UFLA. Universidade Federal de Lavras. **Catuai 62**: A cultivar de café mais cobiçada pelos agricultores, 2020. Disponível em: <https://www.ufla.br/dcom/2020/07/21/catuai-62-a-cultivar-de-cafe-mais-cobicada-pelos-agricultores/> Acesso em: 10 jul. 2023.

VAAST, P. *et al.* Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of The Science of Food and Agriculture**, [S.l.], v. 86, n. 2, p. 197-204. out. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2338>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2338> Acesso em: 13 jul. 2023.

VIANI, R. A. Effect of altitude on coffee sensory quality. **Food Science and Technology**, [S.l.], 2014.

WINTGENS, J. N. **Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers**. Weinheim, Alemanha: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004.

APÊNDICE

Tabela 7 – Análise de Variância: Temperatura para fermentação de 48 horas

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE	1	0.284213	0.284213	1.684	0.2107
TEMPO	4	88.281953	22.070488	130.800	0.0000
REPETICAO	2	0.945447	0.472723	2.802	0.0872
ALTITUDE*TEMPO	4	1.055953	0.263988	1.565	0.2265
erro	18	3.037220	0.168734		
Total corrigido	29	93.604787			
CV (%) =	1.93				
Média geral:	21.2926667	Número de observações:	30		

Tabela 8 – Análise de Variância: Brix para fermentação de 48h

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE	1	10.764030	10.764030	10.962	0.0039
TEMPO	4	63.989913	15.997478	16.292	0.0000
REPETICAO	2	0.136500	0.068250	0.070	0.9331
ALTITUDE*TEMPO	4	5.491620	1.372905	1.398	0.2745
erro	18	17.674367	0.981909		
Total corrigido	29	98.056430			
CV (%) =	5.54				
Média geral:	17.8770000	Número de observações:	30		

Tabela 9 – Análise de Variância: Temperatura para fermentação de 72 h

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE	1	0.194752	0.194752	0.742	0.3969
TEMPO	6	86.502590	14.417098	54.918	0.0000
REPETICAO	2	0.263519	0.131760	0.502	0.6111
ALTITUDE*TEMPO	6	2.558981	0.426497	1.625	0.1803
erro	26	6.825548	0.262521		
Total corrigido	41	96.345390			
CV (%) =	2.39				
Média geral:	21.4804762	Número de observações:	42		

Tabela 10 – Análise de Variância: Brix para fermentação de 72 h

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE	1	16.468810	16.468810	46.874	0.0000
TEMPO	6	136.750881	22.791813	64.871	0.0000
REPETICAO	2	0.290519	0.145260	0.413	0.6656
ALTITUDE*TEMPO	6	8.815557	1.469260	4.182	0.0045
erro	26	9.134881	0.351342		
Total corrigido	41	171.460648			
CV (%) =	3.48				
Média geral:	17.0152381	Número de observações:	42		

Tabela 11 – Análise de Variância: Temperatura fermentação de 96 h

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE	1	0.385067	0.385067	1.511	0.2274
TEMPO	8	112.587093	14.073387	55.239	0.0000
REPETICAO	2	0.921226	0.460613	1.808	0.1794
ALTITUDE*TEMPO	8	2.939700	0.367463	1.442	0.2151
erro	34	8.662307	0.254774		
Total corrigido	53	125.495393			
CV (%) =	2.32				
Média geral:	21.7496296	Número de observações:	54		

Tabela 12 – Análise de Variância: Brix fermentação de 96h

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE	1	31.357824	31.357824	125.809	0.0000
TEMPO	8	231.242470	28.905309	115.969	0.0000
REPETICAO	2	2.461381	1.230691	4.938	0.0131
ALTITUDE*TEMPO	8	20.559893	2.569987	10.311	0.0000
erro	34	8.474485	0.249250		
Total corrigido	53	294.096054			
CV (%) =	3.06				
Média geral:	16.2990741	Número de observações:	54		

Tabela 13 – Análise de Variância: Temperatura fermentação de 120 h

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE	1	0.108014	0.108014	0.398	0.5318
TEMPO	10	123.296227	12.329623	45.385	0.0000
REPETICAO	2	0.917348	0.458674	1.688	0.1971
ALTITUDE*TEMPO	10	1.077403	0.107740	0.397	0.9408
erro	42	11.410052	0.271668		
Total corrigido	65	136.809044			
CV (%) =	2.45				
Média geral:	21.2519697	Número de observações:	66		

Tabela 14 – Análise de Variância: Brix fermentação de 120h

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE	1	40.154400	40.154400	94.522	0.0000
TEMPO	10	348.576315	34.857632	82.054	0.0000
REPETICAO	2	1.419876	0.709938	1.671	0.2003
ALTITUDE*TEMPO	10	18.237800	1.823780	4.293	0.0004
erro	42	17.842258	0.424816		
Total corrigido	65	426.230648			
CV (%) =	4.13				
Média geral:	15.7851515	Número de observações:	66		

Tabela 15 – Análise de Variância: Coordenada L

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE	1	0.059853	0.059853	0.281	0.6024
TEMPO	4	2.193017	0.548254	2.576	0.0727
REPETICAO	2	0.176083	0.088042	0.414	0.6673
ALTITUDE*TEMPO	4	2.141795	0.535449	2.516	0.0777
erro	18	3.830610	0.212812		
Total corrigido	29	8.401358			
CV (%) =	0.91				
Média geral:	50.4270667	Número de observações:	30		

Tabela 16 – Análise de Variância: Coordenada a

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE	1	0.148263	0.148263	0.806	0.3811
TEMPO	4	0.732085	0.183021	0.995	0.4354
REPETICAO	2	0.224951	0.112475	0.612	0.5533
ALTITUDE*TEMPO	4	0.176441	0.044110	0.240	0.9120
erro	18	3.309787	0.183877		
Total corrigido	29	4.591527			
CV (%) =	34.54				
Média geral:	1.2414333	Número de observações:		30	

Tabela 17 – Análise de Variância: Coordenada b

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE	1	3.996750	3.996750	12.370	0.0025
TEMPO	4	4.833138	1.208285	3.740	0.0220
REPETICAO	2	1.519287	0.759644	2.351	0.1238
ALTITUDE*TEMPO	4	0.894133	0.223533	0.692	0.6072
erro	18	5.815977	0.323110		
Total corrigido	29	17.059285			
CV (%) =	4.97				
Média geral:	11.4435333	Número de observações:		30	

Tabela 18 – Análise de Variância: Massa específica aparente

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
ALTITUDE_	1	111.318951	111.318951	1.329	0.2640
TEMPO_	4	13836.529303	3459.132326	41.306	0.0000
REPETICAO_	2	7.834417	3.917208	0.047	0.9544
ALTITUDE_*TEMPO_	4	248.732131	62.183033	0.743	0.5754
erro	18	1507.402419	83.744579		
Total corrigido	29	15711.817220			
CV (%) =	1.53				
Média geral:	599.7057000	Número de observações:		30	