

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

RAFAEL DE LIMA MORAES

**AVALIAÇÃO DE CAFÉ TORRADO EM UM TORRADOR DE FABRICAÇÃO
PRÓPRIA E DO USO DE LÃ DE VIDRO COMO ISOLANTE TÉRMICO**

Poços de Caldas / MG

2023

RAFAEL DE LIMA MORAES

**AVALIAÇÃO DE CAFÉ TORRADO EM UM TORRADOR DE FABRICAÇÃO
PRÓPRIA E DO USO DE LÃ DE VIDRO COMO ISOLANTE TÉRMICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas *Campus* de Poços de Caldas.

Orientador: Prof. Dr. Marlus Pinheiro
Rolemberg

Coorientador: Prof. Dr. Laos Alexandre Hirano

Poços de Caldas / MG

2023

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca *Campus* de Poços de Caldas

Moraes, Rafael de Lima.

Avaliação de café torrado em um torrador de fabricação própria e do uso de lã de vidro como isolante térmico. / Rafael de Lima Moraes. - Poços de Caldas, MG, 2023.

54 f. : il. –

Orientador(a): Marlus Pinheiro Rolemberg.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)
- Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023.

Bibliografia.

1. Café. 2. Processo de torra. 3. Lã de vidro. 4. Arduino. 5. Automação.
I. Rolemberg, Marlus Pinheiro, orient. II. Título.

RAFAEL DE LIMA MORAES

**AVALIAÇÃO DE CAFÉ TORRADO EM UM TORRADOR DE FABRICAÇÃO
PRÓPRIA E DO USO DE LÃ DE VIDRO COMO ISOLANTE TÉRMICO**

A Banca examinadora abaixo-assinada, aprova o trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas *Campus* de Poços de Caldas.

Aprovada em: xx de xxxx de 2xxx

Prof. Dr. Xxxxxx xx Xxxxxxxxxx
Universidade xxxxxxxxxxxxxxxx

Assinatura:

Prof. Dr. Xxxxxx xx Xxxxxxxxxx
Universidade Xxxxxxxxxxxxxx

Assinatura:

Prof.^a Dr.^a Xxxxxxxxxxxxxx
Universidade Xxxxxxxxxxxxxx

Assinatura:

Aos meus avôs, José Gaspar de Lima conhecido como Zé Pereira e Gessy Paschoalino Moraes conhecido como Sr. Gerson, aos quais o café foi muito importante nas suas vidas, que Deus os tenham.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores que contribuíram para minha formação e que fizeram parte da história e da concretização da minha graduação.

Ao meu antigo grupo de Instrumentação Industrial, por terem acreditado na ideia do projeto.

Ao meu tio Donizete Noronha, pela ajuda prestada em uma etapa importante da construção do protótipo.

Aos meus professores orientadores Marlus Pinheiro Rolemberg e Laos Alexandre Hirano, os quais foram muito prestativos e compreensivos.

Aos meus pais por todo apoio prestado e ao meu irmão caçula Caio, pela ajuda durante o desenvolvimento das etapas do processo.

À minha noiva Any, pela ajuda, compreensão e motivação para realização deste trabalho.

Muito obrigado a todos, que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho!

RESUMO

O café é um produto de grande importância para a economia do Brasil e do mundo, e vem seguindo uma tendência de crescimento de consumo constante nas últimas décadas. O consumo mundial atual atingiu a ordem de 170 milhões de sacas e tem previsão de atingir até 219 milhões de sacas no final desta década. O Brasil possui um importante papel como supridor desta demanda, sendo responsável por cerca de 1/3 da produção global, se consolidando, nos últimos anos, como o maior produtor mundial do grão. Dos 15 estados produtores de café no Brasil, Minas Gerais se destaca com aproximadamente 50% da produção nacional, tornado o café um produto de grande importância econômica, social e de pesquisa para o estado. Uma grande parte das empresas torrefadoras de café são formadas por micro e pequenas empresas, e boa parte dessas empresas são geridas por administração exclusivamente familiar. O processo de torração de café é particularmente complexo, influencia diretamente na qualidade final da bebida e apresenta risco de perda da batelada durante o seu processamento, e, sendo uma matéria prima de alto valor agregado, se torna necessário um bom controle do processo para evitar grandes prejuízos. O objetivo do presente trabalho é avaliar cafés produzidos em um protótipo de torrador de fabricação própria que possui sistema de finalização da torra de forma automática baseada na plataforma arduino, e, a influência no processo quando se utiliza lã de vidro como isolante térmico no equipamento. Para isso, foi necessário fazer um ajuste do sensor de temperatura com base em condições de operação pré-estabelecidas e, comparação visual de amostras torradas para avaliar a repetibilidade e precisão dos resultados em relação aos padrões de torra médio claro, médio e moderadamente escuro. Os resultados de repetibilidade e precisão se mostraram satisfatórios e a lã de vidro trouxe um ganho de aproximadamente 2 minutos e 46 segundos, em média, no tempo de torra.

Palavras-chave: café; processo de torra; lã de vidro.

ABSTRACT

Coffee is a product of great importance for the economy of Brazil and the world, and has been following a trend of constant growth in consumption in recent decades. Current world consumption has reached around 170 million bags and is expected to reach 219 million bags by the end of this decade. Brazil plays an important role as a supplier of this demand, being responsible for about 1/3 of global production, consolidating itself, in recent years, as the world's largest producer of the grain. Of the 15 coffee producing states in Brazil, Minas Gerais stands out with approximately 50% of national production, making coffee a product of great importance economic, social and research for the state. A large part of the coffee roasting companies are formed by micro and small companies, and a good part of these companies are managed exclusively by family administration. The coffee roasting process is particularly complex, it directly influences the final quality of the beverage and presents a risk of loss of the batch during its processing, and, being a raw material with high added value, good process control is necessary to avoid big losses. The objective of the present work is to evaluate coffees produced in a prototype of a self-made roaster that has an automatic roasting finishing system based on the arduino platform, and the influence on the process when using glass wool as a thermal insulator in the equipment. For this, it was necessary to adjust the temperature sensor based on pre-established operating conditions and visually compare roasted samples to assess the repeatability and accuracy of the results in relation to medium light, medium and moderately dark roasting standards. The repeatability and precision results were satisfactory and the glass wool brought a gain of approximately 2 minutes and 46 seconds, on average, in the roasting time.

Keywords: coffee; roasting process; glass wool.

SUMÁRIO

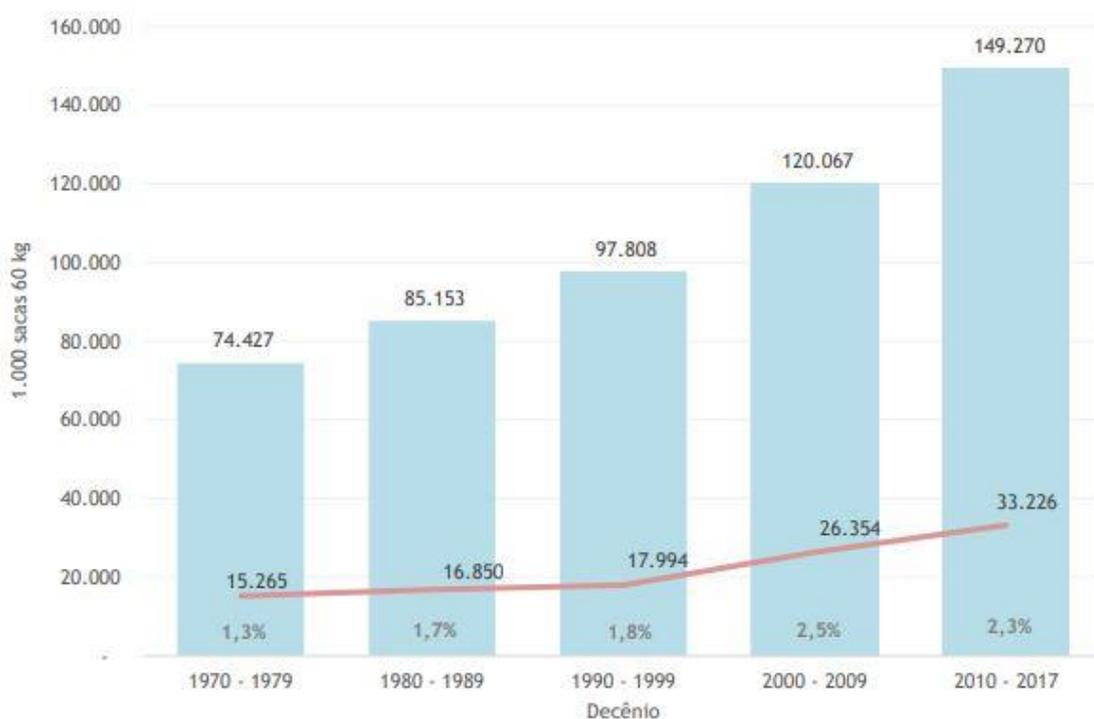
1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	A ORIGEM DO CAFÉ NO MUNDO	13
3.2	A ORIGEM DO CAFÉ NO BRASIL	14
3.3	COFFEA ARABICA e COFFEA CANEPHORA	14
3.4	A PRODUÇÃO DE CAFÉ NO MUNDO, NO BRASIL E MINAS GERAIS	15
3.5	O PROCESSO DE TORRA	18
3.6	OS ESTÁGIOS DA TORRA	20
3.7	CLASSIFICAÇÃO DA TORRA	23
3.8	EQUIPAMENTOS DE TORRA	25
3.9	A PLATAFORMA ARDUINO	26
3.10	ISOLANTE TÉRMICO – LÃ DE VIDRO	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	MATERIAIS	27
4.2	MÉTODOS	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	O HISTÓRICO DO PROJETO	30
5.2	ADAPTAÇÕES REALIZADAS NO EQUIPAMENTO	32
5.3	AJUSTE DO TERMOPAR	33
5.4	AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA TORRA	37
5.4.1	Sem isolante térmico	38
5.4.2	Com isolante térmico	40
5.5	VANTAGENS EM RELAÇÃO AO ISOLANTE	42
6	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICES	50

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o café tem sido uma bebida bastante consumida mundialmente, conquistando e agradando paladares em todos os continentes. Dados apontam que o consumo mundial de café já ultrapassa 150 milhões de sacas por ano e registra um crescimento de 2,5% a.a. (CECAFÉ, 2022).

Segundo Vegro (2018), a inflexão na curva de consumo global de café ocorreu na década de 1990, onde a taxa de crescimento de consumo médio por década saltou de 1,8% para 2,5%, e se manteve a 2,3% no período de 2010 a 2017. A Figura 01 mostra dados do consumo mundial de café ao longo das décadas e as exportações brasileiras no mesmo período.

Figura 01 – Consumo mundial x exportações brasileiras de café, médias por decênio, 1970-1979 a 2010-2017.

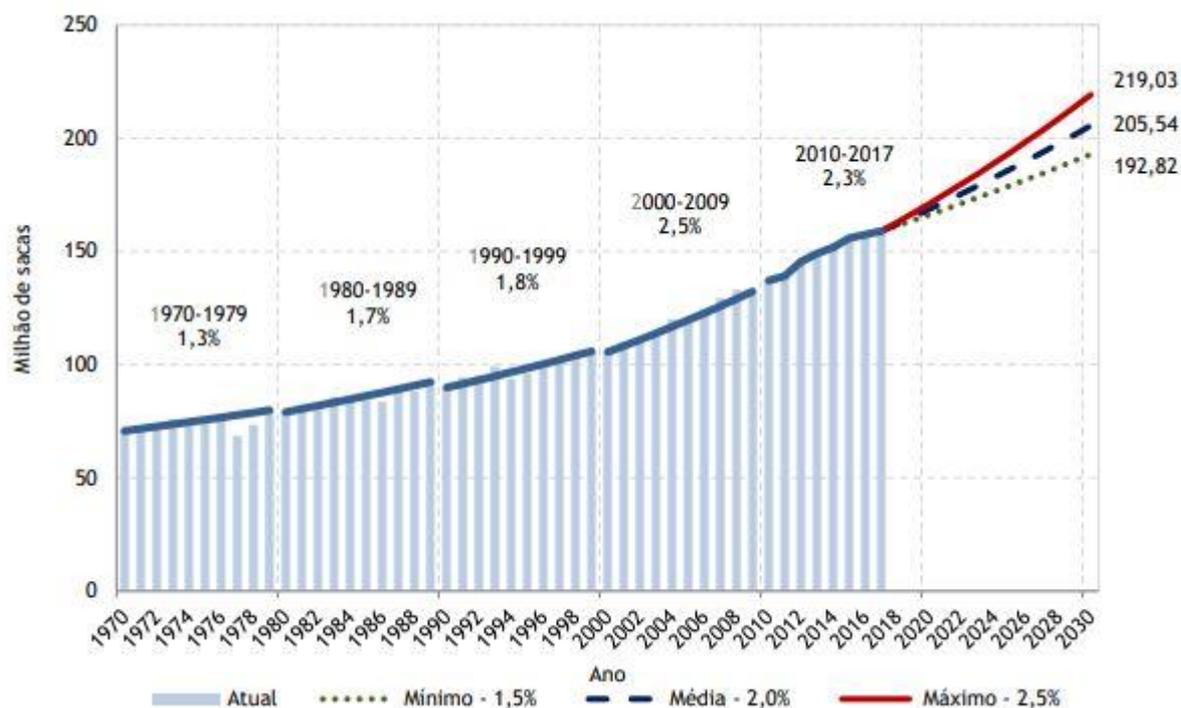


Fonte: (VEGRO, 2018)

Esse ritmo de crescimento se manteve similar ao crescimento populacional, e a aceleração recente do consumo de café é atribuída à crescente aceitação do hábito entre as demais populações dos países asiáticos e das novas gerações (VEGRO, 2018).

Considerando a tendência de consumo da bebida, Vegro (2018) apresenta uma projeção da demanda para a próxima década (FIGURA 02), onde a taxa média de crescimento do consumo mundial foi estimado em 2,0% a.a. e a quantidade de café necessária para suprir a demanda em 2030 seria em torno de 205 milhões de sacas, podendo chegar a 219 milhões de sacas considerando um cenário mais otimista.

Figura 02 – Consumo mundial de café e projeção até 2030.



Fonte: (VEGRO, 2018).

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo e cultiva duas espécies principais: *Coffea Arabica* e *Coffea Canephora*. O primeiro é o café arábica, é produzido em maior escala, possui produtividade menor, mas é o que resulta os cafés de melhor qualidade, portanto, é o mais valorizado. O segundo é o café robusta, também conhecido como conilon, pode apresentar produtividade média duas vezes maior que o arábica, mas a qualidade é inferior, neste caso, é o menos valorizado.

Dentro do país, as lavouras cafeeiras estão presentes em 15 estados brasileiros, como pode ser visto na Figura 03: Acre, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia e São Paulo.

Figura 03 – Regiões produtoras de café nos estados do Brasil.



Fonte: (BSCA, c2022).

Segundo dados da CONAB (2022), o levantamento da safra 2022 indica uma produção nacional de 50,9 milhões de sacas de café beneficiado. Deste montante, o estado de Minas Gerais, maior produtor de café no Brasil, foi responsável por aproximadamente 22 milhões sacas de café beneficiado, ou seja, cerca de 43% da produção nacional.

O café é um produto de extrema importância para a economia nacional, o qual foi o 5º produto na pauta de exportação brasileira movimentando US\$5,24 bilhões em 2017 e a cadeia produtiva do café é responsável pela geração de mais de 8 milhões de empregos no país, proporcionando renda, acesso à saúde e à educação para os trabalhadores e suas famílias (BRASIL, 2017).

O café cru na forma de *commoditie* como é produzido, comercializado e exportado pela grande maioria dos produtores brasileiros, não é adequado para consumo, pois ainda não apresenta o sabor e aroma característico daqueles encontrado, por exemplo, nas bebidas tradicionais vendida pelas cafeterias. Portanto, para ser consumido o grão de café cru precisa passar por um processo de torração nas indústrias, onde vai adquirir todas as qualidades desejadas para ser consumido.

Dados estatísticos da ABIC (2021) indicam que no ano de 2020, 82% das indústrias produtora de café para consumo no Brasil são formadas por micro e pequenas empresas situadas em sua maioria na região Sudeste do País e que 70% delas são operadas com administração exclusivamente familiar, ao passo que, há 20 anos os pequenos produtores representavam apenas 33,4% das indústrias.

Segundo Pedrosa (2018), o processo de torração do café consiste em submeter os grãos a um aumento de temperatura através do fornecimento controlado de calor, provocando uma série de mudanças e reações exotérmicas (formadoras do gosto e do aroma característico do café), mas, evitando que tal aquecimento faça com que o produto ultrapasse o ponto adequado e se inicie a carbonização dos grãos.

O processo é bastante arriscado, pois as mudanças que ocorrem durante o a torração podem acontecer em questão de segundos e uma vez ultrapassado o grau de torra desejado não é possível reverter o resultado. De acordo com Melo (2004), o ponto de torra ótimo é usualmente definido de acordo com a observação experiente do responsável – o qual as vezes é chamado de mestre de torra – que deve tomar decisões cruciais para saber o momento exato de finalizar o processo interrompendo o fornecimento de calor e resfriando o produto.

Sabendo que o café é uma matéria prima de alto valor e que durante o processo de torração existe o risco de carbonizar o produto, o presente trabalho foi elaborado com intuito de avaliar cafés torrado em um torrador automatizado de pequeno porte de fabricação própria, que possui um sistema de finalização da torra por meio do monitoramento da temperatura dos grãos durante o processamento. E ainda, neste trabalho será avaliado a utilização de lã de vidro como isolante térmico na estrutura do equipamento e qual o impacto que ela traz ao processo, na precisão da torra e na repetibilidade dos resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar cafés produzidos em um torrador de fabricação própria e a influência no processo quando se utiliza lã de vidro como isolante térmico no equipamento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- a) construir um compartimento no protótipo onde será instalado o isolante de lã de vidro;
- b) fazer um ajuste para o termopar de tal forma que o visor LCD mostre valores de temperatura dos grãos durante a torra mais condizentes com a literatura;
- c) coletar dados de torra de cafés sem o uso de isolante térmico no protótipo e realizar uma avaliação qualitativa dos resultados obtidos que servirá de referência para próxima etapa;
- d) coletar dados de torra de cafés com o uso de isolante térmico de lã de vidro no protótipo e realizar uma avaliação qualitativa dos resultados obtidos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A ORIGEM DO CAFÉ MUNDO

Existe uma lenda registrada nos manuscritos do lêmên datada de 575 d.C. que conta sobre um pastor da região da Etiópia conhecido por Kaldi, o qual observou que suas cabras ficavam alegres e cheias de energia depois que comiam determinados frutos de cor amarelo-avermelhado. Os frutos estavam presentes em arbustos que existiam na região e despertaram a curiosidade do pastor, o qual, junto com um monge, o consumiram primeira vez (MARTINS, 2008).

Como conta Martins (2008), a partir do ano 575, surgem vários registros históricos que indicam a exploração de diferentes possibilidades de consumo do fruto. Os Etíopes, no nordeste da África, se alimentavam da sua polpa doce, macerada ou misturada em banha nas refeições, ou ainda, na forma de chá feito com suas folhas. Os árabes do lêmên, no atual Sudoeste da Ásia, dominaram técnicas de plantio e preparação do café, e por volta do ano 1000 os habitantes utilizaram os frutos para fins medicinais, fazendo infusão com estes fervidos em água, e os monges locais começaram a utilizar o café como bebida excitante para ajuda-los nas rezas e vigílias noturnas.

A bebida como conhecemos hoje só foi popularizada no século XIV, com o desenvolvimento do processo de torrefação dos grãos. O hábito de tomar um cafezinho como um ritual de sociabilidade, se difundiu na Turquia, onde surgiu o primeiro café (cafeteria) do mundo – o Kiva Han – por volta de 1475. Em seguida, por volta de 1574, surgem famosos estabelecimentos nas cidades de Cairo (Egito) e Meca (Islã), que se tornam locais procurados por artistas e poetas da época. A partir daí, o fruto, o hábito e os estabelecimentos, vão se popularizando pela Europa (MARTINS, 2008).

3.2 A ORIGEM DO CAFÉ NO BRASIL

Durante alguns séculos, o acesso a sementes de café capazes germinarem foi rigorosamente controlada, para manter a soberania e monopólio daqueles que possuíam o fruto exótico, considerada bebida de luxo, restrita apenas aos governantes e alguns seletos integrantes de alta classe. O controle era feito permitindo que apenas grãos sem o pergaminho (invólucro interno que envolve o grão, além da casca) saíssem das fazendas e fossem exportados, pois sem o pergaminho estes grãos não tinham capacidade de se germinarem (MARTINS, 2008).

De acordo com Bom Jardim (2021), no Brasil, foi em 1727 quando o oficial português Francisco de Mello Palheta consegue trazer da Guiana Francesa as primeiras mudas e frutos de café, as quais recebeu de presente da esposa do governador de Caiena, na capital do país. As mudas foram plantadas no Pará, onde cresceram sem dificuldade, mas não era ali onde sua cultura iria de difundir e se tornar o produto mais importante para o País no século seguinte. Em 1781, as primeiras lavouras são implementadas no Rio de Janeiro, e com a necessidade de criar uma nova fonte econômica devido à escassez do ouro e a concorrência do açúcar, o café começa a se difundir no Sudeste, chegando no Vale do Rio Paraíba no início do século XIX e no Oeste Paulista por volta de 1880. No final do século XIX, o Brasil já era o principal produtor de café e controlava o mercado cafeeiro mundial.

3.3 COFFEA ARABICA e COFFEA CANEPHORA

Em 1735, o naturalista Lineus faz o primeiro estudo botânico sobre o café, quando publica o *Systema Naturae*, em Londres. O fruto pertence à família *rubiaceae*,

que se desenvolve em regiões tropicais e subtropicais. Produz flores com aroma de jasmim e frutos conhecidos como cerejas. Dentro de cada cereja, existem dois grãos de café, protegidos internamente pelo pergaminho e externamente pela polpa (MARTINS, 2008).

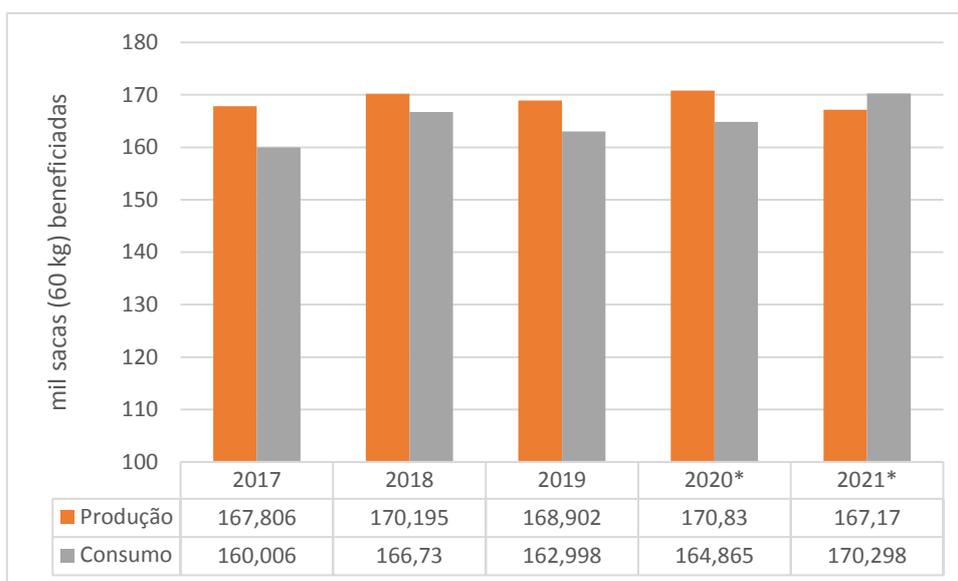
De acordo com Martins (2008), existem cerca de 25 espécies importantes da planta, mas para consumo e produção comercial se destacam apenas duas: a *Coffea Arabica*, que produz o café arábica, e o *Coffea Canephora* (também conhecido por robusta), que produz o café *conillon*. O café arábica é conhecido por suas características de gosto suave e redondo, por vezes achocolatado além de aromático, o que lhe confere a fama de café de melhor qualidade permitindo que ele seja apreciado puro, sem nenhum *blend* (mistura); ao passo que, o café *conillon* é produzido por plantas mais resistente às pragas, doenças e ao clima, possui maior produtividade mas não oferece bebida tão qualificada, devido ao sabor adstringente e mais amargo.

Ainda segundo Martins (2008), as duas espécies se diferem tanto devido ao número de genes: O *coffea Arabica* possui 44 cromossomos, sendo mais complexo, delicado, portanto gosta de grandes altitudes, exige clima mais ameno com temperaturas média entre 15°C e 22°C, apresentando mais aromas e sabores; e o *coffea Canephora* possui 22 cromossomos, portanto, assim como é conhecido pelo nome robusta, possui características mais rústicas, tem maior produtividade e se desenvolve bem em climas com alta umidade e temperaturas média entre 24°C e 29°C.

3.4 A PRODUÇÃO DE CAFÉ NO MUNDO, NO BRASIL E MINAS GERAIS

De acordo com o Gráfico 01, a produção mundial de café nos últimos 5 anos atingiu valores na faixa dos 169 milhões de sacas. Em contrapartida, o consumo mundial atingiu valores menores durante o mesmo período, gerando um superávit anual no balanço de oferta e demanda, com exceção do ano de 2021, onde o consumo excedeu a produção em 3,1 milhões de sacas, gerando um déficit no balanço anual.

Gráfico 01 – Produção e consumo de café Mundial.



Fonte: o autor com dados da OIC (2022).

Legenda: (*) estimativa em dezembro 2022.

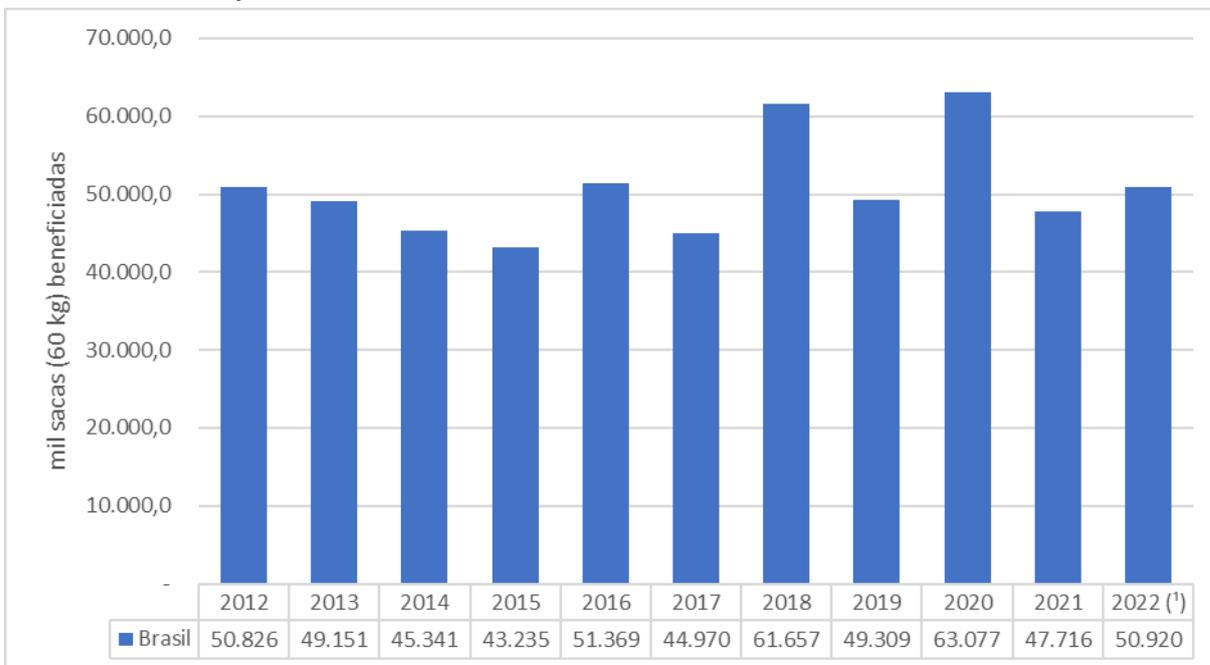
O consumo de café no cenário mundial apresenta comportamento tipicamente inelástico, o que significa, que as variações no preço para o consumidor final ou na renda dele, não influenciam a demanda do produto, que, historicamente, mantém nos últimos anos um crescimento percentual de 2,3 % a.a. (Vegro, 2018; São Paulo, 2020).

No que diz respeito ao início das exportações de café no Brasil, Agnoletti (2015) aponta que foi em 1779 quando o café brasileiro foi reconhecido internacionalmente pela primeira vez com a pequena quantia exportada de 79 arrobas (aproximadamente 20 sacas de 60 kg). Mas, as exportações foram crescendo nos anos seguintes e em 1806, a quantia de 80 mil arrobas (20.000 sacas) foi exportada. Já nos anos mais recentes, o Brasil exportou, respectivamente, em 2018 e 2019, as quantias de 35,6 e 40,7 milhões sacas de café, o que mostra o enorme salto que foi dado na escala de exportação do produto no país após dois séculos (OIC, 2018, 2019).

Em relação a produção de café no Brasil, o Gráfico 02 mostra dados dos últimos 10 anos. Na cultura do café, existe um fenômeno conhecido por bienalidade produtiva, que ocorre devido ao ciclo produtivo da planta que costuma apresentar uma produção mais significativa a cada dois anos. A bienalidade é evidente no Gráfico 02, quando se observa a produção nacional entre os anos de 2016 e 2021. Porém, a estimativa da Conab (2022) indica uma produção para o ano de 2022, na ordem 51 milhões de sacas, ano que, de acordo com a tendência, deveria ser de bienalidade positiva com potencial de produzir mais de 60 milhões de sacas, o que não ocorreu devido às

adversidades climáticas como geadas e o desequilíbrio de precipitações que acometeram as principais regiões produtoras do parque cafeeiro do país nos últimos dois anos.

Gráfico 02 – Produção anual de café no Brasil na última década.

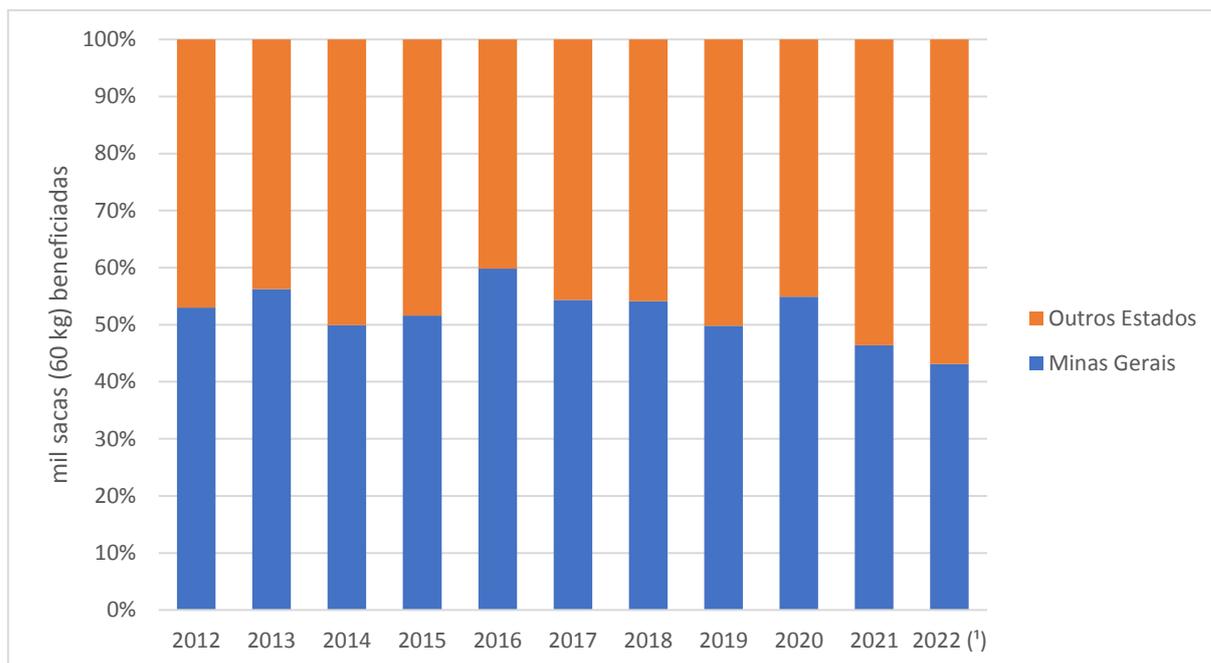


Fonte: o autor com dados da Conab (2022).

Legenda: (¹) estimativa em dezembro 2022.

Dentro do Brasil, o estado de Minas Gerais se destaca dentre os 15 estados que produzem café no país, com participação de aproximadamente 50% da produção nacional ao longo dos últimos 10 anos (GRÁFICO 03). Isso se deve basicamente a dois fatores importantes que promoveu o desenvolvimento do plantio na região: condições climáticas e políticas de desenvolvimento. As condições climáticas são atribuídas principalmente à menor incidência de geadas, que atingiram lavouras importantes nos estados de São Paulo e Paraná no passado. E quanto aos fatores políticos, o governo de Minas Gerais aderiu ao Plano de Renovação e Revigoração de cafezais, buscando incentivar produtores durante um período que o mercado mundial aumentava a demanda pelo café brasileiro, o que levou a um aumento da quantidade de cafezais na região, ao ponto de existir plantações por todo o estado (BLOG, 2020).

Gráfico 03 – Produção de café no Brasil e Minas Gerais.



Fonte: o autor com dados da Conab (2022).

Legenda: (¹) estimativa em dezembro 2022.

O Brasil, em particular o estado de Minas Gerais, tem espaço para se destacar ainda mais no futuro do mercado internacional de café, visto que, a demanda mundial de consumo se mostrou tipicamente inelástica, e de acordo com Vegro (2018), cresce a uma taxa de 2,3% ao ano com previsão de atingir até 219 milhões de sacas até o final da década.

3.5 O PROCESSO DE TORRA

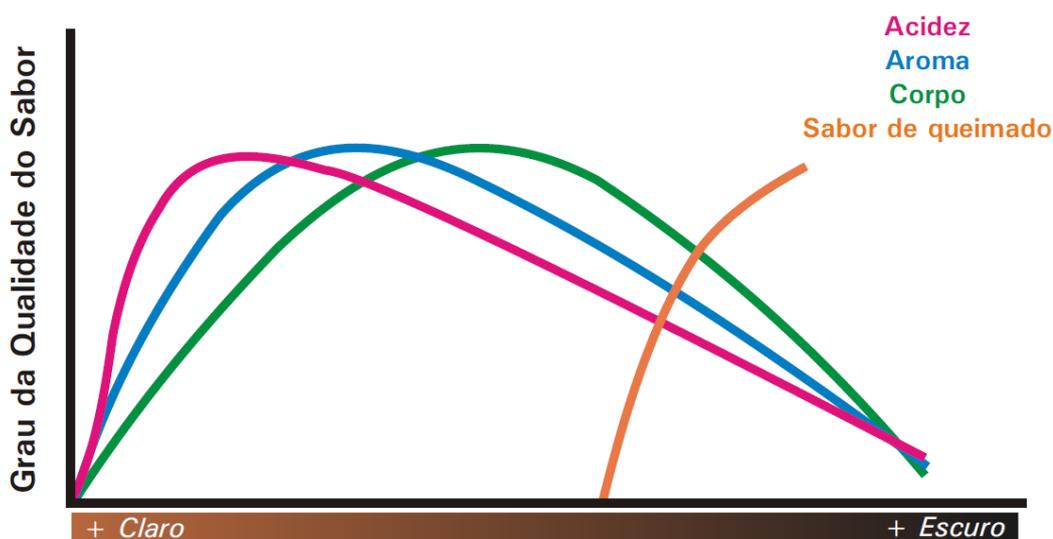
O sabor e o aroma característico do café resultam da combinação de centenas de compostos químicos produzidos pelas reações que acontecem durante o processo de torração. O processo consiste basicamente em submeter o café a um sistema que permite a movimentação dos grãos sob uma fonte de calor, elevando gradualmente sua temperatura até que se atinja o ponto desejado, e, em seguida, interromper o fornecimento de calor e resfriar rapidamente o produto para interromper a torração.

De acordo com Melo (2004), a qualidade final da bebida, está associada à origem dos frutos, à composição dos grãos, homogeneidade, e aos cuidados e tipo de processamento que teve após a colheita. Porém, independentemente do tipo de grão utilizado, o grau de torra afeta diretamente a qualidade final da bebida, a qual está

relacionada com a cor do produto final.

Segundo Melo (2004), existem três características importantes que indicam a qualidade final da bebida em função do grau de torra: acidez, aroma e corpo. Durante o processo de torração, a cor dos grãos varia, de forma grosseira, em tons de amarelo-claro e marrom-alaranjado no início, para tons marrom-escuro e preto no final. A Figura 04 ilustra o desenvolvimento das características da bebida em função da intensidade da torra. Para o grau de torra considerado claro, a característica predominante é a acidez; a medida que a torra evolui, a acidez começa a diminuir, o aroma predomina e o corpo aumenta; em seguida, o aroma também começa a diminuir e predomina o corpo da bebida; e por fim, a medida que os grãos adquirem tonalidades de preto, todas as características diminuem e ocorre carbonização de alguns componentes, acentuando o sabor de queimado.

Figura 04 – Características da bebida em função dos graus de torra.



Fonte: Melo (2004).

Segundo Clarke e Vitzthum (2001 apud SILVA; MORELI; JOAQUIM, 2015)¹ e Belchior (2020), durante a torração do café ocorrem várias alterações nas suas propriedades físicas e químicas, sendo elas:

- a) o teor de umidade inicial normalmente situado entre 11% a 12% é reduzido para 2% a 3%;

¹ CLARKE, R. J.; VITZHUM, O. G. **Coffee**: recent development. Ames: Iowa, Blackweel Science Ltda, 2001.

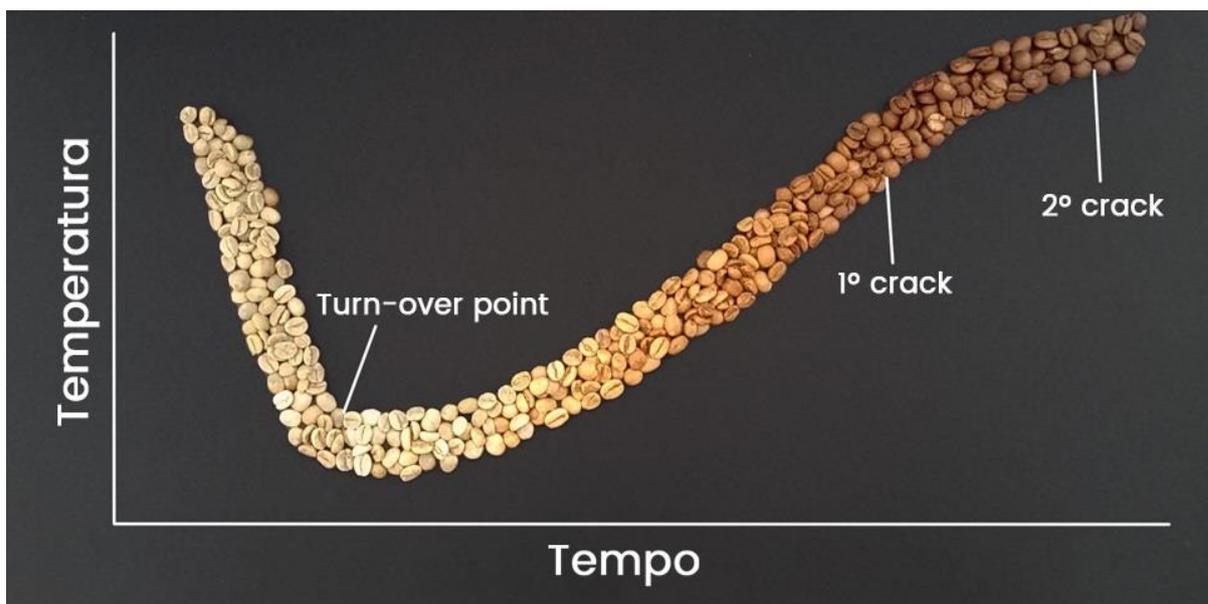
- b) perda de massa em torno de 10%;
- c) caramelização dos açúcares;
- d) ocorrência de reações químicas pirolíticas como as reações de Maillard que resultam na formação de novos compostos e a liberação de óleo, gás carbônico entre outros componentes voláteis.
- e) surgimento da cor típica marrom devido a produção de melanoidinas, que são polímeros que se formam quando açúcares e aminoácidos se combinam sob calor.
- f) expansão e ruptura de estruturas internas dos grãos;
- g) Aumento da temperatura dos grãos alcançando valores próximos de 230 °C.

3.6 OS ESTÁGIOS DA TORRA

Durante o processo de torra, a temperatura dos grãos varia em função do tempo. As curvas de torra ajudam a monitorar o processo, rastreando e identificando as fases pelas quais o café passa. Essas fases se dividem em secagem, Maillard e fase de desenvolvimento. Na fase de secagem, ocorre a desidratação dos grãos até que tenham perdido umidade suficiente para iniciar as reações químicas; a próxima fase, de Maillard, conhecida também por caramelização, é marcada pelo início das reações químicas entre os carboidratos e aminoácidos, momento em que acontece a construção de aromas e sabores devido à quebra e caramelização dos açúcares, a decomposição do ácido cítrico entre outros; e a fase de desenvolvimento, a qual se inicia logo após o primeiro *crack* – fenômeno que ocorre quando os grãos se expandem e estouram devido à liberação de vapor e dióxido de carbono presos no seu interior – fase importante para definir a temperatura final do grão, o padrão da torra e o equilíbrio dos atributos da bebida (HEINEIRCI, 2021; BROWN, 2016).

A Figura 05 mostra de forma simplificada uma curva de torra, com as aparências esperada para os grãos durante o processo, assim como, a variação de temperatura ao longo do tempo. Segundo Heineirci (2021), o *turn-over point* é o ponto em que a temperatura no gráfico chega ao menor valor. É considerado importante por ser a primeira referência que se tem do processo. Essa queda de temperatura acontece por que o termopar está situado em um ambiente quente – normalmente por conta da última torra que foi processada – e entra em contato com cafés frios (temperatura ambiente) quando se inicia a nova batelada.

Figura 05 – características esperadas para o café durante a torra, mostradas em uma curva de torra.



Fonte: CARLOS (2016).

Em relação aos “crack’s”, Melo (2004) explica que, enquanto o primeiro *crack* acontece devido a expansão da semente juntamente com a liberação da água e do gás carbônico, o segundo *crack* é a ruptura física da matriz celular do café. Os *crack’s* podem acontecer em momentos diferentes para cafés com matriz celular diferente, pois a matriz normalmente está associada ao tipo de processamento pós-colheita, à cultura, origem e a altitude onde o grão foi produzido.

Melo (2004) descreve resumidamente os eventos que marcam alguns dos estágios do processo de torra, os quais serão descritos a seguir, e ele ainda organiza todas as informações em um quadro (QUADRO 01) que relaciona tais eventos com o número agron correspondente (o número agron se trata de uma escala numérica de classificação da torra, que será mostrada com mais detalhes no próximo subtópico):

- a) Estágio Amarelo: temperatura interna do grão entre 90 – 120°C. O café começa a liberar umidade e alguns podem se tornar totalmente alaranjados neste ponto;
- b) Estágio Marrom Claro: temperatura interna do grão entre 120 – 150°C. Grão tostado ou com cheiro de pão cozido, ocorrência de reações endotérmicas.
- c) Caramelização: temperatura interna do grão entre 170 – 205°C. A cor dos grãos é mesclada, ocorrência do primeiro *crack* quando a temperatura interna do grão é cerca de 180°C, eles começam a expandir de tamanho e se rompem produzindo um estalo. Ocorrência de reações exotérmicas;
- d) Estágio City e City+: temperatura interna do grão entre 205 – 213°C. O café completou o primeiro *crack*, apresentando cor marrom moderado. Neste estágio e no próximo, compreende as temperaturas de torra do “pico do sabor”;

- e) Estágio Full City: temperatura interna do grão entre 213 – 220°C. Em alguns casos o segundo *crack* é observado neste estágio, o que leva a um café com um pouco mais de brilho, indicando o início da liberação de óleo;
- f) Estágio Full City +: temperatura interna do grão entre 221 – 230°C. O café completou o segundo *crack*, apresentando mais brilho devido a liberação de óleo;
- g) Estágio Viena: temperatura interna do grão entre 231 – 240°C. Estágio que apresenta torra agressiva, onde o caráter original é sobreposto pelo caráter de torra queimada.
- h) Estágio French e Italian: temperatura interna do grão entre 243 – 265°C. Degradação dos açúcares fortemente caramelizados e carbonização das estruturas celulósicas do grão. Ainda ocorre expansão de tamanho e perda de massa, resultando em bebida de corpo leve, amargo e com baixo teor de cafeína, pois os compostos aromáticos, óleos e sólidos solúveis são eliminados através de uma densa fumaça.

Quadro 01 – Resumo das características do grão durante os estágios de torra.

Estágio	Propriedades dos grãos	Perda de Massa	Número Agron	Temperatura (°C) (F)	Aparência do grão
Cru	Grão cru tem 12% de água /massa.	0.0%	99-81	Temp. ambiente	verdes.
Cinnamon	Vapores voláteis causam a expansão dos grãos.	13.0%	80-75	90-130	Marrom claro. Corpo claro, mínimo aroma, sabor parecido com chá. Nenhum óleo na superfície do grão.
American	Os grãos ainda estão expandindo. Este é o estágio em que o primeiro <i>crack</i> começa. Acidez mais alta do que açúcar.	14.0%	74-65	170-190	Marrom escuro. Grande em tamanho. Evidente acidez, Superfície do grão mantida seca.
City	Grão quase no máximo de expansão. O estágio do <i>crack</i> encerra.	15.0%	64-60	210-220	Rachaduras no grão devido a liberação de gases.
Full City	Máxima expansão dos grãos. Balanço de ácidos açúcares. Inicia o estágio do segundo <i>crack</i> .	16.5%	60-50	224-230	Lascas do grão começam a voar. Óleo está levemente visível. Acidez balanceada, corpo mais completo. Superfície do grão geralmente seca.
Vienna	Mais gases são liberados. O estágio do segundo <i>crack</i> encerra.	17.0%	49-45	230-235	Marrom mais escuro. Grãos tem óleo sobre si. Emerge amargor adocicado. Baixa acidez, corpo pesado.
Espresso	Decresce os aromas Açúcares carameliza.	18.0%	44-35	235-240	Preto com manchas de óleo, superfície brilhante. Amargor doce domina a acidez.
French	Ácidos decresce radicalmente. Açúcares carameliza.	19.0%	34-25	240-246	Preto escuro. Muito óleo. Cheiro de queimado. Coberto com óleo. Tons de amargo domina. Corpo fino.
Italian	Grãos perdem o sabor característico do café.	20.0%	24-15	246-265	Preto. Superfície brilhante. Tons amargo queimado dominam.

Fonte: Melo (2004).

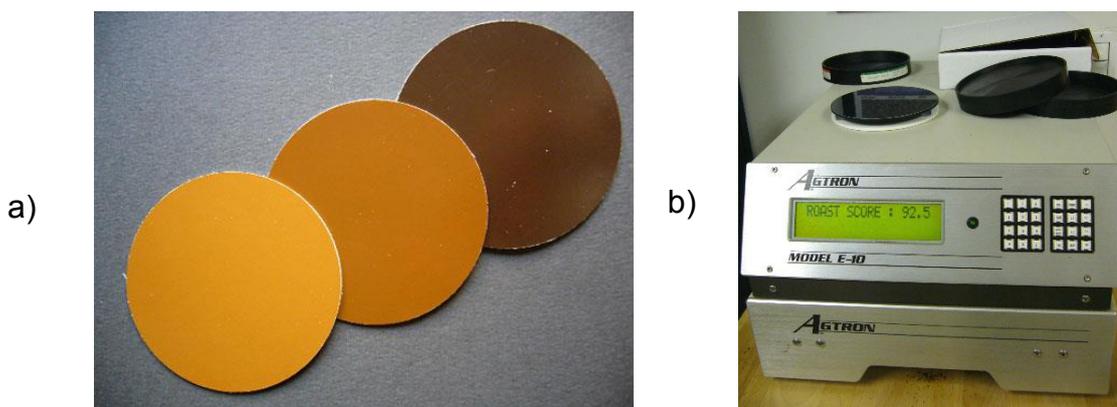
3.7 CLASSIFICAÇÃO DA TORRA

O ponto de torra ou grau de torração ou ainda padrão de torra do café, indica a intensidade das alterações físicas e químicas que ocorrem no processo, e isto influencia diretamente o resultado final da bebida. Ainda não existe uma maneira direta de monitorar a torra durante o processo, a não ser pelo termômetro que mede a temperatura dos grãos. Apesar de cada país utilizar o grau de torra de acordo com os seus costumes, existem alguns métodos onde é possível estima-lo.

O mais popular e provavelmente o menos preciso, é pela comparação visual dos grãos torrado, onde é definido padrões de intensidade entre clara, média e escura de acordo com a experiência do torrefador. Mas, tais padrões podem variar muito entre regiões e entre diferentes operadores e também pode existir sub padrões entre eles.

Um método mais preciso, técnico e aceito internacionalmente foi desenvolvido pela Specialty Coffee Association of America (SCAA) juntamente com a empresa norte-americana Agtron. Tal método consiste em uma escala de 0 a 100, dividida em intervalos de 10 valores denominados número agtron. Estes valores foram determinados com base na absorção de luz infravermelha pelo grão ou pó de café torrado, e cada número agtron corresponde a um intervalo de temperatura do grão durante a torra. Quanto menor o número, maior será o grau de torra, assim, valores próximos de 0 indicam as torras mais escuras e vice-e-versa. A empresa também criou duas ferramentas (FIGURA 06) para serem utilizadas com base na escala agtron: a primeira consiste em discos cobertos por tintas colorida representando o tom da cor do pó de café torrado, os quais são comparados visualmente com a amostra que se quer determinar o grau de torra; e a segunda é um espectrômetro de infravermelho específico, o qual retorna diretamente o número agtron correspondente para a amostra (MELO, 2004; LEME, 2016; NETO, 2007).

Figura 06 – Medidores do grau de torração de café desenvolvidos pela Agron.



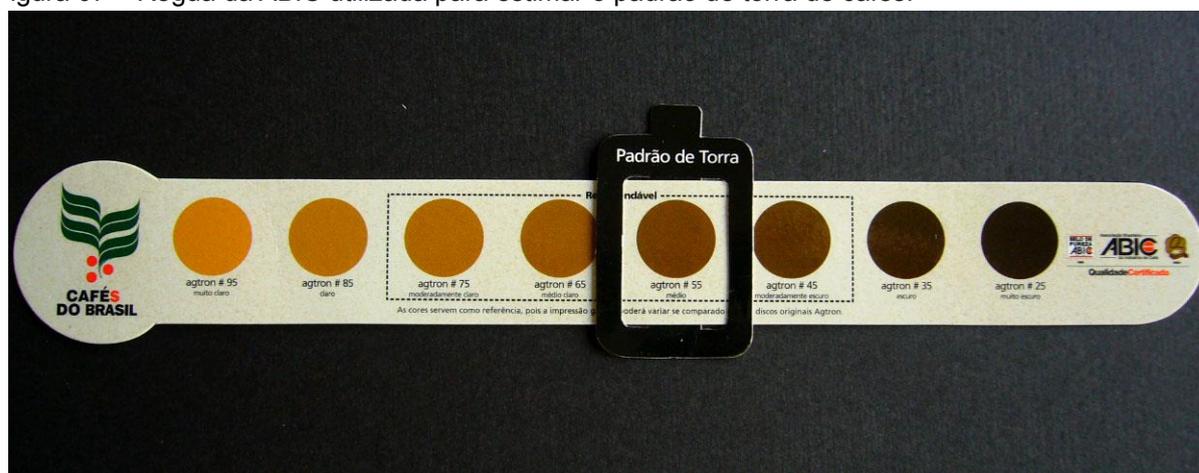
Fonte: Neto (2007).

Legenda: a) Discos para medição visual da torra na escala agtron.

b) Espectrofotômetro para medição instrumental da torra na escala agtron.

A Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC) classifica o padrão de torra no Brasil com nomenclaturas mais familiarizadas aos consumidores brasileiros. Essas nomenclaturas são: muito claro, claro, moderadamente claro, médio claro, médio, moderadamente escuro, escuro e muito escuro; e ainda, foi criada uma régua (FIGURA 07) onde é possível estimar aproximadamente qual ponto de torra foi obtido através de comparação visual e consultar qual é o número correspondente na escala agtron (ABIC, 2018).

Figura 07 – Régua da ABIC utilizada para estimar o padrão de torra de cafés.



Fonte: Neto (2007).

Neste trabalho, serão tomados como referência 3 padrões de torra, o médio claro, o médio e o moderadamente escuro, os quais estão entre os mais recomendados para consumo da bebida. Condensando as informações apontadas por Melo (2004) e a régua da ABIC, criou-se a Tabela 01 que relaciona os padrões de torra escolhidos com o número agtron e a faixa de temperatura interna do grão esperada naquele ponto.

Tabela 01 – Padrão de torra em função do número agron e temperatura.

Padrão de torra	Nº agron	Temperatura (°C)
Médio Claro	65	210-220
Médio	55	224-230
Moderadamente Escuro	35	235-240

Fonte: própria.

3.8 EQUIPAMENTOS DE TORRA

Existem no mercado muitos fabricantes de equipamentos com várias configurações, com opções, por exemplo, que variam desde a fonte de calor que pode ser elétrica, à gás ou à lenha, até a capacidade, que varia de 50 a 500g nos torradores de amostras ou uso doméstico, à 70 kg ou mais, nos torradores indicados para produção em grande escala comercial.

Quanto a forma de trocar calor, Silva, Moreli e Joaquim (2015) apontam que existem torradores que operam por meio de condução térmica ou por convecção. Naqueles que operam por condução térmica, a troca de calor ocorre através da superfície metálica de um tambor – que pode ser esférico, cônico ou cilíndrico – onde fica inserido o café; e nos torradores por convecção, a troca de calor ocorre através de um fluxo de ar ou mistura de gases, aquecidos a temperaturas próximas de 450 °C, que fluem através dos grãos em movimento.

Os equipamentos de torra podem ser classificados em duas modalidades levando em conta a temperatura do grão e o tempo de execução da torra: Os LTLT (“low temperature and long time”) e os HTST (“hight temperature and short time”). Os LTLT utilizam temperaturas mais baixas, onde os grãos atingem aproximadamente 211 °C e o tempo de execução varia de 9 a 15 minutos; e os HTST, a temperatura dos grãos aproxima-se de 235 °C e a média do tempo de execução é de 3 minutos (SILVA, MORELI E JOAQUIM, 2015).

Imediatamente após a torra, é importante resfriar o café rapidamente para interromper o processo devido à grande quantidade de calor ainda presente nos grãos. Para isso, utiliza-se equipamentos para movimentar o café sob um fluxo de ar frio, embora, as vezes também se utilize água, o ar é preferível (PEDROSA, 2018).

3.9 A PLATAFORMA ARDUINO

O arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica que surgiu com o propósito de permitir interação entre o usuário e o ambiente. Segundo MCROBERTS² (2010 apud FERRONI et. al., 2015), trata-se de um sistema embarcado, o que significa que por si só é completo e independente, e ainda pode interagir com o ambiente através da incorporação de *hardware* e *software*. É um projeto de código livre que utiliza a linguagem de programação C/C++, onde é possível programa-lo para executar tarefas e atingir um objetivo pré-definido.

As suas aplicações podem ser ampliadas através da utilização de sensores de todos os tipos e das placas auxiliares denominadas módulos ou *shields*, as quais contêm outras funções específicas como por exemplo, receptores GPS, conexão via *ethernet* ou *wireless*, conexão *bluetooth* entre outros.

A plataforma arduino foi criada para fins didáticos de fácil utilização e visando baixo custo, mas seu uso se estende para uma infinidade de aplicações. Um exemplo de arduino do modelo UNO é mostrado na Figura 08.

Figura 08 – Exemplo de arduino do modelo UNO.



Fonte: FERRONI et al. (2015).

² MCROBERTS, Michael. **Begging Arduino**. Apress. Nova Iorque: 2010.

3.10 ISOLANTE TÉRMICO – LÃ DE VIDRO

Isolantes térmicos são materiais que possuem propósito de reduzir o fluxo de calor entre sistemas que naturalmente buscam o equilíbrio térmico para igualar suas temperaturas. Dentre as propriedades esperadas para um isolante térmico, Junior, Montegutti e Haus (2016) citam: baixa condutividade térmica, quimicamente inertes, dimensionalmente estáveis e de fácil aplicação. A produção normalmente ocorre através da mistura de fibras, pós ou pedaços de materiais isolantes com o ar.

Existem vários materiais isolantes disponíveis no mercado, cada um com suas particularidades. A lã de vidro é um isolante térmico que se destaca mundialmente com aplicações que variam desde a construção civil até o ambiente industrial. Pode ser encontrada na forma de painéis ou na forma de rolos. Suas principais características são a leveza, facilidade de manipulação e aplicação, retardo a propagação de chamas, é quimicamente inerte, não prolifera fungos ou bactérias, é resistente a maresia, é imune a roedores, suporta temperaturas de 450°C em produtos resinados e até 550°C em produtos não resinados (COSTACURTA, SANT'ANNA e BRESSAN, 2021).

O uso de isolantes térmicos pode trazer melhorias como redução de consumo energético, aumento na segurança e na produtividade dos processos, o que traz, conseqüentemente, melhoria nas condições operacionais e redução de custos (PROPEQ, 2021).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Torrador LTTL de fabricação própria (FIGURAS 09 e 10);
- Moinho (á disco) de café elétrico;
- Café cru tipo 5/6 da safra 2021 com 13% de umidade e 10% de catação;
- Termômetro infravermelho (IR) KLX GM 320.

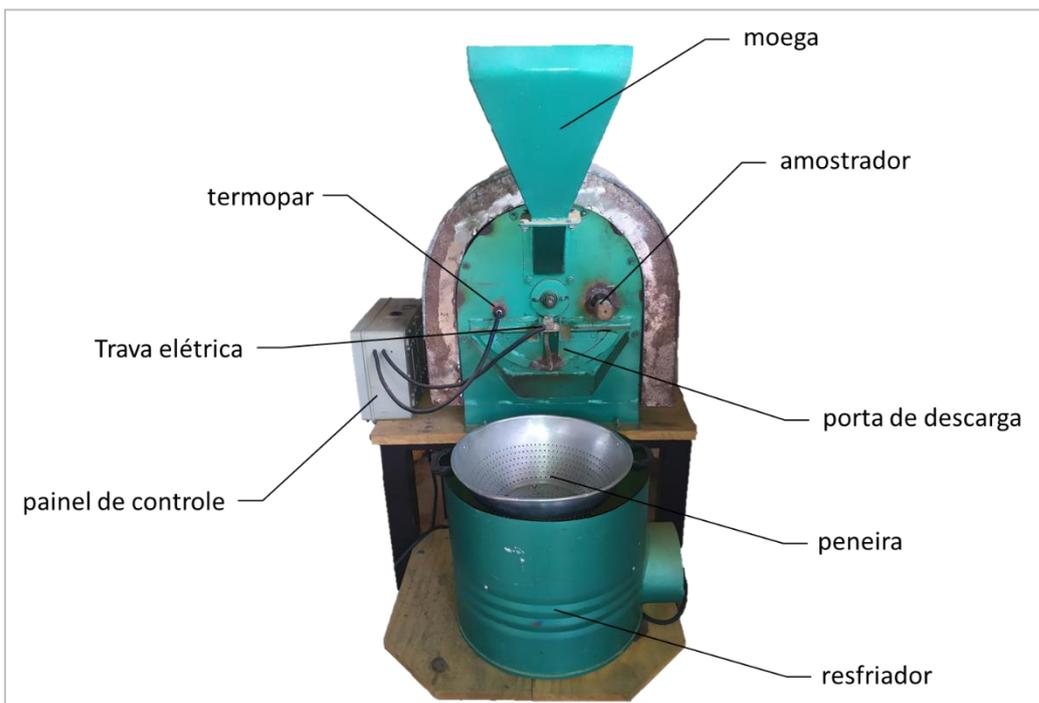
Figura 09 – Vista lateral do torrador com identificação dos seus componentes.



Fonte: própria.

O torrador possui três botões no painel de controle, onde é possível escolher os pontos de torra médio claro, médio e moderadamente escuro.

Figura 10 – Vista frontal do torrador com identificação dos seus componentes.



Fonte: própria.

4.2 MÉTODOS

A parte experimental do trabalho foi dividida em três etapas, sendo elas: coleta de dados para ajuste do sensor, coleta de dados para avaliação qualitativa da torra sem isolante e coleta de dados para avaliação qualitativa da torra com isolante.

Na primeira etapa foi realizado experimentos com massas de 100, 200, 300, 400 e 500 g, e para cada massa o experimento foi repetido 5 vezes, totalizando 25 experimentos. Os dados coletados na primeira etapa foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados (MMQ). Na segunda e terceira etapas foram realizadas triplicatas com massas de 500 g para os pontos de torra claro, médio e escuro, primeiramente sem isolante e posteriormente com isolante de lã de vidro, totalizando 18 experimentos. Os dados coletados na segunda e terceira etapas foram avaliados por comparação visual das amostras.

Um protocolo foi estabelecido para cada tipo de coleta de dados para que todos fossem coletados nas mesmas condições.

Na coleta de dados para ajuste do sensor, o protocolo seguido possui os seguintes passos:

- 1) Primeiramente o torrador precisa estar pré-aquecido, para isso, realiza-se uma torra utilizando as mesmas configurações que serão utilizadas no experimento em questão;
- 2) Após finalizado a torra de pré-aquecimento, pesa-se uma quantidade de café com a massa desejada, configura o nível da chama, a rotação do motor e anota-se essas informações em uma tabela (O modelo de tabela utilizado para esta etapa se encontra no apêndice A);
- 3) Inicia-se o experimento colocando a amostra no torrador e escolhendo o ponto de torra desejado. Os passos 4 e 5 a seguir devem ser repetidos a cada 1 minuto até a finalização da torra:
- 4) Anota-se a temperatura medida pelo termopar mostrada no LCD do torrador;
- 5) Mede-se a temperatura dos grãos utilizando o termômetro IR. Para isso, abre-se o torrador despejando a amostra na peneira e aponta-se o laser a uma distância de aproximadamente 15 cm (isso é feito devido a uma limitação do instrumento, que precisa de uma área mínima de medição para efetuar as medidas). A amostra deve ser devolvida imediatamente ao torrador. Anota-se o valor medido na tabela.

- 6) Após finalizada a torra de forma automática pelo equipamento, anota-se os últimos dados de tempo, temperatura do termopar e a temperatura medida utilizando o termômetro IR. Após o resfriamento do café, este pode ser descartado, ou, caso deseje, reservado para consumo.

E na coleta de dados para avaliação qualitativa da torra, o protocolo que foi seguido possui os passos de 1, 2, e 3 iguais aos do protocolo de coleta de dados para ajuste do sensor, com exceção de que a tabela utilizada para preencher os dados é outra e se encontra no apêndice B. Os demais passos são descritos a seguir e estes devem ser repetidos a cada 1 minuto até a finalização da torra:

- 5) Retira-se uma pequena amostra do café através do amostrador do equipamento e a coloca no quadrado da tabela contendo o respectivo tempo;
- 6) Após a finalização automática da torra, anota-se o tempo e a temperatura mostrado no visor LCD e deve-se tirar uma foto digital da tabela com as amostragens – em ambiente bem iluminado – para registro das informações;
- 7) Após o resfriamento do café, uma parte de aproximadamente 100 gramas deve ser reservada, identificada e guardada. O restante pode ser descartado ou, caso deseje, ser reservado para consumo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 O HISTÓRICO DO PROJETO

O projeto teve início no ano de 2019 como um trabalho em grupo para a disciplina de Instrumentação Industrial. O objetivo do trabalho foi desenvolver um projeto – com temas pré-estabelecidos ou próprios – onde deveria ser aplicado os conhecimentos adquiridos no decorrer da disciplina, e como regra, deveria conter pelo menos um sensor, um atuador e uma interface para interação entre o usuário e o projeto. Assim, surgiu o projeto do torrador automatizado com a proposta de um equipamento que operasse sem a intervenção humana, e, para cumprir as regras do trabalho, teria o motor e a trava elétrica como atuadores, o termopar como sensor e o painel de controle como interface de interação do usuário.

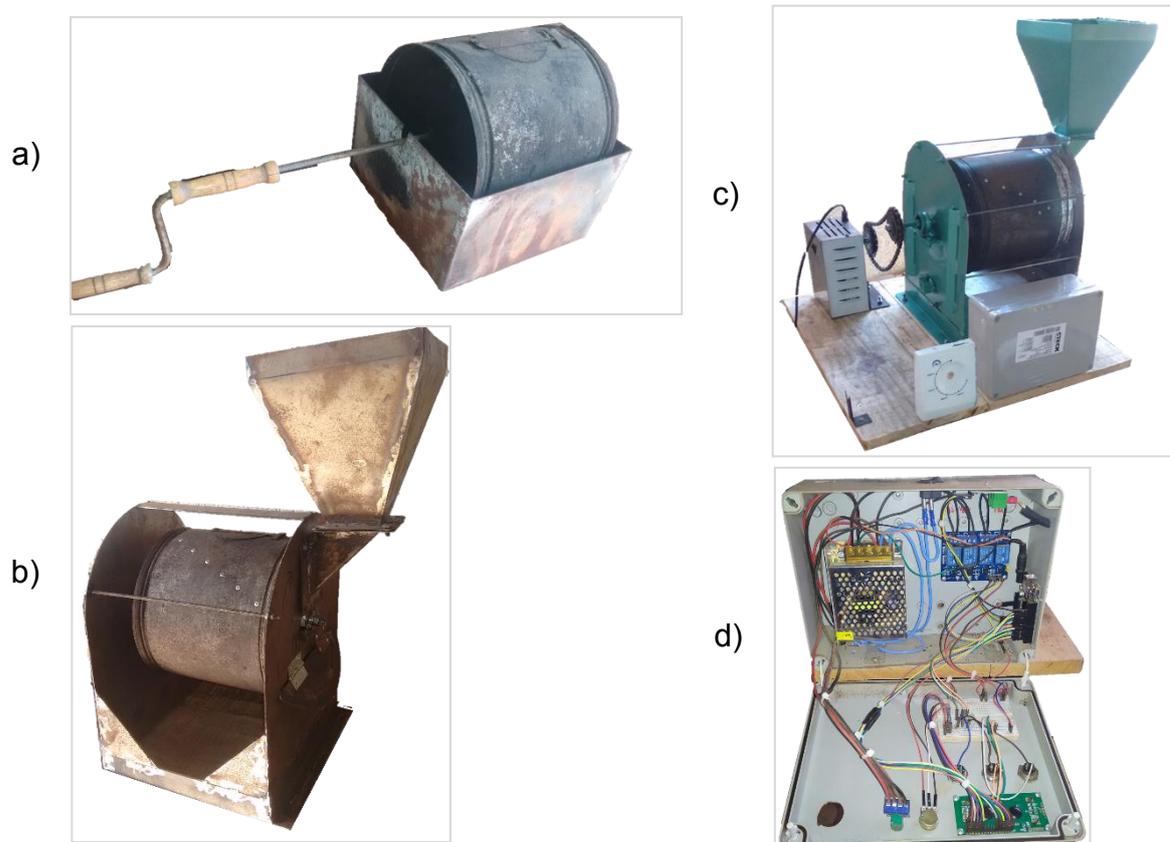
A seguir, serão descritos alguns estágios da construção e alguns componentes desenvolvidos no trabalho. A construção partiu de um torrador manual de tambor

cilíndrico de 8 litros de capacidade (FIGURA 11.a), no qual normalmente se utiliza lenha ou carvão como fonte de calor e o usuário gira manualmente o tambor até que o café atinja o ponto de torra desejado. Este modelo de torrador apresenta algumas desvantagens pois o usuário precisa movimentar manualmente o tambor, deve ficar próximo da fonte de calor e não tem condições de monitorar facilmente o progresso da torra do café, o que pode resultar em pontos de torra indesejados e/ou desiguais entre bateladas.

A Figura 11.b mostra a estrutura de aço carbono que foi construída para se instalar o tambor do torrador – o qual foi devidamente modificado – e demais partes do equipamento, tais como, o queimador de gás, a moega, a porta de descarga do café e o revestimento de proteção. A Figura 11.c mostra o motoredutor e o sistema de catracas e corrente utilizado para transferir a força do motor para o eixo do tambor e girá-lo, e ainda mostra o torrador, o motor e o painel de controle fixados sobre uma base criada para facilitar o manuseio do equipamento. E a Figura 11.d mostra o interior do painel de controle, onde foi alocado todo o sistema eletrônico para controle do torrador automatizado; dentro do painel, têm-se o arduino Uno, um módulo com 4 relés para acionamento dos atuadores, uma *protoboard* para conexão dos fios, um módulo de visor LCD, o módulo conversor de sinal do termopar, dois potenciômetros, sendo um para controle da velocidade do motor e o outro para o controle do contraste do visor LCD, e ainda, três botões para escolha dos pontos de torra e uma fonte para alimentação de todo o sistema. No visor LCD, após iniciar o processo de torra selecionando um dos pontos desejado, é mostrado a temperatura atual dos grãos e o tempo percorrido desde o início da torra.

O projeto finalizado ainda contou com um resfriador, o qual possui uma ventoinha que liga automaticamente quando a torra é finalizada e o café é descarregado na peneira; uma trava elétrica que é acionada fazendo a porta abrir para descarregar o café; e, um sistema de queima à gás com diferentes níveis de intensidade e com acendedor automático. Na época, o torrador cumpriu com sucesso o seu propósito como trabalho final da disciplina de Instrumentação Industrial.

Figura 11 – Desenvolvimento do protótipo.



Fonte: própria.

Legenda: a) torrador manual;

b) estrutura do protótipo;

c) protótipo e outros componentes fixados sobre a base;

d) interior do painel de controle.

5.2 ADAPTAÇÕES REALIZADAS NO EQUIPAMENTO

Durante o desenvolvimento do equipamento ou até mesmo após a apresentação do mesmo como trabalho para a disciplina de Instrumentação Industrial, vários obstáculos foram enfrentados e algumas adaptações se tornaram necessárias.

Um dos obstáculos foi em relação ao motor. No início, foi necessário encontrar um motor para girar o tambor e era desejável que houvesse um sistema de redução de rotação integrado. Primeiramente foi testado um motor 12V de limpador de para-brisa automotivo, mas não foi possível acoplar o eixo do motor ao eixo do tambor do torrador. Em seguida foi testado um motor 12V de carrinho infantil, mas este não teve força suficiente para girar o tambor quando carregado com café. Por fim, foi utilizado um motor de corrente alternada de 220V de churrasqueira, o qual cumpriu com

sucesso seu papel para a apresentação do trabalho. Porém, o motor era emprestado e foi preciso devolvê-lo ao seu legítimo dono. Mas, tendo em vista o futuro promissor do protótipo, foi adquirido um motoredutor de 12 V com controle de velocidade para ser utilizado exclusivamente no equipamento, o qual cumpriu satisfatoriamente o seu propósito.

Outro obstáculo foi em relação ao sensor de temperatura. A princípio foi utilizado um termoresistor do tipo PT 100, porém, após várias tentativas frustradas de calibração do sensor, o mesmo foi abandonado, pois o sinal gerado era sempre muito instável. No caso, foi utilizado um sensor termopar do tipo K, o qual já conta com o módulo MAX6675 que é um sofisticado conversor digital do sinal proveniente do termopar.

O terceiro obstáculo marcante enfrentado durante o desenvolvimento do protótipo, foi em relação ao acendedor automático. Tal acendedor conta com uma bobina para gerar a centelha que vai acender a chama. Mas, quando a bobina é acionada, a mesma causa uma interferência no arduino, causando erros ou até mesmo resetando a placa. Várias tentativas foram executadas com intuito de resolver ou amenizar o problema, mas este, ainda persiste até o momento da elaboração deste trabalho. As alternativas para utilização do protótipo, foram acender a chama antes de ligar o arduino ou resetá-lo quando este sofrer erros devido ao acionamento da bobina.

E por fim, uma adaptação foi feita exclusivamente para realização deste trabalho: a construção de um compartimento onde fosse possível instalar o isolante de lã de vidro. O compartimento foi construído em aço galvanizado possuindo 5 cm de espessura e envolve todo o revestimento externo do torrador que protege o tambor de torra e o sistema de queima do gás.

5.3 AJUSTE DO TERMOPAR

Esta seção compreende a primeira etapa do trabalho, que diz respeito ao ajuste feito no sensor para que o protótipo mostrasse no visor LCD temperaturas mais condizentes com a literatura. Nos primeiros testes do protótipo utilizando o termopar como sensor de temperatura, percebeu-se que as temperaturas mostradas no visor LCD eram distantes daquelas citadas por Melo (2004) e que seriam esperadas de se observar durante o processo de torra. Para evidenciar isso, foi realizada uma tomada de dados de temperatura do termopar em função do tempo (TABELA 02), utilizando

300 g de café. Essa torra foi finalizada manualmente, pois ainda não se tinha conhecimento de qual temperatura do termopar correspondia ao ponto de torra desejado.

Tabela 02 – Dados temperatura do termopar em função do tempo.

Tempo (min:seg)	T. Termopar (°C)
01:00	50
02:00	54
03:00	61
04:00	67
05:00	76
06:00	83
07:00	89
08:00	96
09:00	102
10:00	107
11:00	112
12:00	116
13:00	119
*13:34	122

Fonte: própria.

Legenda: (*) tempo de finalização da torra.

O café produzido apresentou ponto torra aproximadamente médio – estimado por comparação visual – na temperatura de 122 °C, no entanto, para Melo (2004), o ponto de torra médio deveria ser atingido em temperaturas de aproximadamente 225°C.

Com base nisso, decidiu-se medir a temperatura dos grãos durante a torra utilizando o termômetro infra-vermelho. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 03. Aqui, foi possível observar que o termômetro infravermelho mediu temperaturas mais condizentes com a literatura, visto que, na temperatura de 230 °C medida por ele, foi produzido um café com padrão de torra próximo ao considerado médio.

Tabela 03 – Dados de temperatura do IR em função da temperatura do termopar e do tempo.

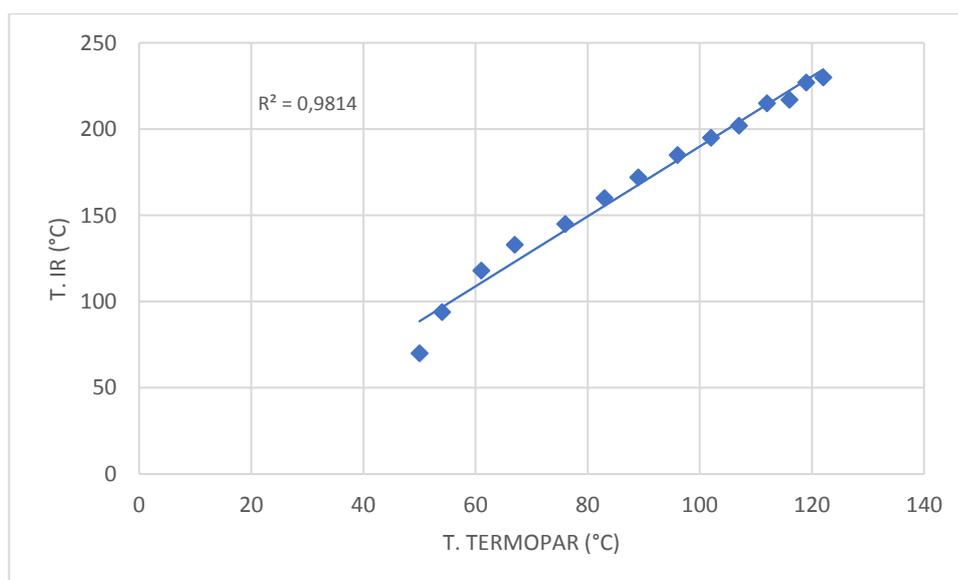
Tempo (min:seg)	T. Termopar (°C)	T. IR (°C)
01:00	94	88
02:00	93	97
03:00	89	106
04:00	90	120
05:00	93	126
06:00	96	128
07:00	101	135
08:00	105	145
09:00	108	149
10:00	111	148
11:00	119	157
12:00	126	167
13:00	131	170
*13:14	133	230

Fonte: própria.

Legenda: (*) tempo de finalização da torra.

Os dados de temperaturas medidos pelo termopar e pelo IR foram plotados e são mostrados no Gráfico 03, onde foi observado um comportamento linear entre eles e sustentado pelo valor de fornecido do software de planilha eletrônica, o qual foi de 0,98.

Gráfico 03 – Temperatura do termômetro IR em função da temperatura do termopar.



Fonte: própria.

Com base em tais informações, decidiu-se realizar diversos experimentos a fim de encontrar uma equação linear que compense a diferença entre as medidas aferidas pelo termopar e pelo IR. Essa equação será incluída no programa do arduino, e com ela, o visor LDC poderá mostrar valores de temperatura mais condizentes com aqueles citados na literatura.

Para isso, foi realizado 5 experimentos para cinco massas diferentes de café, sendo elas 100, 200, 300, 400 e 500 g. A quantidade de experimentos foi escolhida devido às flutuações que as medidas apresentam, e para determinar qual a massa mais adequada para prosseguir os estudos. E neste caso, foi seguido o protocolo de coleta de dados para ajuste do sensor, o qual foi descrito na seção 4.2. As variáveis de operação do protótipo foram fixadas para todos os experimentos, utilizando temperatura de chama no nível de 250°C, rotação máxima do tambor e ponto de torra médio – pré-definido na temperatura de 130 °C aferida pelo termopar. Os dados coletados foram organizados no formato de médias, e estão disponíveis no Apêndice C, assim como, as incertezas calculadas para cada medida.

Com os dados coletados, foi aplicado o método dos mínimos quadrados (MMQ) para calcular os coeficientes da equação linear. Os quatro primeiros pontos não foram utilizados no MMQ, pois estes se afastavam consideravelmente do comportamento linear; isso acontece no início de uma nova batelada por que o termopar possui uma resposta mais lenta quando comparado ao IR – o qual possui resposta instantânea e sem a necessidade de contato – e também, devido ao calor acumulado no interior do tambor e na estrutura de metal onde o sensor está instalado, proveniente da batelada anterior. E além disso, a faixa de temperatura alvo na qual a torra será finalizada, está longe da região que se encontra os pontos iniciais desconsiderados. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 04 a seguir.

Tabela 04 – Coeficientes da equação linear obtidos nos experimentos de ajuste do sensor.

Massa (g)	a	$\pm\sigma$ a	b	$\pm\sigma$ b	χ^2 red
100	3,00	0,11	-172,18	1637,96	0,25
200	2,40	0,02	-97,03	325,20	0,10
300	2,67	0,03	-135,19	392,44	0,21
400	2,39	0,02	-102,81	206,80	0,26
500	2,41	0,02	-107,74	203,72	0,29

Fonte: própria.

Com base nos dados apresentados, observou-se uma tendência de estabilização à medida que se aumenta a massa de café, indicando que as massas de 400 e 500 gramas são mais adequadas para o protótipo. Isso acontece por que quantidades menores de café não envolve totalmente a ponta do termopar, o que diminui as colisões entre os grãos e o sensor, levando a medidas com maior erro.

Para prosseguimento do trabalho, foi escolhida a massa 500 g e os coeficientes obtidos com ela para fazer o ajuste do sensor, pois foi o resultado que apresentou os menores erros para os coeficientes a e b. Portanto, a equação (1), a qual permite estimar a temperatura medida pelo IR em função da temperatura medida pelo termopar, foi utilizada e adaptada ao programa do arduino para realização das próximas etapas.

$$T.IR = T.Termopar \cdot 2,41 - 203,72 \quad (1)$$

Onde,

$T.IR$... temperatura medida pelo IR em °C;

$T.termopar$... temperatura medida pelo termopar em °C.

5.4 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA TORRA

Esta seção compreende a segunda e a terceira etapa do trabalho, que diz respeito ao estudo qualitativo das torras produzidas pelo protótipo, com e sem o isolante de lã de vidro. Para isso, foi realizado experimentos em triplicatas para os padrões de torra médio claro, médio e moderadamente escuro, e, levando em consideração a Tabela 01, para cada padrão a temperatura de finalização foi definida em 210, 225 e 240 °C, respectivamente.

A coleta de dados foi feita seguindo o protocolo de coleta de dados para avaliação qualitativa da torra, descrito na seção 4.2 deste trabalho. A quantidade de café utilizada foi de 500 g e as variáveis de operação do protótipo foram fixadas para todos os experimentos, utilizando temperatura de chama constante no nível de 250°C e rotação máxima do tambor.

5.4.1 Sem isolante térmico

Na segunda etapa deste trabalho foi coletado os dados para avaliação qualitativa da torra sem o isolante térmico seguindo o devido protocolo, e tais dados estão disponíveis no Apêndice D. Os tempos gasto para a finalização da torra de forma automática pelo equipamento estão dispostos na Tabela 05, assim como, média de tempo que foi gasto em cada padrão de torra escolhido.

Tabela 05 – Tempos de finalização da torra obtidos para cada padrão, sem isolante térmico.

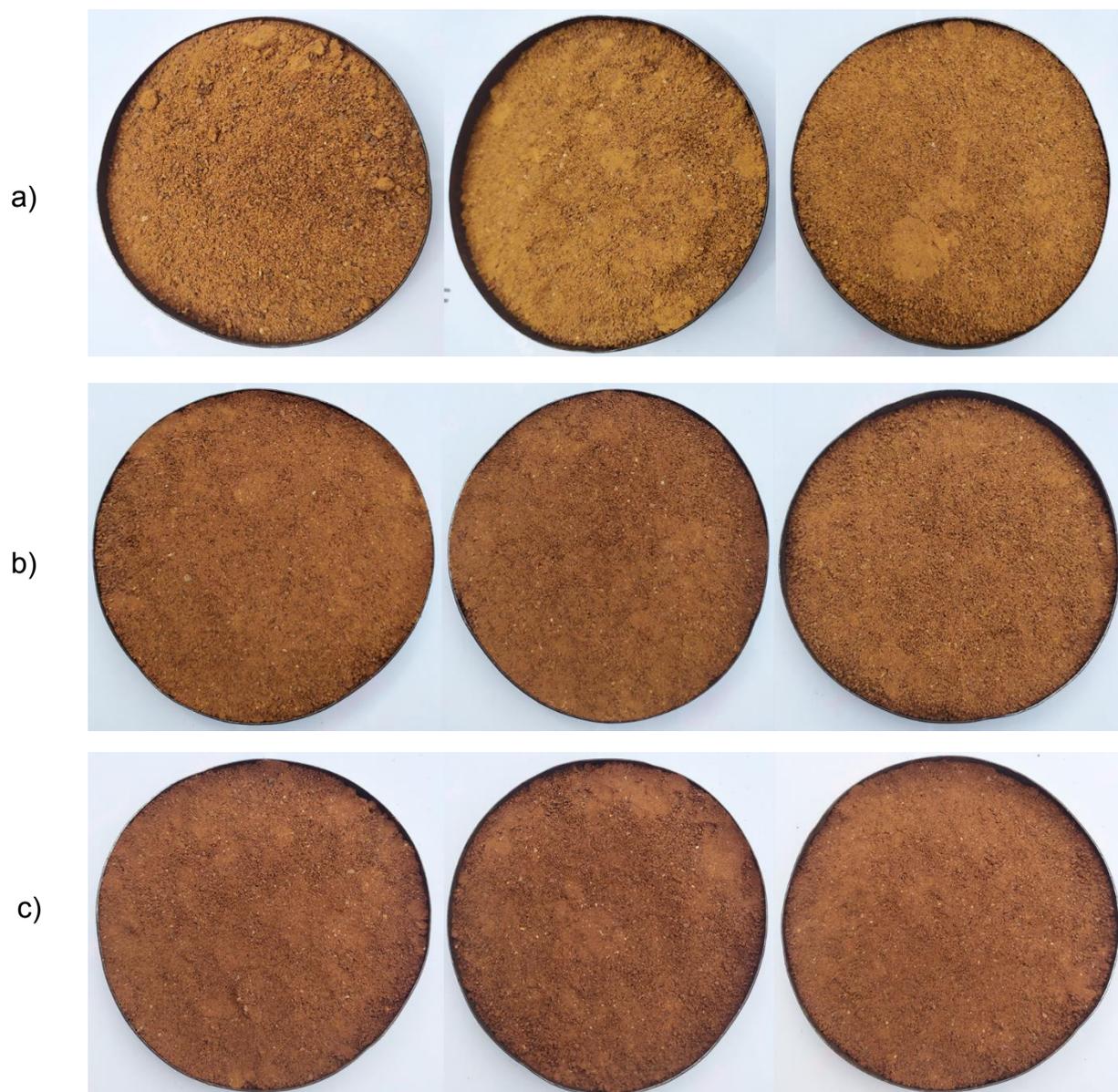
Padrão de torra	t ₁ (min:seg)	t ₂ (min:seg)	t ₃ (min:seg)	t médio (min:seg)
médio claro	14:00	12:00	12:39	12:53
médio	13:43	13:58	13:43	13:48
moderadamente escuro	14:53	15:07	15:27	15:09

Fonte: própria.

Legenda: t_i indica o tempo gasto para o experimento realizado dentro de uma triplicata.

As amostras de café torrado de aproximadamente 100 g que foram reservadas de cada batelada, foram moídas no moinho elétrico para se obter o pó; em seguida, foram acondicionadas em um pequeno recipiente raso, de forma que o pó ficasse nivelado e levemente pressionado. Em seguida, registrou-se uma foto digital de cada amostra para que fosse feito a comparação visual do padrão de torra. Os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 12.

Figura 12 – Triplicatas das amostras de pó obtidas sem o uso de isolante térmico.



Fonte: própria.

Legenda: a) médio claro;

b) médio;

c) moderadamente escuro;

A partir dos resultados obtidos e comparação visual das amostras, as imagens mostraram que para os três padrões de torra estudados obteve-se uma boa repetibilidade dentro da triplicata. Isso indica que o protótipo entrega o mesmo resultado para um determinado padrão de torra selecionado, seguindo uma calibração feita anteriormente e as condições definidas nela.

5.4.2 Com isolante térmico

Para execução desta etapa do trabalho, primeiramente foi instalado o isolante de lã de vidro no compartimento do protótipo construído especialmente para isso, totalizando uma camada de 5 cm de espessura do material. A Figura 13 mostra o compartimento aberto contendo o isolante instalado no seu interior.

Figura 13 – Isolante de lã de vidro instalado no protótipo.



Fonte: própria.

Da mesma forma como foi feito na segunda etapa, os dados para avaliação qualitativa da torra utilizando o isolante térmico de lã de vidro no equipamento foram coletados seguindo o devido protocolo e estão disponíveis no Apêndice E. Os tempos gasto para a finalização da torra de forma automática pelo equipamento estão dispostos na Tabela 06, assim como, a média de tempo que foi necessário para cada padrão de

torra escolhido.

Tabela 06 – Tempos de finalização da torra obtidos para cada padrão, com isolante térmico.

Padrão de torra	t ₁ (min:seg)	t ₂ (min:seg)	t ₃ (min:seg)	t médio (min:seg)
médio claro	9:06	11:18	9:35	9:59
médio	11:17	11:22	10:41	11:06
moderadamente escuro	12:54	12:45	11:32	12:23

Fonte: própria.

Legenda: t_i indica tempo gasto para o experimento realizado dentro de uma triplicata.

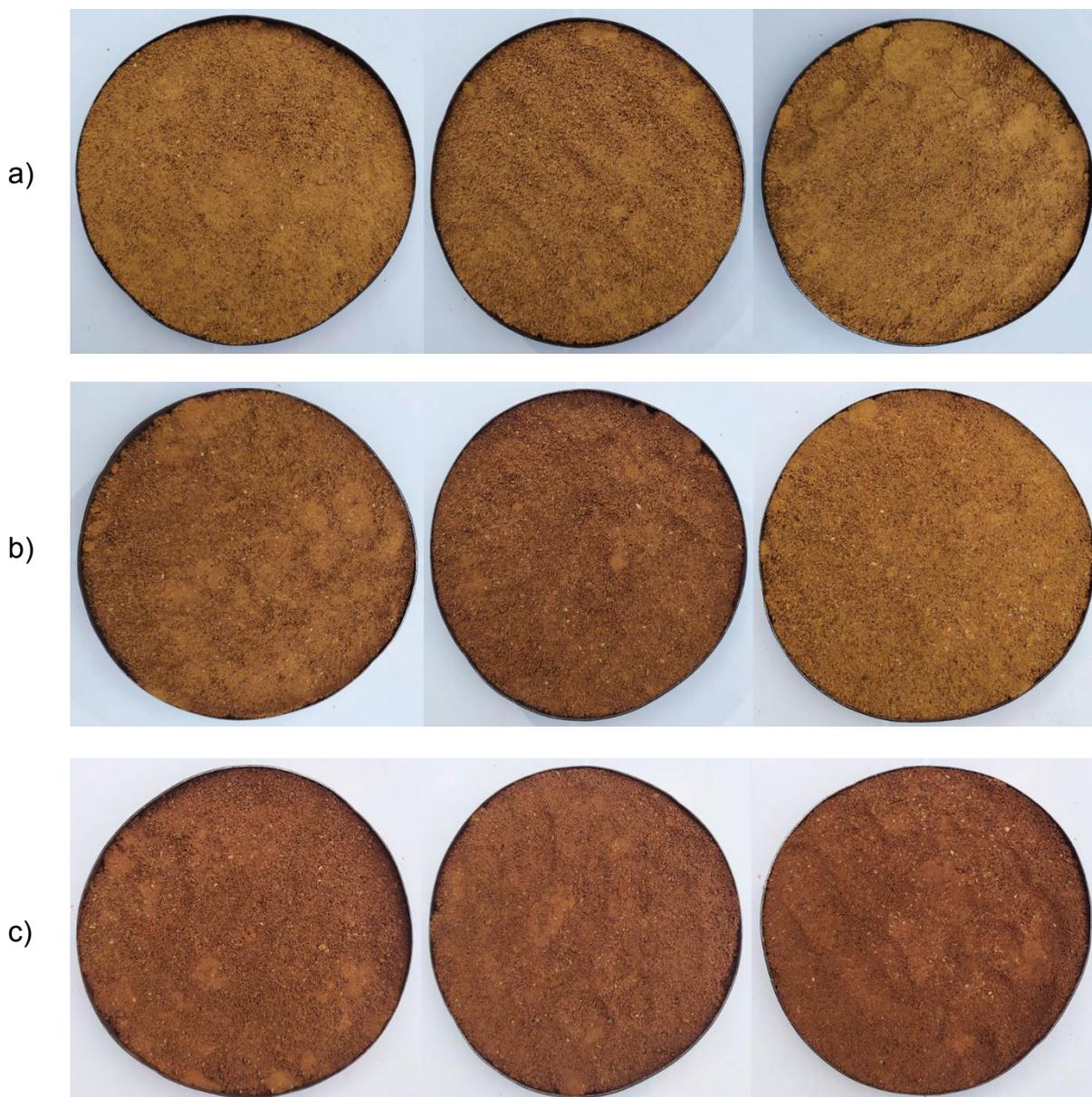
Da mesma forma que na etapa anterior, as amostras reservadas foram moídas e acondicionadas em um recipiente adequado, onde foi registrado uma foto digital de cada uma delas. Os resultados obtidos foram organizados e são mostrados na Figura 14.

A partir dos resultados obtidos e comparação visual das amostras, as imagens da Figura 14 mostraram que para os três padrões de torra estudados obteve-se uma boa repetibilidade dentro da triplicata, com exceção do terceiro experimento para o ponto de torra médio, o qual apresentou coloração levemente mais clara em relação aos outros dois da mesma triplicata; isso pode ter acontecido devido ao acúmulo de calor proveniente das bateladas anteriores, fazendo com que sensor medisse um valor um pouco maior no momento da finalização da torra, e assim, encerrando a mesma precocemente. Mas no geral, os dados obtidos indicam que o protótipo entrega resultados muito próximos para um determinado padrão de torra selecionado, seguindo uma calibração feita anteriormente e as condições nela definidas.

Quanto a precisão dos pontos de torra obtidos – tanto na primeira como na segunda etapa – de acordo com a experiência do autor e a comparação visual feita entre as amostras e a régua da ABIC mostrada na Figura 00, pode-se considerar que os resultados obtidos foram satisfatórios, ou seja, quando escolhido um determinado padrão de torra no protótipo, ele de fato entrega um produto com padrão próximo daquele escolhido. Porém, as imagens digitais podem apresentar discrepâncias no tom das cores, dependendo do aparelho utilizado para registrar e visualizar as amostras, podendo mostrar cores diferentes da realidade. Ou ainda, um observador pode tirar conclusões diferentes do outro, já que a comparação visual se trata de uma condição particular humana. Portanto, seria necessário um outro estudo para

sustentar essa afirmação, como por exemplo, comparações visuais com os discos originais agrtron ou análise utilizando um espectrômetro específico para isso.

Figura 14 – Triplicatas das amostras de pó obtidas com o uso de isolante térmico.



Fonte: própria.

Legenda: a) médio claro;

b) médio;

c) moderadamente escuro;

5.5 VANTAGENS EM RELAÇÃO AO ISOLANTE

Aqui será feito uma comparação entre os resultados de tempos gasto para finalização da torra, com e sem o isolante térmico instalado no equipamento. Para isso, tomou-se a diferença entre os tempos médios da Tabelas 05 e 06 resultantes das etapas 2 e

3. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 07.

Tabela 00 – Diferença entre os tempos médios de finalização da torra obtidos para cada padrão, com e sem o isolante térmico.

Padrão de torra	t médio sem isolante (min: seg)	t médio com isolante (min: seg)	Diferença ente t médio (min:seg)
médio claro	12:53	9:59	2:53
médio	13:48	11:06	2:41
moderadamente escuro	15:09	12:23	2:45

Fonte: própria.

Os dados obtidos mostram que o isolante de lã de vidro trouxe uma melhora significativa para o processo, com uma economia de aproximadamente 2 minutos e 46 segundos em média, quando comparado com os experimentos feitos sem o isolante. Essa economia de tempo é importante na indústria, principalmente naquelas que processam bateladas consecutivamente, levando a um aumento de capacidade produtiva da empresa. Além disso, o isolante contribui para a segurança do ambiente industrial, evitando que o calor seja dissipado pelo ambiente ao redor do equipamento e diminuindo a temperatura na superfície do mesmo.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para o ajuste do termopar mostraram que os dados de temperatura medidos pelo termômetro infla-vermelho em função dos dados de temperatura medidos pelo termopar seguem uma tendência linear; e ainda, tais dados mostraram que, dentre as massas escolhidas para o estudo, a massa de 500 gramas apresentou os menores erros, portanto, a equação linear de ajuste obtida com ela foi a escolhida para realização das próximas etapas.

Os dados obtidos na avaliação qualitativa da torra sem o uso de isolante térmico mostraram que o protótipo cumpre satisfatoriamente o propósito de entregar um produto com o padrão de torra próximo daquele escolhido, e ainda com boa repetibilidade.

Os dados obtidos na avaliação da torra utilizando o isolante térmico de lã de vidro mostraram que, neste caso, o protótipo também cumpre o propósito de entregar

um produto com o padrão de torra próximo daquele escolhido, porém, com repetibilidade ligeiramente menor quando comparado com o experimento realizado sem o isolante.

Fazendo um comparativo entre os dados de tempo de torra coletados com e sem o isolante, concluiu-se que o isolante trouxe vantagem significativa ao processo, com economia de 2 minutos e 46 segundos em média, contribuindo também, para a segurança do ambiente industrial.

Como sugestão de trabalhos futuros, seria interessante experimentar se outros tipos de cafés apresentam o mesmo comportamento utilizando o mesmo ajuste ou avaliar a influência de propriedades como a o teor de umidade e a densidade dos grãos no processo de torra. E também, seria ideal avaliar a precisão dos padrões de torra utilizando instrumentos específicos para isso, tais como os discos agtron ou o espectrômetro próprio para isso.

REFERÊNCIAS

ABIC. **ABIC**: Associação brasileira da indústria de café. c2021. Estatísticas. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2020/>. Acesso em: 21 de dez. 2022.

ABIC. **ABIC**: Associação brasileira da indústria de café. 2021. Tudo de Café. Disponível em: < <https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/origem-do-cafe/>>. Acesso em: 27 de dez. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Norma de qualidade recomendável e boas práticas de fabricação de cafés torrados em grão e cafés torrados e moídos**. Rio de Janeiro: ABIC, 2018. Disponível em: < <https://www.abic.com.br/wp-content/uploads/2021/06/Norma-PQC-26-06-2018-rev-30.pdf> >. Acesso em: 16 de Jan. de 2023.

AGNOLETTI, Bárbara Zani, **Avaliação das Propriedades físico-químicas de café arábica (coffea arabica) e conilon (coffea canéfora) classificados quanto à qualidade da bebida**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, ES, 2015.

BELCHIOR, V. **A torra do café: As mudanças físicas**. In: Perfect Saily Grind, 2020. Disponível em: < <https://perfectdailygrind.com/pt/2020/08/27/a-torra-do-cafe-as-mudancas-fisicas/> >. Acesso em: 03 de jan. de 2023.

BOM JARDIM, Secretaria Municipal de Turismo. **A chegada do café no Brasil**. [BOM JARDIM: Secretaria Municipal de Turismo], [2021]. Disponível em: <http://www.bomjardim.rj.gov.br/acervo/documento%20cafe%20brasil.pdf>. Acesso em: 27 de dez. 2022.

BLOG, R. **Minas Gerais e o Café**: Quais fatores transformaram o estado no maior produtor do grão no Brasil? 2020. Disponível em: < <https://reinaconsultoria.com/2020/03/12/minas-gerais-e-o-cafe-quais-fatores-transformaram-o-estado-no-maior-produtor-do-grao-no-brasil/> >. Acesso em: 28 de dez. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Café no Brasil e Ementário do Café**. [Brasília]: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em: 21 dez. 2022.

BRASÍLIA, v. 9, n. 4, p. 1-52, dezembro, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 21 de dez. 2022.

BROWN, H. **Como usar curvas de torra para guiar a torra do café**. In: Perfect Saily Grind, 2016. Disponível em: < <https://perfectdailygrind.com/pt/2020/08/20/como-usar-curvas-de-torra-cropster/> >. Acesso em: 29 de dez. de 2022.

BSCA. **BSCA**: Cafés especiais do Brasil. c2022. Regiões. Disponível em: < <https://brazilcoffeenation.com.br/region/list> >. Acesso em: 21 de dez. 2022.

CARLOS. **A arte científica de torrar café**. Novidade e Curiosidades. [S.l.]. Maraná, 2020. Disponível em: < <https://maranacafesespeciais.com.br/novidades/a-arte-cientifica-de-torrar-cafe/> >. Acesso em: 29 de dez. de 2022.

CECAFÉ. **Cecafé**: Conselho dos exportadores de café do Brasil. c2022. Sobre o café. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/site/sobre-o-cafe/consumo/>. Acesso em: 21 de dez. 2022.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira café**. Safra 2022 4º levantamento, Brasília, v. 9, n. 4, p. 1-52, dezembro, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 21 de dez. 2022.

COSTACURTA, V.; SANT'ANNA, P. M. M.M; BRESSAN, R. T. **Análise de eficiência de isolamento térmico entre lã de vidro e lã de polietileno tereftalato (pet) em alvenaria e gesso acartonado**. In: ENCONTRO CIENTÍFICO CULTURAL INTERINSTITUCIONAL, 19., 2021, Cascavel – PR. Anais [...]. Disponível em: < https://www2.fag.edu.br/coopex/inscricao/arquivos/ecci_2021/12-10-2021--22-18-15.pdf >. Acesso em: 05 de jan. de 2023.

FERRONI, E. et al. **A plataforma Arduino e suas aplicações**. Revista da UI_IPSantarém, v. 3, n. 2, p. 133-148, 2015. Disponível em: < <https://revistas.rcaap.pt/uiips/article/view/14354> >. Acesso em: 03 de jan. de 2023.

HEINEIRCI, G. **Quais são as fases da torra do café**. In: Atilla Coffee Roasters, c2021. Disponível em: < <https://www.atilla.com.br/as-fases-da-torra-de-cafe/> >. Acesso em: 29 de dez. de 2022.

JUNIOR, C. A; MONTEGUTTI, M. C.; HAUS, T. L. **Análise comparativa da eficiência de isolantes térmicos**. FAE Caderno PAIC, v. 17, n. 1, p. 211-235, 2016. Disponível em: < <https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/213#:~:text=AN%C3%81LISE%20COMPARATIVA%20DA%20EFICI%C3%8ANCIA%20DE%20ISOLANTES%20T%C3%89RMICOS,-Claudio%20Antunes%20Junior&text=Estas%20propriedades%20s%C3%A3o%20notadas%20quando,funcionar%20em%20um%20ambiente%20t%C3%A9rmico.> >.

Acesso em: 05 de jan. de 2023.

LEME, D. S. **Reconhecimento de padrões em torra de cafés especiais e integração de informações no processo de análise sensorial**. Dissertação (Mestrado em engenharia de sistemas e automação). Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, 2016.

MARTINS, A.L. **História do Café**. 1ª ed. Contexto. 2008. Disponível em: < https://www.dropbox.com/s/m5zfwnpnlgh7p7/historia_do_cafe_leia_um_trecho.pdf?dl=0 > Acesso em: 27 de dez. de 2022.

MELO, W. L. de B. **A importância da informação sobre o grau de torra do café e sua influência nas características organolépticas da bebida**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, 58). 2004. Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/30170> > Acesso em: 28 de dez. de 2022.

MOREIRA, Priscila Carvalho *et al.* **Produtividade e economia de fatores de produção na cafeicultura brasileira**. Revista da Política Agrícola. v. 28, n. 2., p. 6-22. Abr/maio/jun 2019. Disponível em <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1368>. Acesso em: 21 de dez. 2022.

NETO, E. **Sutilezas do ton-sur-ton da torra do café**. *In*: Café Point, 2007. Disponível em: < <https://www.cafepoint.com.br/noticias/giro-de-noticias/sutilezas-do-tonsurton-da-torra-do-cafe-41147n.aspx?r=1008215546> >. Acesso em: 16 de Jan. de 2023.

OIC. Organização Internacional do Café. **Estatísticas do comércio**, 2018. Disponível em: < https://www.ico.org/pt/trade_statistics.asp?section=Estat%EDstica >. Acesso em: 27 de dez. 2022.

OIC. Organização Internacional do Café. **Estatísticas do comércio**, 2019. Disponível em: < https://www.ico.org/pt/trade_statistics.asp?section=Estat%EDstica >. Acesso em: 27 de dez. 2022.

OIC. Organização Internacional do Café. **Relatório sobre o mercado de café: Setembro 2022**, 2022. Disponível em: < <https://www.ico.org/documents/cy2021-22/cmr-0922-p.pdf> >. Acesso em: 28 de dez. 2022.

PEDROSA, M. L. R. S. **A importância da torra do café**: Etapas e procedimentos do processo na indústria. Monografia (Bacharel em engenharia de produção). Faculdade de Ciência Educacionais, Campus Capim Grosso. Capim Grosso, BA, 2018.

PROPEQ. **Isolantes térmicos na indústria**. 2021. Disponível em: < <https://propeq.com/isolantes-termicos-na-industria/> >. Acesso em: 05 de jan. 2023.

SÃO PAULO (estado), Secretaria de Agricultura e Abastecimento. **Mercado de Café – covid-19**.

São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, [2020]. Disponível em: < [http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14803#:~:text=No%20cen%C3%A1rio%20mundial%2C%20o%20consumo,%25%20ao%20ano%20\(Figura1\)](http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14803#:~:text=No%20cen%C3%A1rio%20mundial%2C%20o%20consumo,%25%20ao%20ano%20(Figura1)) >. Acesso em: 28 de dez. 2022.

SILVA, L. C. da; MORELI, A. P.; JOAQUIM, T. N. M. Café: Beneficiamento e Industrialização. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 383-389. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1040772/cafe-beneficiamento-e-industrializacao> >. Acesso em: 28 de dez. de 2022.

VEGRO, Celso Luís Rodrigues. **Cafés do Brasil**: qualidade, competitividade e reconhecimento... Só que não!. 2018. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=14446>. Acesso em: 21 de dezembro 2022.

APÊNDICES**APÊNDICE A – Tabela de coleta de dados para ajuste do termopar**

DATA	
Nº EXPERIMENTO	
PONTO DE TORRA	
MASSA DA AMOSTRA	
DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	
TEMPERATURA DA CHAMA	
ROTAÇÃO DO TAMBOR	

TEMPO (min)	T. TERMOPAR (°C)	T. IR (°C)
00:00		
01:00		
02:00		
03:00		
04:00		
05:00		
06:00		
07:00		
08:00		
09:00		
10:00		
11:00		
12:00		
13:00		
14:00		
15:00		
16:00		
17:00		
18:00		

APÊNDICE B – Tabela de coleta de dados avaliação qualitativa da torra

DATA	
Nº EXPERIMENTO	
PONTO DE TORRA	
MASSA DA AMOSTRA	
DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	
TEMPERATURA DA CHAMA	
ROTAÇÃO DO TAMBOR	

0:00	6:00	12:00
1:00	7:00	13:00
2:00	8:00	14:00
3:00	9:00	15:00
4:00	10:00	16:00
5:00	11:00	17:00

APÊNDICE C – Dados coletados para ajuste do sensor

Massa de café: 100 g

TEMPO (min:seg)	T. MÉDIA do TERMOPAR (°C)	$\pm\sigma$ TERMOPAR (°C)	T. MÉDIA do IR (°C)	$\pm\sigma$ IR (°C)	TEMPO (min:seg)	T. MÉDIA do TERMOPAR (°C)	$\pm\sigma$ TERMOPAR (°C)	T. MÉDIA do IR (°C)	$\pm\sigma$ IR (°C)
00:00	125	2,30	25	1,75	10:00	123	3,61	200	5,34
01:00	118	2,08	115	4,88	11:00	125	3,32	203	5,36
02:00	114	2,31	145	4,32	12:00	126	3,18	208	4,72
03:00	115	2,38	161	4,47	13:00	129	3,05	210	4,11
04:00	116	2,87	172	5,79	14:00	125	2,00	207	3,11
05:00	118	3,48	181	5,89	15:00	127	2,00	210	3,15
06:00	121	3,62	189	6,93	16:00	129	2,00	210	3,15
07:00	123	4,16	195	8,14	17:00				
08:00	125	4,69	199	8,34	18:00				
09:00	123	4,18	200	6,93	19:00				

Massa de café: 200 g

TEMPO (min:seg)	T. MÉDIA do TERMOPAR (°C)	$\pm\sigma$ TERMOPAR (°C)	T. MÉDIA do IR (°C)	$\pm\sigma$ IR (°C)	TEMPO (min:seg)	T. MÉDIA do TERMOPAR (°C)	$\pm\sigma$ TERMOPAR (°C)	T. MÉDIA do IR (°C)	$\pm\sigma$ IR (°C)
00:00	117	11,26	25	1,64	10:00	124	3,45	199	5,40
01:00	109	8,40	101	5,76	11:00	125	2,76	202	4,78
02:00	105	6,81	127	5,38	12:00	125	2,27	203	3,68
03:00	104	5,39	141	6,01	13:00	127	2,37	208	4,00
04:00	105	4,95	152	7,01	14:00	128	2,12	207	3,14
05:00	108	4,53	162	6,29	15:00	128	2,00	211	3,17
06:00	111	4,43	170	4,98	16:00	130	2,00	216	3,24
07:00	114	3,84	179	4,97	17:00				
08:00	118	3,80	186	4,69	18:00				
09:00	121	3,34	194	5,57	19:00				

Massa de café: 300 g

TEMPO (min:seg)	T. MÉDIA do TERMOPAR (°C)	$\pm\sigma$ TERMOPAR (°C)	T. MÉDIA do IR (°C)	$\pm\sigma$ IR (°C)	TEMPO (min:seg)	T. MÉDIA do TERMOPAR (°C)	$\pm\sigma$ TERMOPAR (°C)	T. MÉDIA do IR (°C)	$\pm\sigma$ IR (°C)
00:00	123	3,66	24	1,54	10:00	124	3,69	192	6,37
01:00	113	3,31	91	7,33	11:00	126	3,73	199	6,40
02:00	107	3,35	119	5,93	12:00	127	3,32	202	5,90
03:00	105	3,57	136	5,72	13:00	120	2,00	190	2,85
04:00	107	3,48	149	4,88	14:00	122	2,00	193	2,90
05:00	110	3,58	158	5,40	15:00	124	2,00	201	3,02
06:00	113	3,47	166	5,15	16:00	127	2,00	206	3,09

Massa de café: 300 g (continuação)

07:00	115	3,61	174	5,57	17:00	128	2	209	3,14
08:00	117	3,78	180	5,36	18:00	130	2	210	3,15
09:00	120	3,75	186	5,8	19:00				

Massa de café: 400 g

TEMPO (min:seg)	T. MÉDIA do TERMOPAR (°C)	$\pm\sigma$ TERMOPAR (°C)	T. MÉDIA do IR (°C)	$\pm\sigma$ IR (°C)	TEMPO (min:seg)	T. MÉDIA do TERMOPAR (°C)	$\pm\sigma$ TERMOPAR (°C)	T. MÉDIA do IR (°C)	$\pm\sigma$ IR (°C)
00:00	127	2,33	25	1,54	10:00	117	3,22	178	5,11
01:00	114	2,30	83	4,07	11:00	120	3,14	183	5,21
02:00	106	2,24	105	2,67	12:00	121	3,37	190	5,22
03:00	102	2,26	121	2,53	13:00	124	3,44	197	6,03
04:00	101	2,11	134	3,56	14:00	125	2,11	198	3,82
05:00	102	2,51	143	3,96	15:00	128	2,18	203	3,76
06:00	105	2,74	152	4,05	16:00	127	2,00	202	3,03
07:00	108	3,06	159	4,74	17:00	130	2,00	204	3,06
08:00	111	3,21	165	4,60	18:00				
09:00	113	3,28	171	4,70	19:00				

Massa de café: 500 g

TEMPO (min:seg)	T. MÉDIA do TERMOPAR (°C)	$\pm\sigma$ TERMOPAR (°C)	T. MÉDIA do IR (°C)	$\pm\sigma$ IR (°C)	TEMPO (min:seg)	T. MÉDIA do TERMOPAR (°C)	$\pm\sigma$ TERMOPAR (°C)	T. MÉDIA do IR (°C)	$\pm\sigma$ IR (°C)
00:00	127	2,10	26	1,71	10:00	116	2,34	171	3,88
01:00	115	2,29	80	1,80	11:00	118	2,34	176	4,50
02:00	105	2,11	102	2,02	12:00	120	2,64	181	3,87
03:00	102	2,15	119	2,28	13:00	122	2,72	187	4,13
04:00	101	2,26	130	2,64	14:00	125	2,59	192	4,63
05:00	103	2,06	140	2,63	15:00	127	2,83	197	4,02
06:00	105	2,34	148	2,75	16:00	129	2,36	202	3,07
07:00	107	2,25	154	2,92	17:00	130	2,00	208	3,12
08:00	109	2,29	160	2,94	18:00				
09:00	112	2,30	165	3,53	19:00				

APÊNDICE D – Dados coletados para avaliação qualitativa sem isolante térmico

Padrão de torra médio claro



a)



b)



c)

Padrão de torra médio



a)



b)



c)

Padrão de torra moderadamente escuro



a)



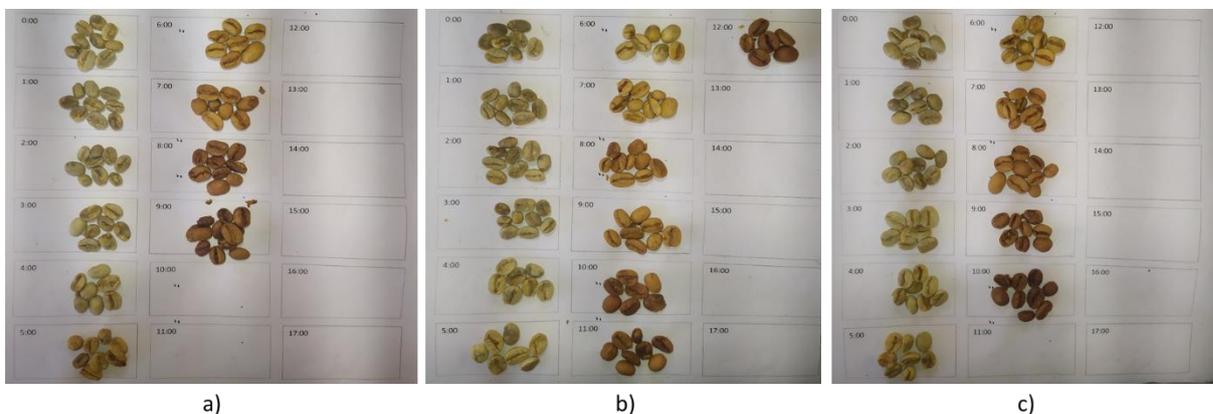
b)



c)

APÊNDICE E – Dados coletados para avaliação qualitativa com isolante de lã de vidro

Padrão de torra médio claro



Padrão de torra médio



Padrão de torra moderadamente escuro

