



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

GLASIELLE CRISTINA ROCHA DA SILVA

CRISE CLIMÁTICA: UMA ANÁLISE DAS CONSEQUÊNCIAS E PERSPECTIVAS
PARA A CAFEICULTURA BRASILEIRA

FORTALEZA

2025

GLASIELLE CRISTINA ROCHA DA SILVA

**CRISE CLIMÁTICA: UMA ANÁLISE DAS CONSEQUÊNCIAS E PERSPECTIVAS
PARA A CAFEICULTURA BRASILEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S58c

Silva, Glasielle Cristina.

CRISE CLIMÁTICA: UMA ANÁLISE DAS CONSEQUÊNCIAS E PERSPECTIVAS PARA A
CAFEICULTURA BRASILEIRA / Glasielle Cristina Silva. – 2026.

63 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Engenharia de Alimentos, Fortaleza, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

1. Mudanças Climáticas . 2. Café . I. Título.

CDD 664

**CRISE CLIMÁTICA: UMA ANÁLISE DAS CONSEQUÊNCIAS E PERSPECTIVAS
PARA A CAFEICULTURA BRASILEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Aprovada em: 17/12/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de Franca
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Engenheira de Alimentos Kamilla Ribeiro Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais,

AGRADECIMENTOS

Este trabalho, que marca a conclusão de uma jornada acadêmica tão significativa, é fruto de muito esforço, dedicação e, acima de tudo, do inestimável apoio de pessoas e instituições que estiveram ao meu lado em cada etapa.

Em primeiro lugar, minha profunda gratidão aos meus pais, Regina e Vagner. Por abrirem mão de tantas coisas para me educarem e me darem o melhor dentro da nossa realidade; por me ensinarem, desde pequena, a importância do estudo e da leitura em minha vida, nutrindo essa paixão e, acima de tudo, por me apoiarem em todas as minhas decisões.

Ao meu noivo, Ítalo Castro, agradeço por todo o apoio, carinho e paciência durante os momentos difíceis, e por ser o que mais torce e vibra pelas minhas vitórias. Eu te amo imensamente e valorizo todos os pequenos e grandes gestos que faz por mim. Iremos construir um grande futuro juntos.

À minha melhor amiga, Sabrina, uma irmã que a vida me deu. Muitos dos meus feitos de hoje se devem ao teu apoio incondicional, pois a certeza de que eu sempre contaria com teu suporte e defesa contra qualquer julgamento, representou um pilar essencial e determinante para a concretização deste trabalho.

É com um misto de emoção e profundo reconhecimento que percebo as curvas do caminho da vida que me trouxeram até a concretização deste trabalho. Agradeço a todos aqueles que me concederam uma oportunidade de aprender e de obter experiência, me influenciando a trilhar a jornada em que me encontro hoje. Em especial, presto minha sincera gratidão ao meu grande amigo, Guilherme, que, no início, foi o responsável por me aconselhar e me guiar para o caminho que despertou a minha paixão pela área de Alimentos.

Agradeço à Universidade Federal do Ceará, por me acolher e me proporcionar todo o suporte de infraestrutura e alimentação ao longo desses anos, que foram fundamentais para minha permanência e desenvolvimento. Minha eterna gratidão a todo o corpo de professores pela dedicação e esforço em nos ensinar. A profissão dos senhores é a base do nosso país, e tenho muito orgulho dos profissionais exemplares que são.

Quero agradecer, em especial, ao Professor Marcos, por ter aceito o desafio de me orientar. Sua didática e seu direcionamento foram cruciais para a concretização deste trabalho.

A todos vocês, minha sincera e imensa gratidão.

“A maior ameaça ao nosso planeta é a crença de que outra pessoa o salvará.” (Robert Swan).

RESUMO

A crise climática representa o maior desafio à estabilidade de setores vitais, como o agronegócio brasileiro, especialmente a cafeicultura. O café, uma commodity de alta relevância socioeconômica global, é altamente dependente de condições climáticas específicas, como temperaturas amenas e padrões de chuva adequados. O aumento das ondas de calor e a deficiência hídrica são os principais vetores de impacto, ameaçando a viabilidade do cultivo e o perfil sensorial do café. A alteração no clima não apenas compromete a qualidade intrínseca do grão, mas também intensifica os riscos de segurança de alimentos, ao favorecer patógenos termotolerantes. Diante deste cenário, a literatura aponta para medidas adaptativas como o manejo de sombra, o melhoramento genético e a gestão ambiental. Contudo, existe uma lacuna crítica nas estratégias de adaptação, sendo estas limitadas por barreiras financeiras e pela falta de especificidade dos programas de certificação, que tendem a priorizar a mitigação em detrimento de soluções palpáveis e imediatas, o que evidencia a complexidade do tema e a necessidade de mais pesquisas para garantir a resiliência e a competitividade do produto final.

Palavras-chave: Crise Climática; Coffea arábica; Segurança de Alimentos; Adaptação.

ABSTRACT

The climate crisis represents the greatest challenge to the stability of vital sectors, such as Brazilian agribusiness, especially coffee farming. Coffee, a commodity of high global socioeconomic relevance, is highly dependent on specific climatic conditions, such as mild temperatures and adequate rainfall patterns. The increase in heat waves and water scarcity are the main vectors of impact, threatening the viability of cultivation and the sensory profile of coffee. Climate change not only compromises the intrinsic quality of the bean, but also intensifies food safety risks by favoring thermotolerant pathogens. In this scenario, the literature points to adaptive measures such as shade management, genetic improvement, and environmental management. However, there is a critical gap in adaptation strategies, which are limited by financial barriers and the lack of specificity of certification programs, which tend to prioritize mitigation over tangible and immediate solutions, highlighting the complexity of the issue and the need for more research to ensure the resilience and competitiveness of the final product.

Keywords: Climate Crisis; *Coffea arabica*; Food Safety; Adaptation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do percurso da planta.....	20
Figura 2 - Preparo do café turco com um Cezve.....	21
Figura 3 - Árvore genealógica das espécies de café.....	25
Figura 4 - Planta Coffea arabica.....	26
Figura 5 - Multicaule da Coffea canephora (A) e Unicaule da Coffea arabica (B).....	27
Figura 6 - Evolução histórica do preço do Café no Brasil.....	28
Figura 7 - Corte longitudinal de um grão de café.....	29
Figura 8 - Peneiras de crivos alongados (grãos moça) e arredondados (grãos chatos).....	33
Figura 9 - Selo de Certificação ABIC – Especificações de Estilo e Padrão de Qualidade do Café.....	34
Figura 10 - Organograma da seleção dos artigos.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Produção e Consumo Global de Café por Ano Cafeeiro*	36
Gráfico 2 - Produção total de café no Brasil por ano.....	38
Gráfico 3 - Área Total Destinada à Produção de Café no Brasil por ano.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equivalência de defeitos.....	31
Tabela 2 - Tipos de café em relação à quantidade de defeitos.....	32
Tabela 3 - Produção e Consumo Global de Café por Ano Cafeeiro*.....	37
Tabela 6 - Quantidade de Exportação de café do Brasil (2015-2024).....	39
Tabela 7 - Critério de Exclusão da revisão sistemática.....	43
Tabela 8 - Compilação dos artigos selecionados.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABIC	Associação Brasileira da Indústria de Café
AF	Aflatoxinas
Aw	Atividade de Água
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CEO	Chief Executive Officer
COB	Classificação Oficial Brasileira
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COVID-19	Coronavirus Disease 2019
ELN	Extrato Livre de Nitrogênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE	Gases do Efeito Estufa
IAC	Instituto Agrônômico
IARC	Agência Internacional de Pesquisa em Câncer
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
OIC	Organização Internacional do Café
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OTA	Ocratoxinas
PI	Período de Incubação
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
RNC	Registro Nacional de Cultivares
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SGA	Sistemas de Gestão Ambiental
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
\$	Dólar
%	Porcentagem
°C	Grau Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1 História do café.....	18
3.1.1 História do café no mundo.....	18
3.1.2 História do café no Brasil.....	21
3.2 Características do grão do café.....	24
3.2.1 Tipos de grãos e variedades de café.....	24
3.2.2 Composição do grão do café.....	29
3.2.3 Classificação do Café.....	30
3.3 Produção mundial de café.....	34
3.3.1 Produção brasileira de café.....	37
3.4 O café no contexto econômico e financeiro.....	39
3.5 Mudanças climáticas e seus impactos na cafeicultura.....	40
4 Metodologia para análise dos impactos ambientais.....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam o maior desafio e a realidade da nossa atualidade, causando diversos desastres naturais, tais como, secas, enchentes, ondas de calor e outros fenômenos extremos que interferem e atrapalham o equilíbrio ambiental, assim como, a estabilidade de diversos setores da sociedade. Esse novo cenário tem sido reforçado por vários estudos científicos publicados em diversas revistas, e um exemplo disso é o estudo publicado em 2021 na *BioScience*, onde os cientistas afirmam que a crise climática é a nova realidade social (BIOSCIENCE, 2021).

Há muitos anos, diversos cientistas alertaram sobre os riscos do aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e como seus impactos são prejudiciais para o planeta como um todo, gerando danos significativos em diversas áreas essenciais para a vida humana, como a produção agrícola (RIPPLE et al., 2021). A grande parcela dessas emissões de GEE é gerada pelas ações humanas, geralmente impulsionadas pela dependência de combustíveis fósseis, por padrões intensos de consumo e produção, e por uma gestão inadequada do solo, promovendo desmatamentos e queimadas. Essas intervenções humanas têm provocado mudanças rápidas na atmosfera, nos oceanos e na natureza, alterando o clima em todas as regiões do mundo (IPCC, 2023).

De acordo com o relatório "Estado do Clima Global 2024" da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2024), o ano de 2024 marcou um ponto crítico no quesito das mudanças climáticas, sendo provavelmente o primeiro ano civil a registrar uma temperatura média global de $1,55 \pm 0,13$ °C acima dos níveis registrados desde a época da Revolução Industrial, tornando o ano de 2024 como o mais quente em 175 anos. O relatório cita os sinais das alterações climáticas induzidas pela atividade humana, que estão causando impactos de longo prazo, como o recorde de calor dos oceanos e a contínua elevação do nível do mar. Ainda no relatório, foi mostrado que a temperatura média global em 2024 foi muito influenciada por um forte El Niño, mas também relata que as temperaturas já estavam em níveis recordes em 2023, evidenciando que tais recordes não partem somente do El Niño. (OMM, 2024).

Essas mudanças climáticas, derivadas das ações antrópicas, têm sido apontadas como uma das principais ameaças à agricultura global, desencadeando uma cadeia de consequências que estão impactando fatores cruciais para o desenvolvimento saudável das plantações, como a distribuição global do calor e da umidade, promovendo influências nos padrões de precipitação e radiação solar. Essas variações provocam repercussões devastadoras sobre a

produtividade das lavouras e a economia brasileira, reverberando em diversos setores (GUO et al., 2017).

Segundo Maurício Moraes, sócio da PwC Brasil, empresa de consultoria e auditoria, o agronegócio brasileiro vive um momento de grandes desafios climáticos e que vem sentindo os impactos dessa transformação, precisando de estratégias de curto e longo prazo para sua reinvenção, pois segundo a matéria publicada pela PwC, 56% dos CEOs do setor identificam as mudanças climáticas como sua maior preocupação, um percentual acima da média nacional, pois os eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas, têm se tornado mais frequentes e comprometem a infraestrutura, a logística e a viabilidade econômica de diversas culturas, deixando em evidência a vulnerabilidade do setor às variações climáticas e reforçando a urgência de adaptação (PWC, 2025).

Conforme um estudo realizado por Chemura et al. (2020), o potencial produtivo das lavouras está diretamente relacionado às condições atmosféricas locais, uma vez que, cada espécie possui características específicas para se desenvolver. Esse estudo ressalta que esse tempo de desenvolvimento pode ser otimizado por meio de manejos agrícolas, porém as mudanças climáticas podem modificar esses requisitos, alterando a distribuição geográfica das áreas propícias ao cultivo, como também podendo torná-las inviáveis (CHEMURA ET AL, 2020).

Dentre as culturas que são afetadas por esse cenário, o café obtém destaque por possuir uma produção altamente dependente de condições climáticas específicas, em especial, a espécie *Coffea arabica*, que é responsável por grande parte da produção e exportação nacional (NEVES, 2024).

O café é uma das commodities mais comercializadas globalmente (OVALLE-RIVERA et al., 2015), e apesar de sua importância na mesa do brasileiro, ele está inserido em um mercado caracterizado por alta especulação e volatilidade. Seus preços são fortemente influenciados pelas movimentações das bolsas de mercadorias e futuros, onde se negociam contratos de compra e venda de um ativo para entrega futura com preço estabelecido no presente, como é o caso do café. Por sua vez, essas movimentações sofrem os efeitos de variações no câmbio, no clima, no volume de exportações e nas previsões de safra. Tais oscilações impactam tanto o mercado físico quanto o mercado futuro da mercadoria, refletindo diretamente na variação do preço final percebido pelos consumidores (GOMES, 2015).

Dessa forma, as constantes variações climáticas têm provocado mudanças significativas não apenas nas condições de cultivo agrícola em diversas regiões do mundo,

mas também na estabilidade dos preços dos produtos. Segundo o climatologista Paulo Artaxo, os impactos são ainda mais intensos em países tropicais, como o Brasil, por se situar entre as regiões mais vulneráveis aos efeitos do aquecimento global, devido às elevadas concentrações de radiação solar, e por abrigar populações em situação de maior fragilidade socioeconômica (ANIC, 2024).

Considerando o cenário atual, a ameaça à viabilidade da produção de café e a possível redução de sua produtividade acende um alerta que transcende a esfera ambiental, sendo importante entender como o setor cafeeiro está se preparando para mitigar os impactos das mudanças climáticas e, assim, conservar a qualidade do grão. Nesse contexto, a Engenharia de Alimentos assume um papel de propor soluções técnicas e sustentáveis para manter a qualidade, a segurança e a viabilidade econômica do café frente aos desafios climáticos emergentes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os impactos das mudanças climáticas na produção de café no Brasil e compreender o cenário e as implicações para o setor cafeeiro.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, pode-se citar:

- Analisar, por meio de revisão sistemática da literatura, como as mudanças climáticas têm afetado a produtividade da cafeicultura brasileira e a qualidade dos grãos de café;
- Discutir e avaliar as estratégias de adaptação e mitigação para a cadeia produtiva do café brasileiro, em resposta ao avanço das mudanças climáticas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica tem como objetivo apresentar os principais conceitos, autores e pesquisas que embasam este trabalho, servindo como fundamentos para as discussões posteriores. Neste tópico, são discutidos os aspectos históricos, econômicos e culturais relacionados à cafeicultura no Brasil, compreendendo sua inegável relevância tanto no cenário nacional quanto no global. Além disso, é feita uma análise aprofundada dos impactos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola do café.

3.1 História do café

Antes de se consolidar como uma das bebidas mais consumidas no mundo, o café percorreu um longo caminho desde suas origens até sua propagação global. Sua trajetória envolve diversos elementos, como culturais, religiosos e sociais que contribuíram para moldar sua importância histórica. Entender essa trajetória é essencial para compreender seu impacto nos mercados internacionais e na vida cotidiana de diversas civilizações ao longo dos séculos.

Essa jornada histórica do café não apenas mostra a evolução de uma bebida, mas também revela as complexas interações entre civilizações, desde as primeiras descobertas na Etiópia até as grandes plantações comerciais, mostrando que seu percurso impulsionou desde inovações agrícolas até a modernização de cidades, se consolidando como um pilar econômico para muitas nações.

3.1.1 História do café no mundo

Surgindo das regiões montanhosas da Etiópia, na África, o café tem sua história frequentemente associada à Lenda de Kaldi e, segundo relato da Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), manuscritos datados de 575 d.C. retratam que a sua descoberta aconteceu devido à observação de um pastor de cabras, que notou um comportamento incomum em seus animais ao comer os frutos vermelhos de um arbusto local. Ao experimentar os frutos, notou seus efeitos estimulantes e os levou a um mosteiro. Os frutos foram inicialmente rejeitados pelos monges e lançados ao fogo, mas durante o processo de queima, os grãos exalavam um aroma agradável, despertando o interesse deles, que passaram

a preparar o fruto como uma infusão, utilizada como um auxílio para se manterem atentos durante as vigílias das orações (ABIC, 2021).

Após esse período, as maneiras de consumo do café começaram a ser exploradas. Dentro da história do surgimento do fruto, alguns historiadores se divergem acerca da sua descoberta, muitos acreditam que o povo etíope já consumia o fruto a séculos, pois alguns registros da época mostram que existia a prática de misturar o café moído com gordura animal para formar uma pasta que era enrolada e então consumida durante longas viagens para obter energia e melhorar suas chances de sobrevivência durante a trajetória (JOHNSON, 2020).

No contexto de suas origens, o café era reconhecido pela população local da região de Kaffa, na Etiópia, como "bunn" ou "buna" que aos poucos foi combinada com o nome da região de origem, dando ao fruto o apelido de "Kaffa bunn", e por essa razão que alguns estudiosos da etimologia sugerem que o termo "coffee bean" (grão de café, em inglês) possa ter surgido dessa expressão (JOHNSON, 2020).

Devido à influência Árabe na região da Etiópia, pela proximidade geográfica e rotas comerciais, os povos árabes rapidamente dominaram as técnicas de cultivo e processamento da bebida, nomeando a planta em seu idioma de Kaweh e a infusão de Kahwah ou Cahue, um termo árabe utilizado para representar "força" (ABIC, 2021).

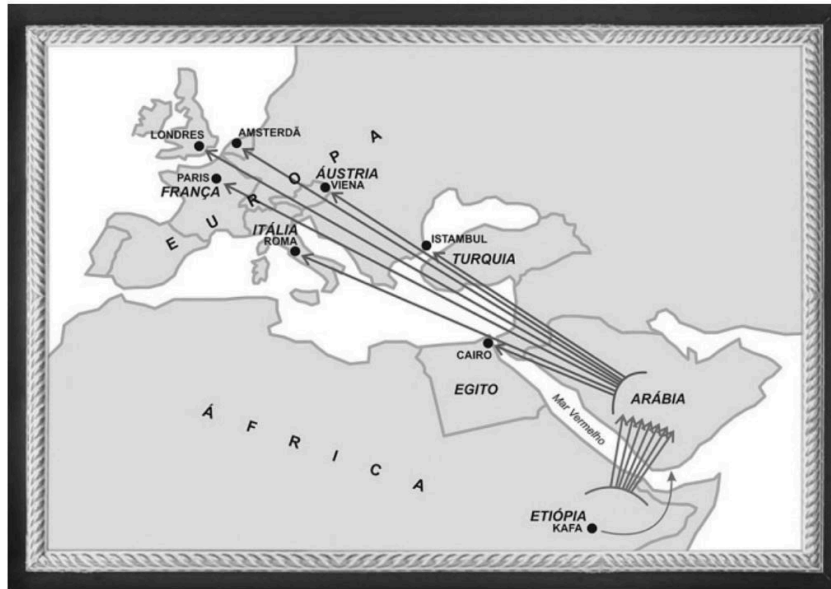
Desta forma, a Península Arábica rapidamente se tornou o maior produtor da época, e logo tomou medidas para proteger esse valioso monopólio, procurando formas de evitar que a planta fosse cultivada em outras regiões. Com isso, foi decretado que os grãos de café eram estritamente proibidos de deixar a cidade sem antes serem torrados, o que impedia sua germinação e mantinha o segredo de seu cultivo confinado ao território (ABIC, 2021).

Conforme o cultivo do café se consolidava e a demanda por essa bebida crescia, os grãos, ainda submetidos a um processamento bastante rudimentar, eram transportados das colinas até um porto estratégico no Mar Vermelho, conhecido como "Mocha". Por muito tempo, essa cidade portuária permaneceu como o único ponto de escoamento para o café destinado ao comércio internacional. No entanto, os holandeses conseguiram contrabandear o café, desfazendo essa barreira comercial protetiva, e promovendo a chegada do grão *in natura* na Holanda, na América Central e, posteriormente, na Europa (MCGONIGAL, 2024; MAPA, 2025).

Apesar das divergências sobre a sua descoberta, é inegável que, uma vez estabelecido no Iêmen, o café se tornou um pilar da Península Arábica, principalmente devido às condições climáticas e geográficas ideais das suas terras, possuindo extrema importância para o desenvolvimento do café que conhecemos hoje, e devido a isso que batizaram a espécie

mais apreciada como *Coffea arabica*, ressaltando a profunda conexão histórica e cultural da planta com o mundo árabe (MCGONIGAL, 2024).

Figura 1 - Mapa do percurso da planta.



Fonte: MARTINS, Ana Luiza Martins. História do café. 2. ed. (2012, p. 12).

A chegada do café à Turquia ocorreu durante o reinado do sultão Suleiman, o Magnífico, em Constantinopla (atual Istambul), onde a bebida rapidamente conquistou o palácio imperial, que promoveu a criação do cargo de cafezeiro-chefe, que era o profissional que tinha a responsabilidade de preparar a receita de café turco para o sultão, porém esse privilégio fez com que os estabelecimentos dedicados ao café se multiplicaram fora dos muros do palácio, onde rapidamente se transformaram em centros sociais onde se desenvolviam discussões literárias, políticas e sociais. No entanto, essa movimentação intelectual logo encontrou resistência, com uma proibição do sultão Mehmet IV, que alegou que a bebida poderia incitar rebeliões e debates, porém, mesmo diante das proibições temporárias, o café manteve sua grande relevância na Turquia, se enraizando profundamente nas suas tradições, como por exemplo, o seu método de preparo peculiar, utilizando um recipiente específico chamado de "cezve", e na sua própria língua, trazendo influências em termos como "kahvalti" (café da manhã, que significa "antes do café") e "kahverengi" (cor marrom, ou "cor do café"), mostrando a extrema relevância da bebida para o país (LEMOS, 2025).

Figura 2 - Preparo do café turco com um *Cezve*.



Fonte: Brunow Camman/Curitiba Cult (2025)

Ao chegar na Europa, o café era inicialmente consumido como remédio para combater vários males e, só a partir do século XVII que começou a ser adotado como bebida, em especial na Alemanha e nos Países Baixos, impulsionada pelo comércio realizado pela Companhia das Índias Orientais, mas apesar da ampla aceitação do café, sua chegada à Europa enfrentou resistência da igreja, marcada pelo movimento da Contrarreforma, devido ao motivo de ser uma bebida proveniente de regiões consideradas hereges. No entanto, o papa Clemente VII, ao provar a bebida, sugeriu sua aceitação oficial por meio de um batismo que a tornasse compatível com os valores cristãos (MARTINS, 2008).

Na França, o café foi introduzido na corte de Luís XIV em 1657 e, logo em seguida, novos estabelecimentos especializados começaram a surgir em Paris e Londres, criando novos centros sociais para debates políticos, artísticos e científicos. Em 1706, os holandeses levaram mudas dessas regiões para o Jardim Botânico de Amsterdã, de onde se originaram as primeiras plantações do continente. (MARTINS, 2008).

No entanto, foi somente em 1718 que o café chegou ao Suriname, na América do Sul, ainda sob domínio holandês. Esses primeiros registros de cultivo na América do Sul também incluem a Guiana Francesa, indicando o início de uma nova etapa na história do café (MARTINS, 2008).

3.1.2 História do café no Brasil

Séculos depois da descoberta do Brasil, em 1727, o café foi introduzido no Brasil de forma extraoficial, por meio do chefe militar português Francisco de Mello Palheta, que

trouxo as primeiras mudas da planta da Guiana Francesa. As mudas foram inicialmente plantadas no Pará, onde se adaptaram bem ao solo e ao clima local. No entanto, a região não apresentava as condições econômicas e logísticas necessárias para expandir a cafeicultura (ABIC, 2021).

Posteriormente, o cultivo do café foi introduzido no Maranhão, de onde se espalhou gradualmente em pequenas plantações pelos estados vizinhos, alcançando a Bahia em 1770. Já em 1774, o café foi levado do Maranhão para o Rio de Janeiro, onde sua produção passou a se expandir significativamente (MATIELLO, 2016).

No entanto, a chegada do café ao Rio de Janeiro, por meio do desembargador João Alberto de Castelo Branco, não foi efetivamente planejada, a expansão do café por grande parte do estado, alcançando regiões como as montanhas do Corcovado e a Serra da Tijuca, obteve bastante sucesso quanto a qualidade do grão que logo estavam superando a dos cafezais globais, porém a falta de planejamento do plantio e a negligência na preservação do solo levaram a uma erosão severa, promovendo o esgotamento das terras, fator que forçou a migração das lavouras cafeeiras para São Paulo (MAZUR, 2004).

Em São Paulo, o cultivo de café enfrentou desafios acerca da sua concorrência com a indústria açucareira e seus extensos canaviais já estabelecidos na região, além do maquinário rudimentar destinado à cafeicultura, que dificultaram o avanço do setor. No entanto, os cafezais paulistas sofreram menos com o esgotamento do solo em comparação com os do Rio de Janeiro, devido a geografia mais plana, característica que também facilitou as comunicações e o transporte na região, permitindo uma concentração maior de riqueza e uma gestão mais eficiente. Consequentemente, com o avanço e desenvolvimento do setor cafeeiro, a cultura do café também prosperou de maneira significativa em Minas Gerais e no Espírito Santo (MAZUR, 2004).

Desta forma, temos o cenário em que a economia brasileira era baseada na produção de açúcar proveniente da cana-de-açúcar, mas acabou perdendo o espaço no mercado internacional para a produção de açúcar de beterraba e para o algodão norte-americano, mas foi devido a esse cenário de disputa internacional que o Brasil encontrou no café um novo produto de exportação (ORMOND et al., 1999).

Com a independência do Brasil em 1822, teve início de forma definitiva o chamado ciclo do café, fase na qual o país era responsável por aproximadamente 45% da produção mundial, consolidando o café como o principal produto de exportação brasileira, que começou a desempenhar um papel fundamental na modernização do país, impulsionando a abertura de vias de transporte e favorecendo o surgimento de novos núcleos urbanos (MATIELLO, 2016).

Essa modernização da infraestrutura brasileira devido ao ciclo do café, promoveu marcos importantes e significativos na história do país, como a construção da Estrada União e Indústria, a primeira rodovia pavimentada do país, inaugurada em 23 de junho de 1861, com 144 quilômetros conectando Petrópolis (RJ) a Juiz de Fora (MG). Sua construção foi impulsionada pela necessidade de otimizar o transporte do café de Minas Gerais e do interior do Rio de Janeiro até o porto da capital (CARVALHO, 2025).

No entanto, a ganância por maiores lucros da produção do café provocou uma acelerada expansão sem o devido planejamento da localização e do volume de produção, ocasionando a derrubada acelerada de matas em busca de solos férteis e comprometendo a sustentabilidade do setor. Em 1874 o setor registrou o maior volume de produção da época com aproximadamente 3,8 milhões de sacas e, como consequência, esse expressivo aumento da produção acabou provocando uma queda nos preços do café no mercado, gerando um grande prejuízo econômico na época, pois o café já ocupava uma posição de destaque na economia brasileira, respondendo por cerca de 60% das exportações do país (MATIELLO, 2016).

Segundo o artigo publicado pelo BNDES (1999), a trajetória da cafeicultura no país foi marcada por períodos de oscilações da economia global, mas, apesar disso, o café se tornou um dos pilares da economia e parte da identidade cultural nacional, se enraizando na sociedade brasileira e influenciando seus costumes e hábitos, assumindo um papel que ultrapassa suas funções como bebida. No contexto social do país, o café se tornou um símbolo de hospitalidade e acolhimento, marcando momentos de convivência e socialização, e servindo como ponte para a formação de laços entre as pessoas, seja em ambientes domésticos ou profissionais (JEFF, 2024).

Segundo a ABIC, a economia cafeeira foi responsável por impulsionar três grandes mudanças no Brasil, o aumento expressivo da imigração estrangeira, a aceleração do processo de urbanização e o surgimento das bases para a industrialização do país, marcando e impulsionando movimentos como, a abolição da escravatura, em 1888, devido a necessidade do setor cafeeiro em obter mão de obra mais qualificada, com isso, os barões do café buscaram substituir gradualmente os seus escravos pelos imigrantes europeus. No entanto, apesar do início da integração dos imigrantes nos cafezais, foi somente após a Primeira Guerra Mundial, em 1918, que uma grande onda migratória atingiu o Brasil, elevando a densidade populacional e ajudando na criação de empregos urbanos assalariados, como também, diversas outras fontes de renda, impulsionando o surgimento de pequenas fábricas caseiras, e conseqüentemente, a base para as primeiras indústrias brasileiras (ABIC, 2021).

Nesse contexto, com o intenso movimento de exportação do café, os produtores começaram a investir seu capital na importação de bens para ajudar o setor a suprir o mercado interno, proporcionaram a chegada de equipamentos e tecnologias industriais ao país, contribuindo na criação e o fortalecimento das primeiras indústrias brasileiras (ABIC, 2021).

Atualmente, no cenário internacional, o Brasil tem solidificado sua posição como um dos maiores produtores e o segundo maior consumidor global de café, que reflete em um crescimento contínuo do setor, com o consumo aumentando em 4,8% em 2018, o que elevou o consumo per capita para 4,82 kg/ano de café torrado e moído, no mesmo período. (MELLO; FRANCO; PÉPECE, 2020).

Além disso, segundo o relatório do SEBRAE, o país tem ganhado reconhecimento no mercado de cafés especiais, com o consumo anual de café premium no Brasil, girando em torno de 70 mil toneladas, o que representa de 5% a 10% do consumo total no setor. Esse consumo cresce 15% ao ano, enquanto o de café tradicional aumenta 3,5% ao ano. Além disso, o setor de cafés especiais vem mostrando um forte cenário de expansão globalmente, sendo um segmento avaliado em US\$ 53,67 bilhões em 2021 e com projeção de atingir US\$ 152,69 bilhões até 2030 (SEBRAE, 2022; THE BRAINY INSIGHTS, 2022).

Desta forma, esse segmento tem se beneficiado da diversidade territorial brasileira e das características únicas que cada região confere aos grãos, mostrando o amadurecimento no perfil do consumidor brasileiro, que tem se mostrado cada vez mais exigente e atento à qualidade da bebida, valorizando atributos como origem, sabor e processos de produção.

3.2 Características do grão do café

Para compreender os impactos sobre a cafeicultura, especialmente diante dos desafios climáticos, é essencial entender como a planta de café se relaciona com o ambiente. Afinal, o desenvolvimento do cafeeiro e sua produtividade são diretamente influenciados por fatores externos. Sendo assim, é crucial investigar o fruto, conhecendo sua fisiologia, suas características, composição e seus tipos, desvendando como as condições ambientais afetam sua formação e, conseqüentemente, a qualidade e o volume da produção.

3.2.1 Tipos de grãos e variedades de café

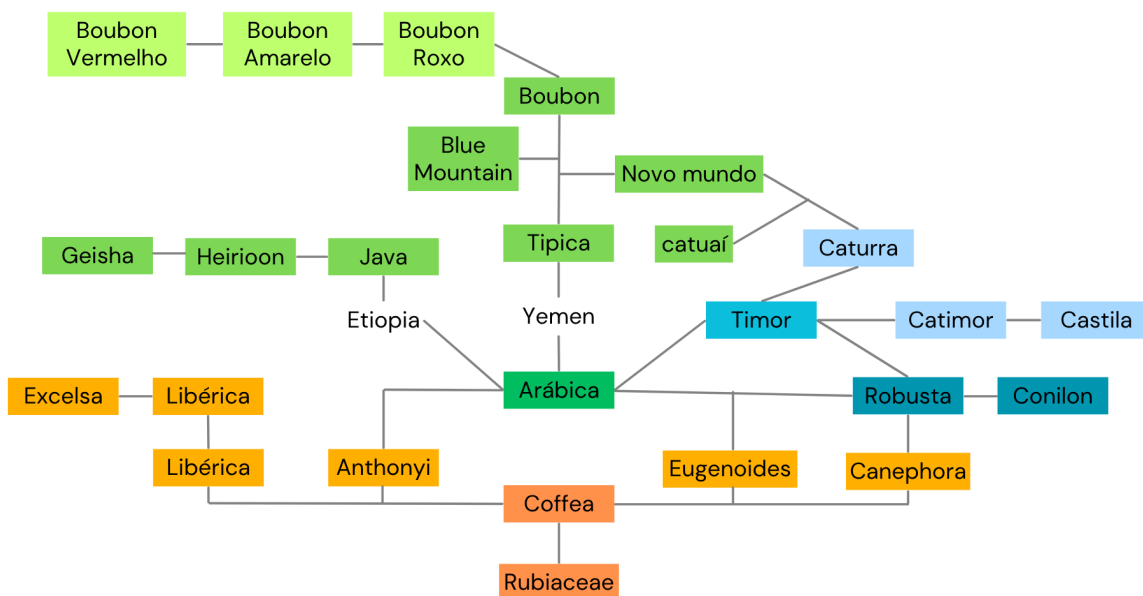
O fruto do café faz parte da família botânica *Rubiaceae* e do gênero *Coffea*, que engloba mais de 90 espécies catalogadas. Dentre essa vasta diversidade, aproximadamente 25

espécies são utilizadas para fins comerciais, no entanto, o mercado mundial é dominado por apenas quatro delas: a *Coffea arabica*, amplamente conhecida como café arábica, a *Coffea canephora*, conhecida como café robusta e, em menor escala de produção, a *Coffea liberica*, das quais se originam os cafés libérica e excelsa (SOUZA, 2004).

Segundo Carvalho et al (2022), o Brasil possui atualmente 135 cultivares de *Coffea arabica* registradas no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), e cada um desses cultivares possui suas particularidades, seja em sua fisiologia ou na sensorial (CARVALHO ET AL, 2022).

Desta forma, alguns relatos mostram que essa diversidade de variedades da espécie *Coffea arabica* foi iniciada no Brasil em 1727 pela variedade *Typica*, seguida pela *Bourbon Vermelho* em 1859, mas foi a partir de 1932 que o Instituto Agrônomo (IAC) iniciou um programa de melhoramento genético que impulsionou o surgimento de outras variedades como o *Bourbon Amarelo* e o *Mundo Novo*, conforme observa-se na figura 3. A partir daí, o trabalho de cruzamento e melhoramento genético resultou em diversas variedades que agregam características variadas ao fruto (EMBRAPA, 2022).

Figura 3 - Árvore genealógica das espécies de café.



Fonte: HOMEGROUNDS, 2023. (Adaptado pelo autor, 2025).

A espécie *Coffea arabica* (Figura 4) possui grãos com o formato oval, com coloração que pode ser vermelho ou amarelo-esverdeado e que são originados de arbustos que podem medir de 2 a 2,5 metros de altura. Seu cultivo tem às condições ideais em áreas montanhosas, geralmente com altitudes entre mil e dois mil metros, por se tratar de uma espécie mais

sensível ao calor, umidade e às pragas. Desta forma, a espécie possui padrões de temperaturas médias variando de 18°C a 23°C, mas se situado em localidades com maiores temperaturas, ele pode apresentar uma boa frutificação, desde que não haja deficiências hídricas durante o florescimento. (ORMOND, 2025; SENAR, 2017).

Figura 4 - Planta *Coffea arabica*



Fonte: MARTINS, Ana Luiza Martins. História do café. 10. ed. (2012, p. 12).

A *Coffea arabica*, ou café arábica, desempenha um papel fundamental na cafeicultura brasileira, ocupando a maioria das terras dedicadas ao café no Brasil, que corresponde a 81,7% da área total destinada à cafeicultura nacional, sendo liderada pelos estados de Minas Gerais, com aproximadamente 1,10 milhão de hectares, seguido por São Paulo, que detém aproximadamente 180 mil hectares, contribuindo com aproximadamente 66,4% do volume total colhido no país. No entanto, esse volume representa uma redução de 6,6% em relação à safra de 2024, devido a fatores como o ciclo de baixa bienalidade, uma característica fisiológica do cafeeiro arábica ao qual a planta alternar entre um ano de pico de produção de frutos (safra cheia) e um ano de com menos produção (safra de recuperação), e baixa adaptabilidade às mudanças climáticas (CONAB, 2025).

No entanto, apesar das dificuldades de cultivo, o café arábica é amplamente valorizado por sua capacidade de produzir cafés de qualidade superior, apresentando características consideradas mais requintadas, como um aroma intenso, doce e ligeiramente mais ácido que às outras espécies (ORMOND, 2025).

A *Coffea canephora*, é a segunda espécie de café mais consumida globalmente, superada apenas pela *Coffea arabica* (MILANI, 2023). No entanto, apesar das características sensoriais serem frequentemente consideradas menos atrativas, ele possui vantagens

significativas em seu cultivo, sendo uma espécie mais resistente a condições climáticas e menos suscetível a doenças.

Desta forma, a *Coffea canephora* demonstra uma capacidade de adaptação a diversos ambientes, apesar de ser tipicamente encontrada em regiões com temperaturas mais elevadas, entre 22°C e 26°C (MILANI, 2023; ORMOND, 2025).

Embora a espécie *Coffea canephora* seja amplamente conhecida como Café Robusta, o termo Robusta na verdade se designa a apenas uma das principais variedades desta espécie, juntamente com a variedade Conilon, sendo os principais cultivares produzidos de Canéfora no Brasil.

O Conilon se caracteriza por plantas de crescimento arbustivo, com ramificações e um ciclo de maturação mais precoce, além de demonstrar uma boa tolerância à seca, porém apresenta maior susceptibilidade a doenças, em compensação com o Robusta. Em contrapartida, o Robusta possui um crescimento mais ereto, com um caule (Figura 5), folhas e frutos maiores, além de ter uma maturação mais tardia e uma boa resistência a doenças, embora apresente menor tolerância à seca. (FERRÃO et al., 2020).

Figura 5 - Multicaule da *Coffea canephora* (A) e Unicaule da *Coffea arabica* (B).



Fonte: AGROADVANCE, Lais Teles. Café conilon e robusta: explorando as 2 variedades do *Coffea canephora* (2023).

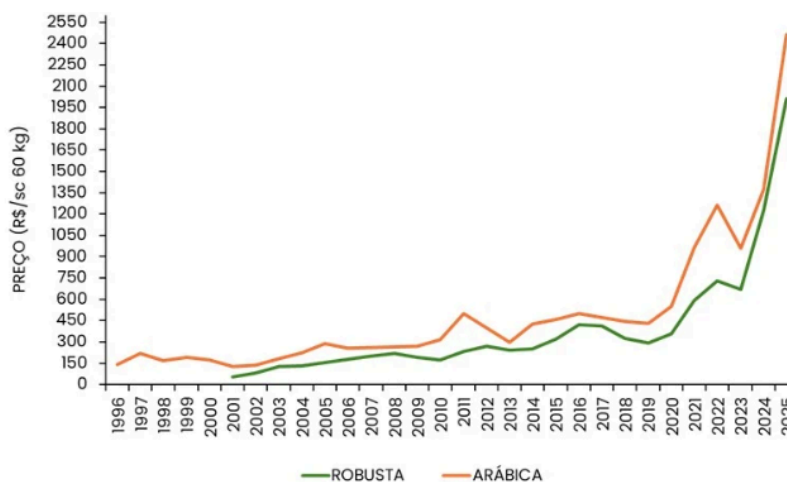
Ademais, a espécie apresenta uma considerável heterogeneidade entre si, promovendo distintas manifestações de suas características, como por exemplo, a época e uniformidade da maturação dos frutos, fator que dificulta o manejo da lavoura, comprometendo a produtividade e a qualidade do produto final. Apesar dos desafios, são variedades que possuem uma boa produtividade por planta, em comparação com o Café Arábica, devido aos fatores que contribuem com o seu desenvolvimento, como a resistência dessas variedades a pragas e doenças e um ciclo de crescimento mais curto (FONSECA, 2002).

Essas características de resistência, historicamente, contribuíram para um produto mais acessível economicamente, pois seu cultivo necessitava de menos cuidados específicos em termos de fatores extrínsecos, diminuindo seus custos de produção.

No entanto, o cenário recente tem demonstrado uma significativa elevação nos preços desses cafês, fazendo com que às variedades da espécie canéfora atingissem preços tão elevados quanto os da espécie arábica, entre os anos de 2021 e 2023. As oscilações nos preços desse período foram acentuadas, em grande parte, devido a severos eventos climáticos, como geadas e secas que afetaram a produção no Brasil, como também, em virtude de um aumento significativo na demanda global, que impactou a oferta disponível no mercado, influenciando nos valores recordes de café no início de 2025, conforme mostrado Figura 6 (TALES, 2023; SEBIM, 2025).

Devido às suas particularidades sensoriais, a *Coffea canephora* é caracterizada por um sabor mais terroso e uma coloração mais intensa, próximo ao amargo. Tais atributos tornam as variedades dessa espécie, como o Robusta, frequentemente utilizadas na fabricação de cafês solúveis e na composição de "blends", que são misturas de duas ou mais espécies ou variedades de café (TALES, 2023).

Figura 6 - Evolução histórica do preço do Café no Brasil



Fonte: AGROADVANCE, João Paulo Marim Sebim (2025). - Adaptado de CEPEA/ESALQ

A *Coffea liberica* constitui cerca de 2% da produção mundial de café, no entanto, já possuiu maiores relevâncias que coincidiram com períodos nos quais enfermidades afetaram severamente as lavouras de *Coffea arabica*. É um grão com um perfil sensorial que apresenta características voltadas para uma combinação de notas frutadas e florais (MILANI, 2023).

As plantas de *Coffea liberica* distinguem-se por seu porte superior ao das espécies Robusta e Arábica, com grãos de maior e de formato irregular. Sua adaptação ao ambiente depende de um solo com boa drenagem e baixa incidência de sombra. Já a variedade Excelsa difere substancialmente da Libérica por apresentar um perfil sensorial bastante frutado, ácido e com uma resistência e produtividade quase tão elevadas quanto as do café Robusta. Embora seja frequentemente relacionado a um café como de baixa qualidade, similar ao Robusta, com os cuidados adequados, tanto o café Excelsa quanto o Robusta tem potencial para alcançar o status de café especial (MILANI, 2023).

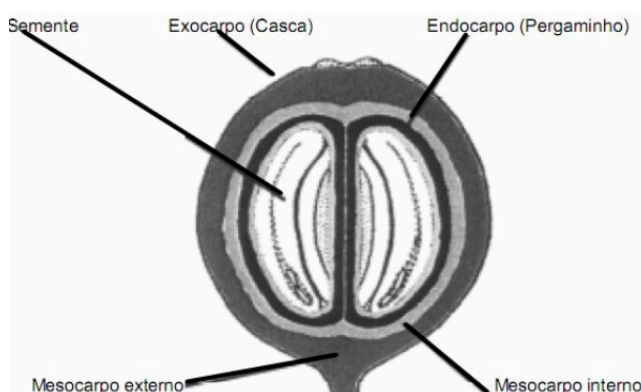
3.2.2 Composição do grão do café

O fruto do cafeeiro, comumente chamado de Cereja, é composto por três camadas, conhecidas como exocarpo, correspondente à pele da cereja, seguida pelo mesocarpo, mais conhecido como polpa, e por último o endocarpo, que é popularmente conhecido como "pergaminho", conforme ilustrado na Figura 7. (HALAL, 2008).

O exocarpo, também conhecido como casca, constitui o tecido mais externo do fruto, onde a coloração é determinada pela presença de pigmentos como a antocianina e flavonoides (CORRÊA, 2015).

O mesocarpo constitui cerca de 29% do peso seco do fruto. Sua composição química é majoritariamente água (76%), mas também contém 10% de proteína, 2% de fibras, 8% de cinzas e 4% de extrato livre de nitrogênio (ELN). O ELN, por sua vez, abrange substâncias como taninos, pectinas, açúcares, cafeína, celulose, lignina, aminoácidos, além de minerais e ácidos orgânicos. (HALAL, 2008).

Figura 7 - Corte longitudinal de um grão de café.



Fonte - Avallone (2000 Apud Halal, 2008)

Desta forma, os "grãos" de café são, na verdade, as sementes da planta, geralmente encontradas duas por fruto. Cada semente de café é composta pela película prateada (pericarpo), que é uma camada fina e transparente que envolve o grão e se desprende durante a torra, pelo endosperma e pelo embrião. Assim, a composição do endosperma é de grande importância, pois nela se concentra a maior parte dos compostos responsáveis pelo sabor e aroma da bebida final, contendo componentes essenciais como cafeína, ácidos, proteínas, minerais e lipídios (CLARKE, 1985; CORRÊA, 2015).

A cafeína é uma substância inodora presente nos grãos de café que confere um sabor amargo bastante característico, contribuindo significativamente para o perfil geral de sabor e aroma da bebida. Ademais, seu teor na bebida é influenciado pelo tipo de café e pelo processo de preparo utilizado. Nesse sentido, a quantidade de cromossomos que cada espécie carrega influencia diretamente as características da planta e do grão, como o teor de cafeína. Assim, o café arábica, que contém 44 cromossomos, apresenta um teor de cafeína mais suave, geralmente entre 0,9% e 1,3%. Em contraste, o café Conilon (ou Robusta), que possui 22 cromossomos, contribui com um teor de cafeína mais forte, variando entre 1,6% e 2,5% (SENAR, 2017; HALAL, 2008).

Em suma, a cafeicultura é profundamente dependente de uma série de condições ambientais e a junção delas interfere diretamente no ciclo da planta e no desenvolvimento dos seus frutos, pois são responsáveis por moldar a química interna dos grãos, afetando a concentração de seus compostos e influenciando de maneira decisiva o aroma e o sabor que chegam até o consumidor (FILHO, 2018).

3.2.3 Classificação do Café

A classificação do café é um processo fundamental que assegura a qualidade e padronização do produto em toda a cadeia de comercialização, ela pode ser embasada nas características físicas do grão e nas características sensoriais da bebida, por meio da prova de xícara (SENAR, 2017).

Desta forma, a avaliação do café cru começa pela tipificação do grão, ou seja, pela avaliação física, onde ocorre a quantificação e equivalência do número de defeitos presentes em uma amostra padrão de 300g (HALAL, 2008) .

Os defeitos podem ser divididos em intrínsecos, que são defeitos inerentes do grão, causados por problemas no seu desenvolvimento ou processamento, como grão petro, ardido, verde, brocado, quebrando, chocho e esmagado, e extrínsecos, que são matérias estranhas ao

café beneficiado, conhecidas também como impurezas, como paus, pedras, torrões, casca soltas e outros (SENAR, 2017).

Com isso, a classificação de defeitos no café cru segue um rigoroso sistema de identificação, quantificação e equivalência. Esse sistema é baseado no tipo de imperfeição e no tamanho da impureza para se calcular o número de defeitos, conforme indica à tabela da Classificação Oficial Brasileira (COB) - Tabela 1 (HALAL, 2008).

Nessa interpretação, um único pau, pedra ou torrão identificado como grande, ou seja, possui mais de 2 cm de comprimento, equivale a cinco defeitos na contagem final. Já os fragmentos de tamanho regular, com 1 a 2 cm, contam como dois defeitos. Por fim, fragmentos pequenos, que medem menos de 1 cm, ou o grupamento de imperfeições, são contabilizados individualmente, seguindo a relação proposta na Tabela 1 (SENAR, 2017).

Tabela 1 - Equivalência de defeitos

Grãos imperfeitos / Impurezas	Número de defeitos
1 grão preto	1
2 grãos ardidos	1
2 a 5 grãos brocados	1
3 grãos concha	1
5 grãos verdes	1
5 grãos quebrados ou esmagados	1
5 grãos chochos ou mal granados	1
1 pedra, pau ou torrão grande	5
1 pedra, pau ou torrão regular	2
1 pedra, pau ou torrão pequeno	1
1 coco	1
1 casca grande	1
2 a 3 cascas pequenas	1
2 marinho	1

Fonte: “Guia do Barista - Da Origem do Café ao Espresso Perfeito” de Edgard Bressani. Adaptado pelo autor (2025)

Ao finalizar a identificação de todos a amostra, é realizado o somatório dos defeitos encontrados, o que determina o tipo final do café. Esta classificação varia do Tipo 2 ao Tipo 8, conforme é detalhado na Tabela 2. É crucial ressaltar que a presença de impurezas e

matérias estranhas na amostra não deve ultrapassar 1% do lote, pois caso esse limite seja ultrapassado, a matéria-prima é proibida de ser comercializada até que seja submetida a um rebeneficiamento (SENAR, 2017).

A classificação física do café também é feita pela granulometria, que é um método que consiste na utilização de um jogo de peneiras com malhas de dimensões e formatos variados para a segregação dos grãos pelo tamanho. Nesse processo, são utilizadas duas peneiras com formatos distintos, conforme mostrado na Figura 8, para diferenciar os grãos chatos e os grãos moca (arredondados). Estas peneiras são numeradas, sendo que a numeração varia de 10 a 19 para os grãos chatos e de 8 a 13 para os grãos moca. (SENAR, 2017). Normalmente, os grãos classificados nas maiores peneiras são o padrão destinado à exportação, visto que o mercado internacional associa grãos maiores a uma maior qualidade.

Tabela 2 - Tipos de café em relação à quantidade de defeitos

Tipo	Defeitos
2	4
2 - 3	8
3	12
3 - 4	19
4	26
4 -5	36
5	46
5 -6	64
6	86
6 - 7	123
7	160
7 - 8	260
8	360

Fonte: Coleção SENAR. N°192. Adaptado pelo autor (2025)

Figura 8 - Peneiras de crivos alongados (grãos moça) e arredondados (grãos chatos)



Fonte: Coleção SENAR. N°192. Adaptado pelo autor (2025)

A análise sensorial, realizada por meio da "prova de xícara", constitui o método definitivo para determinar a qualidade final da bebida e estabelecer o grupo e subgrupo do café conforme a Classificação Oficial Brasileira (COB). Essa avaliação é crucial, pois a correlação entre a análise física do grão cru (contagem de defeitos) e as características reais de gosto e aroma da bebida nem sempre se traduz em qualidade sensorial.

Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC) categoriza o produto em níveis como Tradicional, Superior/Premium, Gourmet e Especial, sendo que os cafés Especiais representam o ápice da qualidade, usualmente compostos por 100% Coffea arábica e alinhados ao requisito mínimo de 80 pontos do padrão internacional, conforme ilustra a Figura 9.

Figura 9 - Selo de Certificação ABIC – Especificações de Estilo e Padrão de Qualidade do Café.

<p>ESPECIAL</p> <p>Doçura: Alta a muito alta </p> <p>Acidez característica: Moderada a muito característica </p> <p>Amargor: Muito baixo a baixo </p>		<p>A bebida de café analisada deve ser qualificada não necessariamente por todas as notas descritivas em conjunto, mas com no mínimo uma nota com intensidade de moderada a muito forte de amadeirado, cedro ou carvalho, amendoado ou castanhas, caramelizado, caramelo ou doce e frutado; ou com intensidade entre fraca e forte de alcohólico, baunilha, chocolate ou cacau e fermentado; ou com intensidade entre fraca a muito forte de floral e mel.</p> <p>Devem estar ausentes as notas descritivas: animalico ou curral, azedo, borracha, fenolico, quimico ou medicinal, madeira, papelão ou sacaria, queimado, defumado ou cinzas, terroso, mofo ou sujo, vegetal e verde.</p>
<p>GOURMET</p> <p>Doçura: Moderada a alta </p> <p>Intensidade da acidez: Moderada a alta </p> <p>Amargor: Baixo a moderadamente baixo </p>		<p>A bebida de café analisada deve ser qualificada não necessariamente por todas as notas descritivas em conjunto, mas com no mínimo uma nota com intensidade de moderada a muito forte de amadeirado, cedro ou carvalho, amendoado ou castanha, caramelizado, caramelo ou doce, frutado e mel; ou com intensidade entre fraca a muito forte de chocolate ou cacau e floral; ou com intensidade entre forte a muito forte de tostado ou torrado. Devem estar ausentes as notas descritivas: animalico ou curral, azedo, borracha, fenolico, quimico ou medicinal, madeira, papelão ou sacaria, terroso, mofo ou sujo, vegetal e verde.</p>
<p>SUPERIOR</p> <p>Doçura: Moderada </p> <p>Intensidade da acidez: Moderada </p> <p>Amargor: Moderado </p>		<p>A bebida de café analisada deve ser qualificada não necessariamente por todas as notas descritivas em conjunto, mas com no mínimo uma nota com intensidade de moderada a muito forte de amadeirado, cedro ou carvalho, amendoado ou castanhas, caramelizado, caramelo ou doce, chocolate ou cacau, frutado e tostado ou torrado; e, ou com intensidade entre fraca a moderada de cereal e mel. Devem estar ausentes as notas descritivas: animalico ou curral e borracha.</p>
<p>TRADICIONAL</p> <p>Doçura: Muito baixa a baixa </p> <p>Intensidade da acidez: Baixa a moderadamente baixa </p> <p>Amargor: Moderado a alto </p>		<p>A bebida de café analisada deve ser qualificada não necessariamente por todas as notas descritivas em conjunto, mas com no mínimo uma nota com intensidade de fraca a forte de amadeirado, cedro ou carvalho, chocolate ou cacau, especiarias, herbáceo, madeira, papelão ou sacaria e tostado ou torrado.</p>
<p>EXTRAFORTE</p> <p>Doçura: Muito baixa a baixa </p> <p>Intensidade da acidez: Muito baixa a baixa </p> <p>Amargor: Moderado a alto </p> <p>Intensidade: Alta, acima de 7.</p> <p>Torra: Média a escura</p>		<p>A bebida de café analisada deve ser qualificada não necessariamente por todas as notas descritivas em conjunto, mas com no mínimo uma nota com intensidade de fraca a forte de amadeirado, cedro ou carvalho, chocolate ou cacau, especiarias, herbáceo, madeira, papelão, sacaria e tostado ou torrado, e intensidade de fraca a muito forte de queimado, defumado ou cinzas.</p>

Fonte: ABIC (Associação Brasileira da Indústria de Café), 2025.

3.3 Produção mundial de café

O café está presente no cotidiano de uma parcela significativa da população mundial, com uma estimativa de consumo médio global no ano cafeeiro de 2023/2024 de 177 milhões de sacas de 60 kg (EMBRAPA 2024). A cadeia produtiva do café está presente desde pequenos agricultores até as grandes exportadoras, gerando movimento nos mercados internacionais e fortalecendo o desenvolvimento de diversas nações.

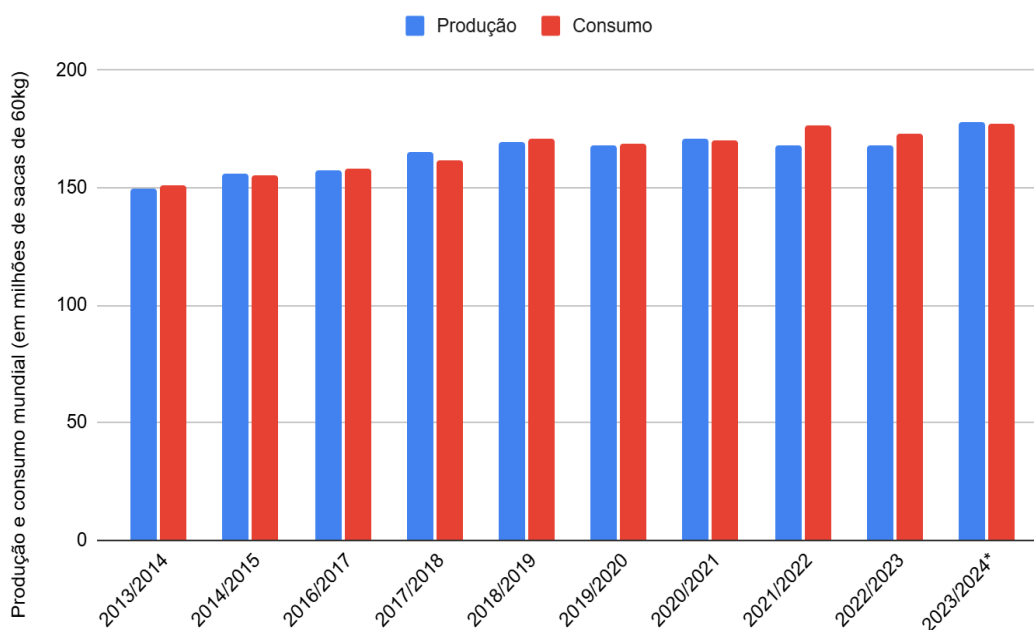
A Organização Internacional do Café (OIC, 2023) afirma que o café não é apenas uma bebida amplamente consumida, mas uma commodity crítica que desempenha um papel

fundamental na geração de empregos e renda para populações em mais de 50 países produtores, além de movimentar toda a sua cadeia de valor. Conforme o relatório de perspectivas da OIC (2023), a situação crítica da economia faz do café um produto sensível a flutuações, além de fazer com que seu mercado possua uma dinâmica que pode ser facilmente impactada por diversos fatores externos, como a pandemia da COVID-19, a intensificação das tensões geopolíticas e as mudanças climáticas, que surgem como um dos desafios mais difíceis e complexos para os países produtores (OIC, 2023).

Desta forma, ao realizar uma análise do histórico de produção mundial de café, observamos uma dinâmica de extrema oscilação e vulnerabilidade no setor global. O ano-cafeeiro de 2019-2020, protagonizou um cenário de desaceleração (Gráfico 1), tanto na produção quanto no consumo global, com uma redução de aproximadamente 2,5% em relação ao ano anterior. Essa queda, mostrou uma interrupção na tendência global de crescimento do setor que vinha desde 2014, mostrando a crescente exposição do setor a fatores externos (CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ, 2020). Esse cenário reforça que, apesar da demanda global por café permanecer elevada ao longo prazo, a estabilidade de sua produtividade é frequentemente ameaçada.

Além disso, é fundamental compreender que o conceito de ano-cafeeiro é diferente do ano civil tradicional (janeiro a dezembro), pois o ano-cafeeiro corresponde a um período específico de 12 meses, crucial para padronizar o registro e a análise da produção e consumo global de café, começando em 1º de outubro e terminando em 30 de setembro do ano seguinte (CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ, 2024).

Gráfico 1 - Produção e Consumo Global de Café por Ano Cafeeiro*



Fonte: Dados do Relatório sobre o mercado cafeeiro (OIC) de dezembro de 2018 e dezembro de 2024 (Adaptado pelo autor). *Em mil sacas de 60kg; **Estimativa

Conforme o detalhamento da Tabela 3, o setor cafeeiro demonstrou um crescimento geral tanto na produção quanto no consumo ao longo da década analisada. No entanto, a trajetória dessa produção não foi linear, pois após um crescimento inicial, a produção oscilou entre 2017/2018 e 2021/2022, com elevadas flutuações e uma breve tendência de recuperação, mostrando um balanço entre oferta e demanda global com uma dinâmica de alternância entre superávit (quando as receitas são maiores do que as despesas) e déficit (quando as despesas são maiores que as receitas).

Com isso, em alguns anos cafeeiros, como 2014/2015, 2017/2018 e 2020/2021, o mundo conseguiu produzir mais café do que consumiu, gerando um superávit que ajudava a manter o mercado mais estável, porém o setor também enfrentou momentos onde a demanda superou a produção. Esse desequilíbrio ocorreu, de forma mais visível, entre 2021/2022 e 2022/2023, no qual o consumo global, de 176,6 milhões e 173,1 milhões de sacas, respectivamente, ultrapassando significativamente a produção, que se manteve em torno de 168 milhões e 168,2 milhões de sacas, gerando uma pressão considerável sobre o mercado e sinalizando a fragilidade do fornecimento mundial.

Tabela 3 - Produção e Consumo Global de Café por Ano Cafeeiro*

Ano-cafeeiro	Produção mundial	Consumo mundial
2013/2014	149,61	151,22
2014/2015	155,88	155,44
2016/2017	157,40	158,31
2017/2018	164,99	161,71
2018/2019	169,80	171,20
2019/2020	168,40	168,60
2020/2021	170,80	169,90
2021/2022	168,00	176,60
2022/2023	168,20	173,10
2023/2024**	178,00	177,00

Fonte: Dados do Relatório sobre o mercado cafeeiro (OIC) de dezembro 2018 e dezembro 2024 (Adaptado pelo autor). *Em mil sacas de 60kg; **Estimativa.

Além disso, o café registrou um aumento de 40% em 2024, valorizando significativamente os grãos Naturais Brasileiros e Robustas. Essa elevação se deu em meio a intensas preocupações com a situação da oferta do café, principalmente devido ao aumento das condições climáticas adversas, impactando as perspectivas de produção do setor (OIC, Janeiro 2024). Apesar de que preços mais altos no mercado internacional, na maioria dos casos, significa aumento dos lucros no setor, é importante ressaltar que a distribuição desses lucros pode não ser uniforme, não chegando ou chegando de forma reduzida para quem realmente produz (SOLIDARIDAD NETWORK, 2024).

3.3.1 Produção brasileira de café

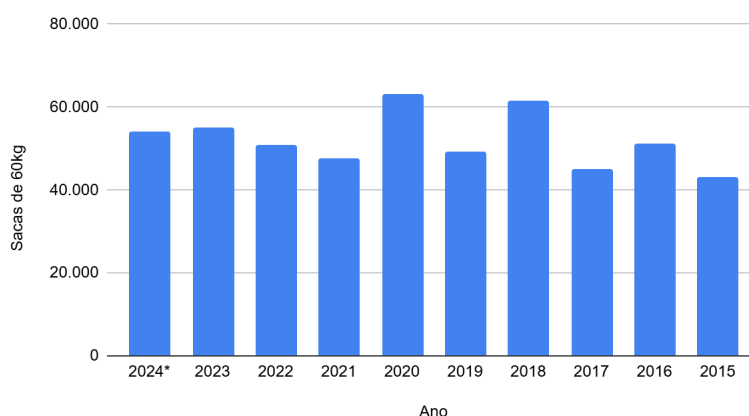
O Brasil ocupa um papel de destaque no setor cafeeiro mundial, se consolidando no mercado não apenas como o maior produtor e exportador de café do mundo, mas também como um dos maiores consumidores globais da bebida (MAPA, 2023). Essa profunda relevância histórica e econômica da cafeicultura brasileira, pode ser evidenciada pela força de seu mercado interno, por exemplo, dados da Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), em parceria com o Consórcio Pesquisa Café, revelam que em 2015 o consumo interno alcançava 20,333 milhões de sacas beneficiadas de 60 kg, com um consumo per capita de aproximadamente 4,89 kg de café torrado e moído por habitante ao ano (ABIC, 2015).

Além disso, essa relevância do setor também pode ser observada pelos dados de produção e área cultivada ao longo dos últimos 10 anos (2015-2024), que apesar da

imponência do seu volume, demonstra uma dinâmica de variação. A produção total de café (Gráfico 2) no Brasil, que iniciou com 43,235 milhões de sacas em 2015, alcançou picos como 63,103 milhões em 2020, mas também registrou quedas significativas para 44,970 milhões em 2017 (ABIC, 2025).

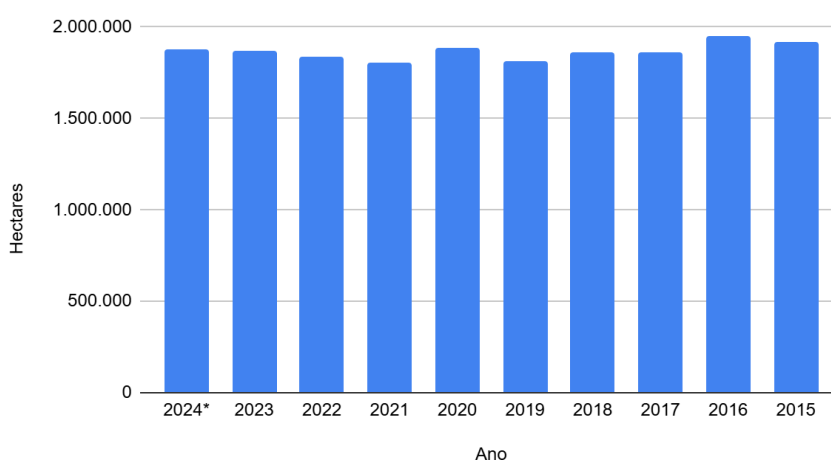
Em relação à área cultivada (Gráfico 3), o total permaneceu relativamente estável, em torno de 1,8 a 1,9 milhão de hectares nesse período. No entanto, é possível observar algumas relações, como por exemplo, em 2023, a área total foi de 1,873 milhão de hectares, com uma produção de 55,072 milhões de sacas. Já no ano seguinte, observamos um aumento da área produzida para 1,881 milhão de hectares, no entanto tivemos queda na produção, registrando 54,215 milhões de sacas produzidas. Esse cenário de uma produção em uma área maior ou ligeiramente menor, mostra a busca contínua do setor por ganhos de produtividade e eficiência, mas também evidencia a dificuldade do setor de superar seus volumes anteriores, trazendo a visão de um setor sob constante pressão.

Gráfico 2 - Produção total de café no Brasil por ano.



Fonte: Relatório da ABIC, 2025. (adaptada pelo autor). *Estimativa.

Gráfico 3 - Área Total Destinada à Produção de Café no Brasil por ano.



Fonte: Relatório da ABIC, 2025. (adaptada pelo autor). *Estimativa

Portanto, a contribuição do café para a economia nacional é vital, se afirmando como um dos principais motores das exportações agrícolas brasileiras, conforme detalhado na Tabela 6, demonstrando uma trajetória de crescimento marcante, saindo de 37,02 milhões de sacas em 2015 e alcançando estimativas de 50,57 milhões de sacas em 2024, demonstrando a força da demanda internacional pelo café brasileiro.(ABIC, 2025)

Tabela 6 - Quantidade de Exportação de café do Brasil (2015-2024).

Ano*	Conillon	Arábica	Total Café Verde	Torrado	Solúvel	Total Industrializado	TOTAL GERAL
2024**	9.361.167	37.034.795	46.395.962	49.020	4.126.173	4.175.193	50.571.155
2023	4.727.317	30.845.111	35.572.428	51.264	3.622.081	3.673.345	39.245.773
2022	1.508.798	34.112.232	35.621.030	51.621	3.738.451	3.790.072	39.411.102
2021	3.755.163	32.208.424	35.963.587	46.275	4.032.796	4.079.071	40.042.658
2020	4.927.184	35.624.383	40.551.567	24.575	4.131.343	4.155.918	44.707.485
2019	3.959.653	32.712.888	36.672.541	26.033	4.001.109	4.027.142	40.699.683
2018	2.480.140	29.412.021	31.892.161	19.226	3.727.461	3.746.687	35.638.848
2017	296.069	27.123.656	27.419.725	26.321	3.482.908	3.509.229	30.928.954
2016	580.313	29.786.018	30.366.331	29.885	3.874.750	3.904.635	34.270.966
2015	4.213.953	29.225.183	33.439.136	28.825	3.551.022	3.579.847	37.018.983

Fonte: Relatório da ABIC, 2025. (adaptada pelo autor). * Em mil sacas de 60kg; **Estimativa.

3.4 O café no contexto econômico e financeiro

No contexto da cafeicultura, a gestão financeira e a proteção contra a volatilidade dos preços são cruciais, especialmente diante da instabilidade climática que afeta a oferta e a demanda globais. Para mitigar esses riscos, o mercado de commodities emprega diversos instrumentos financeiros, como os contratos futuros, que são acordos padronizados negociados em bolsas, nos quais as partes se comprometem a comprar ou vender café a um preço e data futuros predeterminados, sendo seu valor influenciado por expectativas de produção, clima e estoques globais (BRASIL, 2022). A ação de travar o preço de venda futuro

do café proporciona maior previsibilidade nas receitas, facilita o planejamento financeiro e reduz a exposição a prejuízos, o que aumenta a segurança das operações comerciais em um mercado cada vez mais volátil

No entanto, o mercado de café tem demonstrado uma ascensão intensa nos preços, impulsionada principalmente pela onda de calor no Brasil e pelas condições climáticas incertas. Esse cenário de flutuações e complexidade resultou na desaceleração dos negócios, gerando impactos e consequências significativas para os produtores. Apesar do aumento dos preços ser um aparente estímulo, os custos dos insumos também se elevam, neutralizando parte dos ganhos. Este contexto realça a necessidade urgente de os produtores obterem recursos para investir na manutenção e no aprimoramento das lavouras, visto que a seca tem gerado impactos na qualidade do grão, manifestando-se em risco de granulação, menores peneiras e acidez acentuada (SILVA, 2025).

3.5 Mudanças climáticas e seus impactos na cafeicultura

A evolução climática da Terra sempre foi marcada por ciclos de aquecimento e resfriamento impulsionados por eventos naturais, como os vulcões. No entanto, a realidade climática atual, não segue mais essa dinâmica, com o aumento da concentração de gases de efeito estufa resultante da atividade industrial. Este desequilíbrio climático, causado pelo homem, já está a afetar muitos extremos climáticos e meteorológicos em todas as regiões do mundo, resultando em impactos adversos generalizados (Blank, 2025; IPCC, 2023)

Diante da escala e da urgência dos seus efeitos, as mudanças climáticas se tornaram o maior desafio imposto à humanidade desde o surgimento do mundo moderno. Os indícios sugerem que este desequilíbrio ambiental altera o modo de vida de populações inteiras, com aproximadamente 3,3 a 3,6 bilhões de pessoas morando em áreas extremamente suscetíveis aos efeitos das alterações climáticas, onde as restrições socioeconômicas amplificam o risco. Como resultado, as taxas de mortalidade por eventos extremos como secas, inundações e tempestades foram aproximadamente 15 vezes maiores nessas áreas vulneráveis entre 2010 e 2020 (IPCC, 2023).

Com isso, a dimensão econômica do problema é evidente, com prejuízos observados em setores sensíveis ao clima, como a agricultura. Os estudos científicos sobre o tema revelam que os efeitos das mudanças climáticas na agricultura não se limitam apenas à redução da colheita. Tais alterações afetam a própria base da sustentabilidade agrícola,

exercendo influência sobre fatores essenciais como a qualidade do solo, a segurança hídrica e a diversidade biológica necessária aos agroecossistemas (IPCC, 2023; Moraes, 2025).

Segundo o estudo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que analisou 60 anos de dados climáticos no Brasil, é possível visualizar como as alterações que vêm impactando e promovendo a fragilidade no setor. O estudo revela que o número de ondas de calor no país aumentou mais de quatro vezes nos últimos 30 anos. Além disso, a pesquisa aponta que a média de dias seguidos sem chuva passou de 80 para 100 em seis décadas, configurando um cenário cada vez mais propício para temporadas de secas (National Geographic Brasil, 2024).

Além disso, um estudo que utilizou o modelo CLIMEX para projetar a adequação climática do *Coffea arabica* no país, em cenários atuais e futuros, mostrou um cenário desafiador. O modelo, que integrou parâmetros bioclimáticos da espécie com dados climáticos históricos e projeções futuras, confirmou que as condições atuais são favoráveis, com destaque para a região de Minas Gerais (FERREIRA, 2024)

No entanto, as projeções futuras, indicam uma redução das áreas adequadas para o cultivo e o aumento das áreas inadequadas ao longo dos anos. No primeiro cenário, com projeções de aumento de 2,8°C na temperatura global, mostra que, em 2050, 20% das áreas se teriam se tornado inadequadas, com apenas 12,6% permanecendo adequadas e em 2100, 70,5% das áreas seriam consideradas inadequadas para o cultivo do café arábica. O segundo cenário, traz uma projeção de aumento de 3,4°C, às projeções seriam ainda mais acentuada com quase metade das áreas (49,9%) não sendo mais adequada em 2070 e atingindo 79,2% de áreas impróprias para o cultivo até 2100.

Dada a projeção da diminuição das áreas adequadas para cultivo até 2100, que pode impactar profundamente a economia e a subsistência de milhões de pessoas ligadas à cadeia produtiva, o estudo enfatiza a urgência de buscar e implementar estratégias de adaptação agrícola, visando mitigar os impactos das mudanças climáticas no setor cafeeiro brasileiro.

4 Metodologia para análise dos impactos ambientais

A metodologia de revisão sistemática da literatura foi adotada como estratégia principal para análise da influência do clima sobre a produção do café. Esta abordagem é reconhecida por seu rigor e transparência no levantamento e na síntese de evidências. Essa metodologia foi escolhida por possuir uma rigidez técnica e pela sua capacidade de se aprofundar no tema de forma organizada e estruturada, facilitando a compreensão do tema de pesquisa e fornecendo uma base sólida para a análise proposta.

Seguiu-se as recomendações da Declaração PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (Itens de Relato Preferenciais para Revisões Sistemáticas e Meta-Análises), para identificar, selecionar e avaliar criticamente pesquisas relevantes já publicadas (PRISMA, 2020).

As etapas propostas pela Declaração PRISMA 2020, que incluíram a formulação da pergunta de pesquisa, a definição das bases de dados e do período de busca, a seleção das palavras-chave, e a estipulação dos critérios de inclusão e exclusão (PRISMA,2020). O seguinte questionamento foi levantado: "De que forma as mudanças climáticas impactam a produção e o cultivo do café, gerando desafios para a segurança e a qualidade do grão?"

O levantamento dos artigos e trabalhos científicos foi limitado ao período de publicação dos últimos dez anos (2015 a 2025). Como base de dados para a identificação dos trabalhos utilizou-se o SciELO e o Google Acadêmico, em virtude de sua vasta cobertura de literatura e acessibilidade.

A estratégia de busca utilizou as palavras-chave: café, cafeicultura, cultivo do café, coffee, mudanças climáticas, estresse climático, alterações do clima, condições climáticas, climate change, climatic stress, impactos, impactos ambientais, vulnerabilidade, mycotoxins, mitigação e adaptation.

A seleção dos artigos seguiu os critérios: textos na íntegra e com disponibilidade eletrônica e que estivessem em um dos três idiomas: português, inglês ou espanhol. Em contrapartida, foram excluídos trabalhos com mais de dez anos de publicação, que apresentassem uma abordagem superficial do tema, que fossem cópias idênticas a outros ou que não atendessem aos propósitos do estudo. O diagrama de fluxo que ilustra a triagem dos estudos está disponível na Tabela 7.

Tabela 7 - Critério de Exclusão da revisão sistemática

Critério de Exclusão	
E1	Artigos com mais de dez anos de publicação.
E2	Artigos cujo texto não está disponível para acesso.
E3	Artigos duplicados.
E4	Títulos e resumos fora do escopo deste trabalho
E5	Artigos que apresentem uma abordagem superficial do tema
E6	Artigos que não atendam aos propósitos e objetivos do estudo

Fonte: Autor (2025)

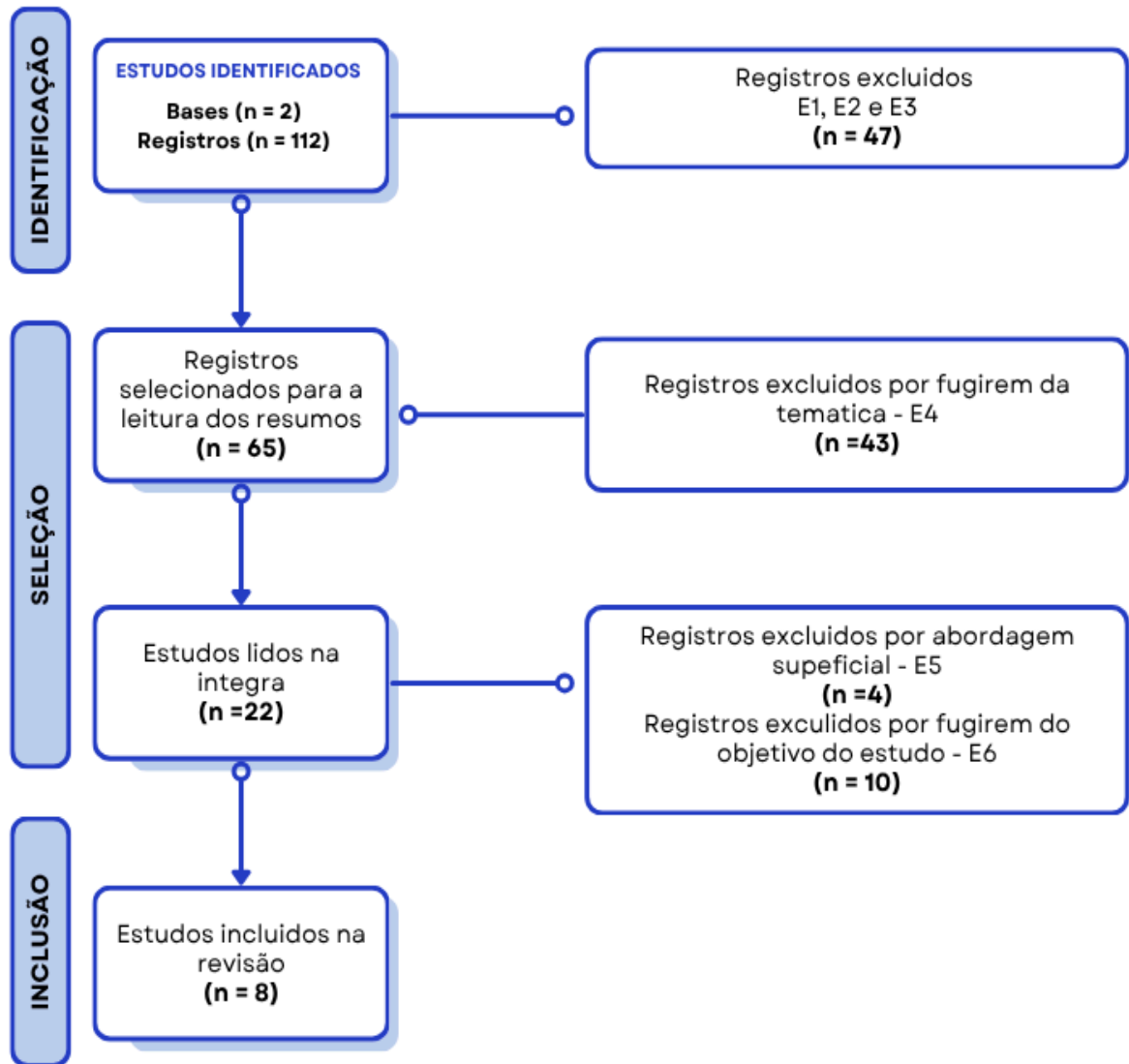
Para cumprir o protocolo da revisão sistemática, a busca inicial nas bases de dados resultou em um total de 112 trabalhos. A seleção desses artigos seguiu critérios de inclusão e exclusão rigorosos, aplicados de forma sequencial. Inicialmente, a triagem por data de publicação removeu 35 artigos por terem mais de dez anos de publicação (E1). Em seguida, a análise de acesso eliminou 2 artigos por falta de disponibilidade de texto na íntegra (E2), e outros 10 artigos foram excluídos por serem duplicatas (E3).

Após a aplicação inicial dos critérios de exclusão, para filtrar os documentos mais genericamente, um total de 65 estudos prosseguiu para a etapa de segunda triagem. Nesta fase, foi realizado uma avaliação minuciosa dos títulos e resumos desses trabalhos. Foi realizada uma análise para identificar aderência ao tema central e à pergunta de pesquisa estabelecida. Como resultado dessa avaliação criteriosa, foi constatado que 43 artigos não se alinhavam ao escopo do estudo (E4), com títulos que indicavam uma temática muito divergente e resumos que não apresentavam informações diretamente relevantes.

Dessa forma, os 22 artigos restantes foram submetidos à leitura na íntegra, etapa crucial da Revisão Sistemática. Nesta fase final, foram aplicados os critérios de exclusão relativos à abordagem superficial do tema (E5) e à inadequação aos propósitos e objetivos do estudo (E6). Tal processo resultou na remoção de 14 documentos, culminando em uma amostra final de 8 artigos relevantes que foram selecionados para a análise detalhada.

Na Figura 10, observa-se o organograma seguido para a seleção dos artigos validados para esta Revisão Sistemática da Literatura.

Figura 10 - Organograma da seleção dos artigos



Fonte: Autor (2025)

Na Tabela 8, estão apresentados os oito estudos selecionados para compor esta revisão sistemática, com informações sobre ano de publicação, título do trabalho, palavras chaves utilizadas na pesquisa e autores.

Tabela 8 - Compilação dos artigos selecionados

Ano	Título	Palavras Chaves	Autores
2024	Efeitos das características ambientais na qualidade do café.	"café" + "mudanças climáticas"	ALVES, H. M. R., VOLPATO, M. M. L., BORÉM, F. M., MARQUES JÚNIOR, J., SIQUEIRA, D. S., HAMADA, E., BORÉM, R. A. T.
2024	Mudanças do clima e agropecuária: impactos, mitigação e adaptação. Desafios e oportunidades	"café" + "mudanças climáticas"	EDUARDO DELGADO ASSAD, MARIA LEONOR RIBEIRO CASIMIRO LOPES ASSAD
2020	Climate change adaptation, coffee, and corporate social responsibility: challenges and opportunities	"climate change" + "adaptation" + "coffee"	Gino B. Bianco
2022	Climate Change and Effects on Molds and Mycotoxins	"mudanças climáticas" + "Mycotoxins"	Veronica Zingales, Mercedes Taroncher, Piera Anna Martino, María-José Ruiz, Francesca Caloni
2024	GESTÃO AMBIENTAL E CERTIFICAÇÃO AGRÍCOLA NA PROPRIEDADE PRODUTORA DE CAFÉ – UMA REVISÃO	"café" + "mitigação" + "impactos ambientais"	Diego Rodrigues da Silva Maria Zizi Martins Mendonça Caroline de Cassia Souza Timóteo Mario Roberto Prata Melo Francine Borges Silva Nayne Vieira da Silva Darlan Ferreira Borges
2019	An innovation perspective to climate change adaptation in coffee systems	"climate change" + "adaptation" + "coffee"	René Verburg, Eric Rahn, Pita Verweij, Marijke van Kuijk, Jaboury Ghazoul
2021	Climate Change and Coffee Quality: Systematic Review on the Effects of Environmental and	"Climate change" + "coffee"	Selena Ahmed , Sarah Brinkley , Erin Smith1, Ariella Sela,

	Management Variation on Secondary Metabolites and Sensory Attributes of <i>Coffea arabica</i> and <i>Coffea canephora</i>		Mitchell Theisen, Cyrena Thibodeau, Teresa Warne, Evan Anderson, Natalie Van Dusen, Peter Giuliano, Kim Elena Ionescu and Sean B. Cash
2017	VULNERABILIDADE DO CAFEIRO ARÁBICA À FERRUGEM (<i>Hemileia vastatrix</i>) EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	"cafeicultura" + "mudanças climáticas"	WALDENILZA MONTEIRO VITAL ALFONSI

Fonte: Autor (2025)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O levantamento revelou um panorama complexo dos impactos das mudanças climáticas na cafeicultura, com foco particular na produção e na qualidade do grão.

A qualidade do café, especialmente a do *Coffea arabica*, é um fator de grande complexidade, sendo fortemente influenciado e determinado por uma combinação de fatores genéticos da planta e pelas características ambientais do cultivo. O estudo conduzido por Alves et al. (2024), destaca a relação intrínseca e complexa entre o ambiente de cultivo e a qualidade final do produto. Segundo esses autores, a qualidade do café pode se modificar em função da sua origem geográfica, com variações notórias no perfil sensorial de acordo com o país, microrregiões e até mesmo em diferentes locais de plantio de uma mesma propriedade, além da influência das características genéticas e das condições particulares de clima, solo e relevo. Essas descobertas nos permitem entender que qualquer modificação nas condições ambientais de cultivo, especialmente aquelas causadas pelas mudanças climáticas, terá um impacto direto na identidade sensorial e na qualidade reconhecida do café brasileiro. Desta forma, as condições variadas de um local, englobando temperatura, altitude, solo e padrões de chuva, são as responsáveis por grande parte da sua qualidade. Essa diversidade de fatores confere aos grãos características singulares, especiais e altamente valorizadas no mercado (Alves et al., 2024).

O estudo de Alves et al. (2024) aponta que dentre os elementos climáticos, a precipitação pluviométrica é a que apresenta maior variabilidade e potencial de impacto no café, pois tanto o excesso quanto a falta de chuva afetam o plantio. Cada fase do ciclo da planta demanda de quantidades mínimas de água e a depender do estágio fenológico da planta, o estresse hídrico prolongado acarretará em danos à floração e na redução do desenvolvimento dos grãos, devido a retardação da absorção de nutrientes e na diminuição da sua fotossíntese, promovendo grandes perdas na produção e qualidade do produto.

Além da precipitação pluviométrica, a temperatura também é um fator ambiental crítico. Segundo Alves et al. (2024), regiões com climas mais frios são normalmente relacionadas a atributos positivos, como melhor acidez e sabor, pelo fato de que às temperaturas mais baixas conseguem prolongar o tempo de amadurecimento dos frutos, em virtude da sua respiração celular mais lenta, o que gera um acúmulo de compostos químicos e bioquímicos que contribuem com qualidade e sensorial da bebida, como açúcares e ácidos orgânicos. Já as temperaturas elevadas aceleram a sua respiração celular, diminuindo o seu

tempo amadurecimento e a sua qualidade. Além disso, a pesquisa também ressalta que o aumento da altitude é um fator determinante para as diferenças fisiológicas entre as plantas e a melhor qualidade da bebida, enquanto menores altitudes podem levar a maior estresse oxidativo e piora na qualidade.

Expandindo a análise, o artigo de Assad e Assad (2024) também explica que o aumento da temperatura e a deficiência hídrica são os grandes vetores de impacto na produção agrícola, afetando a biomassa verde e o rendimento de grãos, por serem fatores que alteram o clima local e intensificam a evapotranspiração das plantas, acelerando a necessidade hídrica. Desta forma, em um cenário onde se tem chuvas reduzidas com temperaturas elevadas, leva ao ressecamento mais rápido das plantas e a diminuição da sua produtividade. Em contrapartida, cenários com volumes excessivos de chuva também podem comprometer severamente as culturas. Isso ocorre principalmente devido à saturação do solo, que priva as raízes de oxigênio essencial para a respiração celular, comprometendo a absorção de água e nutrientes e podendo levar à asfixia radicular. Além disso, o excesso de umidade favorece a proliferação de doenças fúngicas e bacterianas, intensifica a lixiviação de nutrientes do solo e pode causar atrasos significativos nas operações de manejo e na colheita, resultando em perdas de produção e qualidade.

As necessidades hídricas do cafeeiro também são abordadas por Alfonsi (2017), que reitera que o suprimento adequado de água é essencial desde a floração e durante todo o processo de desenvolvimento dos frutos, com uma faixa ótima de precipitação entre 1.200 mm e 1.800 mm, pois escassez hídrica durante o desenvolvimento inicial dos frutos, aliada a temperaturas elevadas, pode gerar sementes pequenas e com um rendimento menor, formando frutos "chochos" e perdas de produtividade.

Para compreender a fundo esses impactos, o estudo de Assad e Assad (2024) enfatiza a fotossíntese como a base da eficiência agrícola, pois fatores como luz, água, concentração de dióxido de carbono (CO_2) e temperatura são primordiais para esse processo. Os autores diferenciam as plantas em C3 e C4, que se referem a caminhos diferentes que as plantas usam para realizar a fotossíntese, ou seja, para transformar luz em energia e fixar o dióxido de carbono do ar.

A grande diferença entre elas está em como elas captam o dióxido de carbono do ar. Nas plantas C3, como o café, o processo usa uma enzima principal, chamada Rubisco, que tem afinidade tanto para o dióxido de carbono quanto para o oxigênio. Portanto, se o ambiente estiver muito quente ou com pouco CO_2 , como em situações de estresse hídrico, onde a planta

fecha os poros para não perder água, a Rubisco pode começar a pegar oxigênio produzido na fotossíntese do que o Co_2 do ambiente, fazendo a planta entrar no processo chamado de fotorrespiração (Cambridge, 2024).

Já as plantas C4, como o milho e a cana-de-açúcar, possuem um sistema que primeiro concentra o dióxido de carbono dentro da folha, antes de chegar na enzima. Assim, a Rubisco da planta C4 está sempre em um ambiente com muito Co_2 e pouco oxigênio, mesmo estando em altas temperaturas ou quando a planta precisa economizar água (Cambridge, 2024).

Desta forma, plantas C3 como o café, se tornam mais sensíveis a temperaturas elevadas, sofrendo maior fotorrespiração em comparação com plantas C4. Essa característica intrínseca, torna o cafeeiro mais vulnerável aos cenários de aquecimento global, impactando diretamente sua produtividade e o desenvolvimento ideal dos grãos.

Em relação à conexão entre clima e qualidade, o artigo de Ahmed et al. (2021) oferece uma visão abrangente sobre os efeitos das variações ambientais em metabólitos secundários e atributos sensoriais do café. A revisão de Ahmed et al. (2021) reforça a vulnerabilidade da qualidade do café às mudanças climáticas e às condições de manejo. O estudo destaca que o aumento da concentração atmosférica de Co_2 pode induzir um efeito de diluição na qualidade do grão, uma vez que os níveis mais elevados de Co_2 possam impulsionar um aumento na taxa de crescimento e rendimento das plantas, esta aceleração do seu desenvolvimento está associado a uma redução nas concentrações dos metabólitos essenciais que definem a qualidade sensorial e nutricional do café. Desta forma, os autores mapearam os fatores ambientais e de manejo mais estudados e os seus resultados demonstraram a complexidade dessa relação.

Desta forma, os fatores de altitude e exposição à luz foram os mais consistentemente correlacionados com a qualidade do café na revisão de Ahmed et al. (2024). A maioria dos estudos analisados mostrou que o aumento da altitude está associado, de fato, com uma melhoria nos atributos sensoriais, como acidez e corpo.

Em relação à exposição à luz, verificou-se que na literatura existe uma relação bem fundamentada, onde os artigos analisados encontraram uma diminuição na qualidade do produto com o aumento da exposição à luz. Um dos artigos avaliados por Ahmed et al (2024) aborda que a redução da sombra abaixo de 45% resulta em um café com características negativas, como amargor e ausência de aroma.

Desta forma, os estudos sugerem que um sombreamento adequado tende a ser benéfico para a qualidade sensorial do café, ao proteger o grão de estresses excessivos. No entanto, é importante analisar o tema sob outra óticas.

Observou-se no estudo de Verburg et al. (2019) que a colocação do sombreamento é uma medida de adaptação vital, onde a presença de árvores em sistemas agroflorestais de café é reconhecida por amenizar extremos climáticos, como a redução da temperatura do ar diurna no sub-bosque em até 5 °C, diminuindo o estresse fisiológico das plantas, além de contribuírem com a gestão hídrica ao extraírem água de camadas mais profundas do solo. Além disso, podem atuar como quebra-ventos, protegendo as plantações de eventos climáticos severos como granizo e tempestades, mas o estudo também alerta sobre o aumento da umidade no sub-bosque em sistemas sombreados, pois esse aumento pode favorecer patógenos fúngicos, introduzindo um novo desafio para a segurança e qualidade do grão.

Já fatores como temperatura e estresse hídrico, os resultados encontrados por Ahmed et al (2024) demonstraram inconsistências para esses dois fatores, com um número semelhante de estudos mostrando melhorias ou diminuições na qualidade do café com o aumento da temperatura ou do estresse hídrico. Isso sugere que a relação não é linear e pode ser influenciada por outros fatores ou por variações nos protocolos de pesquisa.

Em relação à segurança de alimentos, as mudanças climáticas representam uma ameaça significativa à integridade do grão de café ao introduzir e agravar fatores que favorecem a proliferação de patógenos fúngicos, devido a alteração da resistência da cultura e da patogenicidade dos fungos. O estudo de Zingales et al. (2022) aprofunda essa preocupação, demonstrando como os fatores externos conseguem influenciar o ciclo de vida dos fungos, sua capacidade de colonizar culturas, sobreviver e produzir toxinas, podendo alterar sua distribuição geográfica e seu padrão de ocorrência.

Um dos fatos mais preocupantes é que o aumento das temperaturas favorece a reprodução de fungos mais adaptados a climas quentes, como as espécies *Penicillium* e *Aspergillus*, que são produtoras de Ocratoxina A (OTA) e aflatoxinas (AF), comumente encontradas em regiões tropicais e subtropicais com altas temperaturas e baixa atividade de água (aw), características que estão cada vez mais presentes nas regiões cafeeiras devido o cenário das alterações climáticas.

Com isso, o estudo de Zingales et al. (2022) prevê uma modulação na prevalência dessas espécies fúngicas, com um provável declínio das espécies de *Penicillium*, produtores de OTA, e um aumento de *Aspergillus*, produtoras de AF. As aflatoxinas são classificadas como carcinógenos naturais do Grupo I pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer

(IARC), sendo a Aflatoxina do tipo B1, uma das micotoxinas mais potentes e prejudiciais. Estudos que exploraram a expressão genética dos fungos citados no artigo demonstram que o aumento de temperatura (de 30 para 37 °C), níveis de CO_2 e atividade de água podem estimular significativamente a biossíntese de Aflatoxina B1 em *Aspergillus*, ao influenciar os seus mecanismos internos que controlam a produção da toxina, ou seja, tais condições podem ativar e acelerar sua produção interna da toxina Aflatoxina B1.

Embora a Ocratoxina A (OTA) seja atualmente a micotoxina mais frequentemente relatada no café, o cenário futuro é preocupante. O aumento das temperaturas sugere que *Penicillium*, que prospera em temperaturas mais baixas, se tornará menos proeminente, além disso, as projeções indicam que as mudanças climáticas podem se tornar desfavoráveis para a produção de OTA por *Aspergillus* (*A. ochraceus*, *A. carbonarius* e *A. niger*), mas altamente favoráveis para *Aspergillus flavus*, que é notoriamente uma espécie de clima quente e semiárido produtora AF, o que pode levar as aflatoxinas a se tornarem a micotoxina dominante no café (Zingales et al., 2022). Essa potencial substituição de micotoxinas representa um desafio crítico para a segurança do café, dada a toxicidade superior das AF.

Em síntese, as evidências apresentadas por Zingales et al. (2022) reforçam que as mudanças climáticas estão elevando a suscetibilidade das plantas à contaminação fúngica, principalmente espécies termotolerantes, como as do gênero *Aspergillus*, alterando o panorama de risco de micotoxinas no café e impulsionando a prevalência de compostos mais perigosos, como as aflatoxinas. Essa constatação sublinha a necessidade urgente de desenvolver e implementar estratégias de monitoramento e controle de micotoxinas na cadeia produtiva do café.

Complementando as discussões sobre a qualidade e os riscos trazidos pelos fungos para a cultura do café, a tese de Alfonsi (2017) oferece um olhar aprofundado sobre a intensificação da ferrugem do cafeeiro. Essa doença causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, sendo considerada a principal doença da cultura do café, pois sua presença está distribuída praticamente por todas as regiões produtoras, representando uma ameaça constante para o setor. Essa doença provoca danos significativos, como a queda precoce das folhas das plantas, o que compromete a capacidade produtiva do cafeeiro não apenas no ciclo atual, mas também nas safras futuras, devido à redução da área fotossinteticamente ativa.

Para entender a dinâmica futura desta doença, a pesquisa de Alfonsi (2017) utilizou de modelos climáticos regionalizados. Estes modelos foram empregados para projetar como o

aumento das temperaturas e as alterações nos padrões de chuva, podem influenciar e intensificar a incidência da ferrugem.

A análise dos resultados mostrou que a alteração desses fatores ambientais provocados pelas mudanças climáticas provocaram uma tendência de redução do período de incubação (PI) da ferrugem, que corresponde ao tempo necessário entre a infecção inicial da planta pelo fungo e o aparecimento dos primeiros sintomas visíveis, tendo como principal fator o aumento das temperaturas médias.

Portanto, um período de incubação mais curto é um fator crítico e está diretamente ligado a uma aceleração no ciclo de vida do fungo e a uma epidemia mais intensa, rápida e difícil de controlar. Com esse cenário projetado, Alfonsi (2017) prevê um aumento da severidade da ferrugem em importantes regiões produtoras de café no Brasil, como São Paulo e o Cerrado de Minas Gerais, onde as projeções climáticas futuras criam condições mais favoráveis para o desenvolvimento e a proliferação do *Hemileia vastatrix*. Assim, diante dessas projeções, a formulação e a implementação de estratégias de adaptação mais eficazes tornam-se imperativas. Isso inclui a adoção de medidas como o uso mais estratégico e eficiente de fungicidas para controlar o patógeno, e, crucialmente, a seleção e o plantio de cultivares de café que possuam resistência genética à ferrugem, visando garantir a resiliência da cultura frente aos desafios impostos pelas alterações climáticas.

Nessa perspectiva, o artigo de Bianco (2020) esclarece em sua análise dois conceitos importantes para esse estudo, o de adaptação, que é o processo de ajuste aos efeitos atuais ou esperados do clima e o de mitigação, que visa frear o aumento da temperatura global.

Nesse cenário, onde há o risco de diminuição da qualidade do café, a certificação agrícola e a gestão ambiental como estratégias cruciais para reduzir a vulnerabilidade do setor cafeeiro, oferecendo um caminho para mitigar os impactos e agregar valor ao produto. O estudo de Silva et al. (2024) reforça que a certificação de café tem a capacidade de retirar o produto do patamar de commodity agrícola, permitindo que ele alcance preços diferenciados no mercado nacional e internacional. Esse valor superior, reflete a qualidade do produto e a conformidade com práticas de produção menos agressivas, trazendo padrões reconhecidos no mercado que asseguram a qualidade do produto e permitem que os consumidores depositem confiança, como são os padrões de Orgânico, Fair Trade, Utz Certified e RainForest Alliance.

Desta forma, o artigo de Silva et al (2024) discute como a busca por implementação de certificação com critérios ambientais tem sido bastante requisitada e almejada pelos produtores e pela indústria do café, buscando agregar valor ao produto e promover a imagem do seu negócio.

Contudo, o custo da certificação e a manutenção das práticas sustentáveis e do sistemas de gestão ambiental (SGA), envolvem consultoria, aquisição de equipamentos e treinamento de funcionários, o que encarece o processo e acaba representando um grande desafio para o setor. Desta forma, os altos custos da implementação, a falta de recursos financeiros, acesso a tecnologia e capacidade técnica adequada são as principais limitações enfrentadas pelas empresas brasileiras, apesar de que a adoção dessas práticas sustentáveis tenham demonstrado melhores resultados em termos de produtividade e lucratividade do setor.

O estudo de Verburg et al. (2019) sugere que programas de certificação podem ser um caminho para construir estruturas organizacionais de adaptação, oferecendo melhor acesso a mercados e sendo um veículo para a comunicação de boas práticas e informações sobre sustentabilidade para os produtores e comunidades.

No entanto, a análise de Verburg et al. (2019) critica a atuação das certificações de sustentabilidade, que apesar de certificar cerca de 53% da produção global de café, ainda apresenta lacunas significativas na abordagem da adaptação climática pois, apesar de incluir critérios relacionados à gestão agrícola, como manejo integrado de pragas e conservação de água e solo, poucas medidas de adaptação são claras, específicas e tangíveis para o produtor. Isso significa que falta detalhamento sobre ações concretas para que os agricultores possam implementar e adaptar suas lavouras aos impactos já sentidos e esperados das mudanças climáticas, por exemplo, os critérios de cobertura de sombra podem ser insuficientes para uma adaptação eficaz, pois a maioria das diretrizes dessas normas tende a focar mais em mitigação.

Apesar da alta vulnerabilidade dos países em desenvolvimento, o financiamento para a adaptação climática é dramaticamente escasso. Bianco (2020) aponta que ele representa apenas 7% do financiamento climático global total, com a grande maioria dos fundos direcionada à mitigação. Segundo o estudo, essa disparidade se deve, em grande parte, a uma barreira de princípio, tendo em vista que os benefícios da mitigação são globais, enquanto os benefícios da adaptação são predominantemente locais. Como resultado, países desenvolvidos tendem a ser relutantes em financiar a adaptação em países em desenvolvimento, pois eles veem o valor investido retornando benefícios apenas ao país que recebe a doação, e não para si próprios.

A ênfase desproporcional dos investimentos visando a mitigação, em vez da adaptação, apresenta uma desvantagem crucial, pois ela negligencia os desafios climáticos imediatos e inevitáveis que os cafeicultores já enfrentam. Ao focar primariamente em ações

de longo prazo para reduzir as causas das mudanças climáticas, as estratégias falham em fornecer o suporte necessário para que as lavouras e as comunidades se ajustem às secas, ondas de calor, inundações, pragas e doenças que já impactam a produtividade e a qualidade do café.

Além disso, Bianco (2020) critica a eficácia das certificações de sustentabilidade que, apesar de amplamente adotadas por grandes empresas, não parecem resolver as causas raízes do problema. O autor questiona o sentido de uma cadeia de suprimentos amplamente certificada onde os agricultores ainda lutam contra os mesmos problemas persistentes, sugerindo que as empresas podem estar respondendo mais às demandas de consumidores e pressão de pares do que aos desafios ambientais e de subsistência reais.

Bianco (2020) reforça que a necessidade de adaptação é particularmente crítica para a indústria cafeeira, especialmente para o *Coffea arabica*, por ser menos resistente. Com isso, projeções alarmantes indicam que, se as tendências persistirem, grande parte das áreas atuais de cultivo de café no mundo, como na Etiópia (65-100% até 2080) e Nicarágua (mais de 90% até 2050), se tornarão inadequadas.

A pesquisa de Verburg et al. (2019) conclui que apesar do surgimento de diversas iniciativas e plataformas de conhecimento, a produção e difusão do conhecimento ainda são dispersas, dificultando a preparação eficaz dos cafeicultores para as mudanças climáticas. Isso destaca a necessidade de um suporte técnico mais robusto e direcionado para a implementação de inovações na área.

Além disso, as alterações na qualidade do grão, a maior suscetibilidade a estresses e a potenciais contaminações, que começam no campo são agravadas pela morosidade na adaptação, que também intensificam a necessidade de intervenções tecnológicas e de processamento.

Embora haja um entendimento crescente sobre a vulnerabilidade da qualidade do café às mudanças climáticas, a inconsistência dos resultados para fatores como temperatura e estresse hídrico, assim como a falta de estudos de longo prazo, representam lacunas significativas no conhecimento. Além disso, o conhecimento sobre seu impacto na incidência de doenças de plantas ainda é limitado, especialmente em culturas tropicais como o café, representando um desafio adicional para a segurança e qualidade do grão, pois a maior ocorrência de doenças pode levar a perdas significativas e comprometer a integridade do produto. Apesar da crença de que a tecnologia resolveria os problemas ambientais agrícolas, a realidade atual mostra que existe uma lacuna de conhecimento significativa entre os próprios agricultores sobre as mudanças climáticas, com uma parcela considerável

possuindo entendimento superficial ou incompleto, fator que agrava a capacidade de resposta do setor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas representam uma ameaça crescente para a cadeia produtiva do café, tendo em vista que os impactos não se limitam apenas a comprometer a viabilidade do cultivo e as características intrínsecas de qualidade do grão, mas também os desafios significativos no cenário do conhecimento e na capacidade resolutiva do setor.

Nessa perspectiva, se observa uma notável defasagem dos programas de certificação existentes e dos mecanismos de apoio técnico-científico frente à urgência e complexidade do problema é agravado pela limitada compreensão dos produtores acerca da totalidade dos impactos das mudanças climáticas, pois muitos agricultores, em sua busca por melhores condições de mercado, tendem a aderir a programas de certificação predominantemente focados em atender a demandas específicas de consumidores ou importadores. Essa adesão, frequentemente, não se traduz em uma abordagem estratégica e abrangente para resolver os desafios que comprometem suas lavouras frente às alterações climáticas pois, em vez de atuarem como ferramentas integrais de adaptação e mitigação, as certificações acabam sendo percebidas apenas como um diferencial comercial, o que impede uma transformação sistêmica e profunda das práticas agrícolas.

Embora a estratégia de investir em ação de adaptação na produção do café seja uma abordagem mais custosa do que o modelo da certificação, ela é necessária, pois os impactos das mudanças climáticas já estão presentes no cotidiano dos produtores de café, e essa ameaça influencia na dinâmica de toda a cadeia produtiva do café, inclusive os consumidores, que são atingidos pela volatilidade no preço do grão, que é fortemente influenciada pelos padrões climáticos, uma vez que eles impactam no volume e qualidade do produto final.

Diante da baixa prioridade dada à adaptação na produção do café por governos e doadores internacionais, a indústria não pode esperar que atores externos resolvam a crise. O investimento necessário para adaptar a produção global é vasto e importante para tornar o setor mais equitativo, sustentável e lucrativo no longo prazo. Para que isso ocorra, mais pesquisas são urgentemente necessárias, indo além da análise superficial.

Às consequências das alterações climáticas na produção do café são intensificadas pela lenta resposta setorial. Assim, a necessidade de intervenções tecnológicas e de processamento são urgentes. É notório que o acesso a redes de conhecimento, financiamento e treinamento adequado ainda é um desafio para os agricultores. Essa fragilidade estrutural, que exige a superação de grandes obstáculos para cobrir os custos da adaptação, reforça a

necessidade de um novo modelo de gestão. Para tal, as estratégias adaptativas devem ser tratadas prioritariamente por políticas públicas robustas, que garantam o acesso facilitado a recursos e capacitação técnica adequada, sendo fundamental aumentar os investimentos governamentais em medidas adaptativas para solucionar o problema do presente e proteger a colheita do futuro.

A ausência de estudos focados em soluções adaptativas, especificamente nas etapas de pós-colheita, evidencia a complexidade do tema e a necessidade de mais trabalhos serem publicados. Isso envolve o desenvolvimento e a implementação de soluções robustas e abrangendo desde inovações em secagem e armazenamento, irrigação e estudos genéticos que garantam a resiliência e a competitividade do produto final.

REFERÊNCIAS

ABIC – Associação Brasileira da Indústria de Café. **Economia cafeeira e industrialização do Brasil**. ABIC. 2021. Disponível em: <https://11nq.com/43cBz>. Acesso em: 22 jun. 2025.

ABIC – Associação Brasileira da Indústria de Café. **Origem do Café**. 2021. Disponível em: <https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/origem-do-cafe/>. Acesso em: 01 abr. 2025.

ABIC – Associação Brasileira da Indústria de Café. **Produção Agrícola**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.abic.com.br/estatisticas/producao-agricola/>. Acesso em: 27 maio 2025.

AHMED, Selena et al. **Climate Change and Coffee Quality: Systematic Review on the Effects of Environmental and Management Variation on Secondary Metabolites and Sensory Attributes of Coffea arabica and Coffea canephora**. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, 2021.

ALFONSI, Waldenilza Monteiro Vital. **Vulnerabilidade do cafeeiro arábica à ferrugem (Hemileia vastatrix) em cenários de mudanças climáticas**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

ALVES, H. M. R. et al. **Efeitos das características ambientais na qualidade do café**. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 45, n. 327, p. 17-26, 2024.

ANIC, L. C. **Paulo Artaxo: “Países tropicais serão os mais afetados pelas mudanças climáticas”**. Uol. 2024. Disponível em: <https://11nk.dev/pauloartaxa>. Acesso em: 24 abr. 2025

ASSAD, E. D.; ASSAD, M. L. R. C. L. **Mudanças do clima e agropecuária: impactos, mitigação e adaptação. Desafios e oportunidades**. *Estudos Avançados*, v. 38, p. 1–22, 2024.

BIANCO, G. B. **Climate change adaptation, coffee, and corporate social responsibility: challenges and opportunities**. *International Journal of Corporate Social Responsibility*, v. 5, n. 3, p. 1-13, 2020.

BLANK, P. M. Dionis. **O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas**. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 157-172, mai./ago. 2015

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil é o maior produtor mundial e o segundo maior consumidor de café**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-e-o-maior-produtor-mundial-e-o-segundo-maior-consumidor-de-cafe>. Acesso em: 25 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Conheça a história do café no mundo e como o Brasil se tornou o maior produtor e exportador da bebida**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/conheca-a-historia-do-cafe-no-mundo-e-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-exportador-da-bebida>. Acesso em: 10 maio 2025.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA nº 8, de 11 de junho de 2003. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão Cru. Diário Oficial da União.

CAMMAN, Brunow. **Dia Mundial do Café: 05 cafés ao estilo árabe em Curitiba**. Curitiba Cult, 14 abr. 2025. Disponível em: <https://curitibacult.com.br/dia-mundial-do-cafe-05-cafes-ao-estilo-arabe-em-curitiba/>. Acesso em: 20 jul. 2025.

CAMBRIDGE CAPP. **RuBisCO**. Disponível em: <https://cambridgecapp.wordpress.com/improving-photosynthesis/rubisco/>. Acesso em: 29 maio 2024.

CAFÉ E SEGREDOS. **História do café no Brasil: De sementes a tradição nacional**. 2024. Disponível em: <https://cafeesegredos.com.br/historia-do-cafe-no-brasil/>. Acesso em: 11 maio 2025.

CHEMURA, A.; SCHAUBERGER, B.; GORNOTT, C. **Impacts of climate change on agro-climatic suitability of major food crops in Ghana**. PLOS One. 2020.

CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ. **Consumo mundial de café atinge 167,5 milhões de sacas de 60kg no ano-cafeeiro 2019-2020**. Disponível em: <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/imprensa/noticias/1031-2020-11-16-15-55-41>. Acesso em: 22 maio 2025

CARVALHO, C. H. S. de et al. **Catálogo de cultivares de café arábica**. Embrapa Café, 2022. 115 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: 2º Levantamento Safra 2025 Café**. 2025.

CARVALHO, Fabio Lucas. **Primeira Rodovia Pavimentada do Brasil com 144 km de extensão e 8 metros de largura: obra inaugurada em 1861 impressionou o Imperador Dom Pedro II com sua velocidade e modernidade**. Click Petróleo e Gás, 22 jun. 2025. Disponível em: <https://sl1nk.com/oCbzC> . Acesso em: 22 jun. 2025.

CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ. **Produção total de café em nível mundial foi estimada em 178 milhões de sacas para o ano-cafeeiro 2023-2024**. 21 mar. 2024. Disponível em: <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/imprensa/noticias/1203-2024-03-21-18-28-19>. Acesso em: 3 jun. 2025.

CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (ed.). **Coffee**. Elsevier Applied Science, 1985. v1, p 4-13.

CORRÊA, Paulo César et al. **Café na Amazônia - Propriedades físicas e químicas interferentes na pós-colheita do café**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 18, p. 265-290.

EMBRAPA. **Consumo mundial de café foi estimado em 177 milhões de sacas de 60kg para o ano cafeeiro 2023/24**. Brasília: Embrapa, 12 mar. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/88790573/consumo-mundial-de-cafe-foi->

estimado-em-177-milhoes-de-sacas-de-60kg-para-o-ano-cafeeiro-2023-24. Acesso em: 21 maio 2025.

EMBRAPA. **Produção mundial de café foi estimada em 176,2 milhões de sacas de 60kg para a safra 2024–2025**. Brasília: Embrapa, 17 jul. 2024. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/91004784/producao-mundial-de-cafe-foi-estimada-em-1762-milhoes-de-sacas-de-60kg-para-a-safra-20242025?p_auth=uSVxwXY7. Acesso em: 18 maio 2025.

FERREIRA, Marinaldo Loures et al. **Efeitos climáticos futuros na distribuição potencial de Coffea arabica no Brasil utilizando ferramentas de modelagem**. 2025.

FERNANDES, Cláudio. **Economia cafeeira e industrialização do Brasil**. ABIC – Associação Brasileira da Indústria de Café, 2021. Disponível em: <https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/economia-cafeeira-e-industrializacao-do-brasil/>. Acesso em: 12 maio 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Adverse climatic conditions drive coffee prices to highest level in years**. Rome: FAO, 14 mar. 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/newsroom/detail/adverse-climatic-conditions-drive-coffee-prices-to-high-est-level-in-years/en>. Acesso em: 18 maio 2025.

FILHO, Gastil Josef. **Ecofisiologia do Cafeeiro**. Editora UEMG, 2018. Cap. 6, p. 80–102.

GOMES, A. C. A. **Influências no preço do café**. CaféPoint, 2015. Disponível em: <https://www.cafepoint.com.br/colunas/espaco-aberto/influencias-no-preco-do-cafe-98286/>.

GUO, D.; WESTRA, S.; MAIER, H. R. **Sensitivity of potential evapotranspiration to changes in climate variables for different australian climatic zones**. European Geosciences Union (EGU). p. 2107–2123, 2017.

HALAL, Shanise Lisie Mello El. **Composição, processamento e qualidade do café**. p. 10–45, Pelotas, 2008.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION (ICO). **Market Report: Sourcing Diversification**. Londres: ICO, nov. 2022.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION (ICO). **Coffee Market Report: December 2018**. London: ICO, 2018.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION (ICO). **Coffee Development Report 2022–23: overview**. Londres: ICO, 2023.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION (ICO). **Coffee Report and Outlook: December 2023**. London: ICO, 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2023 – Summary for Policymakers**. AR6 Synthesis Report. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Mudanças Climáticas 2023 - Relatório Síntese**. 2023.

JEFF. **A trajetória do café no Brasil: importância cultural e econômica**. Mug Mood, 2024. Acesso em: 21 abr. 2025. Disponível em: <https://mugmood.co/a-trajetoria-do-cafe-no-brasil-importancia-cultural-e-economica/>.

JOHNSON, L. K. **Ethiopian Coffee Culture**. In: The Spruce Eats. 17 set. 2020. Disponível em: <https://www.thespruceeats.com/ethiopian-coffee-culture-765829>. Acesso em: 3 jun. 2025.

LEMOS, Carol. **Café pelo mundo: Turquia**. Grão Cafés, 9 jun. 2025. Disponível em: <https://graocafes.com.br/cafe-pelo-mundo-turquia/>. Acesso em: 22 jun. 2025.

MARTINS, Ana Luiza. **História do café**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2012.

MATIELLO, José Brás; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. ed. 2015. São Paulo: Futurama Editora, 2016.

MCGONIGAL, Ethan. **Yemen: The Ancient Origins of Coffee**. CoffeeGeek, 2 abr. 2024. Disponível em: <https://coffeegeek.com/blog/history/yemen-the-ancient-origins-of-coffee/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

MAZUR, Lisiane Cristina. **O café e sua contribuição para a industrialização brasileira**. 2004. 40 f. Monografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MELLO, Victor Galindo et al. **Abandono de consumo: mudanças nos significados de consumo de café na onda dos cafés especiais**. Consumer Behavior Review, v. 4, n. 3, p. 245-260, 2020.

MILANI, Jaime Caballero. **Los distintos tipos de granos de café: variedades de café**. Editado por Kashmir Brummel. Homegrounds, 16 nov. 2023. Disponível em: <https://www.homegrounds.co/es/coffee-bean-varieties/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. **Mais seca e altas temperaturas: Estudo comprova que número de ondas de calor e dias sem chuva aumentaram no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2024/09/mais-seca-e-altas-temperaturas-estudo-comprova-que-numero-de-ondas-de-calor-e-dias-sem-chuva-aumentaram-no-brasil> . Acesso em: 1 jun. 2025.

NEVES, E. **Vítima das mudanças climáticas, café já custa quase 50 reais o quilo**. Veja, 2024. Disponível em: https://veja.abril.com.br/agenda-verde/vitima-das-mudancas-climaticas-cafe-ja-custa-quase-50-reais-o-quilo/#google_vignette.

NOVELLO, V. F. et al. **Dois milênios de variabilidade da zona de convergência do Atlântico Sul reconstruídos a partir de proxies isotópicos**. Geophysical Research Letters, 2018.

ONU. **Relatório sobre clima revela que planeta está emitindo “sinais de socorro”**. [ONU News], 2025. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2025/03/1846346>. Acesso em: 06 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ (OIC). **Relatório Mensal do Mercado de Café: janeiro de 2024**. [S. l.]: OIC, 2024.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ (OIC). **Relatório Mensal do Mercado de Café: dezembro de 2024**. [S. l.]: OIC, 2024.

ORMOND, J. G. et al. **Café: (re)conquista dos mercados**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 1999.

OVALLE-RIVERA, Oriana, et al. **Projected shifts in coffea arabica suitability among major global producing regions due to climate change**. PLOS ONE, 2015.

PWC. **A reinvenção do agronegócio brasileiro: desafios climáticos e avanços tecnológicos impulsionam a transformação do setor**. [S. l.]: PwC, 2025.

RIPPLE, W. J.; WOLF, C.; NEWSOME, T. M.; BARNARD, P.; MOOMAW, W. R. **World Scientists' Warning of a Climate Emergency**. [S. l.]: Oxford University Press, 2021.

SEBIM, João Paulo Marim. **Alta no preço do café em 2025: Oportunidade ou Risco para o Produtor?**. Agroadvance, 5 mar. 2025. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-alta-no-preco-do-cafe-2025/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

SEBRAE SC. **Estudo traz o panorama do mercado de cafés e cafeterias no Brasil**. [S.d.]. Disponível em: <https://www.sebrae-sc.com.br/blog/cafe-cafeterias>. Acesso em: 25 jun. 2025.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). **Café: cafés especiais**. Brasília: SENAR, 2017.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). **Classificação e Degustação do Café**. Brasília, DF: SENAR, 2017. (Coleção SENAR, n. 192).

SILVA, Diego Rodrigues da et al. **Gestão ambiental e certificação agrícola na propriedade produtora de café – uma revisão**. GETEC - Gestão, Tecnologia e Ciências, v. 17, 2024.

SOLIDARIDAD NETWORK. **The Grounds for Sharing: a study of value distribution in the coffee industry**. [S. l.]: Solidaridad Network, [2024].

SOUZA, Flávio de França et al. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2004.

TELES, Lais. **Café conilon e robusta: explorando as 2 variedades do Coffea canephora**. Agroadvance, 9 ago. 2023. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-cafe-conilon-e-robusta/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

THE BRAINY INSIGHTS. **Specialty Coffee Market to Reach USD 152.69 Billion by 2030: Rising Intake of Coffee and Increasing Count of Commercial Capsule Machines to**

Drive Growth, Says The Brainy Insights. GlobeNewswire, 5 abr. 2022. Disponível em: <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/04/05/2416928/0/en/Specialty-Coffee-Market-to-Reach-USD-152-69-Billion-by-2030-Rising-Intake-of-Coffee-and-Increasing-Count-of-Commercial-Capsule-Machines-to-Drive-Growth-Says-The-Brainy-Insights.html>. Acesso em: 25 jun. 2025.

UNITED STATES. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Coffee: World Markets and Trade.** USDA, 2024.

UNITED STATES. Department of Agriculture. **Coffee: World Markets and Trade.** USDA, 2023.

VERBURG, René et al. **An innovation perspective to climate change adaptation in coffee systems.** Environmental Science & Policy, v. 97, p. 16-24, jul. 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **State of the Global Climate 2024.** WMO-No. 1368, 2024. Disponível em: https://library.wmo.int/viewer/69455/download?file=WMO-1368-2024_en.pdf&type=pdf&navigator=1. Acesso em: 7 jun. 2025.

ZINGALES, Veronica et al. **Climate Change and Effects on Molds and Mycotoxins.** Toxins (Basel), v. 14, n. 7, p. 445, jun. 2022.