

Armazenamento do café

Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa¹, Flávio Meira Borém², Marcelo Ribeiro Malta³,
Luisa Pereira Figueiredo⁴, Giselle Figueiredo de Abreu⁵, Gerson Silva Giomo⁶

Resumo - A produção de cafés especiais envolve complexidade, uma vez que vários fatores interagem entre si, como a cultivar, o local de plantio, as condições ambientais, o manejo da cultura e as formas de colheita e pós-colheita. Existem mercados que primam pela qualidade da bebida, remunerando melhor os cafés especiais, o que justifica investimentos em infraestrutura, máquinas e equipamentos, além de capacitação técnica, visando à obtenção de cafés de alta qualidade. A adoção de tecnologias adequadas para a estocagem do café também é de suma importância, para garantir a manutenção da qualidade ao longo do período de armazenamento. O armazenamento traz vantagens importantes ao produtor, uma vez que amplia e flexibiliza a janela de comercialização, permite a tomada de decisão na venda da produção em diferentes épocas, e pode garantir ano a ano uma oferta mais estável aos exigentes compradores de cafés especiais. Além disso, novas tecnologias pós-colheita são fundamentais para afirmação e sustentação do Brasil como protagonista na produção, na exportação e no consumo de café, bem como na pesquisa, no desenvolvimento e na inovação em cafeicultura.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; armazenamento convencional; armazenamento refrigerado; embalagem; revestimento; deterioração.

Coffee storage

Abstract - The production of specialty coffees involves complexity, since several factors interact with each other, such as the cultivar, planting location, environmental conditions, crop management and harvesting and post-harvest methods. There are markets that prioritize on the quality of the drink, paying better returns for specialty coffees, which justifies investments in infrastructure, machines and equipment, as well as technical training, aiming to obtain high quality coffees. The adoption of appropriate technologies for storing coffee is also extremely important to ensure quality is maintained throughout the storage period. The storage brings important advantages to the producer, as it expands and makes the marketing window more flexible, allows decision-making when selling production at different times and can guarantee, year after year, a more stable offer to demanding buyers of specialty coffees. Furthermore, new technologies for post-harvest are fundamental for affirming and sustaining Brazil as a protagonist in coffee production, export and consumption, as well as in research, development and innovation in coffee farming.

Keywords: *Coffea arabica*; conventional storage; refrigerated storage; packaging; coating; deterioration.

INTRODUÇÃO

A produção de cafés de alta qualidade é uma atividade que envolve a interação de diversos fatores, como a escolha da cultivar, as condições ambientais, o manejo agrícola, e, particularmente, as práticas de

colheita e pós-colheita. Esses fatores são cruciais para garantir qualidade superior da bebida, que é altamente valorizada em mercados específicos. Nesse contexto, o armazenamento do café torna-se uma etapa vital para a manutenção da qualidade dos

grãos ao longo do tempo. Assim, mantém-se a qualidade dos grãos até a comercialização, permitindo a adequada distribuição e abastecimento nos diferentes mercados consumidores, além de suprir demandas na entressafra e assegurar ao produtor

¹Engenheira Agrícola, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Café/Consórcio Pesquisa Café/UFLA, Lavras, MG, sttela.rosa@embrapa.br.

²Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Prof. Tit. UFLA - Depto. Engenharia Agrícola/Bolsista CNPq, Lavras, MG, flavioborem@ufla.br.

³Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Pesq. EPAMIG Sul - CELA/Bolsista BIPDT FAPEMIG, Lavras, MG, marcelomalta@epamig.br.

⁴Engenheira de Alimentos, D.Sc., Prof. Adj. UFLA - Depto. Ciências dos Alimentos, Lavras, MG, luisa.figueiredo@ufla.br.

⁵Engenheira-agrônoma, D.Sc., Pesq. Fundacer, Patrocínio, MG, gfigueiredoabreu@hotmail.com.

⁶Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Pesq. Científico IAC - Centro de Café "Alcides Carvalho", Campinas, SP, gerson.giomo@sp.gov.br.

Submissão: 19.04.2024 - Aprovação: 21.06.2024

Informe Agropecuário. Inovações na pós-colheita e qualidade do café, Belo Horizonte, v. 45, n. 327, p. 86-96, 2024



melhores preços de mercado. Dessa forma, para a obtenção de cafés de alta qualidade, deve-se atentar para as questões ligadas ao ambiente de armazenagem, uma vez que o café é um produto higroscópico. Sua conservação deverá ser realizada de forma planejada, não podendo ser armazenado em condições inadequadas, tais como ambientes com temperatura e umidade relativa (UR) do ar elevados, o que pode levar à rápida degradação dos grãos.

Caso não sejam observados os cuidados necessários durante o armazenamento, podem ocorrer várias alterações que comprometem a qualidade do café. Além do ataque de fungos e insetos, os grãos de café estão sujeitos a alterações na cor, no sabor e no aroma do café, em decorrência do metabolismo celular nos grãos de café armazenados “em coco”, “em pergaminho” ou beneficiados. Outros fatores como: concentrações de dióxido de carbono/oxigênio (CO_2/O_2), exposição à luz, teor de água do grão, estágio de maturação em que os frutos foram colhidos e processados, tipo de armazenamento, entre outros, determinarão a maior ou menor preservação da qualidade do café durante o período de estocagem.

No caso do armazenamento dos grãos crus, principalmente de cafés especiais, há diversas inovações tecnológicas na área de embalagens que têm sido cada vez mais desenvolvidas e utilizadas por produtores para preservar a qualidade do café por maior período. Neste contexto, destacam-se as embalagens com alta barreira a gases e vapor d'água, que conferem aos grãos proteção similar ao vácuo, de eficiência reconhecida mundialmente. A armazenagem do café em embalagens hermeticamente fechadas ou a vácuo promove a manutenção da qualidade, apresentando baixo teor de água e, conseqüentemente, menor atividade metabólica. O armazenamento do café em sistemas herméticos, que modifiquem ou controlem a atmosfera, é uma estratégia eficiente para a manutenção da qualidade, principalmente para os cafés especiais que apresentam alta qualidade e maior valor agregado.

Pesquisas recentes também têm demonstrado a eficiência da utilização de baixas temperaturas do ar ambiente de armazenagem do café associadas ou não à utilização de embalagens com alta barreira, onde se verifica, além da diminuição da incidência e do desenvolvimento de microrganismos, efeitos positivos da refrigeração na manutenção da qualidade de cafés especiais ao longo do período de armazenagem.

Este artigo tem por objetivo explorar os diferentes métodos de armazenamento atualmente utilizados na cafeicultura, suas vantagens e desvantagens, além das inovações tecnológicas que visam garantir a qualidade dos grãos durante o armazenamento. Compreender essas práticas é fundamental para produtores que buscam não apenas melhorar a qualidade do café, mas, principalmente, preservar essa qualidade, atendendo às exigências dos mercados mais seletivos e garantindo maior valor agregado ao produto.

ARMAZENAMENTO CONVENCIONAL DO CAFÉ

O armazenamento dos grãos de café deve ser realizado logo após a secagem, ou seja, com teor de água adequado e seguro, para garantir a manutenção da qualidade até o momento da comercialização. Tradicionalmente, os lotes de café são armazenados em duas etapas. A primeira etapa ocorre entre o término da secagem e o beneficiamento, quando o café “em coco” ou “em pergaminho” permanece geralmente nas propriedades agrícolas em tulas de armazenagem. Neste período, haverá a homogeneização do teor de água, resultando em cafés de melhor aspecto e qualidade. Já a segunda etapa consiste no armazenamento dos grãos crus de café após o beneficiamento, sendo tradicionalmente armazenados em sacos de juta ou *big bags* em cooperativas e armazéns. Entretanto, é cada vez mais crescente o interesse na granelização dos cafés, ou seja, o armazenamento sem o emprego de sacarias, principalmente quando se trata de grandes volumes de café.

Armazenamento dos grãos de café na propriedade cafeeira

No armazenamento a granel na propriedade, os grãos de café são armazenados e manuseados sem o uso de sacarias ou outras embalagens, sendo a forma predominante para café “em coco” ou “em pergaminho”. As tulas, estruturas tradicionalmente usadas para essa finalidade (Fig. 1), são, em geral, silos multicelulares de madeira, alvenaria ou com paredes metálicas, podendo ser de fundo plano ou inclinado. As tulas de fundo plano, apesar de possuírem maior capacidade de armazenagem, necessitam de mais mão de obra para seu total descarregamento. Devem ser construídas nas proximidades do terreiro ou dos secadores, ligadas às instalações de beneficiamento. Recomenda-se que as tulas sejam construídas com compensado naval, para garantir melhor isolamento térmico e para evitar o umedecimento dos grãos de café. Ainda assim, pode-se observar, em determinadas regiões ou períodos do ano, umedecimento dos grãos de café localizados na parte superior das tulas, neste caso, recomenda-se cobri-los com panos ou lonas.

A capacidade das tulas deve ser calculada de acordo com o volume médio diário de café seco “em coco” ou “em pergaminho” recebido na unidade de armazenagem, multiplicado pelo tempo de armazenagem desejado para cada tipo de café. A utilização de tulas subdivididas em células permite a separação dos lotes de acordo com sua qualidade, o que é importante para a comercialização de cafés de alta qualidade.

No armazenamento do café “em coco” na propriedade, devem-se tomar alguns cuidados especiais. As tulas devem estar limpas, sem cafés de safras anteriores e livres de pragas. Durante o enchimento das tulas, o lote do grão de café quente não deve ser colocado sobre o frio, para evitar a condensação da umidade na área de contato entre os dois lotes. Os grãos de café devem permanecer nas tulas de armazenagem para a homogeneização do teor de água, resultando em melhor aspecto e qualidade sensorial. Este período de descanso deve ser de no mínimo 30 dias antes do beneficiamento dos grãos.

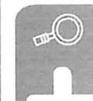
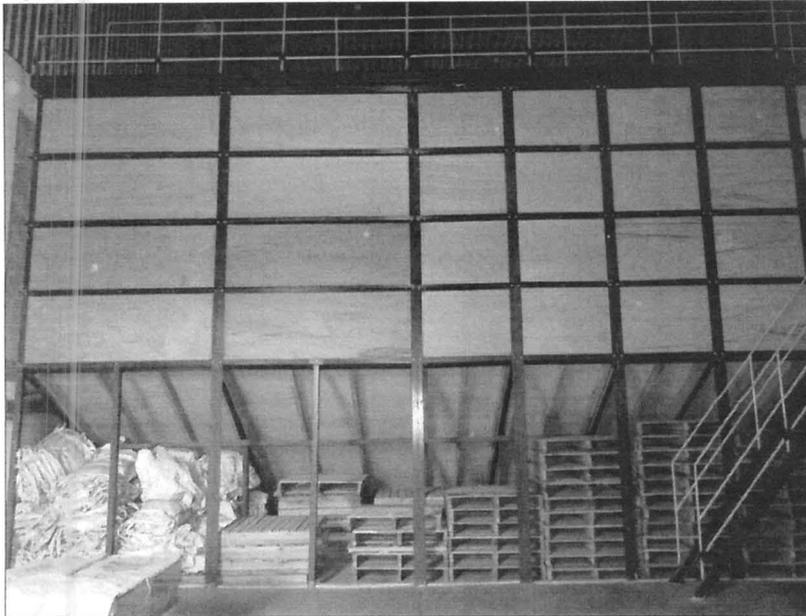


Figura 1 - Armazenamento dos grãos de café a granel em tolhas de madeira



Giselle Figueiredo de Abreu

Armazenamento dos grãos de café após beneficiamento em armazéns e cooperativas

Os armazéns convencionais são utilizados para os lotes de café já beneficiados. Esses locais permitem uma boa conser-

vação do produto à temperatura máxima de 21 °C, UR do ar em torno de 70%, ventilação adequada e proteção quanto à incidência de luz solar diretamente sobre o produto, evitando-se assim reações que facilitam o branqueamento e, consequente-

mente, a perda de qualidade do café. Após o beneficiamento, a maioria do café cru é armazenado em sacos de juta ou em *big bags*, em armazéns convencionais.

No Brasil, a maior parte do café é armazenada após o beneficiamento no sistema convencional, em sacos de juta (Fig. 2A), sem controle de temperatura e da UR, em função do grande número de armazéns construídos e em funcionamento para esta finalidade. Entretanto, sendo essas embalagens permeáveis ao vapor d'água e aos gases, ocorrem variações no teor de água dos grãos e elevadas taxas de respiração, podendo causar branqueamento e redução na qualidade dos grãos de café assim armazenados.

Grande parte dos armazéns convencionais tem substituído as sacarias de juta por *big bags* (Fig. 2B). Essas embalagens possuem maior capacidade de armazenamento, entre 900 e 1.200 kg de café beneficiado, com tecido sintético que se adapta facilmente ao manuseio mecanizado (Fig. 2C), reduzindo o uso de mão de obra. Entretanto, a utilização de *big bags* reduz a capacidade estática de armazenamento, em razão da altura máxima de empilhamento ser de três *big*

Figura 2 - Armazenamento convencional do café



Fotos: Marcelo Ribeiro Malta

Nota: A - Em sacos de juta; B - *Big bags*; C - Manuseio mecanizado de *big bags*.

bags, na ausência de qualquer estrutura de apoio. Maiores alturas das pilhas são possíveis em instalações com estrutura metálica projetada para essa finalidade, observando a necessidade de maior resistência do piso e do material da embalagem para suportar as elevadas pressões decorrentes do empilhamento de até 5 a 6 *big bags*. Entretanto, os *big bags*, da mesma forma que os sacos de juta, apresentam a desvantagem de serem permeáveis ao vapor d'água, mesmo que a maioria dos tecidos tenha menor espaçamento entre os fios quando comparados aos sacos de juta, minimizando as trocas de gases e vapor d'água. Já existem também no mercado modelos que oferecem maior impermeabilidade, conservando a qualidade dos grãos de café por maiores períodos de armazenamento.

O armazenamento convencional apresenta como vantagens:

- possibilidade de manter a individualidade dos lotes de café;
- remoção de qualquer quantidade de sacos para formação de ligas;
- remoção de sacos que possam ter sofrido algum tipo de deterioração;
- adaptação vantajosa ao comércio em

pequena escala e menor custo inicial das instalações.

Além disso, o acesso e a inspeção de lotes depositados são comparativamente mais fáceis do que no sistema granelizado. No entanto, o armazenamento convencional apresenta algumas desvantagens, destacando-se como principais: o elevado custo operacional, representado principalmente pela necessidade de reposição de sacaria, e o intenso uso de mão de obra nas operações de movimentação.

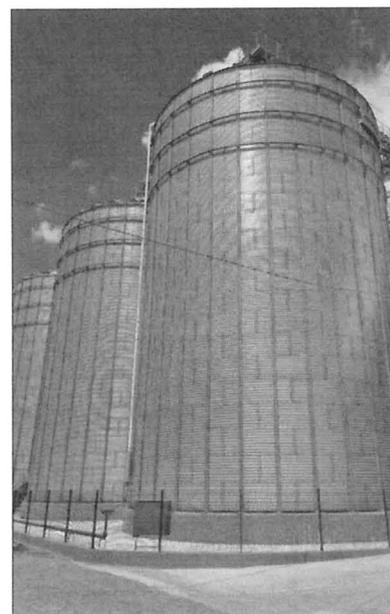
Alguns armazéns já dispõem de sistemas dotados de microaspersores (Fig. 3), com sistemas automatizados e sensores específicos, que melhoram as condições de temperatura e UR do ar, proporcionando um microclima ideal para a conservação dos grãos de café e auxiliando na preservação e na qualidade dos grãos ao longo do armazenamento.

Armazenamento do café a granel em silos metálicos

O armazenamento a granel de grãos beneficiados em silos metálicos tem sido adotado por produtores e por empresas que comercializam grandes volumes de café com características uniformes

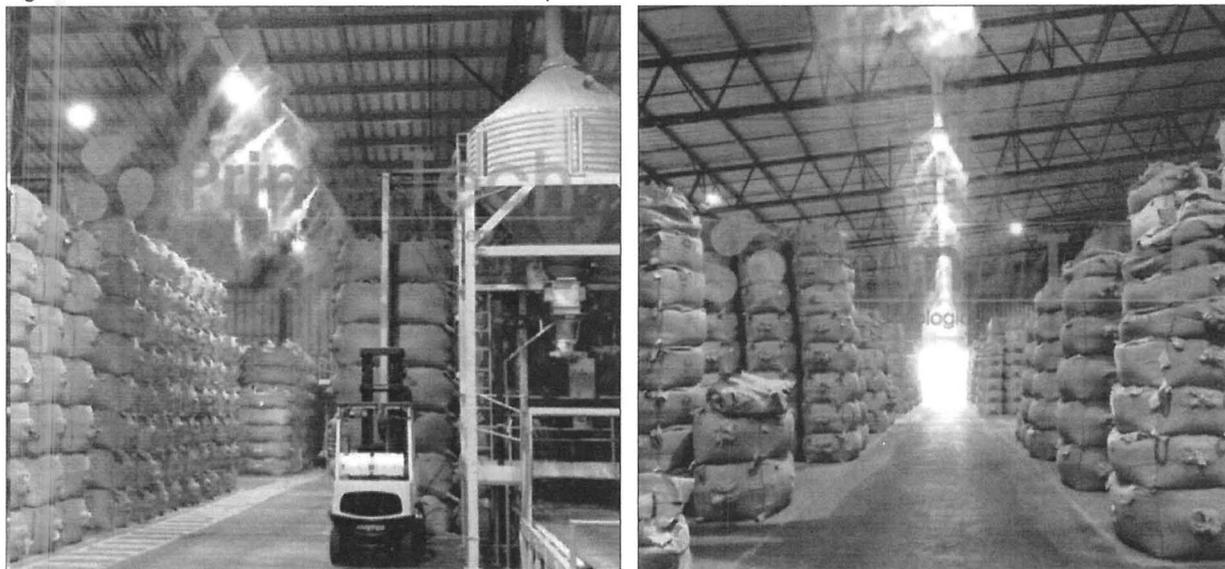
(Fig. 4). A principal vantagem da armazenagem a granel é permitir a mecanização, com substancial redução na mão de obra requerida em comparação ao método convencional de armazenagem (Borém

Figura 4 - Silos metálicos para armazenamento a granel de café beneficiado



Marcelo Ribeiro Malta

Figura 3 - Armazém de café com sistema de microaspersão



Fonte: MFRURAL (2022).

et al., 2021b). Mesmo no caso dos *big bags*, com maiores capacidades de armazenamento, ainda existe desafio para o transporte e o empilhamento. Dessa forma, a granelização surge como uma solução adequada para os armazéns de café, principalmente os que trabalham com grandes volumes.

No armazenamento a granel, em silos metálicos e por longos períodos, recomenda-se o uso de sistema de termometria e aeração, com o objetivo de manter a temperatura da massa de grãos em condições ideais de preservação da qualidade até o momento de comercialização.

Dessa forma, a granelização pode trazer redução de custos para a operação de armazenagem e manter a qualidade do café por longos períodos. Outra vantagem é o aumento da produtividade, uma vez que é possível a movimentação de grandes volumes de café, utilizando-se menos mão de obra em virtude da automação do sistema. Entretanto, a granelização tem como desvantagens, além do maior investimento inicial na construção dos silos, a dificuldade de individualizar lotes de menor tamanho.

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA O ARMAZENAMENTO DO CAFÉ

É praticamente impossível conceber um sistema de produção, comercialização e distribuição do café cru sem considerar um sistema de armazenamento adequado e satisfatório, capaz de acompanhar e atender o dinamismo da crescente demanda da indústria e do mercado consumidor. Torna-se premente e necessário inovar para atender aos novos padrões de segurança alimentar e garantia de abastecimento.

Inovações no armazenamento convencional

Inovar em uma área classificada como “convencional” é um grande desafio para a pesquisa e desenvolvimento. Ainda que amplamente conhecidas as vantagens do uso do armazenamento convencional, em

muitos casos é necessário desenvolver melhorias graduais e constantes nos processos já estabelecidos. Esse é o caso do uso da atmosfera modificada e o uso do frio para o armazenamento convencional do café cru. Apesar de amplamente conhecidas, as vantagens do uso destas tecnologias, ainda são necessárias definições das melhores condições para sua aplicação no armazenamento de cafés especiais.

Armazenamento do café em atmosfera modificada

O café beneficiado passa por diversas mudanças na sua composição química, em virtude do resultado de complexas interações que ocorrem nos grãos durante o armazenamento. Alterações na cor, na massa específica e no sabor são frequentes, quando o café é armazenado em embalagens permeáveis, como a juta ou o papel, permitindo a troca de umidade e de gases com o ambiente não controlado. A respiração dos grãos é a principal causa dessas alterações (Borém, 2014). A intensidade em que a respiração ocorre irá depender das características dos grãos, da temperatura e da UR do ambiente e da concentração de CO₂ no interior das embalagens. O uso de embalagens impermeáveis às trocas de vapor d’água e de gases altera as características do ar no seu interior e, portanto, na intensidade dos processos respiratórios (Ribeiro *et al.*, 2011).

Nessas condições, a atmosfera interna da embalagem será modificada pela res-

piração dos grãos. Quanto maior o nível de CO₂ e menor de O₂, menor será a taxa respiratória dos grãos. A concentração de CO₂ no ar é muito baixa, correspondendo a aproximadamente 0,03%. Ribeiro *et al.* (2011) indicam que a concentração aumenta até próximo a 1% quando se usam embalagens herméticas. Quanto maiores os valores desse gás no ar, menor será a respiração dos grãos. Portanto, maiores concentrações de CO₂ são desejáveis ao armazenamento seguro dos grãos por longos períodos.

As vantagens do acondicionamento do café cru em embalagens impermeáveis (Fig. 5) têm sido relatadas por Borém *et al.* (2008, 2013), Nobre *et al.* (2007) e Ribeiro *et al.* (2011), que concluíram que o armazenamento com atmosfera artificial prolonga o tempo de armazenamento do café, mantendo sua qualidade por longos períodos.

Os grãos de café armazenados nas embalagens hermeticamente fechadas, tanto em *big bags* (Ribeiro *et al.*, 2011) quanto em sacos (Borém *et al.*, 2013), apresentam, predominantemente, sabores desejáveis, como os de chocolate, baunilha, cítricos e frutas vermelhas. Por outro lado, o café armazenado nos sacos de juta apresenta, predominantemente, odores indesejáveis, como os de papel e juta. Os benefícios do uso de embalagens de alta barreira podem ainda ser potencializados, quando combinados com ambientes refrigerados (Borém *et al.*, 2023b; Sousa, 2023).

Figura 5 - Imagens ilustrativas de embalagens herméticas



Fotos: Giselle Figueiredo de Abreu

A manutenção da qualidade do café no armazenamento depende também da qualidade inicial do produto. Ao contrário do que muitos ainda acreditam, a armazenabilidade do café “natural” é menor comparativamente aos cafés despulpados. Os cafés “naturais” são mais sensíveis a altas temperaturas de secagem, e sua qualidade diminui mais rapidamente do que o café despulpado durante o armazenamento (Saath *et al.*, 2014).

Novas técnicas aplicadas à análise da composição química do grão cru permitem antecipar as alterações na qualidade do café no armazenamento (Borém *et al.*, 2023a). Usando a técnica de Ressonância Magnética Nuclear (RMN), é possível diferenciar o café acondicionado em sacos permeáveis a partir do terceiro mês de armazenamento, em relação ao café armazenado em embalagens herméticas. Isso quer dizer que a diferenciação, que somente poderia ser feita sensorialmente aos seis meses, pode ser antecipada, permitindo melhor gestão do estoque de café em exportadoras e em torrefações.

Em estudos de armazenamento de café verde (Borém *et al.*, 2021b), muitas vezes, a qualidade sensorial é correlacionada à composição química, quando as alterações químicas já ocorreram de forma irreversível. A partir desse ponto, já não é possível aplicar qualquer técnica para evitar a alteração do sabor e aroma do café. Borém *et al.* (2021b) introduziram o conceito de dano sensorial latente, a partir das evidências encontradas em estudos realizados no armazenamento com diferentes embalagens. Os grãos de café acondicionados em embalagens permeáveis apresentaram danos latentes aos três meses de armazenamento e, posteriormente, manifestaram-se somente após seis meses na análise sensorial. Por meio desse estudo, também foi possível confirmar a capacidade de as embalagens herméticas minimizarem as alterações na qualidade do café em até dezoito meses. Tais estudos mostram que não há diferenças químicas e sensoriais quando se usam embalagens a vácuo e embalagens herméticas.

Armazenamento do café em ar refrigerado

Armazenamento refrigerado remete ao conceito de carga térmica, uma vez que este termo representa a retirada de calor gerado pelo produto armazenado, para reduzir sua temperatura até o nível desejado. O resfriamento do ar de armazenagem é uma técnica para o controle das condições de temperatura e UR, extremamente importantes para regular o avanço do processo deteriorativo nos produtos agrícolas durante o armazenamento.

Tecnicamente, a refrigeração é um dos métodos de conservação dos alimentos mais eficazes para manter os produtos com características desejáveis semelhantes ao seu estado inicial, retardando a respiração, as alterações químicas e enzimáticas e o processo de senescência. Isso ocorre pelo fato de que os produtos agrícolas estão sujeitos a processos fisiológicos e patológicos, em função direta com a temperatura e a UR do ar de armazenagem. Com o controle das condições do ar de armazenagem, é possível reduzir o processo de deterioração, mantendo a qualidade do produto armazenado e aumentando a segurança ao consumidor.

A técnica de refrigeração para a conservação dos alimentos é utilizada principalmente na cadeia pós-colheita de frutas e hortaliças. Contudo, recentemente vários trabalhos têm demonstrado a viabilidade técnica e econômica do armazenamento de grãos, inclusive de café (Abreu *et al.*, 2015; Sousa, 2020). Os resultados desses estudos comprovam que a redução da temperatura da massa de grãos, abaixo de 15 °C é eficiente para garantir a conservação da qualidade dos grãos de café, mantendo a pontuação dos cafés próximos ao observado no início do armazenamento, aumentando o período de armazenagem e reduzindo os processos deteriorativos (Abreu, 2015; Abreu *et al.*; 2015, 2019; Andrade, 2017; Rigueira *et al.*, 2009; Rosa *et al.*, 2013; Sousa, 2020).

A maior parte do café produzido no mundo e, também, no Brasil, é armazenada na forma beneficiada, no sistema conven-

cional em sacos de juta e sem o controle da temperatura. Neste sentido, o armazenamento em ambiente refrigerado pode ser uma importante técnica para reduzir a deterioração dos grãos de café, permitindo a manutenção da qualidade e a oferta no período de entressafra, e possibilitando maior retorno financeiro ao produtor. É importante ressaltar que a refrigeração do ar de armazenagem dos grãos de café é eficiente para cafés especiais, com diferentes níveis de qualidade.

Apesar da comprovação técnica, o armazenamento em ar refrigerado deve ser executado com cuidado, já que a redução da temperatura ambiente por meio de refrigeração pode alterar a UR do ar, prejudicando a qualidade dos grãos de café, por serem produtos higroscópicos. A técnica de refrigeração só garantirá sucesso na conservação dos grãos de café se utilizada em grãos acondicionados em embalagens herméticas ou em ambiente com o controle da UR, para que não ocorram oscilações na umidade dos grãos, comprometendo a qualidade.

A viabilidade técnica da refrigeração na conservação da qualidade dos grãos de café já está consolidada, entretanto, é necessário também garantir que a técnica seja viável economicamente. Neste aspecto, armazéns, torrefadores e cafeterias, no Brasil e em diferentes países do mundo, têm utilizado a técnica de refrigeração dos grãos crus de café de maneira experimental ou comercial.

Diante da necessidade de comprovar a viabilidade econômica, foi demonstrado que a refrigeração do ar de armazenagem, em embalagens permeáveis, é economicamente vantajosa durante períodos de 6 a 12 meses, tanto para o café “natural” quanto para o desmucilado ou cereja descascado (CD), com comportamentos semelhantes quanto à manutenção da qualidade sensorial, gerando ganhos econômicos ao produtor (Sousa, 2020).

Em estudo recente de Sousa (2023), sobre o armazenamento do café Robusta Amazônico, foi também comprovado que o uso associado de ambiente refrigerado

e embalagem hermética é favorável à conservação de constituintes químicos importantes para a qualidade de café “natural” ou CD. Por outro lado, quando esses cafés são armazenados após a fermentação, é recomendado o uso de ambiente refrigerado, independentemente do tipo de embalagem.

Tendências para o armazenamento do café

O armazenamento do café pode ser realizado usando estruturas convencionais ou granelizadas, com o objetivo de receber a produção, preservá-la em perfeitas condições técnicas e, posteriormente, distribuí-la. O sistema convencional é o mais comum e o mais diversificado. Neste

sistema, o café é armazenado dentro de embalagens, geralmente sacarias de juta. No sistema a granel, o armazenamento ocorre em silos ou tulhas, sem o uso de embalagens.

Algumas instalações mais modernas, como as do Complexo Industrial Japy, da Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupí Ltda. (Cooxupí), optaram por um sistema híbrido, incluindo silos metálicos e *big bags* (Fig. 6). O sistema híbrido aumenta a cadência operacional e reduz os custos, facilitando o armazenamento de lotes maiores comercializados, aguardando o benefício, ligas ou embarque. Assim, esse sistema pode resultar em economia para a cadeia do café, em relação a carga e descarga, ao uso de sacarias, as remoções

e ao transporte do produto para a unidade armazenadora.

Granelização do café

O armazenamento a granel é mais frequentemente encontrado nas fazendas, para o armazenamento do café “em coco” ou “em pergaminho”. As estruturas usadas para esta finalidade são conhecidas como tulhas, construídas com compensado naval, podendo apresentar fundo plano ou inclinado (Borém *et al.*, 2008). Considerando a elevação dos custos operacionais e a falta de mão de obra nas fazendas, observa-se uma tendência em introduzir a mecanização e a automação nos processos pós-colheita, incluindo a etapa de armazenamento. Tulhas metálicas aeradas podem-se tornar uma alternativa no futuro, considerando as vantagens da aeração em combinação com a secagem, assim, reduzindo os custos de secagem e aumentando a qualidade do café.

No entanto, apesar de o café beneficiado, grão cru, ser tradicionalmente armazenado em sacos de juta, a granelização já é uma realidade, podendo ser encontrada em grandes cooperativas e empresas exportadoras. As estruturas usadas para o armazenamento a granel do café beneficiado são silos cilíndricos metálicos, de chapas galvanizadas, verticais. Quando são equipados com sistema de termometria e aeração, oferecem maior proteção ao produto.

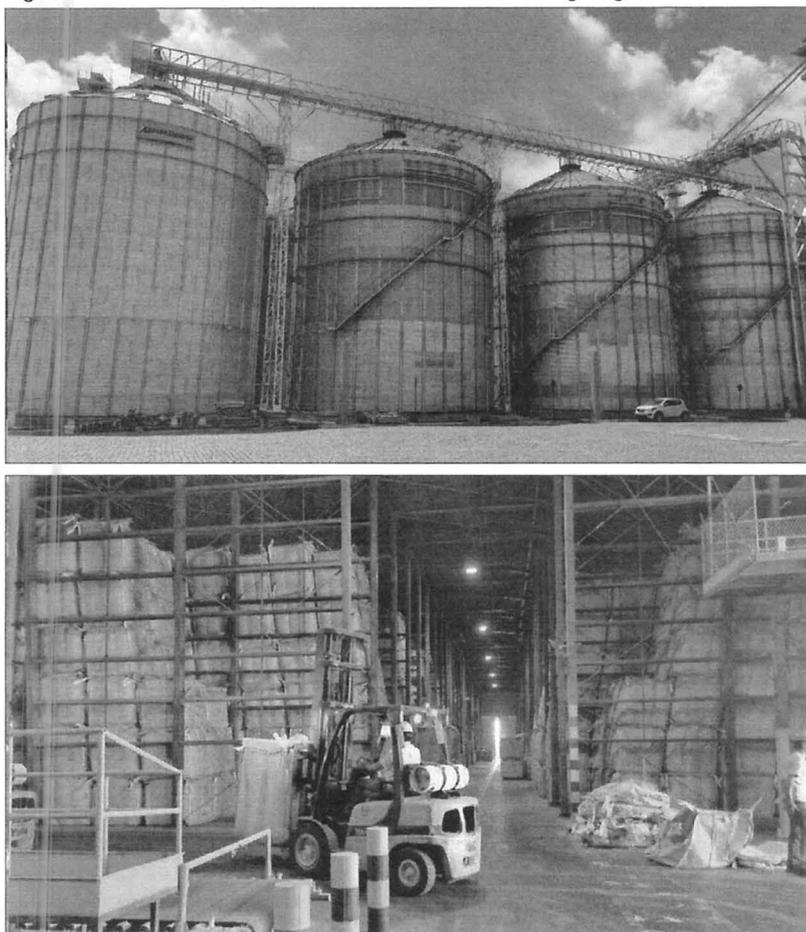
Comparativamente ao armazenamento convencional, a granelização do café cru oferece algumas vantagens:

- maior velocidade na carga e descarga;
- menor custo de transporte;
- possibilidade de melhor controle da temperatura do produto armazenado;
- menor demanda de recursos humanos e maior aproveitamento da área de armazenamento.

As desvantagens desse sistema são:

- maior investimento inicial na construção dos silos;

Figura 6 - Sistema híbrido incluindo silos metálicos e *big bags*



Fotos: Marcelo Ribeiro Malta

- b) dificuldade de individualizar lotes pequenos;
- c) impossibilidade de remover grãos eventualmente deteriorados.

Armazenamento em *big bags*

O uso dos *big bags* é uma alternativa para os armazéns que não possuem o sistema granelizado, mas que desejam reduzir custos operacionais, reduzir o uso de sacarias e melhorar o fluxo de carga e descarga (Borém, 2014). Além disso, podem também oferecer proteção contra a rápida deterioração, quando são revestidos internamente com *liners* impermeáveis aos gases e ao vapor d'água.

Nota-se, assim, a tendência de os armazéns convencionais adaptarem-se para o recebimento do café em *big bags*. O uso deste tipo de embalagem apresenta algumas vantagens: adapta-se vantajosamente ao manuseio mecanizado, reduz perdas nas operações de carga e descarga do café, minimiza a necessidade de mão de obra; elimina o uso de sacos de juta. Entretanto, possui as seguintes desvantagens: reduz a capacidade estática de armazenamento; apresenta menor estabilidade das pilhas, limitando a altura de empilhamento; necessita de projeto estrutural de escoramento para pilhas mais elevadas.

TECNOLOGIAS DE FUTURO PARA O ARMAZENAMENTO DE CAFÉ

O armazenamento adequado dos grãos crus de café é um desafio constante para a preservação da qualidade do produto, especialmente em um mercado onde o valor agregado está diretamente relacionado à integridade e ao frescor dos grãos. Nos últimos anos, a aplicação de tecnologias inovadoras para o armazenamento de café tem se destacado como uma alternativa promissora para otimizar a conservação. Nesse contexto, o uso de revestimentos poliméricos comestíveis se sobressai. Esses revestimentos, desenvolvidos a partir de biopolímeros como amido e quitosana, têm se mostrado eficazes ao criar uma barreira protetora contra fatores externos,

como umidade e oxigênio, que aceleram o processo de deterioração dos grãos.

Revestimentos poliméricos de grãos crus de café

A otimização das condições de armazenamento de grãos crus de café tem sido objeto de inúmeras pesquisas, com o intuito de preservar a qualidade ao longo do tempo. Abreu *et al.* (2015) demonstraram que a manutenção da casca ou do pergaminho no grão de café, durante o armazenamento, atua como proteção contra variações ambientais, tornando os grãos menos propensos à deterioração em comparação com o café beneficiado, que não possui casca e pergaminho. No entanto, o armazenamento de café com casca ou pergaminho não é comumente adotado para a comercialização em cooperativas e armazéns, em virtude do significativo aumento no volume de acondicionamento (Borém *et al.*, 2008).

O uso de revestimentos comestíveis para alimentos é uma prática comum na conservação, que consiste de camadas extremamente finas e praticamente imperceptíveis de biopolímeros comestíveis, depositadas sobre os alimentos. Tais revestimentos funcionam principalmente como uma barreira contra gases e vapor d'água, alterando a atmosfera interna do alimento, reduzindo o processo de deterioração e preservando as características iniciais do alimento por um período longo (Assis; Brito, 2011). O grande diferencial da aplicação de revestimentos em grãos de café deve-se ao fato de serem produtos deterioráveis, ou seja, que possuem baixa umidade e podem ser armazenados por período prolongado, ao contrário dos alimentos perecíveis tradicionalmente revestidos, como frutas, verduras e carnes.

Estudos recentes de Ferreira *et al.* (2018, 2021) indicam que a aplicação de biopolímeros como revestimento nos grãos de café pode ser uma alternativa viável no acondicionamento de cafés diferenciados, visando prolongar sua qualidade durante o armazenamento.

Ferreira *et al.* (2018) realizaram um estudo sobre o uso de biopolímeros comestíveis como revestimentos para grãos crus de café (Fig. 7). Desenvolveram revestimentos a base de amido e quitosana, variando o tempo de pré-secagem e o número de imersões. Os resultados indicaram que o amido proporcionou maior resistência à umidade. O tratamento com amido, pré-secagem de três horas e uma imersão foi o mais eficaz para preservar a cor e o teor de água dos grãos de café. Nenhum dos biopolímeros afetou a qualidade sensorial inicial dos grãos. A utilização de biopolímeros, como amido e quitosana, demonstrou eficácia na criação de uma barreira protetora, mantendo a integridade dos grãos e preservando suas características originais, e, de acordo com os resultados, essa poderá ser uma alternativa viável para proteger os grãos contra os efeitos da deterioração.

O armazenamento de grãos crus de café em níveis elevados de umidade pode propiciar o crescimento de microrganismos, resultando na deterioração da qualidade. Portanto, é crucial que a película que envolverá os grãos possua baixa umidade e boa resistência ao vapor d'água.

As propriedades mecânicas desejadas de um polímero são influenciadas tanto pela sua aplicação específica quanto pelo subsequente transporte e manuseio do produto. Em geral, a resistência mecânica é indispensável para preservar a integridade da barreira e as propriedades estruturais do filme. Durante o manuseio, os grãos de café estão sujeitos a estresses mecânicos em razão do atrito entre estes. Para que o revestimento mantenha suas propriedades de barreira, é crucial que apresente resistência à perfuração robusta. Além disso, durante o armazenamento em sacos de juta ou *big bags*, os grãos de café podem sofrer fraturas em virtude da compressão, o que pode resultar na perda de seus componentes, levando à redução da qualidade da bebida (Ferreira *et al.*, 2021).

No estudo conduzido por Ferreira *et al.* (2021), agentes antioxidantes foram incorporados em biopolímeros para revestir

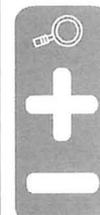
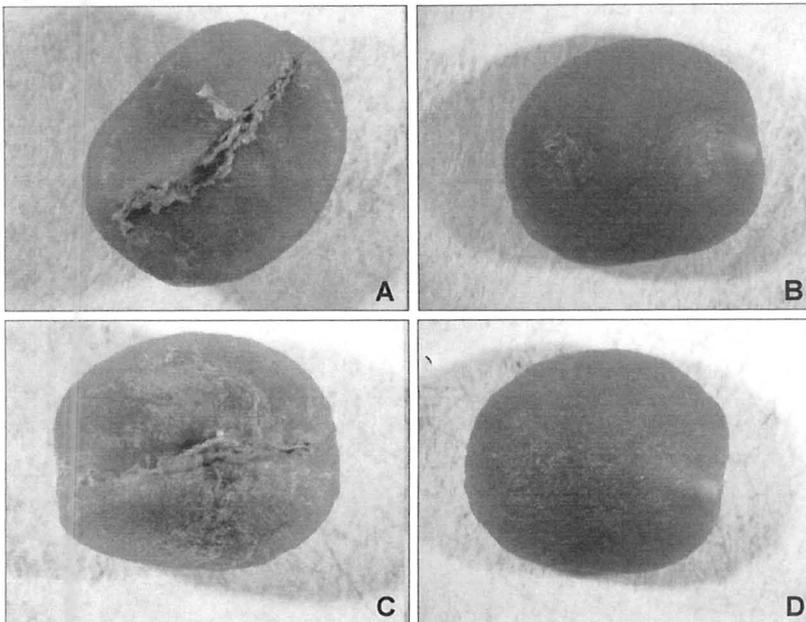


Figura 7 - Imagens em microscópio estereoscópico de grãos de café cru



Fonte: Ferreira *et al.* (2021).

Nota: A e B - Sem revestimento; C - Revestido com amido; D - Revestido com polímero de quitosana.

grãos crus de café, utilizando a tecnologia conhecida como embalagem ativa. Além disso, nanoemulsão de argila bentonita foi adicionada para aumentar a estabilidade dos filmes resultantes. A avaliação incluiu a hidrofobicidade, a capacidade antioxidante e as propriedades mecânicas das suspensões utilizadas como revestimento. De acordo com os resultados, os grãos revestidos exibiram ação antioxidante, menor permeabilidade ao vapor d'água e resistência a deformações na perfuração. A incorporação de agentes antioxidantes e a tecnologia de embalagem ativa oferecem abordagens inovadoras para enfrentar desafios específicos, como a umidade e a compressão durante o manuseio.

Estudo em andamento e ainda não publicado, realizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA), avaliou o uso de biopolímeros de quitosana e cera de carnaúba como revestimento aos grãos crus de café, associados a embalagens de alta barreira, visando preservar a qualidade de cafés especiais durante o armazenamento. Os resultados prelimi-

nares demonstraram que os revestimentos utilizados são eficientes para conservar a qualidade do café, independentemente do tipo de embalagem utilizada.

Esta inovação na tecnologia de revestimento para grãos crus de café não apenas visa à preservação da qualidade de cafés especiais, mas também busca aprimorar as características intrínsecas dos grãos. A implementação dessas soluções inovadoras também abre portas para aprimoramentos contínuos na indústria, alinhando-se às demandas do mercado e proporcionando uma perspectiva positiva para o futuro do setor cafeeiro.

FATORES DA DETERIORAÇÃO DO CAFÉ

Assim como em qualquer outra espécie vegetal, os grãos de café também não mantêm sua integridade indefinidamente, uma vez que estão sujeitos ao processo de deterioração. Os grãos são provenientes de frutos colhidos com elevado teor de água, sendo necessário realizar um adequado

processamento pós-colheita, secagem controlada, e armazenamento até a comercialização.

A deterioração consiste basicamente em um processo de transformação degenerativa que ocorre naturalmente nos grãos, em que alterações bioquímicas, citológicas, fisiológicas e físicas causam redução gradativa da qualidade. Conforme conceituado por Marcos Filho (2005), a deterioração é um processo inevitável e irreversível que ocorre a partir da maturidade fisiológica, quando há o máximo acúmulo de matéria seca (MS), podendo variar entre lotes e entre grãos de um mesmo lote.

A redução da deterioração dos grãos para níveis mínimos e aceitáveis depende de diversos fatores, como da qualidade inicial dos grãos, ou seja, das condições em que são produzidos e das demais etapas às quais os lotes de café são submetidos antes do armazenamento e, também, das condições em que permanecem até a sua comercialização.

A qualidade do café depende de inúmeros fatores relacionados com: espécie/cultivar, ambiente de produção, clima, manejo da lavoura, forma de colheita, tipo de processamento pós-colheita, secagem, e interação entre esses. Em todas as etapas de produção os grãos estão expostos a danos físicos e fisiológicos que prejudicam a qualidade. De modo geral, a melhor qualidade do café ocorre na maturidade fisiológica, ou seja, quando os frutos encontram-se plenamente maduros, no estágio cereja, sendo, por isso, recomendado que a colheita seja realizada com a maior quantidade possível de frutos maduros, quando se deseja produzir cafés de qualidade superior. Quanto melhor for a qualidade dos grãos antes do armazenamento, maiores serão as chances de manutenção da qualidade.

É também fundamental que a colheita seja realizada no momento correto do período de maturação, pois tanto a antecipação quanto o atraso nesta etapa irão comprometer a qualidade inicial do lote. Caso haja antecipação de colheita, poderá haver maior quantidade de grãos que não atingiram o máximo de acúmulo de

MS. Caso haja atraso, poderá haver perda de MS e/ou ação de microrganismos, que além de consumirem reservas dos grãos, podem deixar resíduos que irão afetar negativamente a qualidade da bebida.

Em todas as etapas de produção ocorrem danificações físicas e/ou fisiológicas dos grãos, que causam efeitos nocivos à qualidade, podendo ser imediatos ou latentes. Os efeitos imediatos ocorrem quando a extensão dos danos é grande, porém, nem sempre representam muita importância, uma vez que grãos com esse tipo de dano podem ser facilmente eliminados durante o beneficiamento, pelo uso de máquinas de ar e peneiras, mesa gravitacional ou seletoras eletrônicas (Giomo; Razera; Gallo, 2004). Já os efeitos latentes, caracterizados por pequenos danos imperceptíveis, representam um problema na produção de cafés especiais, pois os grãos afetados nem sempre apresentam características físicas que possibilitem uma fácil separação durante o beneficiamento. Pode haver rompimento de tecidos dos grãos, o que intensifica a perda da capacidade antioxidante (Santos *et al.*, 2014) e promove reações enzimáticas degenerativas (oxidação), além de facilitar a entrada de microrganismos, acelerando o processo de deterioração.

A secagem é um dos pontos mais críticos da pós-colheita do café, uma vez que a temperatura e a taxa de secagem interferem diretamente na qualidade dos grãos. A secagem em temperaturas de até 40 °C contribui para uma melhor preservação da integridade de paredes celulares e membranas plasmáticas dos grãos de café (Sousa, 2020), conferindo melhor qualidade física e fisiológica e, conseqüentemente, melhor qualidade de bebida. No processamento via úmida podem ocorrer danos por ruptura e esmagamento de grãos, posteriormente caracterizados como grãos defeituosos, quebrados, trincados, amassados e ardidos, que apresentam qualidade inferior.

A finalidade principal do armazenamento é preservar a qualidade dos grãos, pelo maior tempo possível, evitando a deterioração e mantendo a qualidade da bebida.

Ainda que a maioria dos cafés brasileiros seja armazenada de forma convencional, em sacas de juta e em locais sem controle das condições ambientais, já é uma realidade o armazenamento em embalagens impermeáveis e/ou em ambientes com temperatura controlada. Segundo Borém *et al.* (2019), embalagens impermeáveis à água e ao O₂ minimizam os efeitos negativos do processo de deterioração dos grãos, constituindo uma excelente opção para armazenamento de cafés especiais.

A temperatura e UR do ar de armazenagem, fatores ambientais ou abióticos, juntamente com o teor de água dos grãos, determinam a velocidade de deterioração durante o armazenamento e, conseqüentemente, a perda de qualidade do café, sendo esta perda proporcional à extensão de danos ocorridos nas etapas anteriores, ou seja, à qualidade inicial dos grãos. O controle da temperatura ambiente representa um custo mais elevado que no armazenamento convencional, sendo recomendado para o armazenamento de grãos com maior valor agregado.

Em grãos armazenados com teor de água acima de 12% pode haver crescimento de microrganismos, como *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. contribuindo para o aquecimento da massa de grãos, o aumento da taxa respiratória e a intensificação da deterioração. Alguns insetos, como brocas e carunchos, deterioram os grãos de café, tanto pelo consumo de MS como pelo rompimento de estruturas celulares.

A redução da qualidade fisiológica é desencadeada por várias reações químicas e bioquímicas que danificam biomoléculas, sendo a peroxidação de lipídios considerada a principal causa da deterioração (Marcos Filho, 2005). Compostos reativos de O₂, que ocorrem a partir da redução parcial do O₂, causam uma série de alterações metabólicas como: desestruturação de membranas celulares, degradação de proteínas e lipídios, inativação de enzimas, e perda de integridade das moléculas de DNA, com a perda de funções biológicas, o envelhecimento e a morte celular (Krzyzanowski; Dias; França-Neto, 2022).

Embora todos os componentes celulares sejam suscetíveis à ação de redução do O₂, é nas membranas celulares que ocorre a peroxidação e formação de espécies reativas ao oxigênio (EROs). Por isso, as alterações no sistema de membranas são relatadas como uma das primeiras manifestações da deterioração, em função do acúmulo dessas substâncias, sendo o teor de ácidos graxos livres um dos indicativos da deterioração dos grãos. Conseqüentemente, as atividades de biossíntese de moléculas essenciais ao metabolismo celular ficam comprometidas e os grãos perdem qualidade tornando-se mais sensíveis às condições de armazenamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Independentemente do método de armazenagem, as interações entre fatores abióticos, como temperatura, concentração de gases, UR do ar, tipo e condições do ambiente de armazenagem, e os fatores bióticos, como os próprios grãos, insetos, ácaros, fungos e bactérias, podem intensificar o processo de deterioração do café. Em função desses fatores, as alterações na qualidade são evidenciadas durante o período de armazenagem, principalmente pela degradação de compostos químicos e pela geração de substâncias que conferem características indesejáveis ao paladar, afetando negativamente os atributos sensoriais.

Para obter sucesso na conservação do café é essencial conhecer o histórico da produção e efetuar o controle dos principais fatores que afetam a qualidade dos grãos durante o período de armazenagem, ou seja, o grau de umidade dos grãos, a temperatura e a UR do ar ambiente.

A perda de qualidade é mais intensa em grãos beneficiados e acondicionados em embalagens permeáveis e em locais sem controle das condições ambientais. A utilização de embalagens de alta barreira a gases e a vapor d'água, associada ao uso da refrigeração do ambiente de armazenagem, confere aos grãos proteção eficiente e reconhecida mundialmente, contribuindo



favoravelmente para a conservação da qualidade do café.

Novas tendências para o armazenamento do café, como a granelização e o uso de *big bags* também apresentam-se como alternativas para flexibilizar o armazenamento, com vantagens inerentes aos volumes de produção em cada propriedade. Além dessas novas alternativas para o armazenamento do café, uma tecnologia de futuro, ou seja, a aplicação de revestimento nos grãos com biopolímeros, encontra-se em fase de desenvolvimento. No entanto, essa poderá ser uma alternativa viável no acondicionamento de cafés diferenciados, visando prolongar a qualidade durante o armazenamento. Aspectos do processo de deterioração e alterações na integridade física, fisiológica e bioquímica de grãos podem comprometer a qualidade do café, ressaltando a importância dos cuidados na etapa de armazenamento.

REFERÊNCIAS

- ABREU, G.F. de. **Aspectos sensoriais, fisiológicos e bioquímicos de grãos de café armazenados em ambiente refrigerado**. 2015. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- ABREU, G.F. [de] et al. Changes in the coffee grain color related to the post-harvest operations. *Coffee Science*, Lavras, v.10, n.4, p.429-436, 2015. Disponível em: <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/919>. Acesso em: 22 out. 2022.
- ABREU, G.F. [de] et al. Raman spectroscopy: a new strategy for monitoring the quality of green coffee beans during storage. *Food Chemistry*, v.287, p.241-248, July 2019.
- ANDRADE, F.T. **Qualidade do café natural especial acondicionado em embalagens impermeáveis e armazenado no Brasil e no exterior**. 2017. 108p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- ASSIS, O.B.G.; BRITTO, D. de. Evaluation of the antifungal properties of chitosan coating on cut apples using a non-invasive image analysis technique. *Polymer International*, São Carlos, v.60, n.6, p.932-936, June 2011.
- BORÉM, F.M. (ed.). **Handbook of coffee post-harvest technology: a comprehensive guide to the processing, drying, and storage of coffee**. Georgia: Gin Press, 2014. 282p.
- BORÉM, F.M. et al. Avaliação sensorial do café cereja descascado, armazenado sob atmosfera artificial e convencional. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.32, n.6, p.1724-1729, nov./dez. 2008.
- BORÉM, F.M. et al. Effect of storage conditions on the chemical and sensory quality of pulped natural coffee. *Journal of Stored Products Research*, v.104, p.102183, Dec. 2023a.
- BORÉM, F.M. et al. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. *Journal of Stored Products Research*, v.52, p.1-6, Jan. 2013.
- BORÉM, F.M. et al. ¹H NMR spectroscopy applied to identify chemical aging markers in green coffee (*Coffea arabica* L.). *Food Chemistry*, v. 405, Mar 2023b. part A. Article 134667. p.13
- BORÉM, F.M. et al. Sensory analysis and fatty acid profile of specialty coffees stored in different packages. *Journal of Food Science and Technology*, v.56, n.9, p.4101-4109, Sept. 2019.
- BORÉM, F.B. et al. Tecnologia pós-colheita para cafeicultura do Cerrado. In: CARVALHO, G.R. et al. (ed.). **Cafeicultura do Cerrado**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021a. cap.16, p.501-540.
- BORÉM, F.M. et al. Volatile compounds indicating latent damage to sensory attributes in coffee stored in permeable and hermetic packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, v.29, n.4, p.100705, Sept. 2021b.
- FERREIRA, L.F. et al. Active coatings of thermoplastic starch and chitosan with alpha-tocopherol/bentonite for special green coffee beans. *International Journal of Biological Macromolecules*, v.170, p.810-819, Feb. 2021.
- FERREIRA, L.F. et al. Development and application of biopolymer coatings to specialty green coffee beans: influence on water content, color and sensory quality. *LWT - Food Science and Technology*, v. 96, p.274-280, Oct. 2018.
- GIOMO, G.S.; RAZERA, L.F.; GALLO, P.B. Beneficiamento e qualidade de sementes de café arábica. *Bragantia*, Campinas, v.63, n.2, p.291-297, 2004.
- KRZYŻANOWSKI, F.C.; DIAS, D.C.F.S.; FRANÇA-NETO, J. de B. **Deterioração e vigor da semente**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 19p. (EMBRAPA. Circular Técnica, 191).
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p. (FEALQ. Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 12).
- MFRURAL. **Climatização para armazém, galpão de café e grãos em geral!** Marília: MF Rural, 2022. Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/detalhe/636292/climatizacao-para-armazem-galpao-de-cafe-e-graos-em-geral>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- NOBRE, G.W. et al. Alterações químicas do café-cereja descascado durante o armazenamento. *Coffee Science*, Lavras, v.2, n.1, p.1-9, jan./jun. 2007.
- RIBEIRO, F.C. et al. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO₂. *Journal of Stored Products Research*, v.47, n.4, p.341-348, Oct. 2011.
- RIGUEIRA, R.J. de A. et al. Armazenamento de grãos de café cereja descascado em ambiente refrigerado. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.17, n.4, p.323-333, jul./ago. 2009.
- ROSA, S.D.V.F. et al. Aspectos fisiológicos de grãos de café armazenados em ambiente resfriado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. *Anais [...]*. Brasília, DF: Embrapa Café, 2013.
- SAATH, R. et al. Activity of some isoenzymatic systems in stored coffee grains. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.38, n.1, p.15-24, Jan./Feb. 2014.
- SANTOS, F.C. et al. Desiccation sensitivity from different coffee seed phenological stages. *Journal of Seed Science*, Londrina, v.36, n.1, p.25-31, 2014.
- SOUSA, P.H.A. **Armazenamento de café Robusta Amazônico: processamento, fermentação e condições de armazenagem**. 2023. 100p. Tese (Doutorado em Fitotecnia/Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, 2023.
- SOUSA, P.H.A. **Conservação de cafés especiais em ambiente refrigerado: estudo técnico e econômico**. 2020. 93p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia/Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

