



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS - UFU



YUZO FRANÇA AKIYOSHI

**INFLUÊNCIA DA EMBALAGEM NA QUALIDADE DE
ARMAZENAMENTO DE CAFÉ VERDE**

PATOS DE MINAS

2023

YUZO FRANÇA AKIYOSHI

**INFLUÊNCIA DA EMBALAGEM NA QUALIDADE DE
ARMAZENAMENTO DE CAFÉ VERDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de graduação em Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientadora: Prof^ª Dr^a Marieli de Lima

Co-orientadora: Prof^ª Dr^a Líbia Diniz Santos

PATOS DE MINAS

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



HOMOLOGAÇÃO Nº 90

YUZO FRANÇA AKIYOSHI

Influência da embalagem na qualidade de armazenamento de café verde

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

Prof.^a Dr.^a Marieli de Lima

Orientadora - FEQUI/UFU

Prof.^a Dr.^a Líbia Diniz Santos

Coorientadora - FEQUI/UFU

M.^a Ludmilla Janne Carvalho Ferreira

Pesquisadora

Prof.^a Dr.^a Michelle Andriati Sentanin

FEQUI/UFU

Patos de Minas, 16 de junho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Marieli de Lima, Presidente**, em 16/06/2023, às 10:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Michelle Andriati Sentanin, Membro de Comissão**, em 16/06/2023, às 10:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ludmilla Janne Carvalho Ferreira, Usuário Externo**, em 16/06/2023, às 10:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Libia Diniz Santos, Membro de Comissão**, em 16/06/2023, às 10:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4482216** e o código CRC **C88C6E1C**.

RESUMO

O grão verde de café necessita de um bom armazenamento para a manutenção de suas características para comercialização. A embalagem tradicional para este fim costuma ser a juta. No entanto, a fim de melhorar o desempenho da matéria-prima e assegurar uma boa qualidade, diversas embalagens vêm sendo desenvolvidas para atender a esta demanda, como as embalagens comerciais Oxi Free (alta barreira à oxigênio, fácil selagem, alta barreira à umidade, alta resistência a rasgo e tecnologia UV sem solventes). Diante do exposto, este Trabalho de Conclusão de Curso terá como objetivo avaliar o desempenho de três embalagens comerciais distintas, de alta barreira ao oxigênio, disponíveis para o envase de café verde para exportação, durante o armazenamento por 6 meses. Para tal, o café verde será armazenado nas embalagens e avaliado com relação às características do grão (umidade, isoterma de sorção, cor e textura instrumental e densidade), e quanto às características das embalagens (resistência à tração e permeabilidade ao vapor de água) durante os períodos de: 0, 3 e 6 meses, respectivamente. Espera-se obter dados que comprovem que o investimento dos produtores em embalagens de alta barreira pode proporcionar estabilidade e maior qualidade aos grãos de café verde.

Palavras-chave: Armazenamento. Envase. Grão de café verde. Vapor de água.

ABSTRACT

The unripe coffee bean needs good storage to maintain its characteristics for commercialization. The traditional packaging for this purpose is usually jute. However, in order to improve the performance of the raw material and ensure good quality, several packages have been developed to meet this demand, such as Oxi Free commercial packages (high barrier to oxygen, easy sealing, high barrier to humidity, high tear strength and solvent-free UV technology). In view of the above, this Course Completion Work will aim to evaluate the performance of three different commercial packages, with high oxygen barrier, available for packaging green coffee for export, during storage for 6 months. To this end, green coffee will be stored in packaging and evaluated in relation to the characteristics of the grain (moisture, sorption isotherm, color and instrumental texture and density), and the characteristics of the packaging (tensile strength and permeability to water vapor). during the periods of: 0, 3 and 6 months, respectively. It is expected to obtain data that prove that producers' investment in high-barrier packaging can provide stability and greater quality to unripe coffee bean.

Keywords: Storage. Filling. Green coffee bean. Steam.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resultados das análises de umidade obtidas nos grãos de café verde armazenados durante 9 meses	14
Figura 2: Resultados das análises de cor obtidas nos grãos de café verde armazenados durante 9 meses	20
Figura3: Resultados das análises de textura instrumental obtidas nos grãos de café verde armazenados durante 9 meses.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Especificações técnicas das três embalagens utilizadas para o armazenamento de cafés	11
Tabela 2- Parâmetros de ajuste empíricos dos modelos de GAB e BET para os grãos de café verde	18
Tabela 3 - Resistência mecânica das embalagens utilizadas no armazenamento de grãos de café verde.....	24

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Isoterma de sorção de umidade da embalagem 1	15
Gráfico 2: Isoterma de sorção de umidade da embalagem 2	16
Gráfico 3: Isoterma de sorção de umidade da embalagem 3	16

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	7
2.MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1 <i>Grãos de café verde.....</i>	9
2.2 <i>Embalagens</i>	9
2.3 <i>Caracterização dos grãos de café durante o armazenamento</i>	12
2.4 <i>Umidade</i>	12
2.5 <i>Isoterma de Sorção de Umidade</i>	12
2.6 <i>Cor instrumental.....</i>	13
2.7 <i>Textura instrumental</i>	13
2.8 <i>Resistência mecânica à tração das embalagens</i>	13
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
3.1 <i>Umidade</i>	14
3.2 <i>Isoterma de Sorção de Umidade</i>	15
3.3 <i>Cor instrumental.....</i>	19
3.4 <i>Textura instrumental</i>	21
3.5 <i>Resistência mecânica</i>	22
4.CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS	25

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o café passou por uma transformação de *commodity* para produto especial, evolução que comumente se divide nas chamadas “três ondas de consumo de café” (MANZO, 2014). A primeira onda de consumo de café teve início na década de 1960, caracterizando-se como um mercado de massa, com crescimento exponencial do consumo e ampla disponibilidade. A segunda onda de consumo de café começou na década de 1990, com a formação de redes de cafeterias, que introduziram desde então cafés especiais para atender ao novo interesse do consumidor por uma bebida de qualidade. Desta forma, o café passa a ser um produto de luxo e não uma *commodity* (CARVALHO et al., 2015). A terceira onda do café teve sua gênese com pequenos torrefadores, que promoveram regiões específicas e novas técnicas de preparo.

O café é um produto agrícola comercializado de acordo com seus parâmetros qualitativos, sendo o aspecto sensorial da bebida um dos mais importantes. A forma de processamento pós-colheita dos grãos impacta nas características sensoriais da bebida, inclusive na maneira de fermentar o café. Assim, há três formas distintas de realizar sua fermentação do café. Por via seca, também denominada de café natural, via úmida e via semi-seca (despolpado) (BRESSANI, 2017; ESQUIVELA; JIMÉNEZ, 2012; FREITAS, 2018; SILVA et al., 2008). Independentemente da fermentação realizada, irá ocorrer alterações físico-químicas nos grãos, tais como redução no teor de água e açúcares e a formação de precursores de aroma e de sabor (VAAST et al., 2005).

Segundo (PERINNI, 2019) para uma boa qualidade do café e grãos em geral é necessário que existam condições adequadas para a manutenção das características originais do grão armazenado. Fatores como a umidade e a temperatura local apresentam grande peso no que se refere ao armazenamento adequado e à longevidade do produto armazenado. A preservação dos compostos químicos presentes nos grãos de café verde depende de boas condições de armazenamento, pois quase todo café produzido passa por um período de armazenamento (FIGUEIREDO et al., 2013). A condição inicial do produto, intensidade de luz, temperatura, umidade relativa do ambiente de armazenamento e embalagem são os principais fatores que podem alterar a qualidade sensorial durante o armazenamento (BORÉM et al., 2013; RIBEIRO et al., 2011).

A embalagem, em sua definição mais simples, é um invólucro, ou recipiente, usado para acondicionar ou empacotar; é um meio essencial para a proteção dos produtos durante a

sua etapa de distribuição, armazenamento, comercialização, manuseio e consumo. Inicialmente, sua função era exclusivamente utilitária, servindo como um meio eficiente para realizar o transporte de mercadorias e proteger os produtos durante a distribuição (OGASAWARA, 2023). A importância da embalagem no processo de compra já foi notada há certo tempo por especialistas de desenvolvimento. Para eles, além de sugerir a qualidade do produto, a embalagem atua como identificador do produto e veículo publicitário (CESAR, 2011).

Uma das principais funções da embalagem é preservar ao máximo a qualidade do produto, criando condições que minimizem as alterações químicas, bioquímicas e microbiológicas visando aumentar seu tempo de vida útil (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2004). Comparado com metais ou vidros usados para embalagens, os materiais poliméricos com elevada propriedade de atuar como barreira ao oxigênio e solventes possuem muitas vantagens, incluindo baixa massa específica, flexibilidade, resistência à tração, transparência e facilidade de processamento (CRIPPA, 2006).

As embalagens convencionais exercem quatro funções básicas: conter, proteger, comunicar e conferir conveniência (YAM, TAKHISTOV e MILTZ, 2005) com mínima interação entre a embalagem e o conteúdo durante as etapas de armazenamento e distribuição.

A preservação dos atributos sensoriais desejáveis do café depende essencialmente do armazenamento do produto. A estocagem é uma das etapas posteriores à produção que influencia fortemente na comercialização dos grãos de café. A armazenagem é, portanto, considerada um dos fatores mais importantes para manter a qualidade do produto final, atender a demanda entre safras e garantir o melhor preço de mercado para o produtor (RIBEIRO et al., 2011).

O grão verde de café necessita de um bom armazenamento para a manutenção de suas características para a comercialização. A embalagem tradicional para este fim costuma ser a juta, sendo usada com mais frequência porque é facilmente adaptável ao comércio de pequena escala e, também, facilmente amostrada para inspeções de lotes (BORÉM et al., 2008^a).

Os elevados custos operacionais decorrentes da necessidade de manuseio manual representam uma desvantagem do armazenamento em sacos de juta. Outra desvantagem é a rápida deterioração da qualidade quando os grãos são armazenados em armazéns sem controle de ar ambiente. Os contêineres chamados de “big bags” representam outra forma de armazenamento utilizada nos armazéns brasileiros (BORÉM et al., 2008).

As embalagens de armazenamento dos grãos mais utilizados são os big bags e sacaria de juta, além do aumento significativo da estocagem à granel. Com aumento no mercado de cafés especiais, cresce a necessidade de embalagens capazes de conservar a qualidade do café por períodos maiores. As embalagens de alta barreira a gases e vapor de água, tem sido cada vez utilizadas por exportadores, produtores, consumidores e outros agentes da cadeia de cafés especiais (CARVALHO, 2019).

Portanto, a aplicação de revestimentos poliméricos em grãos de café verde pode ajudar a reduzir sua atividade metabólica e manter suas características durante todo o período de armazenamento. Para manter eficientemente a qualidade dos alimentos revestidos, o material mais apropriado para o revestimento deve ser selecionado. Para isso o material terá um bom desempenho se não afetar adversamente a aparência, o sabor e o odor do produto alimentício, ser revestido homogeneamente na superfície do alimento e atender aos requisitos específicos de conservação de alimentos (SOUZA, GOTO, MAINARI, COELHO E TADINI, 2013).

Dessa maneira, vale ressaltar a importância dos avanços tecnológicos para preservar as qualidades dos cafés, o qual pode ocorrer através da substituição das embalagens de juta para as embalagens modernas. Contudo, a fim de melhorar o desempenho da matéria-prima e assegurar uma boa qualidade, diversas embalagens vêm sendo desenvolvidas para atender a esta demanda, como as embalagens comerciais em plástico, cujo objetivo é promover uma alta barreira a oxigênio, fácil selagem, alta barreira à umidade, alta resistência a rasgo e tecnologia UV sem solventes ou, ainda, sendo tratado com agentes biológicos e eliminação de odores desagradáveis dos grãos, especialmente desenvolvida para cafés.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de três embalagens comerciais distintas, de alta barreira ao oxigênio, disponíveis para o envase de café verde para exportação, durante o armazenamento por 9 meses.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Grãos de café verde

Os grãos de café verde arábica beneficiado, utilizados para este estudo, foram fermentados de forma submersa e seco. Foram colhidos da Fazenda DB (Décio Bruxel), localizada no município de Patos de Minas – MG. Para os experimentos, os cafés secos (umidade em torno de 11% a 12%) foram envasados em 3 diferentes tipos de embalagens que suportam no mínimo 20 quilos (embalagem 1, embalagem 2 e embalagem 3) cada, com o objetivo de pesquisa

comparativa entre elas, sendo todos os experimentos realizados em duplicata (apenas teste de isotérma de sorção) ou triplicata (demais testes), resultando em 15 embalagens no total. Para o experimento foram analisados 5 tipos de cafés, sendo eles: duas testemunhas iguais (cafés sem nenhuma interferência de processamento) para gerar mais dados comparativos, café Arara fermentado de forma submersa (via úmida) com tempo de 48 e 72 horas e café Arara fermentado de forma seca (via seca) com tempo 72 horas.

2.2 Embalagens

Foram utilizadas três embalagens comerciais próprias para o armazenamento de café, com alta barreira a gases e vapor d'água, cujas especificações técnicas são descritas conforme a Tabela 1

Tabela 1 – Especificações técnicas das três embalagens utilizadas para o armazenamento de cafés.

Embalagem	Nº de camadas	Material	Taxa de permeabilidade ao oxigênio(TPO ₂) $(\frac{cm^3}{m^2 \cdot dia})$	Taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) $(\frac{g \cdot H_2O}{m^2 \cdot dia})$	Cor	Espessura (mm)
1	2 camadas	• Polietileno (PE)	=100,0	=6,50	Pigmento verde + juta	0,0724
2	9 camadas	• Polietileno (PE) • Copolímero de Poliamida (coPA) • Copolímero de Etileno Álcool Vinílico (EVOH)	<1,0	<2,50	Pigmento branco	0,2402
3	5 camadas	• Polietileno (PE) • Adesivo de Coextrusão • Copolímero de Etileno Álcool Vinílico (EVOH)	<5,0	<2,5	Pigmento Branco	0,0568

2.3 Caracterização dos grãos de café durante o armazenamento

Os grãos de café verde foram caracterizados com relação à umidade, isoterma de sorção, cor e textura instrumental, durante os períodos de: 0, 3, 6 e 9 meses, respectivamente.

2.4 Umidade

O teor de umidade foi obtido por meio do método gravimétrico do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2009). Para tal, 3 g das amostras foram submetidas à estufa de secagem à 105°C até obtenção massa constante.

2.5 Isoterma de Sorção de Umidade

As isotermas de sorção foram determinadas pelo método gravimétrico estático de acordo com Greenspan (1977). Foram preparadas oito soluções salinas: LiCl, CH₃COOK, K₂CO₃, Mg(NO₃)₂, KI, NaCl, KCl e BaCl₂, em duplicata. Essas soluções foram acondicionadas em recipientes herméticos. Foram pesados 3g de grãos de café verde em copinhos e submetidos aos recipientes com as respectivas soluções salinas saturadas, para cada valor de umidade relativa desejada, a 25°C. Esses recipientes (soluções saturadas e amostras) foram colocados em câmara de temperatura controlada (B.O.D) a 30 °C. As amostras foram pesadas em balança analítica (Shimadzu AUW 320) em intervalos regulares de tempo (3 em 3 dias), até atingirem o equilíbrio. Depois de atingirem o equilíbrio, a umidade foi determinada gravimetricamente conforme descrito no item 2.3.

Diante disso, foram ajustados os dados experimentais de umidade de equilíbrio dos grãos de cafés verdes ao modelo BET (equação 1) e modelo GAB (equação 2), conforme apresenta-se a seguir:

$$X = \frac{X_m \cdot a_m}{[(1-a_w)(1+(C-1)a_w)]} \quad (1)$$

$$X = \frac{X_m \cdot K a_w}{[(1-K a_w)(1-K a_w + K a_w)]} \quad (2)$$

Sendo:

- X_m : umidade de equilíbrio;
- C : constante do modelo;
- Ka_w : constante de correção;
- a_w = atividade de água;
- $\bar{C}_m$ = constante da amostra.

2.6 Cor instrumental

A cor dos grãos de café verde foi obtida através da leitura direta das amostras em um colorímetro Minolta, onde os parâmetros L^* , a^* e b^* foram avaliados, sendo “ L^* ” a luminosidade (0 – preto a 100 – branco), “ a^* ” a coordenada em que “-a” se refere a cor verde e “+a” a cor vermelha e “ b^* ” a coordenada onde “-b” diz respeito a cor azul e “+b” a cor amarela, conforme o sistema CIELAB.

Para avaliar a cor do produto foi utilizada uma amostra de cada café no decorrer do período do estudo (0, 3, 6 e 9 meses), no qual foram feitas 10 medidas por amostra, obtendo 40 medidas ao longo de todo o período de experimento.

2.7 Textura instrumental

A análise do perfil de textura (TPA) foi realizada utilizando o texturômetro TA-XT2i Stable Micro System, determinando o parâmetro de dureza. Para tal, foi utilizada uma probe cilíndrica de alumínio com 25 mm de diâmetro, macro TPA – AIBCAKE 2. Os dados foram coletados através do programa “Texture Expert for Windows” – versão 1.20 (Stable Micro Systems).

Separado por amostras e de acordo com o período de estudo, foi colocado um grão de café verde por vez no texturômetro, obtendo 5 medidas por amostra em relação ao seu tempo de armazenamento. Para a execução dos testes, a probe foi posicionada a uma distância da amostra de 40 mm, 30mm/segundo de velocidade de retorno e 30g de força de contato.

2.8 Resistência mecânica à tração das embalagens

O teste de resistência à tração foi realizado em um texturômetro universal TAXT Plus (Stable Micro System, Surrey, UK) operando de acordo com o método ATM D 882 (ASTM, 1995), com separação inicial das garras de 50 mm e velocidade do probe de 1 mm/s. Seis amostras de cada embalagem foram recortadas (85 mm de comprimento e 25 mm de largura) e fixadas, uma a cada vez, no texturômetro. A resistência à tração foi calculada dividindo-se a força máxima no rompimento da embalagem, pela área de secção transversal, sendo representada em MPa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Umidade

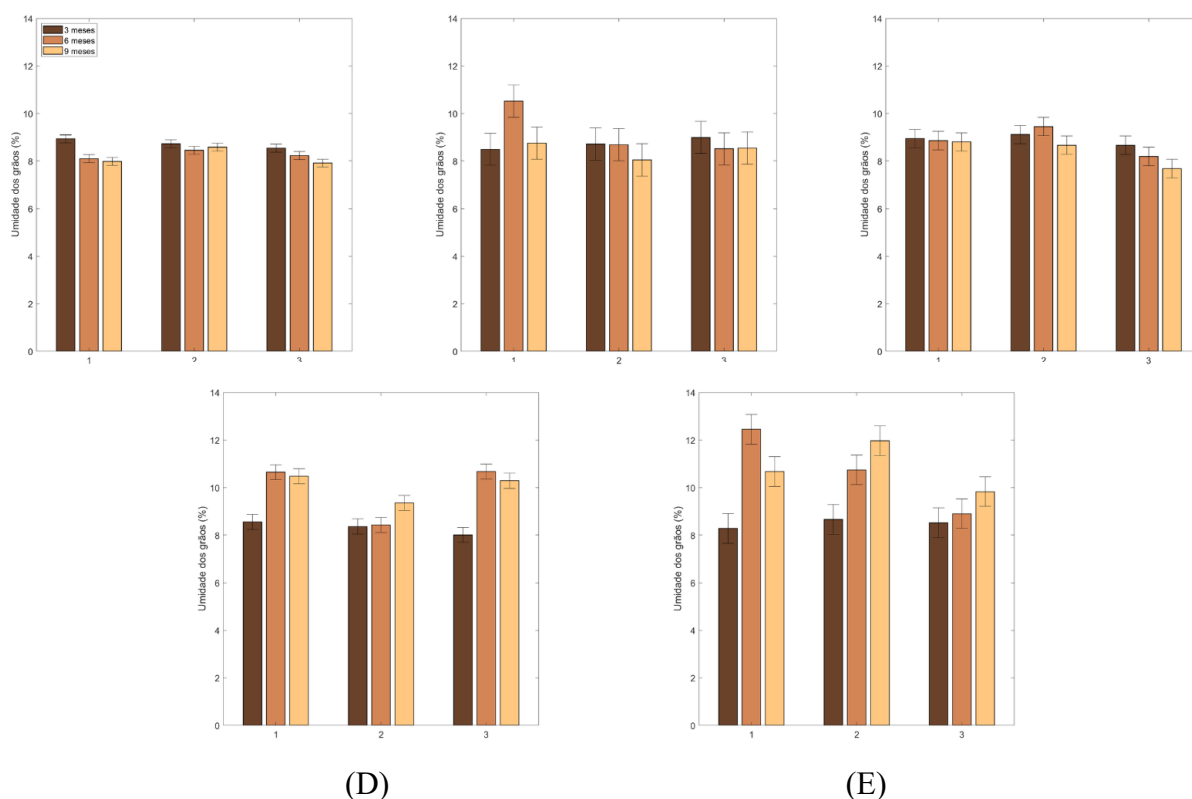
Por meio dos gráficos, representados pela Figura 1 (Embalagens x Teor de umidade), é notável que os grãos de café armazenados nas 3 embalagens em estudos não ultrapassaram o limite máximo estabelecido pela legislação, pois, independentemente de sua classificação, os teores de umidade do café beneficiado grãos crus não poderão exceder os limites máximos de tolerância de 12,5% (doze e meio por cento) (MAPA, 2003), obtendo uma umidade adequada. Assim, o café deve ser desidratado até uma umidade entre 10 a 12%, para aumentar sua vida útil e garantir que sua comercialização e consumo sejam seguros (BORÉM; ISQUIERDO; TAVEIRA, 2014; DE MELO PEREIRA et al., 2019).

Figura 1: Resultados das análises de umidade obtidas nos grãos de café verde armazenados durante 9 meses.

(A)

(B)

(C)



Legenda: (A) Arara Seco 72h; (B) Arara Submerso 48h; (C) Arara Submerso 72h; (D) Testemunha 1; (E) Testemunha 2.

Dessa maneira, as 3 embalagens de estudo tiveram bons resultados em relação a cada tipo de café, cumprindo sua função, no qual não deixou que a umidade do meio externo interagisse com os grãos de café verde e, assim, foi preservada e não ultrapassou o percentual máximo permitido. Os resultados obtidos estão de acordo com os experimentos feitos por (PHATTANIT, 2019) que obteve o teor de umidade dos grãos de café verde armazenado em sacola de HDPE (polímero termoplástico produzido a partir do monômero etileno) que aumentou ligeiramente no decorrer de 12 meses. Enquanto isso, os grãos de café verde, armazenado no saco de juta, exibiram um aumento acentuado do teor de umidade, atingindo até 14% após 12 meses de armazenamento (ELSEVIER, 2019).

Entretanto, percebe-se que para o café Arara submerso 48h (B) houve aumento significativo em relação a umidade no sexto mês de armazenamento da embalagem um, no qual pode ser considerado erro experimento pois a umidade teve queda no próximo mês de armazenamento, como também acontece com a Testemunha um.

3.2 Isoterma de Sorção de Umidade

Nos gráficos 1, 2 e 3 são representadas as isotermas de sorção de umidade de equilíbrio das amostras de grãos de café verde, para as condições de temperatura e atividade de água avaliadas experimentalmente e ajustadas matematicamente pelos modelos de GAB e BET. Os resultados representam a média das duplicatas.

Gráfico 1: Isoterma de sorção de umidade da embalagem 1

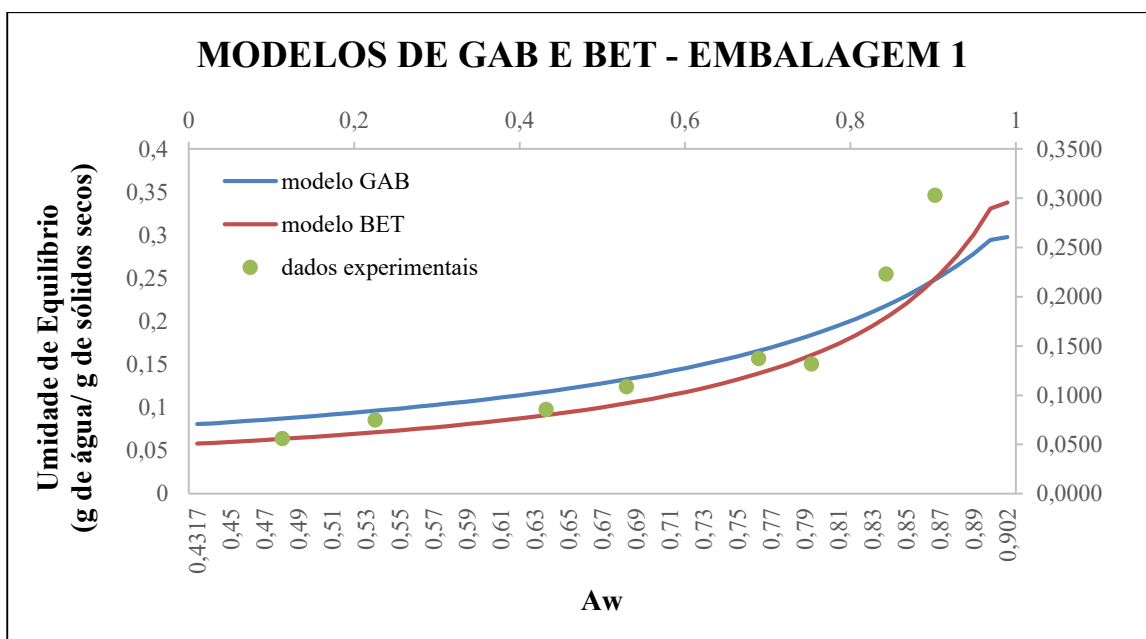


Gráfico 2: Isoterma de sorção de umidade da embalagem 2

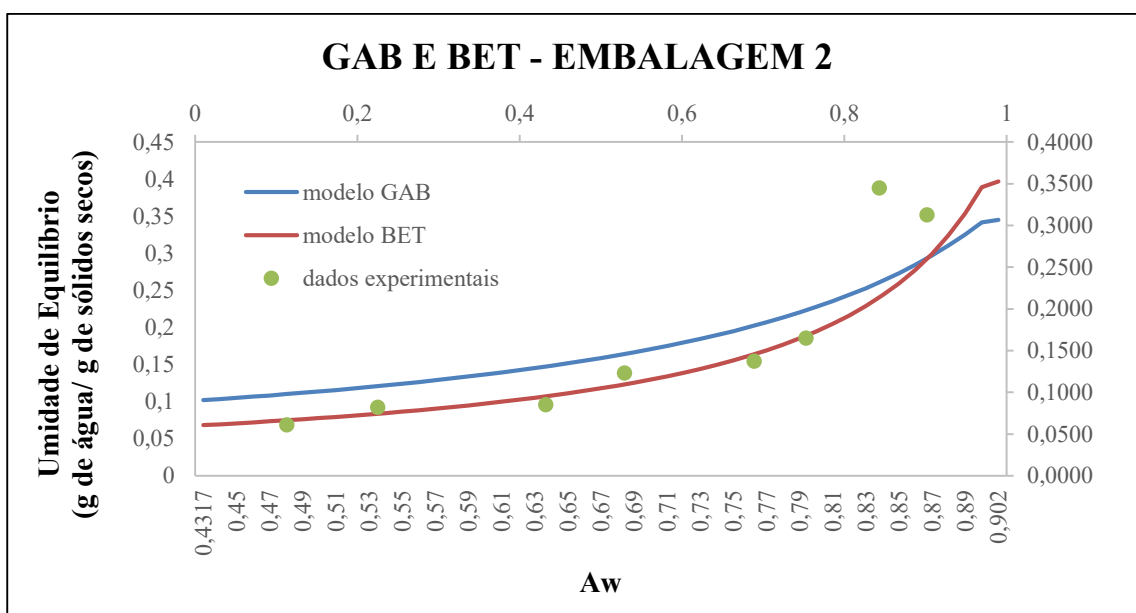
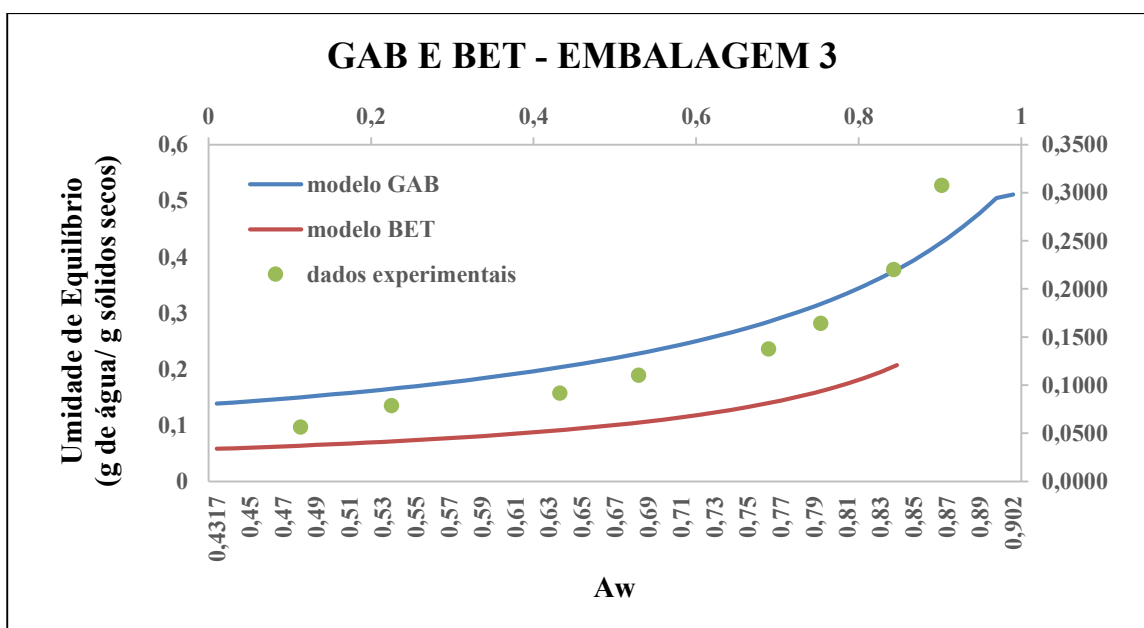


Gráfico 3: Isoterma de sorção de umidade da embalagem 3



As isotermas de sorção ajudam no entendimento da interação do comportamento da água com os outros componentes do alimento, mostrando a distribuição da água no grão. Este processo ajuda no entendimento de concentração, desidratação, vida útil e caracterização do produto. Em relação aos grãos de cafés, com o aumento da umidade no ambiente torna-os suscetíveis a proliferação de bolores, inchaço ou formatos irregulares, o qual afeta diretamente na vida útil do grão verde.

A análise destas curvas propicia informações úteis para o planejamento de processos, como a umidade ótima para a estabilidade de um produto desidratado em relação à oxidação de lipídios, atividade enzimática, preservação de componentes do sabor e características estruturais. Desta forma, irá permitir a determinação da umidade adequada a ser atingida em um processo de secagem, aliando segurança microbiológica e viabilidade econômica. Também fornece dados relevantes para as etapas de embalagem, transporte e armazenamento (MORAES, 2011).

Os ajustes dos modelos empíricos GAB e BET aos dados experimentais dos grãos de café verde são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 –Parâmetros de ajuste empíricos dos modelos de GAB e BET para os grãos de café verde.

EMBALAGEM	Modelos	Temperatura	Parâmetros			R ²	RMSE
		(°C)	Xm	C	K		
1	BET	30	0,0331	1,02 x 10 ⁴	-	0,8786	0,0314
	GAB	30	0,0484	7,27 x 10 ³	0,9284	0,9738	0,016
2	BET	30	0,0389	2,56 ⁴	-	0,7525	0,0577
	GAB	30	0,062	58,1084	0,9094	0,8834	0,0434
3	BET	30	0,0341	2,04 x 10 ⁴	-	0,8544	0,0344
	GAB	30	0,0529	1,16 x 10 ⁴	0,9135	0,9910	0,0093

Em que:

- Xm: umidade de equilíbrio;
- C: constante do modelo;
- K: constante de correção;
- R²: quadrado dos coeficientes de correlação;
- RMSE: erro médio quadrático.

De acordo com as informações, presentes na Tabela 2, é possível observar se os modelos matemáticos se ajustaram aos dados experimentais. Sabe-se que os valores de R^2 acima de 0,90 são consideráveis aceitáveis e somente aqueles com erros médios inferiores a 10% são considerados um bom ajuste (MARTINS et al., 2017; MOREIRA et al., 2013). Para o modelo GAB, os valores de R^2 para os parâmetros utilizados foram maiores que 0,90, com exceção da embalagem 2. Desta maneira, os modelos para os ajustes são aceitáveis para a embalagem 1 e 3. Por outro lado, para o modelo de BET, todos os valores referentes ao R^2 foram menores que 0,90 o que não resulta como resultado aceitável para todas as embalagens.

Entretanto, os erros médios quadráticos obtidos pelo ajuste dos modelos de GAB e BET foram menores que 0,1, portanto, compreende-se que o índice dos dois modelos escolhidos obteve resultados satisfatórios para os grãos de café verde. O modelo de GAB apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, com menores valores de erro médio quadrático e maior valor de coeficiente de correlação.

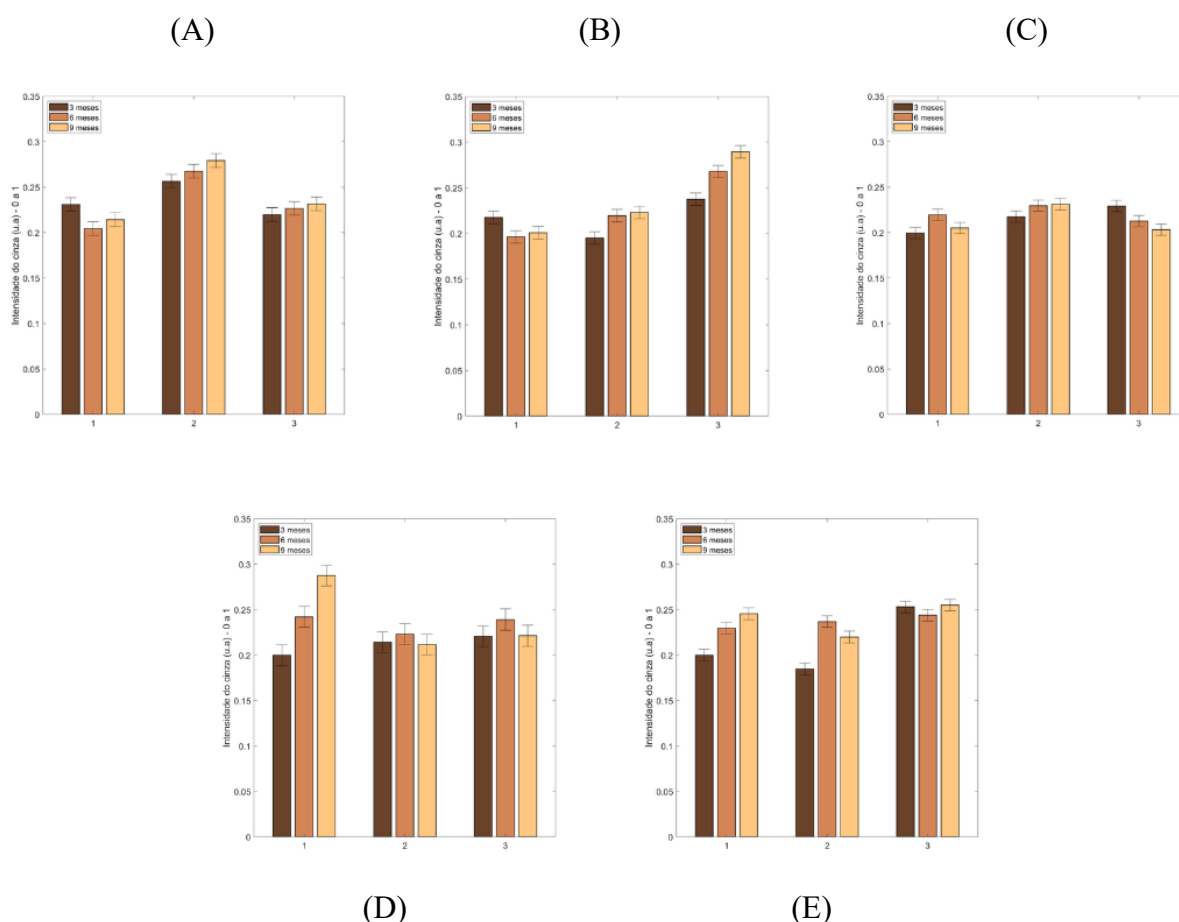
Existem diferentes modelos disponíveis na literatura para descrever a umidade de isotermas de sorção dividindo-os em várias categorias; modelos cinéticos baseados em uma camada única (modelo BET), modelos cinéticos baseados em uma multicamada e filme condensado (modelo GAB) (AL-MUHTASEB et al., 2004a, ALMUHTASEB et al., 2002; VAN DEN BERG E BRUIN, 1981), sendo que a equação de GAB tem sido recomendada como equação fundamental para a caracterização da sorção de água em materiais alimentícios, assim como também é mais usada na literatura, pois trabalha em uma ampla atividade de água, possui uma base teórica (modelo cinético baseado na multicamada e filme condensado) (ADEBOWALE et al., 2007).

Corrêa *et al.* (2010), trabalharam com grãos de café provenientes de diferentes procedimentos de processamento sobre isoterma de sorção e concluíram que o modelo GAB foi adequado para prever os valores. Por conseguinte, o modelo de GAB é considerado como uma das melhores equações que se ajusta em isotermas de produtos alimentícios (ALVES et al., 2015). Esta equação é adequada para atividade de água de 0,0 a 0,9, tem uma base teórica fundamentada (modelo cinético baseado em multicamada e filme condensado), além de apresentar três parâmetros simples que possuem significado físico de processo que descreve efeitos de temperatura na sorção (DE MOURA et al., 2004).

3.3 Cor instrumental

Foi feito a representação dos gráficos através da junção dos gráficos das cores azul, vermelho e verde, sendo o a cor amarela desprezível por obter valor insignificativo. Assim, a coloração resultante da junção das cores citadas foi o cinza, o qual é representado pela Figura 2 (Intensidade das cores x Embalagens), replicada cada amostra em estudo no período de 0, 3, 6 e 9 meses de estudo.

Figura 2: Resultados das análises de cor obtidas nos grãos de café verde armazenados durante 9 meses.



Legenda: (A) Arara Seco 72h; (B) Arara Submerso 48h; (C) Arara Submerso 72h; (D) Testemunha 1; (E) Testemunha 2.

As cores que mais se destacaram no experimento foram azul, verde e vermelho, sendo quase desprezível a cor amarelada. Para facilitar o entendimento de cada parâmetro (L^* , a^* e b^*) foi construído o gráfico com a junção de todas as cores ressaltadas pelo aparelho Colorímetro, o qual se resultou em um gráfico de cor predominante cinza, sendo que ela possui relação direta na escala da luminosidade (L^*).

Experimentos realizados por LOPES (2000), analisaram o efeito da luz e de diferentes faixas espectrais sobre a qualidade de grãos de café beneficiados, durante o armazenamento, mostrando ser a luz transmitida por filtro azul a mais prejudicial à qualidade do café, por apresentar maiores níveis de energia. Dessa maneira, alguns cafés se assemelham em relação ao experimento proposto por Lopes, pois o café (Arara Seco 72h) obteve maior incidência de luminosidade em relação a embalagem 2. Já o café (Arara Submerso 48h) obteve maior incidência de luminosidade em relação a embalagem 3 e o café (Testemunha 1) recebeu maior grau de luminosidade em relação a embalagem 1.

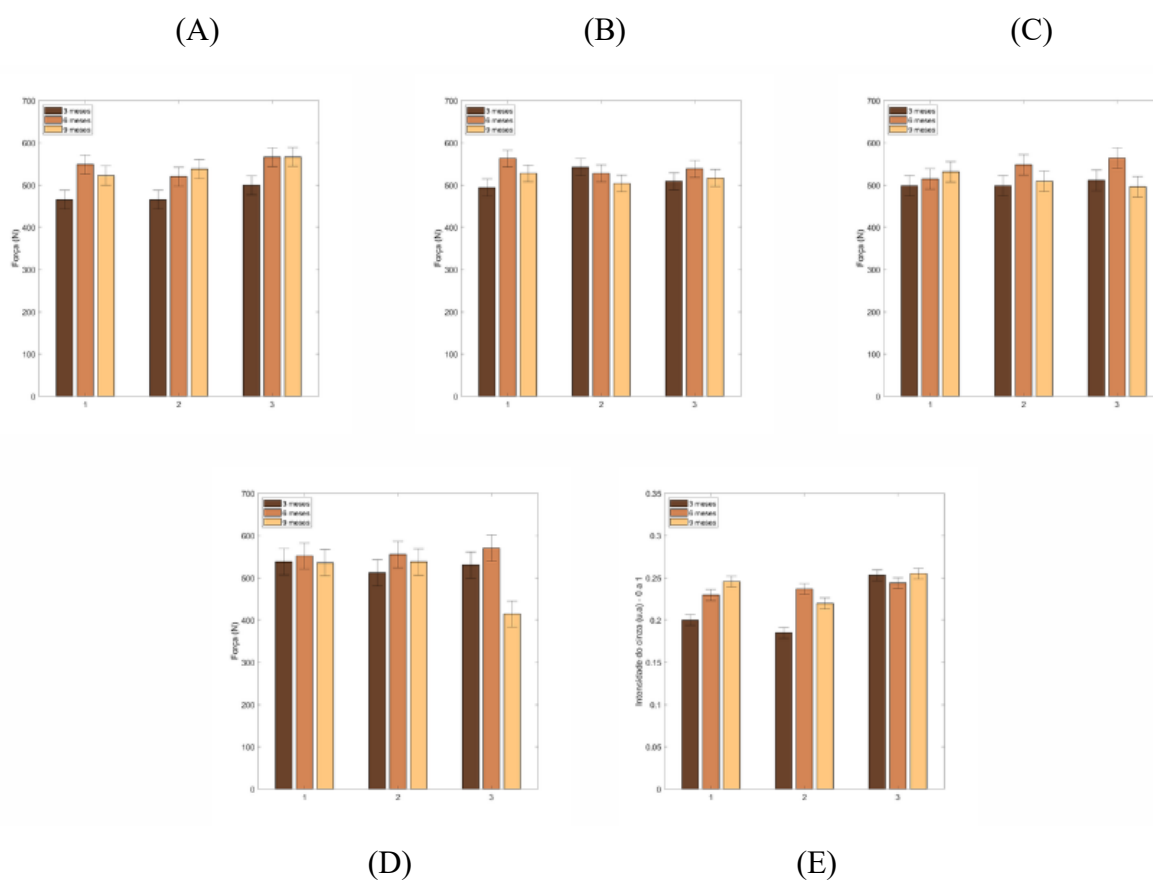
Há evidências de que a cor dos grãos de café se correlaciona com as condições de armazenagem, logo, é muito enfatizada por alguns autores (OLIVEIRA, 1995; VILELA et al., 2000). Conforme os pesquisadores citados, constataram que a temperatura e a umidade relativa do ambiente de armazenagem, além da iluminação, influenciam na mudança de coloração dos grãos de café, sendo menos frequentes essas alterações em locais de baixa temperatura e umidade relativa.

A perda de coloração dos grãos de café beneficiados durante o armazenamento é um fenômeno conhecido como branqueamento. Segundo alguns autores (AFONSO JÚNIOR & CORRÊA 2003; GODINHO ET AL., 2000; LOPES et al., 2000), quando o café é armazenado com casca, esse fenômeno pode não ser observado, uma vez que os revestimentos externos do fruto contribuem para a sua proteção, reduzindo os possíveis efeitos ambientais. Entretanto, o armazenamento do café, na sua forma em coco, não é um método adotado comercialmente pelas cooperativas e armazéns gerais. A manutenção da coloração verde dos grãos de café durante o armazenamento é de extrema importância, característica visual, que muitas vezes determina a aceitação ou rejeição do produto durante a comercialização.

3.4 Textura instrumental

Os gráficos ilustrados pela Figura 3 (Força X Embalagens) demonstra o equilíbrio e linearidade entre os tipos de cafés que passaram por algum tipo de fermentação, sendo os gráficos (A, B e C).

Figura3: Resultados das análises de textura instrumental obtidas nos grãos de café verde armazenados durante 9 meses.



Legenda: (A) Arara Seco 72h; (B) Arara Submerso 48h; (C) Arara Submerso 72h; (D) Testemunha 1; (E) Testemunha 2.

De acordo com os gráficos, é observado boa resistência dos grãos de cafés ao decorrer dos meses de experimento, dando destaque aos cafés fermentados que obtiveram ótimo equilíbrio e estabilidade. Dessa forma, os grãos tiveram consistência e não perderam suas propriedades físico-químicas, tendo relação com as embalagens que permitiram a segurança através do impedimento de umidade e oxigênio.

Entretanto, os gráficos (D e E), o qual representa as testemunhas que não passaram por processo fermentativo, teve um desequilíbrio na embalagem 3 referente a testemunha 1 e desequilíbrio na embalagem 2 para a testemunha 2.

3.5 Resistência mecânica das embalagens para grãos de café verde

Inovações tecnológicas, como as sacolas herméticas, têm potencial para manter a qualidade do café verde durante o armazenamento. Os sacos Purdue Improved Crop Storage (PICS) assim como as embalagens de estudo, demonstraram ser uma maneira eficaz de mitigar a perda pós-colheita, limitando os danos à qualidade nas culturas, como o milho (WILLIAMS, MURDOCK E BARIBUTSA, 2017) e feijão-frade (BAOUA, MARGAM, AMADOU E MURDOCK, 2012), durante o armazenamento. O sistema de saco hermeticamente selado de três camadas fornece uma solução econômica e acessível para diminuir os danos à cultura, limitando a umidade e a exposição ao oxigênio. Segundo o estudo de NATALIE (2019), o sistema hermético em camadas da bolsa PICS foi capaz de inibir a transferência de umidade entre o ambiente e o café verde. Dessa maneira, o estudo faz relação com os dados apresentados no experimento realizado pois as 3 embalagens possuem parâmetros suficientes para assegurar e impedir que a umidade do meio externo se interaja com os grãos de café verde, além de limitar a exposição ao oxigênio.

A Tabela 3 apresenta a resistência mecânica, expressa em MPa, para as três embalagens utilizadas para o armazenamento dos grãos de café verde. Ao relacionar as características como espessura e tipo de material utilizados em cada tipo de embalagem (Tabela 1), era esperada a grande diferença de resistência mecânica da Embalagem 2, quando comparado com as demais embalagens. A Embalagem 2 possui mais camadas de revestimento o que pode ter gerado maior resistência para romper, além de ser mais rígida e apresentar maior proteção para o grão de café à ação mecânica devido a sua espessura ser maior.

Tabela 3: Resistência mecânica das embalagens utilizadas no armazenamento de grãos de café verde.

RESISTÊNCIA MECÂNICA (MPa)		
EMBALAGEM 1	EMBALAGEM 2	EMBALAGEM 3
16,9093	57,4038	18,5045
17,9050	51,6261	18,6292
17,6151	61,5437	18,1918
17,1745	58,1317	16,9447
16,7359	55,3135	17,4784
16,7118	55,7687	17,1011

O resultado obtido neste experimento está de acordo com os obtidos por vários autores que descrevem a redução da qualidade sensorial do café armazenado em saco de juta (RIGUEIRA et al., 2009; BORÉM et al., 2008; CORRÊA et al., 2003). Essa relação está diretamente ligada com o armazenamento de café verde, sendo que a maior parte do café é armazenado e beneficiado no sistema convencional, em sacos de juta (permeáveis), sem o controle da temperatura e sem refrigeração. Os grãos verdes ficam acondicionados em embalagens permeáveis, o que permite a variação do teor de água dos grãos e interações com o ar ambiente, favorecendo a redução da qualidade inicial (BORÉM et al., 2013; NOBRE et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011; RIGUEIRA et al., 2009).

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou 3 embalagens poliméricas diferentes, através de cinco métodos para qualidade dos grãos de café e da embalagem, durante o armazenamento no decorrer de 9 meses. Foi possível observar que todas as embalagens tiveram bons resultados, assegurando o café verde contra umidade externa, luminosidade e choques mecânicos. A embalagem 2 possui maior número de camadas em sua composição e, conseqüentemente, apresenta maior espessura. Esta embalagem apresentou melhor desempenho em relação a resistência mecânica, manutenção da cor e dureza e umidade dos grãos. Em relação as isotermas de sorção, o modelo GAB foi mais adequado, com valores de R^2 de 0,9738, 0,8834 e 0,9910 para as embalagens 1, 2 e 3, respectivamente.

REFERÊNCIAS

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café préprocessados por “via seca” e “via úmida”. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1268-1276, nov./dez. 2003. BORÉM, F. M. Armazenamento do café. In: BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; FERNANDES, S. M.; FERNANDES, M. (Ed.). *Armazenamento do café*. Lavras, MG: UFLA, 2008. 631 p.

AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. *Food and bioproducts processing*, v. 80, n. 2, p. 118-128, 2002., Disponível em : <https://doi.org/10.1205/09603080252938753> , Acessado em 9 de maio 2022.

AL-MUHTASEB, A. H., MCMINN, W. A. M., MAGEE, T. R. A. (2004). Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. *Journal of Food Engineering*, n. 61, 297–307, 2004a. Disponível em : [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00133-X) Acessado em 10 de jun. 2022.

BAOUA, IB, MARGAM, V., AMADOU, L., MURDOCK, LL, 2012. Desempenho do triplo tecnologia hermética de ensacamento para armazenamento pós-colheita de grãos de feijão-fradinho no Níger. *J. Stored Prod. Res.* 51, 81e85. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.07.003>.

BICHO, N. C.; LEITÃO, A.E.; RAMALHO, J.C.; LINDON, F.C.; Use of colour parameters for roasted coffee assessment, *Ciência e Tecnologia de Alimento*. Campinas, v. 32, 2012.

BORÉM F. M.; CORADI P. C.; SAATH R.; OLIVEIRA J. A. Qualidade do Café natural e despulpado após secagem em terreiro e em altas temperaturas. *Ciência e agrotecnologia*. v. 32, n. 5, 2008.

BORÉM, F.M.; NOBRE, G.W., FERNANDES, S.M., PEREIRA, R.G.F.A., OLIVEIRA, P.D., 2008.

BORÉM, F.M., RIBEIRO, F.C., FIGUEIREDO, L.P., GIOMO, G.S., FORTUNATO, V.A., & ISQUIERDO, P.E. Avaliação da qualidade sensorial e da cor de grãos de café armazenados em embalagens herméticas. *Journal of Stored Products Research*, 52,1–6, 2013.

BORÉM, F. M. Armazenamento do café. In: BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; FERNANDES, S. M.; FERNANDES, M. (Ed.). *Armazenamento do café*. Lavras, MG: UFLA, 2008. 631 p.

BORÉM, F. M. et al. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. *Journal of Stored Products Research*, Oxford, v. 52, p. 1-6, 2013.

BRESSANI, APP, Martinez, SJ, Evangelista, SR, Diasa, DR, Schwan, RF, 2017. Características do café fermentado inoculado com leveduras por diferentes métodos de inoculação. *LWT - Food Sci. Technol.* 92, 212-219. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.029>.

CARVALHO, NB, MINIM, VPR, NASCIMENTO, M., VIDIGAL, MCTR, FERREIRA, MAM, GONÇALVES, ACA, et al. (2015). Uma função discriminante para validação da análise de cluster e previsão comportamental do mercado de café. *Food Research International*, 77, 400-407. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.013>.

CARVALHO, João Paulo Felicori et al. Qualidade do café cereja descascado e natural acondicionado em diferentes embalagens durante o armazenamento. *X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 2019.

CESAR, Ludmila Martins; BRAGA, Claudomilson Ferreira. EMBALAGENS COMO INFLUENCIADORAS NO PROCESSO DE COMPRA DE SHAMPOO. *Revista Anhanguera*, [S. l.], p. 35-51, 1 jan. 2011.

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; SILVA, F. S.; RIBEIRO, D. M. Qualidade dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) durante o armazenamento em condições diversas. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa-MG, n. 7, p. 137-147, 2003. *Especial Café*.

CRIPPA, AGNALDO. ESTUDO DO DESEMPENHO DE FILMES MULTICAMADAS EM EMBALAGENS TERMOFORMADAS. 2006. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia (Engenharia e Ciência dos Materiais) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, [S. l.], 2006.

DE MELO PEREIRA, G. V et al. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. *Food Chemistry*, v. 272, p. 441– 452, 2019.

ELSEVIER. *Journal of Stored Products Research*. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X19300074>. Acessado em: 20 mai 2023.

ESQUIVELA, P.; JIMÉNEZ, B. V. M. Functional Properties of coffee and coffee by-product. *Food Research International*., v. 46, 2012.

FIGUEIREDO, L. P., BORÉM, F. M., CIRILLO, M.Â., RIBEIRO, F. C., GIOMO, G. S., & SALVA, T. J. G. (2013). The potential for high quality bourbon coffees from different environments. *Journal of Agricultural Science*, 5(10), 87–98.

LOPES, R. P.; HARA, T.; SILVA, J. S.; RIEDEL, B. Efeito da luz na qualidade (cor e bebida) de grãos de café beneficiados (*Coffea arabica* L.) durante a armazenagem. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, n. 1, p. 9-17, 2000. Edição Especial.

MARTINS, L. H. S.; NETO, J. M.; LOPES, A. S.; RODRIGUES, A. M. C.; CARVALHO, A. V. Study of preparation, composition and moisture sorption isotherm of Amazon River shrimp meal. *Food Science and Technology*. v. 79, p. 376-389, 2017.

MORAES, Kelly de. Secagem de anchoita (*Engrazulas anchoita*) nas formas de filé e pasta modificada enzimaticamente: propriedades termodinâmicas e características do produto. 2011. 209 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, 2011. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/6067>. Acesso em: 28 maio. 2023.

OGASAWARA, Luís Alexandre Fernandes; GALONE, Fernanda Fernandes. A leitura semiótica do design das embalagens de café brasileiras: entre a repetição e a inovação. *revista foco*, v. 16, n. 3, p. e1309-e1309, 2023.

OLIVEIRA, M. V. Efeito do armazenamento no branqueamento de grãos de café beneficiado: modelagem matemática do processo. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1995.

OLIVEIRA, L. M.; OLIVEIRA, P.A.P.L.V. Revisão: principais agentes antimicrobianos utilizados em embalagens plásticas. *Brazil Journal of Food Technology*, v. 7, n. 2, p.161-165, 2004.

PERINNI, Humberto Chodaski. Dimensionamento de um sistema de controle de umidade em um galpão de armazenamento de café. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RIBEIRO, F. C.; BORÉM, F. M.; GIOMO, G. S.; DE LIMA, R. R.; MALTA, M. R.; FIGUEIREDO, L. P. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO₂. *Journal of Stored Products Research*, v. 47, n. 4, p. 341–348, out. 2011.

RIGUEIRA, R. J. de A.; LACERDA, F. A. F. de; VOLK, M. B. S.; CECON, P. R. Armazenamento de grãos de café cereja descascado em ambiente refrigerado. *Engenharia na Agricultura, Jaboticabal*, v. 17, n. 4, p. 323-333, jul./ago. 2009.

RODRIGUES, ROBERTO. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 8, DE 11 DE JUNHO DE 2003. Disponível em:

[https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229303#:~:text=Independente%20de%20sua%20classifica%C3%A7%C3%A3o%2C%20os,doze%20e%20meio%20por%20cento\).&text=6.1.,%25%20\(um%20por%20cento\)](https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229303#:~:text=Independente%20de%20sua%20classifica%C3%A7%C3%A3o%2C%20os,doze%20e%20meio%20por%20cento).&text=6.1.,%25%20(um%20por%20cento).). Acessado em: 04 jul 2023.

SILVA, C. F.; BATISTA, L. R.; ABREU, L. M.; DIAS, E. S.; SCHWAN, R. F. Succession of bacterial and fungal communities during natural coffee (*Coffea arabica*) fermentation. *Food Microbiology*, v. 25, p. 951-957, 2008.

SOUZA, A. C., GOTO, G. E. O., MAINARDI, J. A., COELHO, A. C. V., & TADINI, C. C. (2013). Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. *LWT-Food Science and Technology Journal of Food Science*, 54(2), 346–352.

VAAST, Philippe et al. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, [S.l.], v. 86, n. 2, p. 197-204, out. 2005.

VAN DEN BERG, C., BRUIN, S. Water Activity: Influences on Food Quality, Water Activity: Influences on Food Quality. Elsevier. 1981. Disponível em: doi:10.1016/8978-0-12-5913508.50007-3.

WILLIAMS, S.B., MURDOCK, L.L., BARIBUTSA, D., 2017. Armazenamento de milho em Purdue sacos de armazenamento de colheita melhorada (PICS). *PloS One* 12 (1) e0168624.<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168624>.

YAM, K.L.; TAKHISTOV, P.T.; MILTZ, J. Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of Food Science*, v.70, n.1, p.R1-R10, 2005.