



THAINA MOURA VILELA

**Copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA) como revestimento
de papel cartão**

LAVRAS – MG

2025

THAINA MOURA VILELA

Copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA) como revestimento de papel cartão

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Produtos e Nanoprodutos Alimentícios, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes

Orientador

LAVRAS – MG

2025

**Ficha catalográfica elaborada pela Catalogação da Biblioteca
Universitária da UFLA**

Vilela, Thaina Moura.

Copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA) como revestimento
de papel cartão / Thaina Moura Vilela. – Lavras : UFLA, 2025.
48 p.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras,
2025.

Bibliografia.

1. Embalagens biodegradáveis. 2. Copolímero de etileno. 3.
Acetato de vinila. 4. Revestimentos de reuso. 5. Propriedades de
barreira. I. Mendes, Lourival Marin. II. Universidade Federal de
Lavras. III. Título.

CDD – 664.092

Ficha elaborada por Defátima Aparecida Silva Pessoa (CRB
6/1496)

THAINA MOURA VILELA


**Copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA) como revestimento de papel cartão
Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Copolymer as a Paperboard Coating**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Produtos e Nanoprodutos Alimentícios, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28/02/2025

Dr^a. Evelize Aparecida Amaral – Universidade Federal de Lavras

Dr. Rafael Carvalho Lago – Universidade Federal de Lavras

Documento assinado digitalmente
 **LOURIVAL MARIN MENDES**
Data: 03/06/2025 11:57:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes

Orientador

LAVRAS – MG

2025

*À minha vovó (in memoriam) que sempre foi
sinônimo de amor, carinho e cuidado em minha
vida.*

*À minha amiga Beatriz e à sua filha Cecília (in
memoriam), que são de alguma forma, também a
minha família.*

A vocês eu dedico esta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me provar todos os dias, nos mínimos detalhes, que sempre há uma razão de ser feliz, e por nunca deixar meu coração desamparado nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Vania Vilela e Reginaldo Vilela por apoiarem todas as minhas decisões, me dando conselhos para que eu possa sempre trilhar um bom caminho. Também por todo amor, carinho e dedicação. Por todas as vezes que meu pai abdicou de seu descanso para me buscar na estação de trem, e por todas as vezes que a minha mãe montou a minha alimentação do dia seguinte com todo amor do mundo, mesmo cansada, obrigada, eu amo vocês.

Em especial a minha noiva, Itala Drumond, por ser sinônimo de felicidade, de amor e paz em minha vida. Por me apoiar e incentivar todas as vezes que penso em desistir. Não há nada que eu queira mais do que compartilhar uma vida inteira com você, obrigada por ser o amor da minha vida, eu te amo.

Aos meus sobrinhos, Manu, Nena e Bê por serem sempre motivo de vida e felicidade.

Às minhas irmãs, Bárbara e Thauany, por serem sinônimo de amor e companheirismo em minha vida. Por se orgulharem tanto de mim, e por aceitarem que eu sou a filha preferida, amo vocês.

Aos meus amigos, Júlia Oliveira, Mauricio Novais, Roberta Castro, Pedro Augusto e Julia Harumi por todos os momentos compartilhados, pela coleção de risadas, dancinhas estranhas, memes, e por apoiarem a comunidade científica, vocês são muito importantes para mim.

Aos meus colegas de trabalho Maira Akemi, Matheus Getaruck, Aline Fioratto, Lilian Rodrigues, Vitor Amaral, Fernanda Amaral, Maíra Oliveira e Lucia Jesus, por tornarem os longos dias de trabalho mais divertidos e acolhedores.

Aos meus alunos Matheus, Ana Beatriz, Yasmin, Isabelle, Isabela, Isabela Namie e Nicolas por sempre acreditarem em mim e no meu trabalho, e, por tornarem minhas aulas divertidas. Sinto falta daqueles que já se formaram!

Ao meu orientador, Lourival, por ter me recebido de forma tão acolhedora, me apoiando em cada decisão.

Ao coordenador do programa de pós-graduação em Engenharia de Biomateriais, José Benedito, por também me acolher com tanto carinho, me escutar, me proteger e não medir esforços para que tudo saísse da melhor maneira possível.

À banca avaliadora, composta por Evelize e Rafael, pela disponibilização de tempo, todo acolhimento, apoio e pela contribuição ao meu trabalho.

Ao DCF (Departamento de Ciências Florestais), por todo suporte durante todo meu mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, por todo apoio e por poder fazer parte de um programa incrível.

À CAPES pelo incentivo aos programas estudantis e pela bolsa concedida.

À UFLA (Universidade Federal de Lavras), pelas oportunidades oferecidas e pelas experiências vividas, que sempre me lembrarei com muito carinho.

RESUMO

A crescente preocupação ambiental impulsiona a busca por materiais sustentáveis para embalagens, destacando o papel e o papel cartão por sua reciclabilidade. No entanto, suas limitações, como baixa resistência mecânica e barreira à umidade, exigem revestimentos funcionais. Polímeros naturais, como amido catiônico e nanocelulose, têm sido estudados como alternativas aos sintéticos, melhorando a resistência à umidade. A adição de cargas minerais, como caulim e carbonato de cálcio, afeta opacidade e barreira ao vapor d'água, enquanto ceras naturais, como a de carnaúba, aumentam a hidrofobicidade. Os copolímeros de etileno e acetato de vinila (EVA) são termoplásticos cujas propriedades físico-químicas, como flexibilidade e resistência ao impacto, os tornam competitivos na indústria. Este estudo analisou a aplicação do EVA como revestimento para papel cartão, avaliando espessura, gramatura, molhabilidade, resistência à tração e permeabilidade ao vapor de água e óleo. A polaridade do EVA depende do teor de acetato de vinila, quando acima de 40%, confere ao material um comportamento mais polar, conforme evidenciado pelas análises de permeabilidade de água e óleo, onde o papel apresentou excelentes propriedades de barreira a óleo. Além disso, um alto teor também aumenta sua viscosidade, dificultando a aplicação uniforme, conforme evidenciado por análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados indicam o potencial do EVA como adjuvante em embalagens para setores como alimentos, química e cosméticos.

Palavras-chaves: Embalagens biodegradáveis; Copolímero etileno acetato de vinila; revestimentos de reuso; propriedades de barreira.

ABSTRACT

Growing environmental concerns are driving the search for sustainable packaging materials, with paper and cardboard standing out due to their recyclability. However, their limitations, such as low mechanical strength and moisture barrier, require functional coatings. Natural polymers, such as cationic starch and nanocellulose, have been studied as alternatives to synthetic ones, improving moisture resistance. The addition of mineral fillers, such as kaolin and calcium carbonate, affects opacity and water vapor barrier, while natural waxes, such as carnauba wax, increase hydrophobicity. Ethylene-vinyl acetate copolymers (EVA) are thermoplastics whose physicochemical properties, such as flexibility and impact resistance, make them competitive in the industry. This study analyzed the application of EVA as a coating for cardboard, evaluating thickness, grammage, wettability, tensile strength, and permeability to water vapor and oil. The polarity of EVA depends on the vinyl acetate content. When above 40%, it gives the material a more polar behavior, as evidenced by water and oil permeability analyses, where the paper presented excellent oil barrier properties. In addition, a high content also increases its viscosity, making uniform application difficult, as evidenced by scanning electron microscopy (SEM) analyses. The results indicate the potential of EVA as an adjuvant in packaging for sectors such as food, chemicals and cosmetics.

Keywords: Biodegradable packaging; ethylene-vinyl acetate copolymer; reuse coatings; barrier properties.

INDICADORES DE IMPACTO

A pesquisa desenvolvida nesta dissertação visa reutilizar o copolímero de etilenoacetato de vinila (EVA), apreendido pela Receita Federal da empresa Braskem, como recobrimento de papel cartão para embalagens. O objetivo é dar um novo destino a esse material descartado, melhorando as propriedades de barreira do papel cartão. Os impactos do estudo abrangem as esferas social, tecnológica, econômica e ambiental, além de apresentar um caráter extensionista.

No aspecto tecnológico, o principal impacto está na inovação do processo de reuso do EVA. O desenvolvimento de uma aplicação eficiente pode oferecer novas soluções para a indústria de embalagens, especialmente no setor alimentício, onde o desempenho de barreira é essencial para a conservação dos produtos. A proposta representa um avanço na área de biomateriais e sustentabilidade, oferecendo uma alternativa viável e inovadora para um problema recorrente na indústria.

Economicamente, a pesquisa fortalece a economia circular ao agregar valor a um resíduo industrial, reduzindo custos na produção de embalagens. A incorporação do EVA reciclado em processos industriais pode gerar economia, fomentar novos negócios e incentivar práticas sustentáveis, o que é cada vez mais valorizado pelo mercado. A adoção da tecnologia contribui para o fortalecimento da economia local e para a criação de empregos relacionados à inovação em materiais reciclados.

No campo social, a pesquisa contribui para a redução de resíduos e do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de materiais plásticos, promovendo comunidades mais limpas e saudáveis. A disseminação do uso de materiais reciclados sensibiliza empresas e consumidores sobre a importância da economia circular, incentivando práticas mais conscientes.

O caráter extensionista do trabalho está presente na aproximação entre universidade e indústria, permitindo a transferência de tecnologia e o desenvolvimento de soluções com aplicação real. Essa integração favorece o avanço do setor produtivo e a formação de profissionais capacitados nas áreas de biomateriais e sustentabilidade.

A pesquisa impacta diretamente a região de atuação da Braskem e outras áreas industriais que adotem a tecnologia proposta. Trabalhadores da indústria de embalagens e a comunidade em geral podem ser beneficiados, com contribuições significativas para uma

economia mais verde. O estudo se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao promover a reutilização de materiais e a redução de resíduos, e o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao propor uma inovação com potencial transformador. No âmbito da Política Nacional de Extensão, os impactos se enquadram nas áreas temáticas de Sustentabilidade e Meio Ambiente, além de Tecnologia e Inovação, reforçando seu caráter transformador e sua contribuição frente aos desafios globais.

IMPACT INDICATORS

The research developed in this dissertation aims to reuse the ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA), assessed by the Federal Revenue Service from the company Braskem, as a coating for cardboard for packaging. The goal is to give a new purpose to this discarded material, improving the barrier properties of cardboard. The impacts of the study encompass the social, technological, economic and environmental spheres, in addition to having an extensionist character.

Without a technological aspect, the main impact is the innovation of the EVA reuse process. The development of an efficient application can offer new solutions for the packaging industry, especially in the food sector, where barrier performance is essential for product preservation. The proposal represents a breakthrough in the area of biomaterials and sustainability, offering a viable and innovative alternative to a recurring problem in the industry.

Economically, the research strengthens the circular economy by adding value to industrial waste, reducing costs in packaging production. The incorporation of recycled EVA into industrial processes can generate savings, foster new businesses and encourage sustainable practices, which are increasingly valued by the market. The adoption of technology contributes to strengthening the local economy and creating jobs related to innovation in recycled materials.

In the social field, the research contributes to reducing waste and the environmental impact caused by the improper disposal of plastic materials, promoting cleaner and healthier communities. The widespread use of recycled materials raises awareness among companies and consumers about the importance of the circular economy, encouraging more conscious practices. The extensionist nature of the work is present in the rapprochement between universities and industry, allowing technology transfer and the development of solutions with real applications. This technology favors the advancement of the productive sector and the training of qualified professionals in the areas of biomaterials and sustainability.

The research directly impacts the region where Braskem operates and other industrial areas that adopt the technology proposal. Workers in the packaging industry and the community in general can benefit, with significant contributions to a greener economy. The study is aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs), especially SDG 12 (Responsible Consumption and Production), by promoting the reuse of materials and the reduction of waste, and SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), by proposing an innovation with transformative potential. Within the scope of the National Extension Policy, the impacts fall within the thematic areas of Sustainability and Environment, in addition to Technology and Innovation, reinforcing its transformative character and its contribution to global challenges.

SUMÁRIO

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 | OBJETIVOS | 15 |
| 2.1 | Objetivos gerais | 15 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 3.1 | Embalagens biodegradáveis | 16 |
| 3.1.1. | Embalagens de papel | 16 |
| 3.2. | Revestimento de papel | 18 |
| 3.2.1. | Componentes gerais da formulação do revestimento do papel | 19 |
| 3.2.2. | Pigmento | 19 |
| 3.2.3. | Ligante | 20 |
| 3.2.4. | Espessante | 20 |
| 3.2.5. | Dispersante | 21 |
| 3.2.6. | Reticulado | 21 |
| 3.3. | Copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA) | 21 |
| 3.3.1. | Reuso de materiais apreendidos pela Polícia Federal | 25 |
| 4. | MATERIAIS E MÉTODOS | 27 |
| 4.1 | Materiais | 27 |
| 4.2. | Métodos | 27 |
| 4.2.1. | Recobrimento do papel | 27 |
| 4.2.2. | Avaliação da espessura | 27 |
| 4.2.3. | Análise de molhabilidade e ângulo de contato | 27 |
| 4.2.4. | Ensaio de tração | 28 |
| 4.2.5. | Caracterização morfológica do papel cartão controle e dos papéis revestidos por microscopia eletrônica de varredura (MEV) | 28 |
| 4.2.6. | Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) | 29 |
| 4.2.7. | Determinação das propriedades de barreira ao vapor d'água | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.8. Propriedade de barreira ao óleo | 29 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 31 |
| 5.1 Avaliação de espessuras | 31 |
| 5.1. Análise de molhabilidade e ângulo de contato..... | 32 |
| 5.2. Ensaio de tração | 34 |
| 5.3. Caracterização morfológica do papel cartão controle e dos papeis revestidos por microscopia de varredura eletrônica (MEV)..... | 35 |
| 5.4. Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) | 38 |
| 5.5. Determinação das propriedades de barreira ao vapor d'água | 40 |
| 5.6. Propriedade de barreira de óleo | 41 |
| 6 CONCLUSÃO | 43 |
| REFERÊNCIAS..... | 44 |

1 INTRODUÇÃO

A crescente conscientização sobre os impactos ambientais causados pelo uso excessivo de materiais não biodegradáveis tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis na produção de embalagens. Nesse cenário, o papel emerge como opção viável devido à sua reciclabilidade, biodegradabilidade e menor pegada ambiental em comparação com materiais plásticos derivados de fontes fósseis. No entanto, esses materiais celulósicos apresentam limitações intrínsecas, como baixa resistência mecânica, pouca eficiência como barreira à umidade e interação indesejada com substâncias lipofílicas, como gorduras e óleos. Tais características restringem sua aplicação em embalagens que exigem maior durabilidade e proteção contra fatores externos, como umidade e agentes químicos.

Para superar essas limitações, a aplicação de revestimentos funcionais tem sido amplamente investigada, visando aprimorar as propriedades físico-químicas do papel e do papel cartão. Nesse contexto, polímeros naturais, como amido catiônico, nanocelulose e alginato, têm ganhado destaque como alternativas sustentáveis aos polímeros sintéticos tradicionais. Esses biopolímeros não apenas melhoram a resistência à umidade e a estabilidade estrutural, mas também contribuem para a redução do impacto ambiental. Além disso, a incorporação de cargas minerais, como caulim e carbonato de cálcio, tem sido explorada para otimizar propriedades como opacidade, printabilidade e barreira ao vapor d'água. Paralelamente, ceras naturais e lipídios vegetais, como a cera de carnaúba, têm sido utilizados para aumentar a hidrofobicidade das superfícies, reduzindo a absorção de água e prolongando a vida útil das embalagens.

Dentre os materiais sintéticos, os copolímeros de etileno e acetato de vinila (EVA) destacam-se por suas propriedades únicas, como flexibilidade, resistência ao impacto e facilidade de processamento. O EVA é obtido por meio da copolimerização dos monômeros de etileno e acetato de vinila, e suas características físico-químicas o tornam uma opção competitiva em relação a outros termoplásticos e elastômeros. Essas propriedades têm levado ao seu amplo uso em setores como o de calçados, onde é empregado em compostos expansíveis e reticulados, moldados por processos de injeção e compressão. No entanto, o potencial do EVA como revestimento funcional para embalagens de papel ainda é um campo em expansão, com oportunidades para explorar sua capacidade de melhorar as propriedades de barreira e a durabilidade do papel cartão.

Este trabalho tem como foco a aplicação do copolímero de etileno acetato de vinila (EVA) como revestimento para papel cartão, visando aprimorar suas propriedades de barreira e funcionalidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Avaliar a reutilização do copolímero de etileno-acetato de vinila (EVA) como revestimento para papel cartão, visando a melhoria de suas propriedades de barreira a líquidos e gorduras.

2.1.1. Objetivos específicos

- Reutilizar o copolímero de etileno-acetato de vinila (EVA) para recobrir o papel;
- Caracterizar o papel revestido quanto a parâmetros de espessura, molhabilidade, resistência a tração e morfologia;
- Testar a permeabilidade ao vapor d'água e óleo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

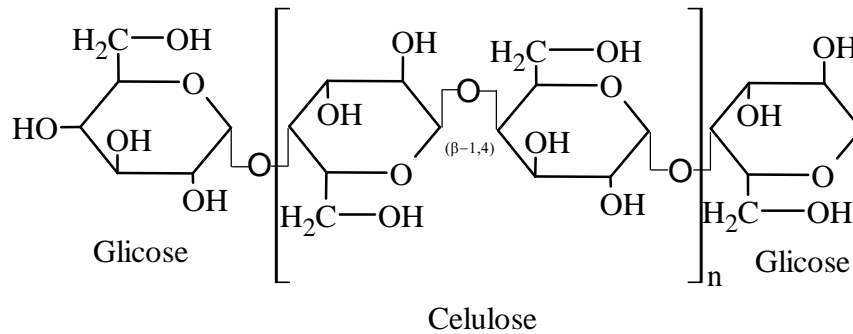
3.1 Embalagens biodegradáveis

Perante às crescentes preocupações com os impactos ambientais decorrentes da ação antropológica com o meio ambiente, pesquisas no campo das embalagens descartáveis tem se concentrado no desenvolvimento de alternativas sustentáveis, visando substituir materiais convencionais, derivados de recursos fósseis, por materiais biodegradáveis obtidos a partir de fontes renováveis, cujo o objetivo é mitigar os efeitos adversos associados ao acúmulo de resíduos plásticos, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e promover uma economia circular, tendo em vista que, em 2018, as embalagens constituíam 28,1% dos resíduos sólidos urbanos (Nordahl *et al.*, 2023). Esses materiais biodegradáveis são projetados para se decompor em condições ambientais específicas, minimizando assim o impacto ambiental e contribuindo para a preservação dos ecossistemas (Jakubowska *et al.*, 2023; Reichert *et al.*, 2020; Rojas-Lema *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2023).

Estudos recentes salientam uma crescente observada em materiais inovadores e a aplicação de tecnologias emergentes neste campo, destacando, por exemplo, a notável tendência da utilização de microalgas na produção de embalagens biodegradáveis. Um estudo realizado por Dogruoglu *et al.* (2023) investigou compósitos de *Chlorella* e *k-carragenana*, e demonstrou que ao combinar estas duas algas, formam-se géis biodegradáveis com taxas de degradação que são superiores dos plásticos tradicionais, se tornando uma alternativa sustentável.

3.1.1. Embalagens de papel

O papel é um composto formado por uma matriz de fibras celulósicas (Figura 1) entrelaçadas entre si. A formação de uma matriz celulósica se dá através da polimerização de unidades de β -D-glicose, onde ligações do tipo β -1,4-glicosídicas são formadas por reações de condensação, resultando na liberação de moléculas de água e na construção de cadeias lineares de celulose.

Figura 1. Matriz celulósica

Fonte: da Autora (2025)

A estrutura polimérica formada, confere a celulose propriedades como alta resistência mecânica e estabilidade química, que são fundamentais para suas aplicações. Jiang *et al.* (2023), avaliou avanços na modificação química na celulose para otimizar propriedades em materiais compostos, ressaltando a importância de se compreender os mecanismos de formação e as interações moleculares da matriz celulósica no desenvolvimento de novos biomateriais (Cheng *et al.*, 2023). As ligações de hidrogênio entre os grupamentos hidroxila das fibras adjacentes garantem a coesão estrutural. O processo de fabricação do papel pode ser resumido em duas principais etapas: a produção da polpa, que envolve a separação e a purificação das fibras celulósicas a partir de matérias-primas lignocelulósicas, e a formação da folha, que consiste no entrelaçamento das fibras para formação de uma rede contínua e uniforme (Robertson, 2012). Xue e colaboradores (2022) destacam que avanços na modificação das fibras celulósicas para melhorar a propriedade de barreira são essenciais, pois sublinham a importância das interações intermoleculares na matriz de fibras para o desempenho do papel (Xue; Song; Chang, 2022).

Embora não exista uma definição clara e universalmente aceita que diferencie o papel do papel cartão, as normas da ISO utilizam a gramatura critério principal para essa classificação. De acordo com essas normas, papéis com gramatura superior a 250 gm^{-2} são tipicamente classificados como papel cartão. No entanto, vale frisar que existem limitações a essa regra, a depender das regulamentações locais e das práticas industriais adotadas em diferentes países (Sun, 2012). O papel cartão caracteriza-se por uma espessura superior a $300 \mu\text{m}$ e é amplamente utilizado na fabricação de embalagens, como caixas, que oferecem proteção mecânica eficaz para produtos alimentícios e outros itens sensíveis. Além disso, este material pode ser processado para produção de papel cartão ondulado, com maior resistência, utilizado principalmente na fabricação de caixas para transporte. Essas embalagens desempenham um

papel fundamental como embalagem terciária e quaternária, proporcionando segurança adicional durante a distribuição e armazenamento (Ferreira; Silva; Madeira, 2019).

Levando em conta a crescente preocupação ambiental, principalmente no que se diz respeito a poluição plástica, a aplicação de materiais a base de papel na indústria de embalagens é uma alternativa crucial a esse respeito, e, gradualmente, tem se enraizado na indústria ao longo do tempo. De acordo com um estudo realizado por Sobhani & Palanisami (2025) a produção mundial de embalagens a base de papel cresceu 241 milhões de toneladas métricas (MMTs) de 1961 para 2022 (Sobhani; Palanisami, 2025). A Confederação das Industrias Europeias de Papel, apontou que a Europa é a principal produtora dessas embalagens, atingindo em torno de 32% do total produzido em 2022 (Cepi, 2023). De maneira análoga, a Australian Packaging Covenant Organisation (2022), relatou que 52,3% do total de embalagens produzidas mundialmente eram feitas de materiais a base de papel (APCO, 2022).

O papel e seus derivados à base de celulose são amplamente utilizados em embalagens compostáveis devido à sua renovabilidade, capacidade de reciclagem e biodegradabilidade, mas para aplicações industriais, o papel necessita de revestimentos adicionais afim de aprimorar suas propriedades de barreira contra água e vapores d'água (Zhang; Xiao; Qian, 2014).

3.2. Revestimento de papel

O processo de produção de papel, normalmente, exige uma etapa de modificações para atender os objetivos pelos quais este será utilizado. Cada etapa do processo de fabricação confere ao papel propriedades quanto a superfície. A suavidade, opacidade, brilho e capacidade de impressão podem ser diferentes de acordo com a orientação e dimensão das fibras, enchimento, pressão de calandragem e revestimento (Simpson, 1976). Um estudo realizado por pesquisadores do Instituto de Celulose e Papel da Eslováquia avaliou como a composição do revestimento influencia na qualidade de impressão (Gigac *et al.*, 2014, 2016), e embora a porosidade e o grau de dimensionamento interno do papel afetem lisura e brilho final do papel revestido, apenas a formulação do revestimento apresentou um impacto na resistência à água e nitidez na impressão.

O processo de revestimento do papel consiste na aplicação de uma camada sobre a superfície da folha de papel. Esse processo envolve a cobertura das fibras celulósicas expostas e o preenchimento dos espaços intersticiais com uma combinação de ligantes, como, por exemplo, amido e látex sintético, além de pigmentos e outros agentes funcionais. Essa técnica melhora as propriedades óticas e também contribuí para resistência e desempenho de aplicações do papel (Howard; Hodgson, 2015). Estes procedimentos são seguidos, geralmente, por uma

etapa de secagem e calandragem afim de se obter propriedades de dimensionamento, impressão e barreira (Lee; Joyce; Fleming, 2004).

Santos *et al.* (2023) investigaram a aplicação de revestimento bicamadas de amido catiônico e cera de carnaúba em papel kraftliner, cujo objetivo foi desenvolver embalagens biodegradáveis. O estudo avaliou as propriedades físico-químicas, morfológicas e de barreira da mistura desenvolvida, e destacou o impacto positivo na hidrofiliabilidade e na hidrofobicidade do papel que foi revestido. Foi observado que a adição de amido catiônico elevou ainda o ponto de fusão da cera, promovendo a formação de uma camada protetora na superfície do papel e melhorando a barreira contra água (Santos *et al.*, 2023).

Amido catiônico e nanocelulose, por exemplo, são dois agentes de base biológica que são amplamente propostos como componente de revestimento, embora o uso industrial do primeiro está abaixo das expectativas e o último está longe de ser bem estabelecido, pois a maioria dos fabricantes se abstém da fabricação e uso de nanocelulose devido à dificuldade de desidratação, dificuldade de produção em longa escala e alta entrada de energia necessária (Bardet; Bras, 2014; Rastogi; Samyn, 2015; Sousa *et al.*, 2014).

3.2.1. Componentes gerais da formulação do revestimento do papel

Diferentes tipos de formulações de revestimento são possíveis e, normalmente, selecionada de acordo com a necessidade do produto final, seja ele papel P&W, papel com duplo ou triplo revestimento, papel térmico, papel metalizado ou até mesmo papel revestido sem carbono. Os componentes mais relevantes utilizados são descritos nas seções a seguir.

3.2.2. Pigmento

Os pigmentos desempenham um papel crucial na formação de uma estrutura de porosidade fina no papel revestido, contribuindo para uma superfície que difunde luz e, portanto, melhora o brilho do papel. A porosidade e a microestrutura do papel revestido estão intimamente relacionadas às propriedades eletro cinéticas do sistema coloidal dos pigmentos. A adsorção de determinados aditivos na superfície dos pigmentos pode alterar o potencial elétrico interparticular, permitindo o ajuste das interações entre as partículas e o meio líquido (Sand; Toivakka; Hjelt, 2009).

Soluções de revestimento podem conter pigmentos do tipo carbonato de cálcio moído (GCC) e precipitado (PCC), dióxido de titânio, caulim e carbonato de cálcio (Hubbe; Gill, 2016; Kumar *et al.*, 2012; Singhal *et al.*, 2015; Yoo *et al.*, 2009). Estes pigmentos foram recentemente encontrados e melhoram a resistência, propriedades óticas e de impressão do papel revestido.

As propriedades da superfície são afetadas pela forma, tamanho e distribuição das partículas do pigmento (Al-Turaif, 2009). Pigmentos com alta relação de aspecto apresentam melhor absorvidade de água quando comparados com pigmentos em blocos esféricos (Zou *et al.*, 2007), mas em contrapartida, estudos realizados por Zhu & Gramlich (2019) demonstram que pigmentos em blocos esféricos apresentam melhor propriedade de barreira a vapores d'água por ter menores rachaduras durante a operação de dobramento (Zhu; Bousfield; Gramlich, 2019).

3.2.3. Ligante

Os pigmentos empregados nas formulações de revestimento requerem a adição de ligantes, garantindo sua fixação e o preenchimento eficaz dos poros intersticiais. Na lista de ligantes comumente utilizados estão colas, amido, látex de estireno-butadieno, látex de estireno acrilato, látex de poli (acetato de vinila), poliacrilatos, gomas, proteínas tais como caseína e soja, e álcool poli vinílico (PVA). Estes ligantes auxiliam na aplicação do revestimento do papel (Lehtinen, 2000). Estudos realizados recentemente exploram o uso do látex obtidos a partir da copolimerização de enxerto de polímeros sintéticos com amido enzimaticamente modificados (Cheng; Zhao; Wu, 2018) e biolátex à base de amido (Du *et al.*, 2018) como alternativas sustentáveis e eficientes em formulações de revestimento de papel.

3.2.4. Espessante

Os espessantes desempenham um papel fundamental na modificação da reologia das soluções de revestimento, ajustando o fluxo e as propriedades de nivelamento das dispersões, garantindo uniformidade no processo de revestimento. Sua ação influencia na distribuição de tamanho e morfologia das partículas, resultando em um aumento controlado na viscosidade (Tielemans; Roose, 2008). Dentre os espessantes mais utilizados, destacam-se as dispersões intumescíveis em álcalis e os associativos poliméricos. Espessantes intumescíveis em álcalis com alto teor de grupos carboxílicos, podem reduzir a viscosidade sob altas taxas de cisalhamento, sendo esta uma característica indesejável em processos como a escovação de revestimento (Quadrat *et al.*, 2001). Em contrapartida, os espessantes a base de polímeros solúveis em água com grupamentos hidrofóbicos, foram interações tipo surfactante a partir de partículas de pigmento e ligante, gerando uma rede física que pode ser modulada pelo campo de cisalhamento (Zhang, 2001).

3.2.5. Dispersante

Formulações de revestimento utilizadas no âmbito industrial de papel e celulose são, geralmente, soluções altamente concentradas, de modo que uma camada uniforme de revestimento na superfície do papel depende de uma dispersão adequada do conteúdo sólido. Afim de se alcançar essa uniformidade, comumente são utilizadas moléculas dispersantes, que desempenham um papel crucial na modificação do potencial de superfície das partículas presentes na solução. Esses materiais, ao serem adsorvidos na superfície das partículas, geram repulsões eletrostáticas, promovendo uma estabilidade coloidal e prevenção à floculação. A redução moderada de viscosidade proporcionada pela ação dos dispersantes, possibilita o uso de formulações de revestimento altamente concentradas, o que resulta em maior eficiência energética e simplificação do processo de mistura (Lehtinen, 2000). O policarbonato de amônio e os poliácrlatos são amplamente empregados como dispersantes na estabilização de suspensões de carbonato de cálcio, devido a sua eficácia na promoção de repulsões eletrostáticas entre as partículas (Tari; Ferreira, 1998; Vorobiev; Mouroko-Mitoulou; Soua, 2004).

3.2.6. Reticulado

Os agentes reticuladores desempenham papel fundamental na não solubilização de ligantes hidrossolúveis, contribuindo conseqüentemente para a melhoria das propriedades de impressão offset em papéis, ao aumentar a resistência à coleta em condições úmidas. Normalmente são utilizados aldeídos e suas resinas amino, como a melamina-formaldeído e ureia-formaldeído, bem como resinas de glioxal, resinas epóxi e amônio. Sistemas baseados em melamina-formaldeído e ureia-formaldeído, por exemplo, operam de maneira muito eficiente em pH elevado, mesmo demandando de um tempo mais prolongado para o processo de cura (Lehtinen, 2000).

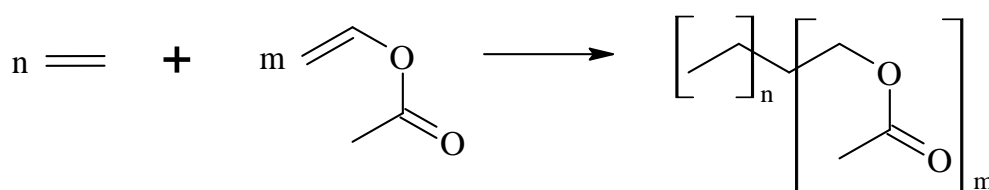
3.3. Copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA)

Nesse sentido, nanocompósitos de polímero/silicato em camadas, são amplamente estudados há muitas décadas, e representam uma classe de materiais bifásicos que apresentam propriedades significativamente aprimoradas em comparação a compósitos convencionais e aos polímeros puros. Essa melhoria provem da dispersão nanométrica das lamelas de silicato na matriz polimérica, resultando em efeitos sinérgicos que impactam propriedades mecânicas, térmicas e de barreira, o que permite a expansão de sua aplicação em diferentes áreas, como a de recobrimento de papel, por exemplo (Srivastava; Pramanik; Acharya, 2006).

Os copolímeros de poli-co-acetato de vinila (EVA) possuem significativa relevância comercial devido à sua gama de aplicações em diversos setores, incluindo isolamento térmico, revestimento e reparo de cabos, encapsulamento e impermeabilização de componentes, proteção contra corrosão, embalagens e calçados (Bhowmick; Stephens, 2001). A variabilidade no teor de acetato de vinila confere aos copolímeros características distintas, permitindo sua utilização como borrachas, elastômeros termoplásticos e plásticos, que justifica sua versatilidade industrial. Dada a grande demanda por materiais multifuncionais, os Nanocompósitos de EVA reforçados com silicatos em camadas têm recebido atenção significativa. Zanetti *et al.* (2001) e Pramanik *et al.* (2003) impulsionaram com seus estudos, uma série de investigações subsequentes a despeito do desenvolvimento inicial desses nanocompósitos (Pramanik *et al.*, 2003; Zanetti *et al.*, 2001). Esses estudos tem se concentrado na síntese e caracterização dos nanocompósitos de EVA/argila, visando aprimorar suas propriedades mecânicas, térmicas e de barreira para aplicações avançadas (Aranda; Ruiz-Hitzky, 1992; Li; Ha, 2003; Tang *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2003, 2003).

O EVA é um copolímero semicristalino pertencente à classe das poliolefinas. Sua estrutura molecular é composta por segmentos de etileno e acetato de vinila, conforme ilustrado na Figura 2. A proporção de acetato de vinila na cadeia polimérica pode variar entre 5% e 60% em massa, dependendo das propriedades físico-químicas desejadas e da aplicação final do material. Essa variação na composição influencia diretamente características como flexibilidade, resistência ao impacto, transparência e adesão, tornando o EVA um material versátil utilizado em setores como embalagens, calçados, indústria automotiva e dispositivos médicos. A cristalinidade do polímero diminui com o aumento do teor de acetato de vinila, resultando em um material mais amorfo e elastomérico (Medeiros, 2016).

Figura 2. Reação de polimerização entre o etileno e o acetato de vinila, para obtenção do copolímero etileno de acetato de vinila (EVA).



Fonte: da autora (2025)

O EVA é sintetizado por meio de um processo de polimerização em cadeia via radical livre. Esse método geralmente emprega agentes iniciadores, como oxigênio molecular ou

peróxidos orgânicos (por exemplo, peróxido de benzoflã), que se decompõem termicamente para gerar radicais livres. Esses radicais iniciam a polimerização dos monômeros de etileno e acetato de vinila, que ocorre em condições de alta temperatura e pressão controlada. A estrutura do EVA resultante apresenta ramificações alquila semelhantes às encontradas no Polietileno de Baixa Densidade (LDPE), o que confere ao material propriedades como flexibilidade e resistência ao impacto. O processo de síntese pode ser conduzido por diferentes métodos, como polimerização em solução ou em emulsão, dependendo das condições reacionais e das características desejadas no produto final. A variação do teor de acetato de vinila na cadeia polimérica permite a obtenção de uma ampla gama de produtos com propriedades distintas, como maior ou menor cristalinidade, elasticidade e adesão, adaptando-se a diversas aplicações industriais (Koopmans *et al.*, 1983; Meszlényi; Körtvélyessy, 1999).

A reação de polimerização em cadeia ocorre em três etapas fundamentais: iniciação, propagação e terminação (Figura 3).

estendendo a cadeia polimérica e formando um radical polimérico em crescimento. Essa etapa é caracterizada por uma alta velocidade e consumo constante de monômeros.

- **Terminação:** A reação de polimerização é finalizada quando dois radicais poliméricos se combinam, resultando na formação de uma ligação covalente estável e interrompendo o crescimento da cadeia. Esse processo é ilustrado na Figura 2. Diferentemente da polimerização em etapas, na polimerização em cadeia não há grupos terminais ativos ao final da reação, e a composição percentual do polímero reflete diretamente a proporção dos monômeros utilizados na síntese.

3.3.1. Reuso de materiais apreendidos pela Polícia Federal

A Polícia Federal, no exercício de suas atribuições, realiza apreensões de diversos materiais em operações que combatem crimes como contrabando, tráfico de drogas e infrações ambientais. Entre os itens frequentemente apreendidos estão produtos químicos utilizados em processos industriais, incluindo o etileno vinil acetato (EVA), um polímero amplamente empregado na fabricação de adesivos, espumas e materiais plásticos. Quando esses produtos são retidos em investigações, seu destino é definido conforme a legislação vigente, podendo ser destruídos, leiloados ou doados para instituições públicas.

No caso de substâncias e insumos químicos que não representem risco à saúde ou ao meio ambiente e que tenham potencial de reaproveitamento, a Polícia Federal pode encaminhá-los a universidades públicas e institutos de pesquisa. Essa destinação é realizada com autorização judicial e segue critérios técnicos que garantem que os materiais serão utilizados de forma segura e adequada. As universidades beneficiadas empregam esses produtos em atividades acadêmicas, pesquisas científicas e desenvolvimento de novas tecnologias, promovendo um uso socialmente responsável dos bens apreendidos.

Essa prática não apenas evita o desperdício de recursos, mas também fortalece a infraestrutura dos laboratórios acadêmicos, contribuindo para a formação de profissionais e a realização de estudos em diversas áreas da ciência. Assim, a doação de materiais químicos apreendidos pela Polícia Federal para universidades públicas representa uma importante iniciativa de aproveitamento de recursos em benefício da educação e do avanço tecnológico.

Além do reaproveitamento em atividades acadêmicas e científicas, a destinação final do etileno vinil acetato (EVA) também deve ser cuidadosamente planejada para evitar impactos ambientais. Como um polímero sintético, o EVA não é biodegradável e pode permanecer no ambiente por longos períodos se descartado de maneira inadequada. Dessa forma, é

fundamental que as universidades que recebem esse material adotem práticas sustentáveis para sua utilização e descarte.

Uma alternativa viável é a reciclagem do EVA, que pode ser triturado e reutilizado na fabricação de novos produtos, reduzindo a necessidade de produção de polímeros virgens e minimizando a geração de resíduos. Além disso, pesquisas acadêmicas podem explorar métodos inovadores para reaproveitamento desse material, como a incorporação em compósitos sustentáveis ou processos de recuperação química que permitam sua degradação controlada.

O correto gerenciamento desses resíduos faz parte da responsabilidade ambiental das instituições que recebem a doação, garantindo que o EVA não seja simplesmente descartado em aterros ou corpos d'água, onde poderia causar poluição e danos à fauna e à flora. Dessa forma, ao mesmo tempo em que contribui para a ciência e a educação, a doação de EVA apreendido também deve seguir diretrizes ambientais, promovendo um ciclo sustentável de uso e descarte desse material.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Para a obtenção do revestimento, foi utilizado copolímero de etileno acetato de vinila (EVA) apreendido pela Receita Federal da empresa Brasken e água deionizada. E como substrato celulósico, utilizou-se papel cartão comercial de gramatura 80 g m^{-2} .

4.2. Métodos

4.2.1. Recobrimento do papel

O papel cartão foi dividido em três classes, sendo estas: papel recoberto com água (C/A) a fim de simular o efeito de hornificação causado pelos ciclos de umidificação e secagem, ao qual os papéis revestidos foram submetidos, papel sem revestimento (S/A) e papel recoberto com copolímero de etileno acetato de vinila (P100). Estes foram recobertos utilizando uma Coater Piloto, a uma velocidade de aplicação de 1 m/min. , utilizando barras de aplicação sem ranhuras.

4.2.2. Avaliação da espessura

A espessura dos papeis produzidos foi determinada utilizando um micrômetro Regmed (modelo ESP/AS-10, Brasil) seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma ASTM D645-97 (2007). Para análise da gramatura, conforme a norma ASTM D646-96, foram confeccionados corpos de prova com $1,00 \times 10,00 \text{ mm}$ de diâmetro para cada tratamento. As amostras foram submetidas a secagem em estufa a 50°C por um período de 48 horas e, posteriormente, pesadas.

4.2.3. Análise de molhabilidade e ângulo de contato

A molhabilidade e o ângulo de contato dos papéis foram determinados com o auxílio de um Testador de Absorção OCA Data Physics, equipado com uma câmera CCD, fabricada pela marca Kruss, de acordo com a norma TAPPI 458 cm-14 (TAPPI-14). Para a análise, foram coletadas 3 amostras de cada tratamento do papel (com água, sem água, e 100% revestido com copolímero etileno acetato de vinila) com dimensões de $1,0 \times 10,00 \text{ mm}$, as quais foram fixadas em lâminas de vidro para garantir maior estabilidade durante as medições, que foram realizadas em quintuplicatas para cada tratamento.

Uma gota de aproximadamente $15 \mu\text{L}$ de água deionizada foi depositada sob a superfície das amostras. E o ângulo entre a gota e a superfície foi registrado após 1 segundo do contato, garantindo a reprodutibilidade das medições. A molhabilidade dos revestimentos foi calculada

com base na média dos ângulos entre 5 e 55 segundos após a deposição da gota, conforme descreve a Equação 2:

$$\text{Molhabilidade} \left(\frac{^\circ}{s} \right) = \frac{(A - a)}{55} \quad (2)$$

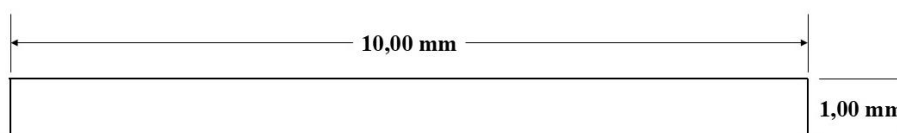
Onde:

A= média do ângulo de contato após 5s e a = média dos ângulos de contato após 60s.

4.2.4. Ensaio de tração

Foi avaliado também a tração do papel controle (S/A), papel revestido com água (C/A) e do papel revestido com EVA (P100). O ensaio foi realizado no Departamento de Ciência dos alimentos da Universidade Federal de Lavras, utilizando texturômetro (TA-XT2) (*Texture Tech Corp Scarsdale, USA*), com célula de carga de 5 kN e velocidade de teste de 0,8 mm/s. Para determinar a resistência à tração e o módulo de Young do papel controle (S/A), papel revestido com água (C/A) e do papel revestido com EVA (P100) foram analisadas amostras com proporções conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4. Modelo das amostras confeccionadas para o ensaio de tração.



Fonte: da autora (2025)

4.2.5. Caracterização morfológica do papel cartão controle e dos papéis revestidos por microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia da superfície e da seção transversal dos papéis foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) utilizando um microscópio STEM – FEG, modelo CLARA – TESCAN (Oberkochen, Alemanha), disponível no Laboratório de Análise Microestrutural (LME) da Universidade Federal de Lavras. Os corpos de prova foram fraturados em nitrogênio líquido e fixados em stubs com auxílio de fitas de carbono. Para garantir a condutividade elétrica adequada e a obtenção de imagens de alta resolução, as amostras foram previamente submetidas a um revestimento de ouro por meio da técnica de pulverização catódica (sputtering). Foram obtidas micrografias da superfície e seção transversal dos papéis.

4.2.6. Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A análise FTIR foi realizada em modo de transmitância, com valores medidos em uma faixa de 4000 e 500 cm^{-1} e resolução de 2 cm^{-1} , com 64 varreduras. Os espectros foram determinados utilizando um espectrofotômetro Nicolet 470 Nexus.

4.2.7. Determinação das propriedades de barreira ao vapor d'água

As taxas de transmissão de vapor de água (TPVA) e permeabilidade ao vapor de água (PVA) foram determinadas conforme a norma ASTM E96/E96M-16 (2016), seguindo a metodologia descrita por Guimarães Jr. *et al.* (2015). Para a análise, foram confeccionados corpos de prova com 16 mm de diâmetro, os quais foram acoplados a células de permeação preenchidas com sílica. As células foram posteriormente acondicionadas em um ambiente contendo solução salina saturada de KCl, com umidade relativa controlada de 90% a 38 °C. As variações de massa das amostras foram monitoradas ao longo de um período de 8 dias, sendo os resultados expressos como a média de cinco repetições para cada tratamento (Guimarães *et al.*, 2015). A TPVA e a permeabilidade ao vapor de água (PVA) foram calculadas com base nas Equações (3) e (4) descritas a seguir:

$$TPVA = \frac{w}{t \cdot A} \quad (3)$$

Onde:

TPVA = taxa de permeabilidade ao vapor de água; w = massa (g) da célula medida; t = tempo (h); A = área exposta do filme (m). A relação w/t será calculada por regressão linear dos pontos experimentais de ganho de massa (g) do filme em função do tempo em horas.

$$PVA = \frac{wTPVA \cdot e}{p \cdot (URf - URd)} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

PVA = permeabilidade ao vapor d'água; TPVA = taxa de permeabilidade ao vapor d'água; e = espessura do filme (mm) na célula de medida; p = pressão de vapor de água (2,07 kPa) e URf – URd é a diferença de umidade dentro e fora do recipiente a 25 °C.

4.2.8. Propriedade de barreira ao óleo

A resistência a óleo foi avaliada de acordo com o método T 559 cm-12 da TAPPI Neste método, amostras de papel cartão com diferentes tipos de revestimento foram submetidas a

testes utilizando soluções de kit de óleo, que variam de 1 a 12. Essas soluções são compostas por proporções específicas de três reagentes: óleo de mamona, tolueno e n-heptano. O kit 1 consistia exclusivamente de óleo de mamona, enquanto o kit 12 apresentava uma combinação de tolueno e n-heptano, caracterizada pela menor energia superficial entre as soluções testadas.

Durante o teste, uma gota da solução do kit foi aplicada à superfície do papel a uma altura de 13 mm. Após 15 segundos, o excesso de óleo foi removido. A resistência ao óleo foi determinada com base no kit de óleo que permaneceu na superfície do papel sem ser absorvido. Um papel que resistiu ao kit 12 demonstrou possuir um revestimento altamente resistente a óleo, indicando uma excelente barreira contra substâncias oleosas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Avaliação de espessuras

A espessura dos tratamentos P100, C/A e S/A foram avaliadas em quintuplicata conforme ilustra a Tabela 1.

Tabela 1. Análise de espessura do papel revestidos 100% com copolímero de etileno vinila (P100), papel revestido com água (C/A) e papel sem água (S/A).

| Tratamento | Média (mm) | Desvio Padrão |
|------------|-------------------|---------------|
| P100 | $0,435 \pm 0,003$ | 0,040 |
| C/A | $0,403 \pm 0,002$ | 0,002 |
| S/A | $0,396 \pm 0,002$ | 0,002 |

Fonte: da autora (2025)

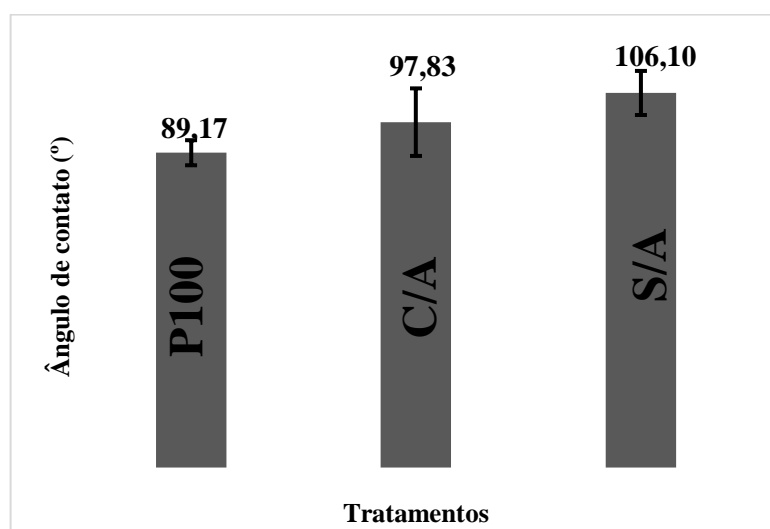
Pode-se notar que o tratamento P100 apresentou maior espessura, o que era esperado visto que o EVA é formado pela polimerização do etileno (C_2H_4) e do acetato de vinila ($C_2H_6O_2$), e sua viscosidade está diretamente relacionada à sua estrutura química e suas interações intermoleculares dentro do material fundido. Quanto maior a cadeia polimérica do EVA, maior a resistência ao fluxo, o que resulta numa alta viscosidade, isso também explica seu alto valor de desvio padrão. Fluidos mais viscosos tendem a formar camadas mais espessas e resistem mais ao escoamento, enquanto fluidos menos viscosos formam camadas mais finas e fluem com maior facilidade. Comparando o tratamento C/A e o S/A, verificou-se que o tratamento C/A apresentou maior espessura, que pode ser explicada pela interação química entre as fibras de celulose e a água. A espessura do papel aumenta quando molhado porque a água quebra ligações de hidrogênio entre as fibras de celulose e se liga às moléculas de celulose,

aumentando o espaçamento entre as fibras, causando inchação e expansão do papel, tornando-o temporariamente mais espesso. A hornificação ocorre devido à reestruturação das fibras de celulose após a secagem, tornando o papel menos absorvente e mais rígido. Esse efeito impacta processos como reciclagem de papel e resistência mecânica de produtos celulósicos.

5.1. Análise de molhabilidade e ângulo de contato

O teste de ângulo de contato é um método utilizado para avaliar a hidrofobicidade e molhabilidade de uma superfície por um líquido, ou seja, a forma como o líquido se espalha ou se mantém em gotas sobre essa superfície. Neste sentido, o resultado da interação da água com a superfície dos papéis revestido 100% com EVA (P100), controle (S/A) e revestido com água (C/A) está representado pela Figura 5.

Figura 5. Valores médios e desvio padrão do ângulo de contato da água com os papéis controle (S/A), revestido com água (C/A) e revestido 100 % com EVA (P100).



Fonte: da autora (2025)

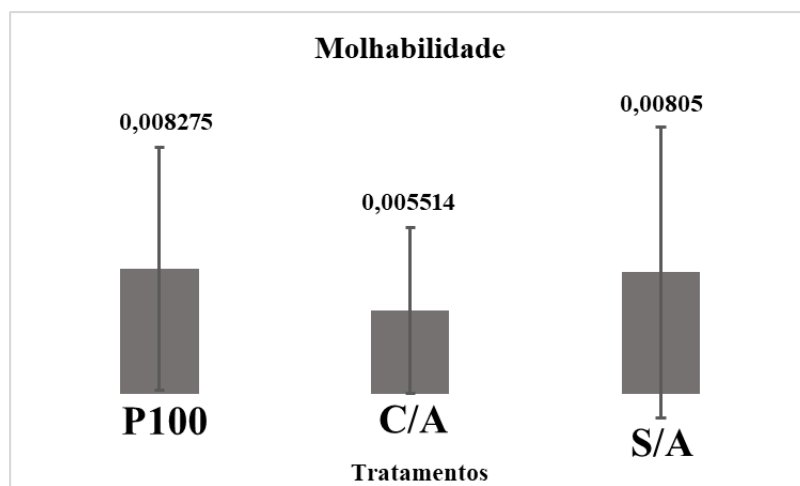
A incorporação do copolímero de etileno acetato de vinila (EVA) diminuiu o ângulo de contato de P100, enquanto os valores para o papel cartão controle (S/A) e revestido com água (C/A) foram maiores. No papel cartão sem revestimento, normalmente, as fibras de celulose têm afinidade com a água, mas a presença de aditivos ou a compactação da estrutura podem aumentar sua hidrofobicidade. O EVA pode atuar de diversas maneiras para melhorar as propriedades de barreira do papel. Isso ocorre porque este é um copolímero com características que incluem flexibilidade, adesão, resistência a umidade e propriedades térmicas. Ainda assim, o papel recoberto 100% com EVA apresentou ângulo de contato menor, e algumas razões podem explicar isso, como por exemplo o modo como o copolímero foi aplicado, podendo ter

havido a formação de uma superfície menos homogênea ou com maior rugosidade, conforme observado pelo teste de MEV, permitindo assim um maior espalhamento da água, hipótese essa que pode ser confirmada pelo coeficiente de variação apresentada pelo P100 na avaliação de espessura. Além disso, a proporção de acetato de vinila no EVA influencia suas propriedades de superfície, onde um alto teor deste componente (>40%), pode aumentar maior afinidade pela água, tornando-o muito polar. (Cui; Paul, 2011; Passos *et al.*, 2011; Preston *et al.*, 2004; Valentim; Tavares; Silva, 2014).

Valores reduzidos para ângulo de contato (inferiores a 90°) indicam que o material possui alta afinidade com a fase líquida, caracterizando-o como hidrofílico e favorecendo o espalhamento da gota sobre sua superfície. Por outro lado, ângulos de contato superiores a 90° sugerem baixa interação entre o líquido e o sólido, classificando o material como hidrofóbico e resultando em menor extensão do espalhamento da gota. Além disso menores valores de ângulo de contato permitem interação com outros polímeros de revestimento, colas e adesivos, bem como favorecem a printabilidade (Mascarenhas *et al.*, 2022). Portanto, dos 3 corpos de prova testados apresentaram características hidrofóbicas os tratamentos C/A e S/A e apresentou característica hidrofílica o P100.

A molhabilidade de uma superfície é a capacidade de um líquido em manter a adesão a ela, sendo quantitativamente avaliada pelo ângulo de contato formado entre a interface líquido-sólido e a interface líquido vapor. Desta forma, os resultados do teste de molhabilidade estão descritos pela Figura 6.

Figura 6. Valores médios e desvio padrão de molhabilidade dos papéis controle (S/A), revestido com água (C/A) e revestido 100 % com EVA (P100) por 60 segundos.



Fonte: da autora (2025)

De maneira análoga ao ângulo de contato o papel revestido com EVA 100% (P100) apresentou um valor elevado de molhabilidade, quando comparado com o papel revestido com água (C/A). Ao se comparar o papel revestido com água (C/A) e o papel controle sem revestimento (S/A), observa-se um valor de molhabilidade de C/A menor do que do S/A, isso porque o S/A possui uma estrutura mais porosa, com mais espaços vazios, podendo prender mais líquido. O P100, possivelmente possui um teor maior que 40% de acetato de vinila, o que aumenta sua polaridade, tornando sua superfície mais hidrofílica, o que conseqüentemente, aumentou sua afinidade com a água ao longo do tempo. Isso ocorre porque a presença de grupos ésteres no acetato de vinila, favorece interações intermoleculares, como ligações de hidrogênio com moléculas de água.

5.2. Ensaio de tração

A Tabela 2 mostra as propriedades mecânicas dos papeis P100, C/A e S/A obtidas no ensaio de tração. Conforme mostrado na Tabela 2, não foram observadas diferenças significativas para a resistência à tração, quando se compara as três amostras, portanto o recobrimento não afetou a resistência mecânica do papel cartão quando exposto à uma força externa. Ao comparar-se o MOE destas amostras, nota-se que para o P100 o valor é relativamente menor, confirmando o comportamento viscoelástico do EVA, ou seja, quando aplicada uma carga, uma parte da energia é armazenada elasticamente e a outra parte é dissipada como calor devido a viscosidade, que persiste após a remoção da carga, impedindo que o material retorne completamente à sua forma original. Observando os valores de MOE para o C/A e o S/A, nota-se que o papel cartão tem uma alta capacidade de retornar à sua forma original após a remoção da carga, em comparação com o P100, devido as suas características estruturais e mecânicas que, confirma-se ainda, que pelo papel ser composto por fibras de celulose compactadas, este tem uma estrutura rígida e densa, o que confere uma resistência maior para os papeis cartão sem tratamento, por conta da forte ligação entre as fibras e a compactação durante o processo de fabricação. Ao se comparar o C/A e o S/A, nota-se que tanto a resistência quanto o MOE são menores entre si, uma vez que a absorção de água enfraquece as ligações intermoleculares, atuando como um plastificante, tornando as fibras mais flexíveis e menos resistentes. Porém, o fim da região onde o material passa de deformação elástica para a plástica (LOP) para o C/A foi maior do que os demais, visto que a água enfraquece as fibras de celulose e reduz a rigidez.

Tabela 2. Resistência à tração, limite de proporcionalidade (LOP) e módulo de elasticidade (MOE)

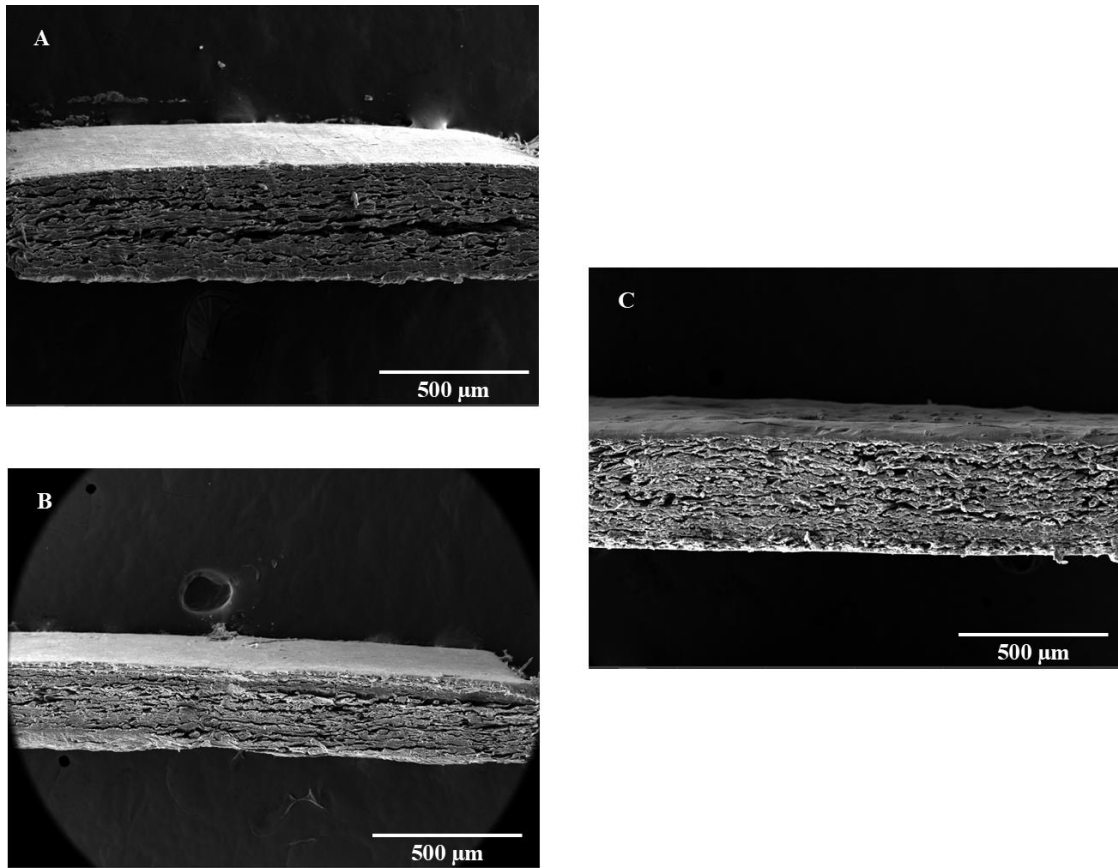
| Amostra | Resistência corrigida (MPa) | LOP (Mpa) | MOE (Mpa) |
|----------------|------------------------------------|------------------|------------------|
| P100 | 5,61 ± 0,33 | 2,36 ± 0,19 | 393,88 ± 12,73 |
| C/A | 5,67 ± 0,75 | 3,02 ± 0,25 | 401,52 ± 14,18 |
| S/A | 5,95 ± 0,32 | 2,43 ± 0,43 | 423,98 ± 20,07 |

Fonte: da autora (2025)

5.3. Caracterização morfológica do papel cartão controle e dos papéis revestidos por microscopia de varredura eletrônica (MEV)

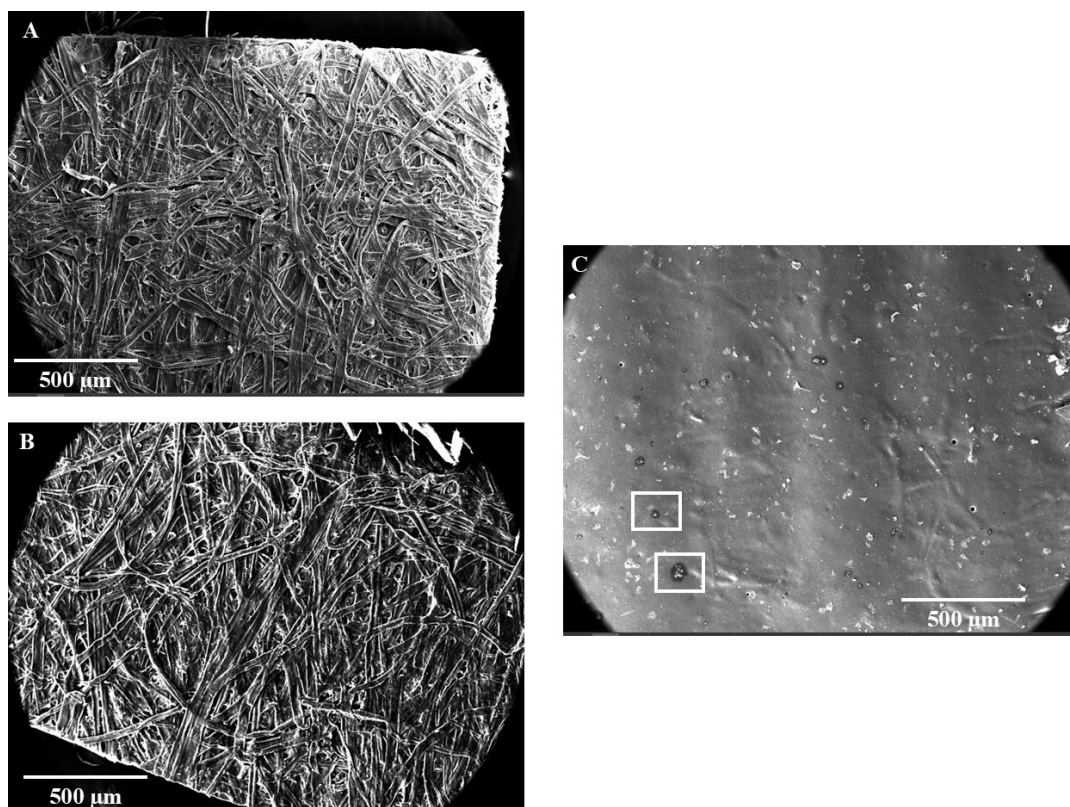
As micrografias da seção transversal e de superfície (Figura 7 e 8), apontaram a presença de muitos espaços vazios no corpo do papel controle (A), espaços estes que foram diminuídos com o recobrimento de água (B), pois as fibras de celulose possuem grupamentos hidroxilas (-OH) em sua estrutura. Esses grupos são polares e tem alta afinidade com a água, facilitando a absorção de moléculas de água. Ao entrar em contato com a água, a celulose se liga aos grupamentos hidroxilas por meio de ligações de hidrogênio, dessa forma, as fibras absorvem água e se expandem, diminuindo a rigidez e a resistência mecânica do papel cartão, confirmando que este se torna mais flexíveis e menos estáveis. De maneira semelhante, o papel revestido com EVA (C), teve uma diminuição nos espaços vazios devido as propriedades físicas e ao comportamento do EVA durante o processo de revestimento. Quando aplicado, o este material consegue facilmente preencher alguns destes espaços, forma uma camada contínua e adere às fibras, melhorando suas propriedades mecânicas e de resistência, mas este evidenciou a ocorrência de pequenas fissuras no revestimento aplicado, derivados do processo de cura.

Figura 7. Micrografias de MEV da seção transversal: a) papel controle, b) papel revestido com água e c) papel revestido com EVA.



Fonte: da autora (2025)

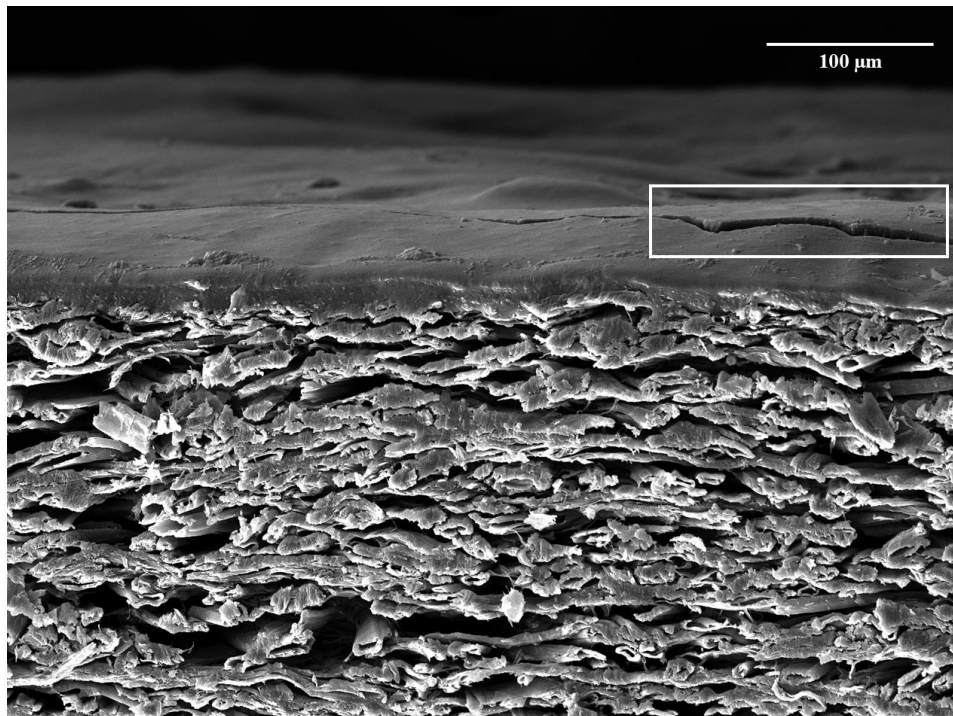
Figura 8. Micrografias de MEV da superfície: a) papel controle, b) papel revestido com água e c) papel revestido com EVA.



Fonte: da autora (2025)

A seção transversal do papel revestido com EVA (Figura 9) ainda revela detalhes previstos pela avaliação de espessura, que fez uma previsão a respeito da linearidade da superfície. A Figura 9 revela que a superfície do papel cartão revestido com EVA apresentou irregularidades, confirmando que, o copolímero de EVA aplicado possuía grande quantidade de acetato de vinila presente em sua composição, dessa forma, se comporta de maneira semelhante ao polietileno, aumentando sua viscosidade (Azevedo; Chávez; Rabello, 2011). A Figura 9 ainda revela que o revestimento apresentou rachaduras, o que aumenta a possibilidade de a água passar para o papel cartão, mas também confirma a adesão do recobrimento sobre a superfície do papel cartão.

Figura 9. Micrografia de MEV da seção transversal do papel cartão revestido com EVA.

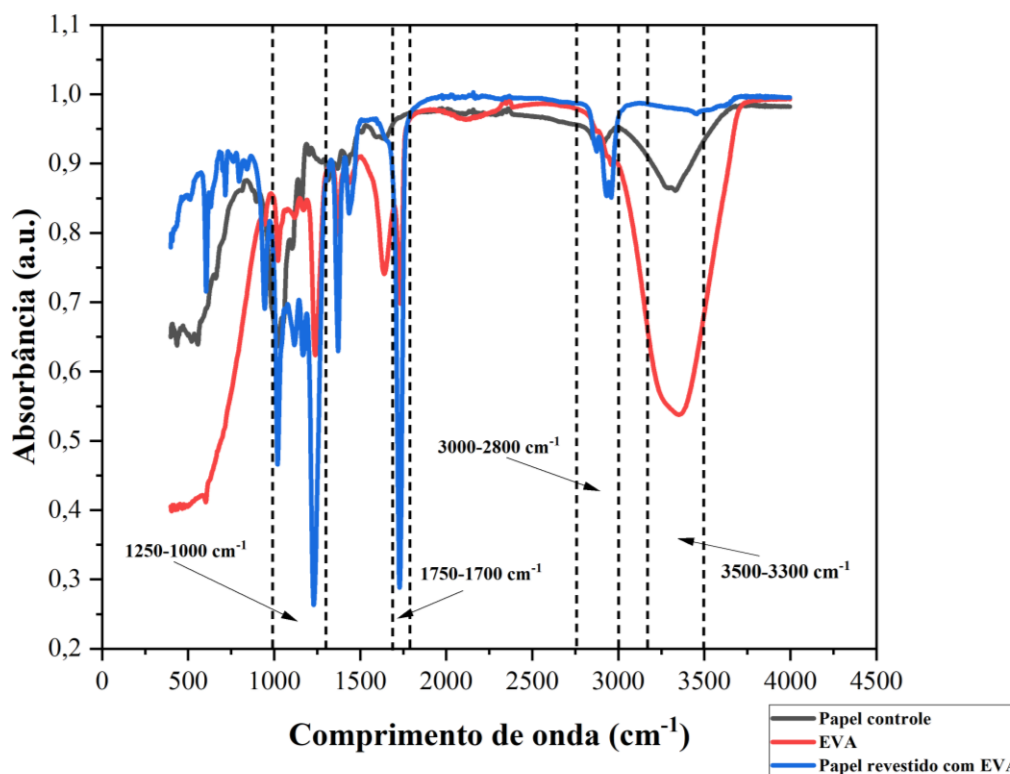


Fonte: da autora (2025)

5.4. Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Os resultados obtidos a partir do FTIR estão reunidos na Figura 10.

Figura 10. Espectros de FTIR comparativos do papel cartão controle, EVA e papel cartão revestido com EVA.



Fonte: da autora (2025)

Para o papel controle observou-se uma absorção na região entre 3500 e 3300 cm^{-1} , atribuída ao alongamento vibracional das ligações -OH presentes na estrutura da celulose (Lopes *et al.*, 2018). O EVA também apresentou absorção na mesma região (entre 3500 e 3300 cm^{-1}), mas neste caso, está associada à vibração de estiramento da ligação -OH, pela possível presença de pequenas quantidades de ácido acético que são gerados como resíduo na hidrólise do grupo acetato, presente na unidade vinil acetato no EVA, além disso, o EVA pode apresentar interações de hidrogênio entre os grupos acetato e moléculas de água provenientes de umidade absorvidas, o que intensifica a absorção nessa faixa. Ao se comparar os três espectros, o papel cartão revestido com EVA, ainda há uma vibração nesta faixa, porém em menor intensidade, devido a cobertura do EVA, que reduz a exposição da celulose à umidade.

Na faixa entre 3000 e 2800 cm^{-1} para o EVA e para o papel revestido com EVA pode-se observar bandas características das vibrações de estiramento das ligações -CH de grupamentos metila e metileno do esqueleto do etileno do EVA. Já para o papel controle, pode-se observar uma vibração de uma banda fraca na faixa entre 2900 e 2800 cm^{-1} , indicando

estiramentos de ligações -CH da celulose e de eventuais resíduos de compostos orgânicos presentes no papel.

Na faixa situada entre 1750 e 1700 cm^{-1} , para o papel controle, há uma pequena absorção que pode ser relacionada à presença de grupos carbonila -C=O, possivelmente proveniente de aditivos utilizados na produção do papel ou de produtos de degradação. Nesta região, para o espectro do EVA e para o papel revestido com EVA, observa-se um pico que sugere a presença de grupos carbonila -C=O, característicos do grupo acetato do EVA, mas para o papel recoberto, essa banda apresenta-se de forma mais intensa devido ao recobrimento polimérico.

Entre 1250 e 1000 cm^{-1} , para o papel cartão sem revestimento, observa-se múltiplas absorções, que são típicas das vibrações de estiramento -COC e de grupos hidroxilas -OH da celulose, confirmando a presença da celulose, e sua composição principal como um polissacarídeo (Qin *et al.*, 2021). Para o EVA, os picos nesta região, são típicos de estiramentos -COC, indicando a presença de ligações ésteres da unidade vinil acetato, confirmando as principais características estruturais deste material (Terui; Hirokawa, 1994). Para o papel revestido com o EVA, os picos desta região indicam as vibrações -COC, sendo uma sobreposição de sinais tanto da celulose quanto do EVA, e a presença de bandas intensas sugere a contribuição dos grupos ésteres do vinil acetato, confirmando a presença do EVA sobre o papel cartão.

5.5. Determinação das propriedades de barreira ao vapor d'água

Na Tabela 3, estão reunidos os valores obtidos para a taxa de permeabilidade ao vapor d'água (TPVA) e a permeabilidade ao vapor d'água (PVA), tanto para as amostras de papel cartão referência (S/A), quanto para o papel revestido com água (C/A) e para o papel revestido com EVA (P100). Esses parâmetros foram determinados com base em ensaios padronizados, que avaliam a capacidade dos materiais de resistir à transferência de umidade em condições controladas. Os resultados permitem comparar a eficiência do revestimento fornecendo dados sobre a barreira à umidade proporcionada.

Tabela 3. Valores médios de TPVA e PVA encontrados para os tratamentos estudados

| Tratamento | TPVA (g/m ² .dia) PVA (g.mm/dia.m ² .kPa) | |
|-------------|---|--------------|
| | Média | Média |
| P100 | 670,19 ± 29,67 | 50,77 ± 2,25 |
| C/A | 1019,09 ± 51,09 | 71,52 ± 3,59 |
| S/A | 1058,22 ± 59,69 | 72,98 ± 4,12 |

Fonte: da autora (2025)

Quando avaliado o papel controle (S/A) e o papel revestido com água (C/A), os valores de TPVA e PVA foram maiores, devido a afinidade da celulose com a água. A celulose é um polímero natural formado por unidades de β -D-glicose unidas por ligações β -1,4-glicosídicas, possuindo, portanto, muitos grupamentos hidroxilas ao longo de sua cadeia polimérica. Esses grupamentos permitem ligações de hidrogênio tanto entre as próprias cadeias de celulose quanto com as moléculas de água do ambiente. Isso pode demonstrar que, possivelmente, o papel cartão utilizado possuía muitas regiões amorfas, abrangendo muitos espaços para os vapores d'água. O TPVA mede a quantidade de vapor d'água que passa através de uma área específica do material em um determinado tempo, portanto, tão embora, os testes de molhabilidade apontaram para um baixo desempenho do papel para melhoria de propriedade de barreira em relação a água, o teste de determinação das propriedades de barreira ao vapor d'água, indicam que o papel revestido com EVA tem um desempenho mais desenvolvido, quando colocado em contato com o vapor de água, em relação ao tempo de exposição, como demonstram os valores apresentados de TPVA deste material. Porém, o PVA reflete a permeabilidade intrínseca do material, independente da espessura, sendo uma propriedade do material em si. Desta forma, se comparando o P100 com os demais papeis (C/A e S/A), tem-se a comprovação de que, o papel revestido com EVA, de fato, não possui um bom desempenho quando colocado em contato com água, devido ao seu valor baixo de PVA. Um baixo valor de PVA também indica bom desempenho, pois reflete menor passagem de vapor pelo papel. Além das interações com a molécula de água, o PVA também está relacionado à porosidade do material. Logo, se o EVA determinou um recobrimento homogêneo e coeso, preenchendo os poros entre as fibras do papel, pode ser uma justificativa para melhor desempenho no ensaio de TPVA e PVA.

5.6. Propriedade de barreira de óleo

A Tabela 4 reúne o resultado obtido a partir do teste de barreira do óleo utilizando o Kit 12. Podemos observar que o P100 foi resistente a solução máxima (solução 12 do kit). Apesar de sua natureza apolar, como dito no item 4.2, a proporção de acetato de vinila no EVA proporciona mudanças nas suas propriedades de superfície, portanto, através deste teste, pode-se inferir, que o EVA utilizado no tratamento do P100 possui um teor maior que 40% de acetato de vinila em sua composição, o que o torna muito polar, aumentando a propriedade de barreira deste material em relação ao óleo, uma vez que este é apolar. Já S/A e C/A não apresentaram resistência ao teste de barreira a óleo para nenhuma solução do kit, pois o papel é um material poroso e fibroso, permitindo o espalhamento de líquidos, e sem um revestimento, não há como

bloquear o espalhamento do óleo fisicamente, ainda que o papel seja revestido com água, pois está apenas gera o inchaço das fibras, e não cria uma camada física protetora.

Tabela 4. Resistência à óleo.

| Amostra | Resistência |
|----------------|--------------------|
| P100 | Máxima |
| C/A | Sem resistência |
| S/A | Sem resistência |

Fonte: da autora (2025)

6 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a aplicação do revestimento com o copolímero de etileno de acetato de vinila feita de maneira eficaz, no entanto, a porcentagem de acetato de vinila, tornou o material mais amorfo e mais viscoso, o que causou imperfeições na superfície do papel. Ainda, podemos inferir que o alto teor deste composto conferiu ao EVA um baixo desempenho quando se diz respeito a propriedade de barreira de água, visto que este alto teor torna o material mais polar, assim como a água, onde além de o papel cartão possuir propriedades físicas que permitem o espalhamento de líquidos, a polaridade também influencia nesta situação. Entretanto, ter um menor ângulo de contato, como foi para o P100 confere ao material uma boa interação com outros componentes como colas, adesivos, tinta de impressora e outros polímeros.

A maior polaridade conferida pelo acetato de vinila, possibilitou uma excelente desenvoltura ao que se diz respeito a propriedade de barreira à óleo. Por fim, um papel cartão revestido com copolímero de etileno de acetato vinílico com altas propriedades de barreira de óleo são essenciais na indústria alimentícia, para produtos oleosos e gordurosos (manteiga e banha de porco), alimentos prontos congelados (empanados e pizzas); na indústria de cosméticos para maquiagem; na indústria farmacêuticas para suplementos; na indústria química para graxas e produtos de limpeza entre outras.

REFERÊNCIAS

- AL-TURAIIF, H. Surface coating properties of different shape and size pigment blends. **Progress in Organic Coatings**, [s. l.], v. 65, n. 3, p. 322–327, 2009.
- APCO. **Australian Packaging Consumption And Recycling Data 2019-20**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://documents.packagingcovenant.org.au/public-documents/Australian%20Packaging%20Consumption%20And%20Recycling%20Data%2019-20>. Acesso em: 9 jan. 2025.
- ARANDA, P.; RUIZ-HITZKY, E. Poly(ethylene oxide)-silicate intercalation materials. **Chemistry of Materials**, [s. l.], v. 4, n. 6, p. 1395–1403, 1992.
- AZEVEDO, J. B.; CHÁVEZ, M. A.; RABELLO, M. S. Efeito de reticulante na morfologia e propriedades físico-mecânicas de espumas poliméricas obtidas com EVA e EPDM. **Polímeros**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 407–414, 2011.
- BARDET, R.; BRAS, J. Cellulose Nanofibers and Their Use in Paper Industry. *In*: OKSMAN, K. *et al.* **Materials and Energy**. [S. l.]: WORLD SCIENTIFIC, 2014. v. 5, p. 207–232. Disponível em: http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789814566469_0013. Acesso em: 10 jan. 2025.
- BHOWMICK, A. K.; STEPHENS, H. L. (org.). **Handbook of elastomers**. 2. ed., rev.expandeded. New York Basel: Marcel Dekker, 2001. (Plastics engineering, v. 61).
- CEPI. **KEY STATISTICS 2023 European pulp & paper industry**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2024/09/Key-Statistics-2023-FINAL-2.pdf>. Acesso em: 9 jan. 2025.
- CHENG, Z. *et al.* Fundamental Understanding and Facing Challenges in Structural Design of Porous Si-Based Anodes for Lithium-Ion Batteries. **Advanced Functional Materials**, [s. l.], v. 33, n. 26, p. 2301109, 2023.
- CHENG, S.; ZHAO, Y.; WU, Y. Surfactant-free hybrid latexes from enzymatically hydrolyzed starch and poly(butyl acrylate-methyl methacrylate) for paper coating. **Progress in Organic Coatings**, [s. l.], v. 118, p. 40–47, 2018.
- CUI, L.; PAUL, D. R. Polymer Nanocomposites from Organoclays: Structure and Properties. **Macromolecular Symposia**, [s. l.], v. 301, n. 1, p. 9–15, 2011.
- DU, Y. *et al.* The influence of starch-based bio-latex on microstructure and surface properties of paper coating. **Progress in Organic Coatings**, [s. l.], v. 116, p. 51–56, 2018.
- FERREIRA, D.; SILVA, P.; MADEIRA, T. F. EMBALAGENS VERDES: CONCEITOS, MATERIAIS E APLICAÇÕES. **Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação**, [s. l.], v. 1, n. 2, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unespar.edu.br/index.php/raei/article/view/2780>. Acesso em: 7 jan. 2025.

GIGAC, J. *et al.* THE EFFECT OF BASE PAPER PROPERTIES ON INKJET PRINT QUALITY. **WOOD RESEARCH**, [s. l.], v. 59, n. 5, p. 717–730, 2014.

GUIMARÃES, M. *et al.* Preparation of Cellulose Nanofibrils from Bamboo Pulp by Mechanical Defibrillation for Their Applications in Biodegradable Composites. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, [s. l.], v. 15, n. 9, p. 6751–6768, 2015.

HOWARD, K. W.; HODGSON, K. T. Influence of pigment packing behavior on the adhesive requirements of aqueous paper coatings. **Journal of Coatings Technology and Research**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 237–245, 2015.

HUBBE, M. A.; GILL, R. A. Fillers for Papermaking: A Review of their Properties, Usage Practices, and their Mechanistic Role. **BioResources**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 2886–2963, 2016.

JAKUBOWSKA, E. *et al.* Development and characterization of active packaging films based on chitosan, plasticizer, and quercetin for repassed oil storage. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 399, p. 133934, 2023.

KOOPMANS, R. J. *et al.* Reactivity differences between isolated and vicinal vinyl acetate functions in high pressure ethylene/vinyl acetate copolymers. **European Polymer Journal**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 165–169, 1983.

KUMAR, N. *et al.* Synthesis and application of calcium sulphate pigment for paper coating: Potential and prospects. **Powder Technology**, [s. l.], v. 218, p. 40–45, 2012.

LEE, H.-K.; JOYCE, M. K.; FLEMING, P. D. Influence of Pigment Particles on Gloss and Printability for Inkjet Paper Coatings. **NIP & Digital Fabrication Conference**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 934–939, 2004.

LEHTINEN, E. (org.). **Pigment coating and surface sizing of paper**. Helsinki: Fapet Oy, 2000. (Papermaking science and technology / series ed.: Johan Gullichsen, v. 11).

LI, X.; HA, C. Nanostructure of EVA/organoclay nanocomposites: Effects of kinds of organoclays and grafting of maleic anhydride onto EVA. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 87, n. 12, p. 1901–1909, 2003.

LOPES, T. A. *et al.* The effect of surface modifications with corona discharge in pinus and eucalyptus nanofibril films. **Cellulose**, [s. l.], v. 25, n. 9, p. 5017–5033, 2018.

MASCARENHAS, A. R. P. *et al.* Association of cellulose micro/nanofibrils and silicates for cardboard coating: Technological aspects for packaging. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 188, p. 115667, 2022.

MEDEIROS, M. **Investigação dos efeitos radiolíticos no poli (etileno-co-acetatp de vinila) (EVA)**. 2016. 61 f. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Recife - PE, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/19066>.

MESZLÉNYI, G.; KÖRTVÉLYESSY, G. Direct determination of vinyl acetate content of ethylene-vinyl acetate copolymers in thick films by infrared spectroscopy. **Polymer Testing**, [s. l.], v. 18, n. 7, p. 551–557, 1999.

NORDAHL, S. L. *et al.* Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 57, n. 6, p. 2235–2247, 2023.

PASSOS, A. A. *et al.* Obtenção de nanocompósito de EVA/sílica e caracterização por ressonância magnética nuclear no estado sólido. **Polímeros**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 98–102, 2011.

PRAMANIK, M. *et al.* EVA/clay nanocomposite by solution blending: Effect of aluminosilicate layers on mechanical and thermal properties. **Macromolecular Research**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 260–266, 2003.

PRESTON, C. M. L. *et al.* Evaluation of polar ethylene copolymers as fire retardant nanocomposite matrices. **Polymer Degradation and Stability**, [s. l.], v. 84, n. 3, p. 533–544, 2004.

QIN, D. *et al.* Ultra-high gas barrier and enhanced mechanical properties of corn cellulose nanocomposite films filled with graphene oxide nanosheets. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, [s. l.], v. 2, p. 100066, 2021.

QUADRAT, O. *et al.* Thickening of butyl acrylate/styrene/2-hydroxyethyl methacrylate/acrylic acid latices with an HEUR associative thickener. **Progress in Organic Coatings**, [s. l.], v. 42, n. 1–2, p. 110–115, 2001.

RASTOGI, V.; SAMYN, P. Bio-Based Coatings for Paper Applications. **Coatings**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 887–930, 2015.

REICHERT, C. L. *et al.* Bio-Based Packaging: Materials, Modifications, Industrial Applications and Sustainability. **Polymers**, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 1558, 2020.

ROBERTSON, G. L. **Food Packaging: Principles and Practice, Third Edition**. 3rd eded. Hoboken: CRC Press, 2012.

ROJAS-LEMA, S. *et al.* The effect of pine cone lignin on mechanical, thermal and barrier properties of faba bean protein films for packaging applications. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 339, p. 111282, 2023.

SAND, A.; TOIVAKKA, M.; HJELT, T. Influence of colloidal interactions on pigment coating layer structure formation. **Journal of Colloid and Interface Science**, [s. l.], v. 332, n. 2, p. 394–401, 2009.

SANTOS, A. D. A. D. *et al.* Evaluation of paper coated with cationic starch and carnauba wax mixtures regarding barrier properties. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 203, p. 117177, 2023.

SIMPSON, F. O. Recent trends in mortality at the Dunedin Hypertension Clinic. **Drugs**, [s. l.], v. 11 SUPPL 1, p. 45–47, 1976.

SINGHAL, A. K. *et al.* Calcium sulphate as pigment for improved functional properties of coated paper. **Progress in Organic Coatings**, [s. l.], v. 79, p. 31–36, 2015.

SOBHANI, Z.; PALANISAMI, T. Emerging contaminants in organic recycling: Role of paper and pulp packaging. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 215, p. 108070, 2025.

SOUSA, S. *et al.* Influence of Binders on Inkjet Print Quality. **Materials Science**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 55–60, 2014.

SRIVASTAVA, S. K.; PRAMANIK, M.; ACHARYA, H. Ethylene/vinyl acetate copolymer/clay nanocomposites. **Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 471–480, 2006.

SUN, D.-W. **Handbook of frozen food processing and packaging**. Boca Raton (Fla.): CRC press, 2012. (Contemporary food engineering).

TANG, Y. *et al.* Influence of organophilic clay and preparation methods on EVA/montmorillonite nanocomposites. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 91, n. 4, p. 2416–2421, 2004.

TAPPI T 559 cm-12, 2012, Grease Resistance Test for Paper and Paperboard. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Peachtree Corners, GA, United States.

TARI, G.; FERREIRA, J. M. F. Colloidal processing of calcium carbonate. **Ceramics International**, [s. l.], v. 24, n. 7, p. 527–532, 1998.

TERUI, Y.; HIROKAWA, K. Fourier transform infrared emission spectra of poly(vinyl acetate) enhanced by the island structure of gold. **Vibrational Spectroscopy**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 309–314, 1994.

TIELEMANS, M.; ROOSE, P. Study of the rheology of aqueous radiation curable polyurethane dispersions modified with associative thickeners. **Progress in Organic Coatings**, [s. l.], v. 63, n. 2, p. 182–188, 2008.

VALENTIM, A. C. S.; TAVARES, M. I. B.; SILVA, E. O. D. Effect of adding TiO₂ to ethylene vinyl acetate copolymer on the latter's thermal properties and crystallinity. **Química Nova**, [s. l.], v. 37, n. 2, 2014. Disponível em: https://quimicanova.s bq.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=11&nomeArquivo=v37n2a11.pdf. Acesso em: 20 fev. 2025.

VOROBIEV, E.; MOUROKO-MITOULOU, T.; SOUA, Z. Precoat filtration of a deflocculated mineral suspension in the presence of a dispersant. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [s. l.], v. 251, n. 1–3, p. 5–17, 2004.

XUE, X.; SONG, G.; CHANG, C. Tough all-polysaccharide hydrogels with uniaxially/planarly oriented structure. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 288, p. 119376, 2022.

YOO, S. *et al.* Utilization of calcium carbonate particles from eggshell waste as coating pigments for ink-jet printing paper. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 100, n. 24, p. 6416–6421, 2009.

ZANETTI, M. *et al.* Synthesis and thermal behaviour of layered silicate–EVA nanocomposites. **Polymer**, [s. l.], v. 42, n. 10, p. 4501–4507, 2001.

ZHANG, L.-M. Cellulosic associative thickeners. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 1–10, 2001.

ZHANG, W. *et al.* Effects of different kinds of clay and different vinyl acetate content on the morphology and properties of EVA/clay nanocomposites. **Polymer**, [s. l.], v. 44, n. 26, p. 7953–7961, 2003.

ZHU, Y.; BOUSFIELD, D.; GRAMLICH, W. M. The influence of pigment type and loading on water vapor barrier properties of paper coatings before and after folding. **Progress in Organic Coatings**, [s. l.], v. 132, p. 201–210, 2019.

ZOU, Y. *et al.* The effect of pigments and latices on the properties of coated paper. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [s. l.], v. 294, n. 1–3, p. 40–45, 2007.