



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

JULIE ALVES FILGUEIRA DE ANDRADE

**ESTUDO DA BIODEGRADABILIDADE DE EMBALAGENS DE PAPÉIS DE
MERCADO**

Prof. Dr. Fernando José Borges Gomes
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JULHO – 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

JULIE ALVES FILGUEIRA DE ANDRADE

**ESTUDO DA BIODEGRADABILIDADE DE EMBALAGENS DE PAPÉIS DE
MERCADO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. Fernando José Borges Gomes
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JULHO – 2025

**ESTUDO DA BIODEGRADABILIDADE DE EMBALAGENS DE PAPÉIS DE
MERCADO**

JULIE ALVES FILGUEIRA DE ANDRADE

APROVADA EM: 30/06/2025

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Fernando José Borges Gomes – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. Roberto Carlos Costa Lelis – UFRRJ
Membro

Julia de Cristo Figueiredo – UFRRJ
Membro

Ao meu irmão (*in memoriam*), por todos os ensinamentos que me deixou, especialmente por me ensinar a acreditar nos meus sonhos e nunca perder a minha essência.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por ser minha fortaleza em todos os momentos. Pela força diária e pelo cuidado constante.

À minha família, meu alicerce, sou grata por todo amor, apoio incondicional e suporte ao longo dessa caminhada. Cada palavra de incentivo e cada gesto de carinho foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Ao professor Fernando, meu orientador, agradeço profundamente por todo apoio, paciência e direcionamento durante a graduação. Sua orientação foi essencial para o desenvolvimento desse trabalho e para minha formação.

À Júlia, deixo meu sincero agradecimento por ter me ajudado diretamente na realização deste TCC. Sua contribuição foi fundamental, tanto na base teórica quanto nas orientações práticas, sempre com dedicação e disponibilidade.

Por fim, aos amigos que fiz durante a graduação, meu muito obrigada. Em especial ao Nilton, Leonardo e Amanda. A presença de vocês tornou essa trajetória mais leve e possível.

RESUMO

Com uma elevada versatilidade e importância no dia a dia do consumidor, as embalagens vêm se tornando, cada vez mais, um fator de relevância no mercado. No país, foram gerados cerca de 81 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em 2023, sendo que 1/3 desse total é composto por embalagens. Esse volume expressivo posiciona o setor de embalagens como um componente estratégico nas discussões de impacto ambiental. Além disso, o polímero mais presente na composição de embalagens é o plástico, caracterizado com baixa degradação e alto impacto ao meio ambiente, decorrente ao seu ciclo de vida desde à aquisição da matéria-prima, passando pelos processos de fabricação e uso, até o descarte final. Analisando a crescente demanda por embalagens, se faz necessário utilizar material vegetal como matéria-prima, em que geram menos impactos ao meio ambiente e apresentam maior taxa de degradação. Diante disso, o interesse por pesquisas e desenvolvimento de embalagens *eco-friendly* estão em crescimento contínuo, e a substituição pelas embalagens tradicionais em diversos estabelecimentos, vem acontecendo gradativamente. Apesar das vantagens de embalagens biodegradáveis, por serem constituídas de material vegetal, levanta-se o questionamento do quão sustentável são, diante dos aditivos acrescentados em sua constituição com objetivo de fornecer uma barreira para o alimento, protegendo-o com relação aos agentes externos. O objetivo desse trabalho foi analisar, ao longo de cinco semanas, a capacidade de biodegradação de três embalagens com características distintas, sendo uma sem revestimento de plástico (RE-K), e duas revestidas com plástico, onde uma com papel Kraft na região externa da embalagem e outra com papel branqueado com brilho (RI-B e RI-K, respectivamente), dentro de um sistema com solo proveniente de aterro sanitário sob uma temperatura de $58 \pm 2^\circ$. Dentre as amostras, a embalagem RE-K apresentou o maior percentual de biodegradação com 33%, seguido da RI-B e RI-K com 29% e 21%, respectivamente. A partir dos resultados encontrados, suponha-se que a influência na degradação do material foi devido ao uso do polímero plástico e o nível percentual de lignina presente na composição das embalagens, contribuindo para uma menor interação das fibras do papel com a umidade.

Palavras-chave: Biopolímeros, Degradação, Resíduos.

ABSTRACT

Packaging, due to its high versatility and importance in the daily lives of consumers, has increasingly become a relevant factor in the market. In the country, approximately 81 million tons of Municipal Solid Waste (MSW) were generated in 2023, of which one-third is composed of packaging. This significant volume positions the packaging sector as a strategic component in discussions on environmental impact. Furthermore, the most common polymer found in packaging composition is plastic, characterized by low degradability. Raw material acquisition through manufacturing and use, to final disposal. Considering the growing demand for packaging, it becomes necessary to use plant-based materials as raw material, which generate less environmental impact and have a higher degradation rate. In this context, interest in research and development of eco-friendly packaging is continuously growing, and the replacement of traditional packaging in various establishments has been occurring gradually. Despite the advantages of biodegradable packaging, as they are made from plant-based material, the question arises as to how sustainable they are, given the additives included in their composition intended to provide a barrier for the food, protecting it from external agents. The objective of this study was to analyze, over a period of five weeks, the biodegradation capacity of three packages with distinct characteristics, one without plastic coating (RE-K), and two coated with plastic, one with Kraft paper on the outer layer and the other with bleached glossy paper (RI-B and RI-K, respectively), within a system using soil sourced from a sanitary landfill at a temperature of $58 \pm 2^\circ$. Among the samples, the RE-K package showed the highest biodegradation rate at 33%, followed by RI-B and RI-K with 29% and 21%, respectively. Based on the results obtained, it is assumed that the degradation time of the material was influenced by the use of plastic polymer and the percentage level of lignin present in the composition of the packaging, contributing to reduced interaction between the paper fibers and moisture.

Keywords: Biopolymers, Degradation, Waste.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Embalagens.....	13
2.2 Material Lignocelulósico.....	17
2.3 Polímeros.....	19
2.4 Embalagens biodegradáveis.....	20
2.5 Papel Cartão	21
2.6 Degradação do material.....	22
2.7 Resíduos Sólidos	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 Material	26
3.2 Método	26
3.2.1 Teste de Biodegradação	26
3.2.2 Preparo das Amostras.....	27
3.2.3 Avaliação da Perda de Massa.....	28
3.2.4 Análise Superficial do Papel	28
3.2.5 Análise de Gramatura.....	28
3.2.6 Análise de Espessura.....	28
3.2.7 Análise de COBB.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Caracterização das Embalagens.....	29
4.2 Biodegradação	32
4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	34
4.4 Avaliação Visual Pós-Degradação das Embalagens.....	38
5. CONCLUSÃO	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre vantagem, desvantagem e descarte dos diferentes tipos de materiais para embalagens.....	16
Tabela 2 - Geração diária <i>per capita</i> de resíduos sólidos urbanos por região no Brasil em 2023.	24
Tabela 3 - Nomenclatura das embalagens com diferentes revestimentos.	29
Tabela 4 - Caracterização das embalagens com relação a sua espessura (mm) e gramatura (g/m ²).	31
Tabela 5 - Análise Cobb 60 para as amostras de embalagens.	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Análise de contribuição por tipo de embalagem no valor bruto de produção.	15
Figura 2 – Classes dos principais componentes químicos constituintes da madeira.....	18
Figura 3 - Volume de papel destinado à produção de diferentes materiais em 2023, em milhões de toneladas.....	21
Figura 4 - Formas de degradação de polímeros no meio ambiente.....	23
Figura 5 – Dados de geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil em 2023.....	24
Figura 6 - Participação regional na geração RSU no ano de 2023 no Brasil, em toneladas.....	25
Figura 7 - Desenvolvimento dos sistemas experimentais para as três amostras analisadas, ao longo de cinco semanas.....	27
Figura 8 - Medida do corpo de prova das amostras, para o teste de biodegradação.	27
Figura 9 - Ilustração da embalagem primária analisada no trabalho, sinalizando sua composição estrutural e estética.	30
Figura 10 - Ilustração da embalagem secundária analisada no trabalho, sinalizando sua composição estrutural e estética.	30
Figura 11 – Taxa de degradação das embalagens RE-K, RI-K e RI-B, ao longo de cinco semanas (%).	33
Figura 12 – Registro de degradação da embalagem RE-K ao longo de três semanas, obtidas a partir de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV). Onde: (1) Região interna com papel Kraft; (2) Região interna com papel Kraft degradada; (3) Região externa com revestimento; (4) Região externa com revestimento degradado.....	35
Figura 13 - Registro de degradação da embalagem RI-B ao longo de três semanas, obtidas a partir de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV). Onde: (1) Região interna com revestimento de plástico; (2) Região interna com revestimento de plástico degradado; (3) Região externa de papel <i>Couché</i> com brilho; (4) Região externa de papel <i>Couché</i> com brilho degradada.	36
Figura 14 - Registro de degradação da embalagem RI-K ao longo de três semanas, obtidas a partir de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV). Onde: (1) Região interna com revestimento de plástico; (2) Região interna com revestimento de plástico degradado; (3) Região externa com papel Kraft; (4) Região externa com papel Kraft degradado.....	37

Figura 15 - Teste de biodegradação da embalagem RE-K no período de cinco semanas, indicando a diferença da degradação na região externa e interna.	38
Figura 16 - Teste de biodegradação da embalagem RI-B no período de cinco semanas, indicando a diferença da degradação na região externa e interna.	39
Figura 17 - Teste de biodegradação da embalagem RI-K no período de cinco semanas, indicando a diferença da degradação na região externa e interna.	40

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional tem sido um forte aliado à taxa de crescimento de consumo, e atrelado a isso, uma elevação considerável na demanda de embalagens (LANDIM *et al.*, 2016). Contudo, esse aumento do consumo, reflete em uma maior geração de resíduos sólidos que são descartados, e em grande parte, são destinados à aterros sanitários, sem a possibilidade de reciclagem. No período de 2020 a 2050, estima-se que a geração de resíduos sólidos domiciliar aumentará cerca de 80%, passando de 2,1 bilhões de toneladas para 3,8 bilhões por ano, no mundo (Agência Brasil, 2024). Nesse cenário atual, desperta a preocupação do aumento desse consumo por embalagens tradicionais, decorrente aos impactos ambientais atrelados a esses produtos.

O uso de embalagens é de extrema importância, não somente pela praticidade de transporte e armazenamento, como também de barreira física para o alimento, conferindo assim a sua proteção a microrganismos (NEIS & SANTOS, 2012; LANDIM *et al.*, 2016). A ampla presença de embalagens tradicionais no mercado, são constituídas por vidro, plástico e metal (ABRE, 2024), dos quais requerem elevadas quantidades de recursos naturais não renováveis, como petróleo e minerais para sua fabricação. Devido a constituição da sua matéria-prima, esse tipo de embalagens largamente comercializadas, apresentam um elevado impacto ambiental, pelo fato de não serem biodegradáveis e, com isso levando mais de 100 anos para serem degradadas completamente (MARSH & BUGUSU, 2007; SANTOS & YOSHIDA, 2007).

Apesar do consumismo exacerbado, a conscientização sobre os impactos ambientais vem aumentando na população global (NEIS & SANTOS, 2012), passando a influenciar diretamente as decisões dos consumidores no mercado. Embalagens biodegradáveis, ou largamente conhecida como *eco-friendly* estão progressivamente ampliando sua participação nas prateleiras dos comércios, isso por quê pesquisas mostram a preferência de muitos consumidores por essa classe de produto (NEIS & SANTOS, 2012; MANCINI *et al.*, 2017; JERZYK, 2016; RODRÍGUEZ-BARREIRO *et al.*, 2013; LEA & WORSLEY, 2008; RONCARELLI & ELLICOTT, 2010). Além disso, muitas empresas se associam à iniciativa de produtos sustentáveis, enfatizando o cuidado da marca com o meio ambiente.

Embalagens biodegradáveis, vem ganhando espaço nos mercados e nos carrinhos dos consumidores, pelo fato da sua constituição apresentar recursos vegetais, que por sua

vez têm um menor impacto ambiental decorrente ao tempo de degradação ser significativamente menor, frente as demais embalagens tradicionais fabricadas a partir de petróleo (SANTOS & YOSHIDA, 2007; FELLOWS, 2018), contribuindo para redução da poluição e da ocupação de aterros. Contudo, apesar das vantagens que as embalagens biodegradáveis apresentam, ainda existem um vasto estudo sobre a sua capacidade limitada de isolamento e proteção do alimento, para embalagens primárias (BRACELPA, 2014; LANDIM *et al.*, 2016). Para embalagens secundárias e terciárias, têm-se a discussão da sua resistência ao transporte e armazenamento.

Os avanços no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, ainda apresentam um desafio quanto a sua viabilidade, devido a sua origem vegetal. As mesmas possuem falhas em barreiras líquidas e de gases, conferindo um risco ao alimento armazenado, diferentemente das embalagens de plástico e vidro, por exemplo. Com isso, muitas embalagens de constituição vegetal possuem uma camada de revestimento, podendo ser polímeros (filmes plásticos), alumínio, ceras e parafinas, fornecendo proteção e longevidade ao alimento armazenado.

O uso do plástico como material de revestimento para embalagens é muito comum, contudo, existem tecnologias como biopolímeros (ou biofilmes) com a função de proteção do material e têm a vantagem de apresentarem uma decomposição mais rápida (MORAES, 2009), quando comparados com o plástico.

Diante das possibilidades, surge o questionamento do quão sustentável são, ao analisar se existe impacto no tempo de degradação de embalagens de material vegetal, quando apresentam diferentes aplicações de revestimentos, ou se mesmo com essa camada protetora a interferência no tempo de degradação é ínfima, ou até insignificante. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo analisar e comparar as diferentes taxas de degradação entre embalagens de material vegetal com diferentes revestimentos, e analisando o impacto disso no meio ambiente e na sociedade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Embalagens

A presença de embalagens no cotidiano não é algo recente. Essa demanda por um recipiente para armazenar e transportar, iniciou-se antes de Cristo (PRESAS & PRESAS, 2009; MARIANO, 2004). Além das características mencionadas, o uso de embalagens vai muito além de utilidades e praticidade, desempenhando um papel importante como

barreira de agentes externos (luz, umidade, microrganismos, oxigênio) ao alimento armazenado, assegurando a qualidade do produto e proporcionando cuidado com a saúde dos consumidores (JORGE, 2013; LANDIM *et al.*, 2016; SILVA, 2021; FELLOWS, 2006).

Com a evolução do mercado consumidor, as embalagens ampliaram as suas funções e passaram ser um forte contribuinte para vendas. Hoje, os produtos têm embalagens das mais variadas formas, cores, tamanhos e artes, com o intuito de gerar maior visibilidade e interesse de compra no consumidor (NEIS & SANTOS, 2012). Além de impulsionar a venda pelo seu design, as embalagens também apresentam a função de transmitir informação, seja em forma de conscientização, sugestão de uso, entre outros.

As embalagens podem ser classificadas entre primárias, secundárias e terciárias. As primárias estão diretamente em contato com o alimento, ou seja, altamente responsáveis pela preservação e qualidade do produto. As secundárias têm a função de agrupamento, proteção da embalagem primária e também apresentação da embalagem. As terciárias, têm como função proteger o produto no processo de transporte e armazenamento (JORGE, 2013; LANDIM *et al.*, 2016).

Com o aumento global da população, é possível verificar o aumento do consumo e geração de resíduos sólidos. A problemática associada a esse aumento de consumo, está relacionado às embalagens tradicionais, oriundo do petróleo. Segundo Associação Brasileira da Embalagem (2024), houve um aumento do valor em 6,32% na produção de embalagens plásticas e metálicas, com relação a 2023. E, para esse mesmo período, analisando o valor de produção de embalagens de papel e vidro, reduziu um total de 3,6%. No ano de 2024, a distribuição percentual do valor bruto de produção de embalagens, teve o plástico como o material destaque com 34,4%, seguido do papel ondulado que é muito utilizado em embalagens terciárias, com 20,4% (Figura 1).

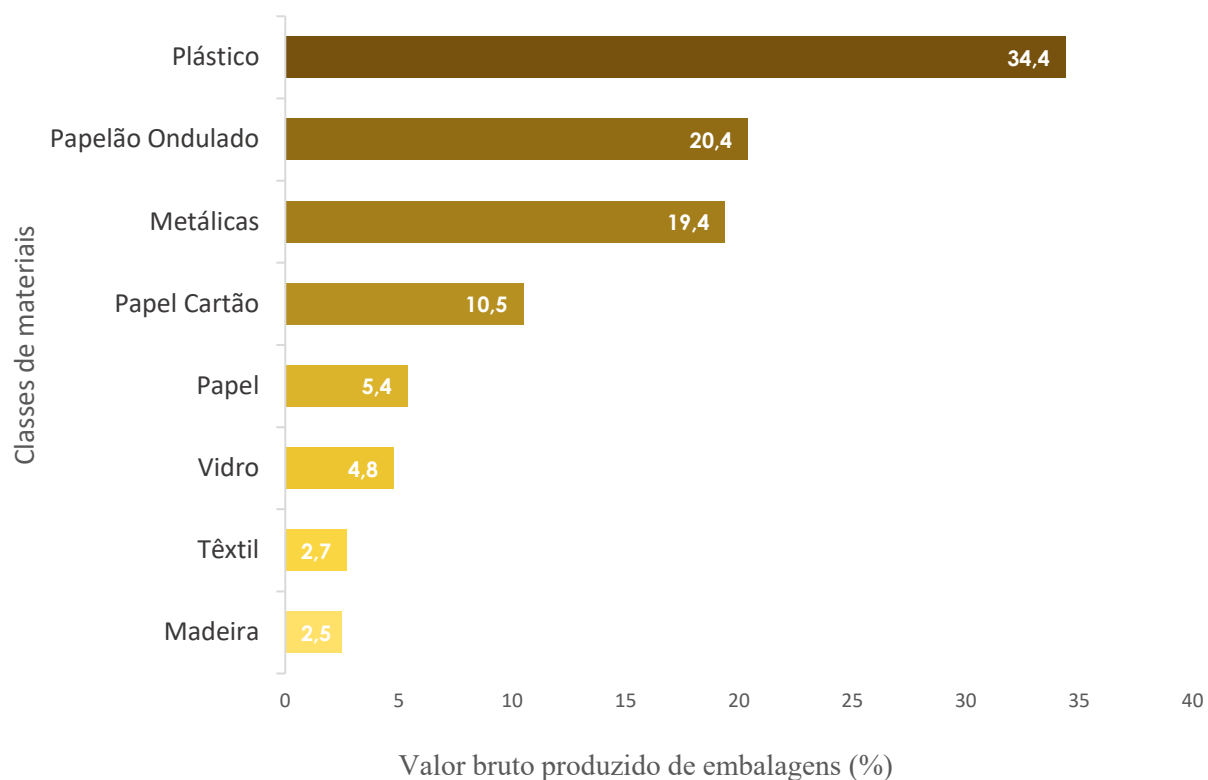


Figura 1 - Análise de contribuição por tipo de embalagem no valor bruto de produção.

Fonte: Adaptado de IBGE, 2022.

Esse vasto uso e aplicação do plástico, em embalagens, tem como desvantagem o fato de não ser biodegradável e necessitar de muitos anos para se decompor no meio ambiente (LANDIM *et al.*, 2016; ECYCLE, 2018; FERREIRA & SILVA, 2024.). Diante desse cenário, se faz cada vez mais necessário a implementação de materiais biodegradáveis (papel cartão) na produção de embalagens primárias e secundárias, visando mitigar os impactos ambientais.

Destacando algumas matérias-primas, na Tabela 1 apresenta as vantagens, desvantagens e descarte de cada material, ressaltando pontos importantes para estudos de viabilidade de uso e sustentabilidade do material.

Tabela 1 - Comparação entre vantagem, desvantagem e descarte dos diferentes tipos de materiais para embalagens.

Material	Vantagens	Desvantagens	Descarte
Plástico	Baixo peso e custo de produção, alta resistência mecânica e química e, flexível.	Emissão de gases poluentes na extração e fabricação, devido ao petróleo (recurso não renovável).	Demora mais de 100 anos para se decompor, contudo permite a reciclagem.
Aço	Elevada resistência mecânica e permite processo de esterilização.	Suscetível à amassos durante o transporte.	Demora mais de 100 anos para se decompor, contudo permite a reciclagem.
Alumínio	Baixo peso, não permite a passagem de luz e umidade e, flexível.	Elevado custo de produção, em comparação com outras matérias-primas.	Demora entre 100 a 500 anos para se decompor, contudo permite a reciclagem.
Vidro	Inerte e impermeável a gases e vapor.	Pesado e frágil.	Possui um tempo indeterminado para degradação total, porém permite o reúso.
Celulose	Permite diferentes espessuras e formatos. São resistentes a baixas temperaturas e, possuem baixo peso. Podendo ser proveniente de resíduos vegetais.	Natureza hidrofílica (elevada interação com a água).	Reciclável e biodegradável.

Fonte: Adaptado de FERREIRA & SILVA, 2024.

2.2 Material Lignocelulósico

O material lignocelulósico tem diversas aplicações, possibilitando uma variedade de produtos produzidos a partir dessa matéria-prima (RODRIGUES *et al.*, 2017). Os constituintes do material vegetal são: celulose, hemicelulose e lignina. A celulose, é um polímero linear mais abundante dentre os materiais lignocelulósicos, constituindo 50% da massa seca total, e em sua estrutura apresenta regiões amorfas e cristalinas, conectadas por ligações do tipo β -1,4-glicosídicas, que permitem a geração de pontes de hidrogênio, dos quais têm forte interação com a água (SILVA *et al.*, 2024). As hemiceluloses ou polioses, são polissacarídeos ramificados com menor massa molecular, que estão associados com a celulose no tecido vegetal, do qual representa cerca de 20 – 30% de peso da massa seca. A lignina, uma macromolécula aromática e irregular, presente em 20 – 30% do material (KLOCK *et al.*, 2005), é o constituinte da planta mais difícil de degradação (BROWNING, 1967).

A madeira, bambu, bagaço de cana, entre outros, são exemplos de materiais comumente usados na extração do material lignocelulósico. A madeira, formada por polissacarídeos, lignina, extrativos e constituintes inorgânicos (Figura 2), apresenta diversos usos e aplicações por meio dos seus constituintes químicos. Sua extração para produção de celulose no Brasil, vem de plantios florestais e, hoje no país soma-se 10,2 milhões de hectares de povoamentos florestais, representando um aumento de 41% nos últimos 10 anos (IBA, 2024). O plantio de árvores contribui para o combate as mudanças climáticas, visto que removem e estocam CO₂ e, também, geram mais de 5 mil bioproductos substituindo o uso de produtos de origem fóssil (IBA, 2024).

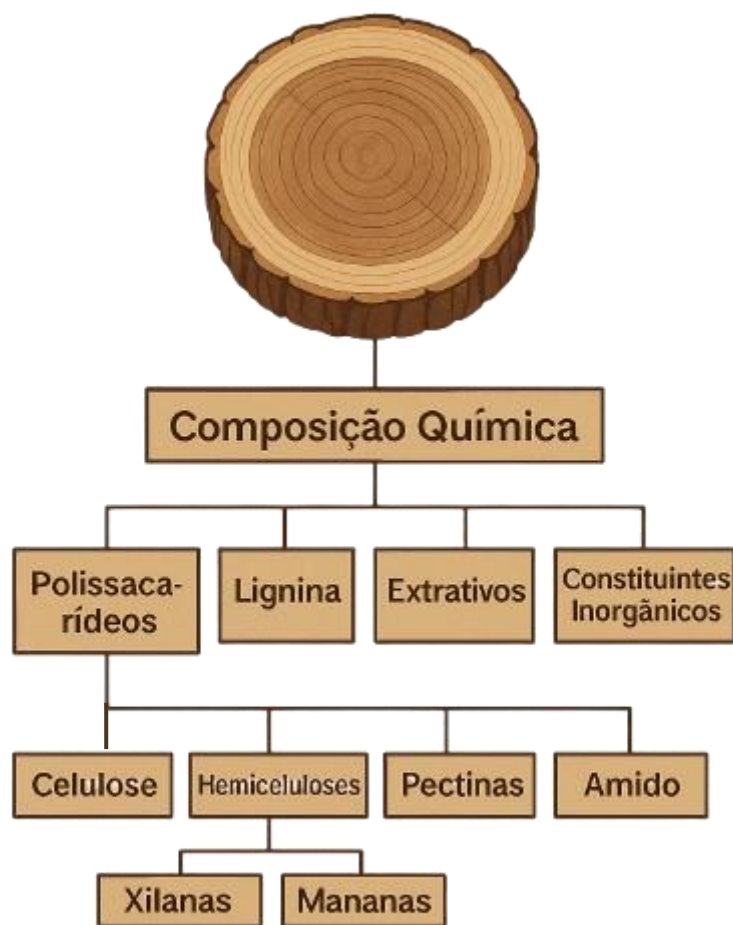


Figura 2 – Classes dos principais componentes químicos constituintes da madeira.

Fonte: Adaptado de Klock *et al.* 2005.

Dentre as diversas aplicações do material lignocelulósico, têm a produção de embalagens, papel para escrita, *tissue*, papel cartão, entre outros (IBA, 2023). Segundo IBA (2024), no ano de 2023 o país atingiu uma produção de 24,3 milhões de toneladas de celulose, tendo o mercado de exportação aquecido e o Brasil como principal agente de exportação. O uso da celulose na produção de papel cartão para embalagens apresenta um grande potencial na redução do impacto ambiental, decorrente sua boa degradação no meio ambiente.

2.3 Polímeros

Polímeros são moléculas de alto peso molecular e formados por uma variedade estrutural repetitiva (monômeros), conectadas entre si através de ligações primárias e estáveis, dos quais podem ser orgânicos ou inorgânicos, sintéticos ou naturais (RODRIGUES, 2018; MARQUES, 2010). A presença de polímeros no cotidiano humano não é algo recente. Os estudos dos polímeros houveram grandes contribuições por meio do químico Alemão Hermann Staudinger, o qual indicou o processo de polimerização, ganhando o Prêmio Nobel em Química de 1953. A partir disso, os estudos foram intensificados e expandidos para os naturais e sintéticos (MARQUES, 2010).

Os polímeros naturais, já eram largamente utilizados pelo homem, em tempos remotos no seu dia a dia. O uso de polímeros é muito comum em indústrias de automóveis, revestimentos, embalagens, roupas, entre outras (MARQUES, 2010). Essa vasta aplicação, nos mais variados produtos, reflete a importância desse material no cotidiano da humanidade. Os polímeros podem ser classificados entre: sintéticos e naturais (MUKHERJEE *et al.*, 2023).

Segundo FRANCHETTI & MARCONATO (2006) os polímeros naturais são aqueles formados a partir do crescimento de organismos vivos, em que na sua síntese envolve reações catalisadas por enzimas e reações de crescimento. Os polímeros sintéticos, são gerados a partir de insumos químicos do petróleo, por meio de reações conduzidas em laboratório (PITT *et al.*, 2011). Os polímeros sintéticos deram origem ao plástico, um material que com o passar do tempo, tem indicado cada vez mais o seu impacto no meio ambiente, reforçando assim a importância e a conscientização da população referente aos biopolímeros (polímero natural).

O plástico sintético necessita de muitos anos para sua degradação total, e além disso, quando decompostos, geram microplásticos (MARIANO-TORRES *et al.*, 2015) que contaminam os solos e mares. O grande diferencial dos polímeros naturais (polissacarídeos e oligossacarídeos), é a biodegradabilidade, baixa toxicidade, facilidade de derivatização, disponibilidade, características filmogênicas e baixo custo (VANDAMME *et al.*, 2002).

Os polímeros não biodegradáveis, constituem uma grande participação dentro dos impactos ambientais causados. Dessa forma, o uso de polímeros biodegradáveis vem

ganhando força no mercado, gerando recipientes mais sustentáveis e de menor impacto ambiental (BONA, 2007).

No setor de embalagens, os polímeros também podem aparecer com a função de revestimento de uma embalagem, sendo muito comum em material vegetal, devido a elevada sensibilidade da celulose à umidade (TRIBST *et al.*, 2008). Esse revestimento pode ser constituído de polímeros ou biopolímeros.

2.4 Embalagens biodegradáveis

O elevado consumo de embalagens não biodegradáveis, associada ao descarte irregular, vem causando diversos impactos ambientais, devido a sua baixa decomposição. Grande parte desses resíduos sólidos, que ao serem descartados de maneira incorreta, poluem mares, rios e solos, são constituídos de polímeros sintéticos, como o plástico (KUMAR *et al.*, 2010). Com o aumento da preocupação com os danos ambientais, a conscientização de desenvolvimento de embalagens biodegradáveis vem aumentando com passar dos anos.

Os polímeros naturais mais utilizados para produção de embalagens são amido e celulose (NAIME *et al.*, 2009). Esses materiais por terem baixa densidade, baixa toxicidade e boa degradabilidade (KUBASKI & ITO, 2017), são potenciais no uso para produção de embalagens biodegradáveis. Os componentes associados aos polímeros naturais que impulsionam uma melhor degradação do material são CO₂ e H₂O (LIMA, 2004; BARDI & ROSA, 2007). Para considerar uma embalagem como biodegradável, é preciso que sua decomposição ocorra naturalmente.

No ano de 2023, 6,1 milhões de toneladas de papel foram destinadas para produção de embalagens secundárias e terciárias, tendo essa classe como líder dentre os demais produtos produzidos (Figura 3) (IBA, 2024).

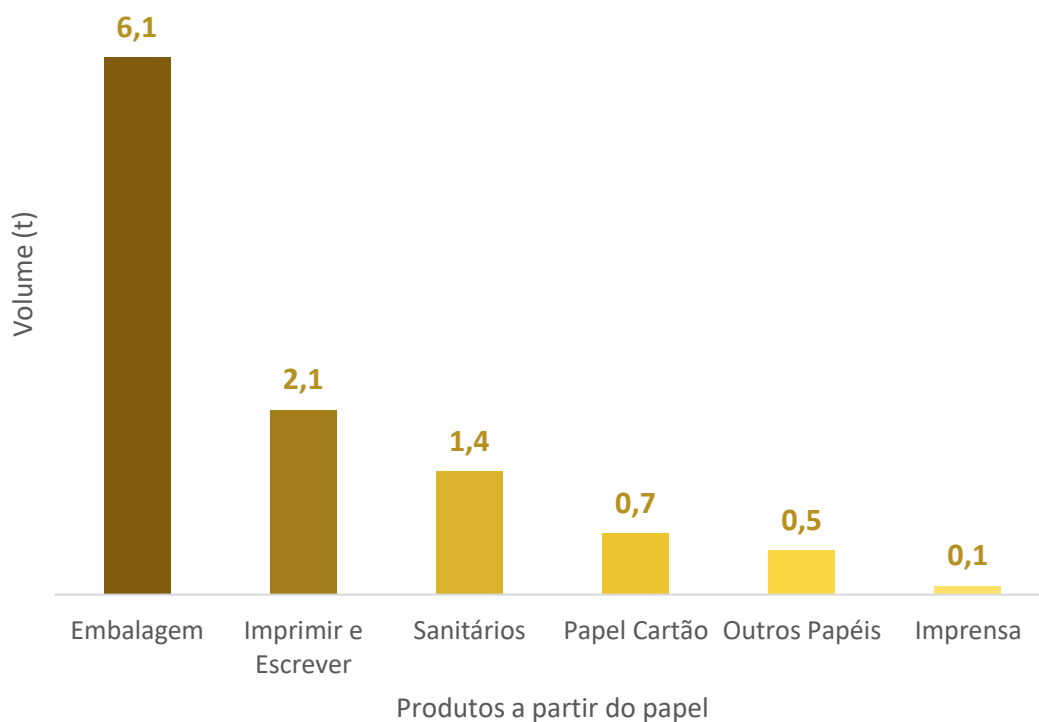


Figura 3 - Volume de papel destinado à produção de diferentes materiais em 2023, em milhões de toneladas.

Fonte: Adaptado de IBA, 2023.

O uso de embalagens em alimentos no geral, confere uma propriedade muito particular, para que a qualidade e segurança do alimento se mantenha intacta. O desafio do setor florestal, é elaborar um material que substitua completamente o plástico, mas que contenha as suas propriedades, e ainda com um preço competitivo pro mercado.

2.5 Papel Cartão

A produção de papel atingiu 10,8 milhões de toneladas no Brasil no ano de 2024, tendo uma maior distribuição para o mercado interno, somando 79,8% do volume produzido. Dentro da classe de papel, a produção de papel cartão em 2023 foi de 0,7 milhões de toneladas (Figura 3), permanecendo no mesmo patamar quando comparado com o ano anterior (IBA, 2023). Permitindo assim concluir, a necessidade de crescimento dessa classe de produto, decorrente a sua importante aplicação.

O papel cartão é um material biodegradável de origem vegetal que apresenta grande potencial para aplicação em embalagem, devido à sua baixa densidade, boas propriedades mecânicas e excelente desempenho em processos de estampagem e impressão (LARINI,

2021). Além disso, sua produção é majoritariamente proveniente de plantios florestais sustentáveis, o que contribui para a mitigação dos impactos ambientais ao substituir materiais derivados de fontes fósseis.

Para formação do papel, a madeira que fora processada é transformada em cavacos e através de um processo químico-mecânico ocorre a formação das folhas de papel. As fibras de celulose, por apresentarem um elevado nível de higroscopicidade (absorção de água) (KLOCK *et al.*, 2005), apresentam a necessidade de um revestimento, para resistência a umidade, óleo e gases (LARINI, 2021), podendo ser polímeros ou biopolímeros. A escolha pelo tipo de revestimento pode influenciar diretamente o tempo e nas condições de degradação do material.

2.6 Degradação do material

A degradação ocorre quando há alteração da estrutura física e química do material, decorrente a interação com agente ambiental. Durante a exposição do material ao ambiente, pode ocorrer a degradação dos polímeros de maneira biológica, fotodegradação, mecânico, térmico, entre outros (MOTHÉ *et al.*, 2009) (Figura 4). O ambiente, presença de aditivos no material e o tipo de polímero, impactam na capacidade de degradação (MICHAELI, 1995; CANEVAROLO, 2003).

A degradação química, ocorre quando o material entra em contato com o ar, água e agentes químicos. Quanto maior a temperatura, maior o efeito desses agentes. Quando a degradação do polímero ocorre promovida por organismos vivos (por exemplo: bactérias, fungos e insetos) chamamos de biodegradação. De acordo com Yam (1986), o material só é classificado como biodegradável quando o mesmo pode ser convertido em substâncias mais simples, através da interação com os microrganismos (LANDIM *et al.*, 2016).

Embalagens tradicionais geram grande impacto ambiental devido ao seu elevado tempo de degradação total do material no meio ambiente, principalmente devido a elevada massa molar e pela propriedade hidrofóbica, dificultando a ação de microrganismos (FRANCHETTI & MARCONATO, 2006; MALI *et al.*, 2010).

O uso do papel para produção de embalagens tem grande potencial por apresentar possibilidade de reciclagem e por possuir uma boa degradação, podendo levar até 6 meses para degradação total (SANTOS & YOSHIDA, 2011; FELLOWS, 2006). Devido a elevada interação com a água, esse tipo de embalagem necessita de um revestimento para

permitir o contato com o alimento, contudo essa impermeabilidade pode resultar em uma dificuldade maior de reciclagem (BRACELPA, 2014).

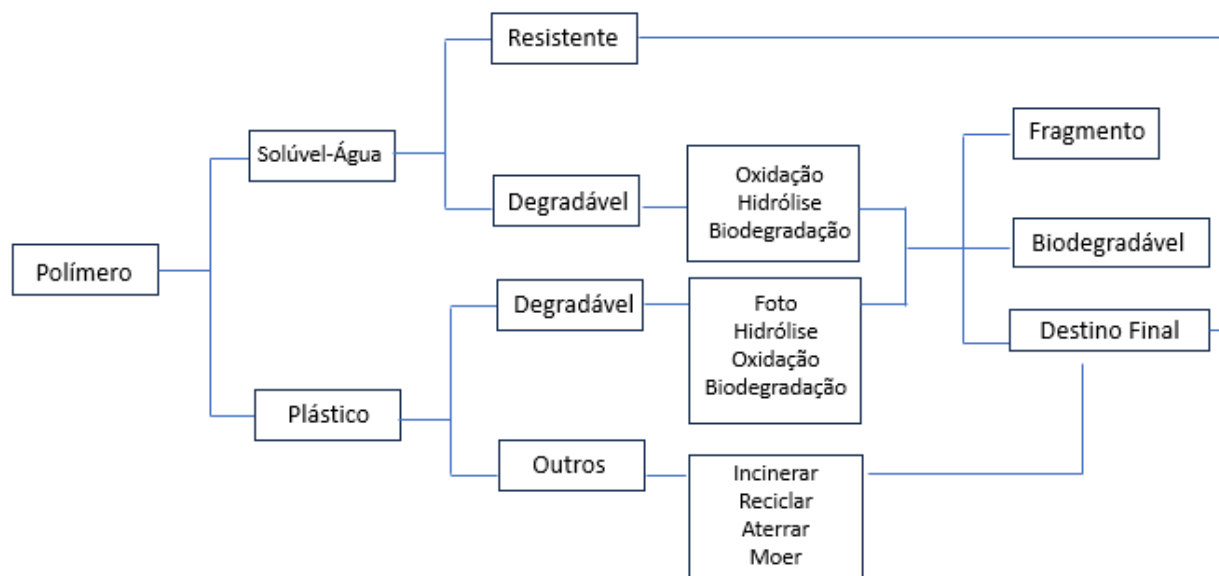


Figura 4 - Formas de degradação de polímeros no meio ambiente.

Fonte: Apud MOTHE *et al.*, 2009.

2.7 Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos, são materiais descartados após o seu uso pelo setor industrial, comercial, agrícola ou domiciliar, que podem ser sólidos ou semissólidos (ABNT, 2004). Esses resíduos podem ser orgânicos, plástico, papel, madeira, metal, entre outros.

Segundo Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (2024), foi gerado em torno 81 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil em 2023, sendo em média 221 mil toneladas por dia e 382 kg/hab./ano em média no país (Figura 5). Dentre as regiões do país, o Sudeste lidera a geração de RSU (Figura 6), apresentando um aumento de 0,9% em comparação com o ano de 2022, representando um número de 39,9 toneladas de RSU em 2023, equivalente a 50% da geração de RSU no país.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022), o número de habitantes no Brasil é de 203 milhões, onde 85 milhões estão na região Sudeste, 30 milhões no Sul, 17 milhões no Norte, 55 milhões no Nordeste e 16 milhões de habitantes na região Centro-Oeste do país. Analisando o valor *per capita* de geração de RSU por regiões no país, o Sudeste lidera com 452 kg/hab./ano de RSU ou 1,24 kg/hab./dia em

2023. A segunda maior região do país como gerador de RSU é o Centro-Oeste com 1,01 kg/hab./dia (ABREMA, 2024) (Tabela 2).

No mundo, cerca de 2,01 bilhões de toneladas de RSU são gerados, e somente uma parcela de 19% são reciclados. Para 2025, estima-se que será gerado 3,40 bilhões de t/ano de RSU, representando um número maior, do que o esperado para o crescimento populacional (WORLD BANK, 2018).

Tabela 2 - Geração diária *per capita* de resíduos sólidos urbanos por região no Brasil em 2023.

Região	RSU <i>per capita</i> anual (kg/hab./dia)
Sudeste	1,24
Centro-Oeste	1,01
Nordeste	0,96
Norte	0,89
Sul	0,78

Fonte: Adaptado de ABREMA, 2024.



Figura 5 – Dados de geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil em 2023.

Fonte: Adaptado de ABREMA, 2024.

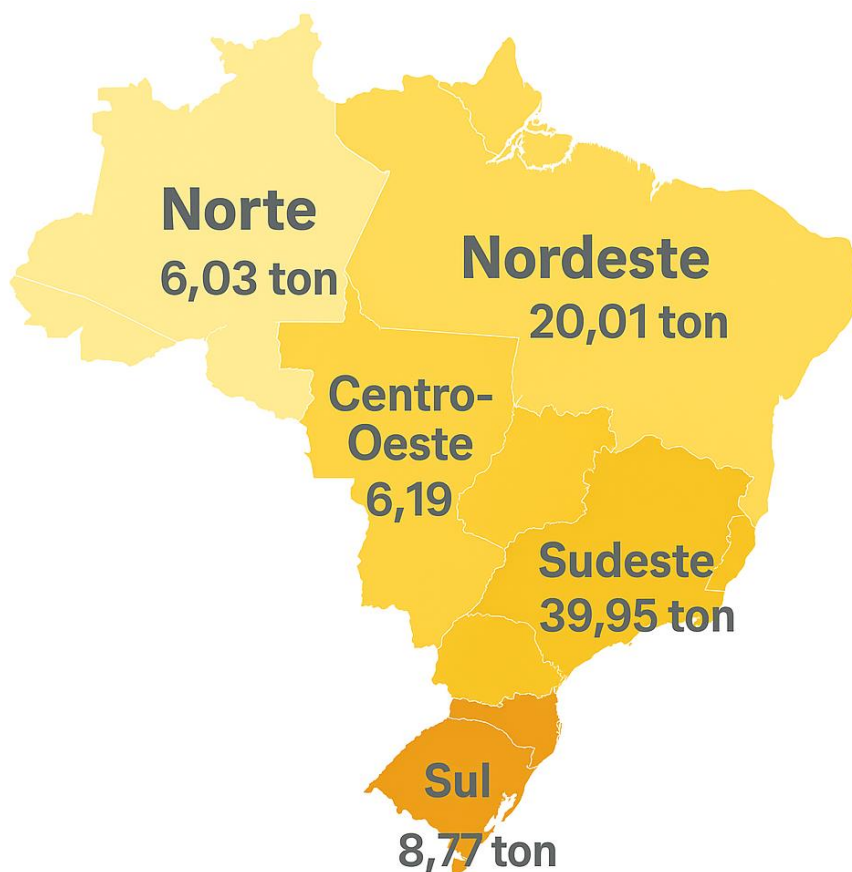


Figura 6 - Participação regional na geração RSU no ano de 2023 no Brasil, em toneladas.

Fonte: Adaptado de ABREMA, 2024.

Dentre os estados brasileiros, 42% não fazem a destinação correta dos RSUs, gerando assim o descarte incorreto em aterros (ABRELPE, 2012), contribuindo para disseminação de contaminação de solos e mares. Entre os resíduos gerados no país, 1/3 equivalem às embalagens (LANDIM *et al.*, 2016), tornando esse segmento de mercado estratégico para regulação da gestão de resíduos sólidos. Em 2023, o consumo de embalagem aumentou em 2,5% no país, atingindo um consumo *per capita* de 10,6 kg/hab./ano (ABRE, 2024).

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), através da Lei nº 12.305/2010, a gestão do RSU tem que seguir uma ordem de prioridade, sendo a não geração, redução, reutilização, tratamento dos resíduos sólidos e destinação final ambientalmente correta. A coleta de RSU no Brasil, é feita em grande parte do país. No ano de 2023, 93,4% dos resíduos gerados, foram coletados (ABREMA, 2024). Contudo, por mais que tenhamos um número expressivo de coleta, quando o assunto é reciclagem esse número é drasticamente menor. Em 2023, somente 6,7 milhões de toneladas de

material seco de RSU foram reciclados, representando 8,3% dos resíduos gerados no país (ABREMA, 2024).

De acordo com a realidade de resíduos que são gerados com relação ao que são reciclados, ainda há muito o que ser feito para redução de RSU, iniciando com a substituição do consumo de plástico para material vegetal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Os materiais utilizados para análise de degradação se tratam de três embalagens comerciais, sendo uma embalagem secundária de cerveja e duas embalagens primárias em formato de copo. A estrutura das embalagens possui diferenças entre si, com relação as suas camadas internas e externas. A embalagem secundária, apresenta somente um revestimento não sintético, por outro lado as embalagens primárias possuem um revestimento interno com plástico. Já na parte externa das embalagens primárias, apresentam um acabamento em papel Kraft e papel com brilho, e na embalagem secundária a camada interna é de papel Kraft.

Para realização do teste de biodegradação, foi utilizado solo de aterro sanitário, fornecido pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana (Comlurb), com intuito de uma representação real da degradação do material no meio ambiente.

3.2 Método

3.2.1 Teste de Biodegradação

O teste de degradabilidade, foi adaptado da norma ASTM D5338 – 15 standard. Para preparação dos sistemas foi utilizado 2,4 kg de composto orgânico (solo de aterro) com 50% de umidade e pH 7,0-8,0. Para preparação dos sistemas, foi utilizado Erlenmeyer com adição de 160 g de solo em cada recipiente, separando-os através das classes dos materiais analisados (RE-K, RI-K e RI-B), os mantendo em BOD com controle de temperatura em 58 ± 2 °C.

A análise de degradação foi feita durante o período de cinco semanas, tendo os recipientes divididos entre as semanas e para cada material analisado (Figura 7). A análise

de degradação, foi feita semanalmente, realizando a coleta do Erlenmeyer da semana vigente, para as três embalagens.



Figura 7 - Desenvolvimento dos sistemas experimentais para as três amostras analisadas, ao longo de cinco semanas.

Fonte: Próprio autor.

3.2.2 Preparo das Amostras

O preparo inicial foi feito com o recorte dos materiais em dimensões de 2 x 2 cm e, em seguida, a realização da aclimação do material à 23 ± 1 °C e $50 \pm 2\%$ UR (Figura 8), partindo para a pesagem posteriormente.

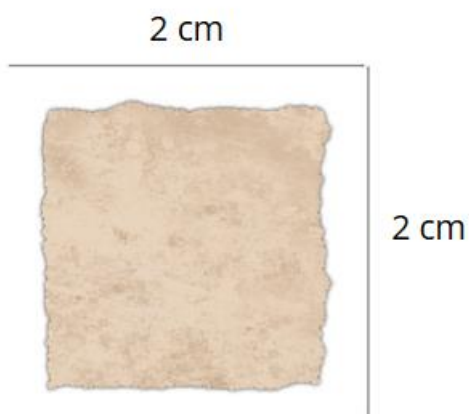


Figura 8 - Medida do corpo de prova das amostras, para o teste de biodegradação.

Fonte: Próprio autor.

3.2.3 Avaliação da Perda de Massa

Para avaliação da perda de massa, foi necessário a pesagem semanal do material. Inicialmente, é feita uma limpeza das amostras com pincel, após retirá-las do sistema. Em seguida, realizar a reaclimação (23 °C e 50% UR) durante 1 semana, para então realizar a pesagem do material, garantindo que toda umidade presente na amostra seja equilibrada com o ambiente externo. A avaliação da perda de massa é feita através da diferença de massa obtida entre uma pesagem (inicial) e outra (final).

3.2.4 Análise Superficial do Papel

A análise superficial do papel, foi feita através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de um Microscópio Hitachi TM3000, com uma ampliação de 300x, baixo vácuo e com uma voltagem de aceleração de 15l V. O uso do MEV foi realizado para verificar possíveis variações estruturais no papel das embalagens, antes e depois do processo de biodegradação, com três semanas de experimento.

3.2.5 Análise de Gramatura

A análise de gramatura consiste na medição da massa por unidade de área, expressa em (g/m²). O conhecimento da gramatura do papel, é de extrema importância visto que quando é feito a compra ou venda desse material, a atividade é feita baseada na massa por unidade de área do papel. Além disso, para determinação de alguns índices, como por exemplo resistência, ruptura, espessura e volume, é necessário o valor de gramatura. A realização dessa análise foi feita conforme a TAPPI T 410 om-23.

3.2.6 Análise de Espessura

Para análise de espessura, foi utilizada a norma TAPPI T 411 om-21. A importância desse teste está atrelada a obtenção de dados sobre rigidez e flexibilidade do material, relacionando com o controle mecânico e de qualidade do produto ao analisar a padronização da produção.

3.2.7 Análise de COBB

O teste de Cobb representa a quantidade de água absorvida em um determinado tempo. Esse teste, quando o assunto é embalagem, se faz necessário à sua realização para entender o comportamento da embalagem quando em contato com a umidade. Para esse teste, foi utilizado a norma TAPPI T 441 om-20, com um tempo de 60 segundos (Cobb 60). A fórmula para obter o valor de Cobb é:

$$Cobb = (massa\ final - massa\ inicial) \times 1000$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das Embalagens

Os materiais utilizados para realização da análise foram dois tipos de embalagens, sendo uma primária e outra secundária com particularidades de revestimentos entre si. Na Tabela 3, identifica-se a nomenclatura de acordo com as características da região externa e interna de cada embalagem. As embalagens primárias (os copos), possuem diferenças somente na sua região externa, onde uma apresenta o acabamento em papel Kraft e o outra em papel branco com brilho (Figura 9), em contrapartida internamente ambos têm um revestimento com plástico sob um papel branco. Já a embalagem secundária, possui um revestimento externo contra umidade não sintético e na região interna um papel Kraft (Figura 10).

Tabela 3 - Nomenclatura das embalagens com diferentes revestimentos.

Embalagem	Revestimento	Papel	Sigla
1	Revestimento externo	Kraft interno	RE-K
2	Revestimento interno	Kraft externo	RI-K
3	Revestimento interno	Papel com brilho externo	RI-B

Fonte: Próprio autor.

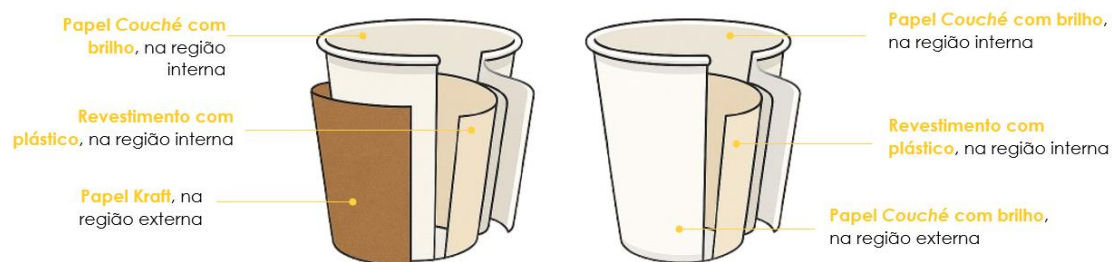


Figura 9 - Ilustração da embalagem primária analisada no trabalho, sinalizando sua composição estrutural e estética.

Fonte: Próprio autor.



Figura 10 - Ilustração da embalagem secundária analisada no trabalho, sinalizando sua composição estrutural e estética.

Fonte: Próprio autor.

Na caracterização do papel foi feita as análises de espessura, gramatura e Cobb 60 (absorção de água em 60 segundos), com o intuito de obter as diferenças estruturais entre as embalagens e correlacionar esses valores com a sua utilização (embalagem primária e secundária) (Tabela 4). De acordo com o resultado, observa-se que a embalagem secundária (RE-K) tem uma espessura e gramatura maior, e isso está atrelado a sua função de proteção e transporte. As embalagens primárias (RI-K e RI-B) apesar de apresentarem a mesma função entre si, possuem uma diferença considerável com relação a sua

composição, onde a RI-K tem uma gramatura e uma espessura maior que a RI-B, por possuir um acabamento em papel Kraft na região externa que por sua vez possui uma quantidade maior de lignina (contribuindo para um aumento nas propriedades analisadas), quando comparado com o papel branco com brilho da embalagem RI-B.

Tabela 4 - Caracterização das embalagens com relação a sua espessura (mm) e gramatura (g/m^2).

Embalagem	Gramatura (g/m^2)	Espessura (mm)
RE-K	322,7	0,440
RI-K	289,7	0,407
RI-B	273,8	0,363

Fonte: Próprio autor.

A análise de Cobb, que visa determinar a capacidade de absorção de água sob uma área conhecida e um tempo determinado, foi realizado para todas as embalagens, avaliando a capacidade de absorção de água nas superfícies internas e externas (Tabela 5). A embalagem RE-K teve o maior valor de Cobb, com 31 g/m^2 na parte interna da embalagem, visto que nessa região não tinha aplicação de nenhum revestimento, tornando assim mais susceptível a absorção de água devido a característica hidrofílica da celulose, o que corrobora com os dados encontrados por DUBOWIK *et al.* (2025). Já as embalagens RI-K e RI-B não tiveram absorção de água na parte interna decorrente a aplicação do filme de plástico, de forma semelhante ao observado por PODDAR *et al.* (2025). Analisando a absorção de água na região externa houve uma mudança no comportamento, onde a embalagem RE-K absorveu um número ínfimo de água, enquanto que RI-K e RI-B absorveram um valor considerável.

Tabela 5 - Análise Cobb 60 para as amostras de embalagens.

Embalagem	Cobb interno (g/m^2)	Cobb externo (g/m^2)
RE-K	31	1
RI-K	0	20
RI-B	0	28

Fonte: Próprio autor.

A embalagem RE-K possui um revestimento não sintético para proteção contra umidade na região externa, sob a tinta com a estampagem da marca da cerveja, permitindo assim que somente 1 g/m^2 de água seja absorvida pelo papel, protegendo o produto

existente em seu interior. A embalagem RI-K que não possui nenhum revestimento externo teve uma absorção de 20 g/m² em um período de 60 segundos, sendo justificado pela ausência da barreira contra umidade. Comparando os casos de embalagens com papel Kraft, observa-se que a RE-K absorveu uma quantidade maior de água do que RI-K e isso, possivelmente, está atrelado ao grau de deslignificação do papel. Quanto maior o grau de deslignificação da polpa celulósica, menor o percentual de lignina residual, e quanto menor a quantidade de lignina, maior a absorção de água, conferindo um valor de Cobb maior.

A maior absorção de água sendo registrada na região externa na embalagem RI-B com 28 g/m², está atrelada ao fato de possuir somente um acabamento com papel branco com brilho, sem nenhum revestimento, baixo teor de lignina e alto teor de celulose e hemicelulose. Isso é, a celulose com seu comportamento hidrofílica tem uma elevada interação com a água, permitindo uma absorção mais expressiva.

4.2 Biodegradação

As embalagens de material vegetal ou *eco-friendly*, podem apresentar diferentes níveis de biodegradação do material, em razão da sua composição química e também da presença de barreira contra umidade. Analisando as embalagens deste trabalho com relação aos tempos de degradação e os percentuais de perda de massa, observou-se uma diferença significativa entre elas, decorrente as variações existentes nas composições e revestimentos.

A Figura 11 indica as variações constantes de perda de massa das embalagens ao longo de cinco semanas de experimento, evidenciando um comportamento diferenciado entre elas com relação ao percentual de degradação. Entre as embalagens analisadas, o maior percentual de degradação foi a RE-K com 33,3%, ao mesmo tempo que RI-K e RI-B tiveram percentuais de degradação equivalentes a 20,8% e 29,3%, respectivamente. A diferença no comportamento de degradação está diretamente relacionada com a composição química do papel e o tipo de revestimento aplicado. Apesar da embalagem RE-K apresentar a maior gramatura e espessura (322,7 g/m² e 0,440 mm, respectivamente) entre as demais embalagens, existem vantagens em sua composição que possibilitam um melhor percentual de degradação. O fato de a embalagem RE-K possuir um revestimento contra umidade na região externa possivelmente não sintético e um papel Kraft, de menor grau de deslignificação, favorecendo uma maior interação das

fibras presentes no papel com a umidade do solo, isso permite uma degradação mais acentuada, em comparação com as demais embalagens. O percentual de degradação deste trabalho, apesar de superiores aos reportados por ZHU *et al.* 2023, seguem uma tendência compatível com a literatura, indicando que materiais com revestimento biodegradáveis apresentaram ocorrência de biodegradação em cinco semanas.

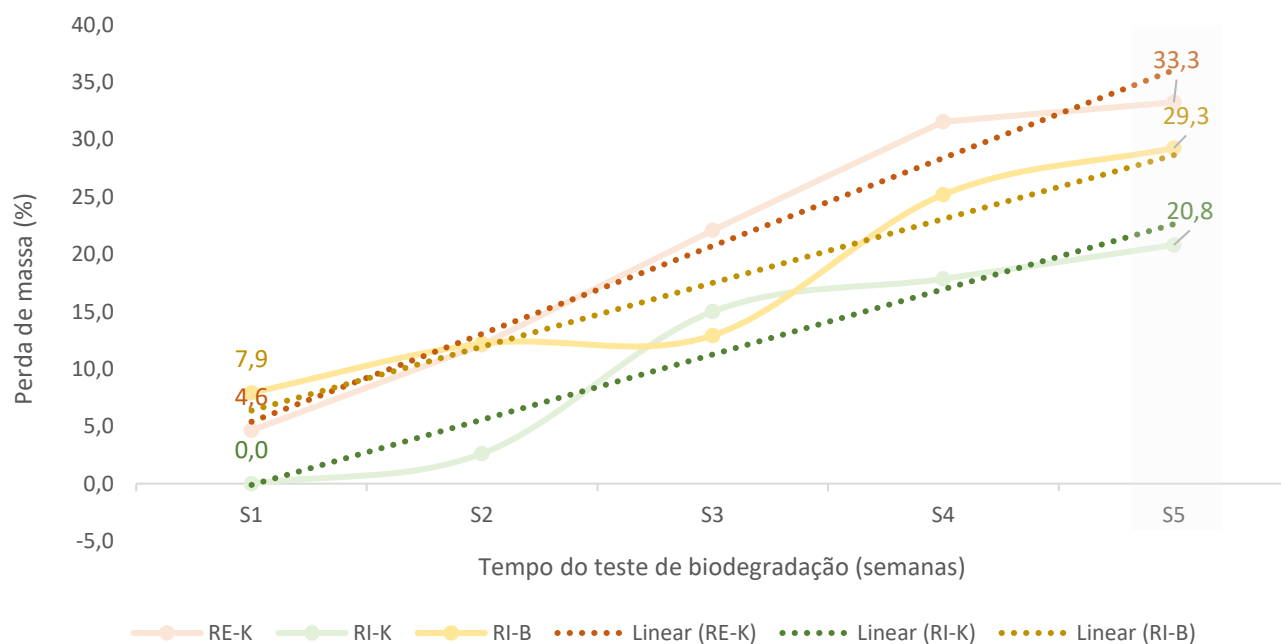


Figura 11 – Taxa de degradação das embalagens RE-K, RI-K e RI-B, ao longo de cinco semanas (%).

Fonte: Próprio autor.

A embalagem RI-B com 29,3% de perda de massa, sendo a segunda embalagem com maior degradação. Na sua constituição, existia a presença de papel *Couché* com brilho na região externa e interna, contudo no interior do copo possuía um revestimento com filme de plástico sob o papel *Couché*. O papel *Couché*, é um papel para impressão que pode ter um acabamento com brilho ou com efeito mate, caracterizado por uma superfície lisa (para receber a impressão), porosa e elevada capacidade de absorção. Tudo isso, atrelado ao elevado nível de hemicelulose e celulose na polpa (CAMPOS, 2009). A celulose presente nesse tipo de papel, foi obtida a partir do processo de branqueamento, onde é feito a remoção de lignina (maior grau de deslignificação), permitindo fibras menos enrijecidas e com uma melhor interação e conexão entre si. As propriedades do papel *Couché* refletiram no comportamento da embalagem com relação a degradação, contribuindo com quase 30% do material decomposto em apenas cinco semanas, esse

comportamento da constituição química do papel também foi observado em AHMED *et al.* (2018), com relação a degradação do papel. Contudo, devido a presença do plástico na região interna, a degradação não atingiu números mais elevados.

O valor de 20,8% de perda de massa referente a embalagem RI-K, caracterizado como a menor degradação entre as embalagens analisadas, também está relacionado a sua composição. A embalagem RI-K é constituída por uma região externa com papel Kraft e uma região interna com papel *Couché* com brilho, sobre a qual há um revestimento com plástico. Contudo, por se tratar de um copo o acabamento na região externa com papel Kraft requer maior rigidez estrutural, garantindo firmeza no manuseio e evitando que amasse. Dessa forma, estima-se que em sua composição química tenha maior quantidade de lignina residual, assegurando essa rigidez que é necessária. Além disso, quanto maior o número de lignina residual, menor porosidade do papel e menor a absorção de água (BROGLIO DA ROSA *et al.*, 2002), possibilitando que ao manusear o copo com a mão úmida, não danifique a embalagem por completo, decorrente a menor interação da lignina com água.

4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para análise superficial da embalagem degradada, foi utilizado a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), para identificar possíveis alterações no papel após três semanas de experimento. Na Figura 12, indicando a superfície da embalagem RE-K antes e depois do processo de biodegradação após três semanas. Na imagem 12.1 refere-se a região interna da embalagem, sendo facilmente identificado as fibras do material lignocelulósico conectadas entre si (papel Kraft), e na Figura 12.2 após o processo de degradação do material. Analisando a região externa, na Figura 12.3 verifica-se um alinhamento das fibras do papel indicando a aplicação de um revestimento dessa região, possibilitando uma resistência a umidade. Deduzindo assim, que esse revestimento não é sintético, visto que na Figura 12.4 encontra-se a superfície degradada, o que não aconteceria com um polímero sintético em um curto espaço de tempo.

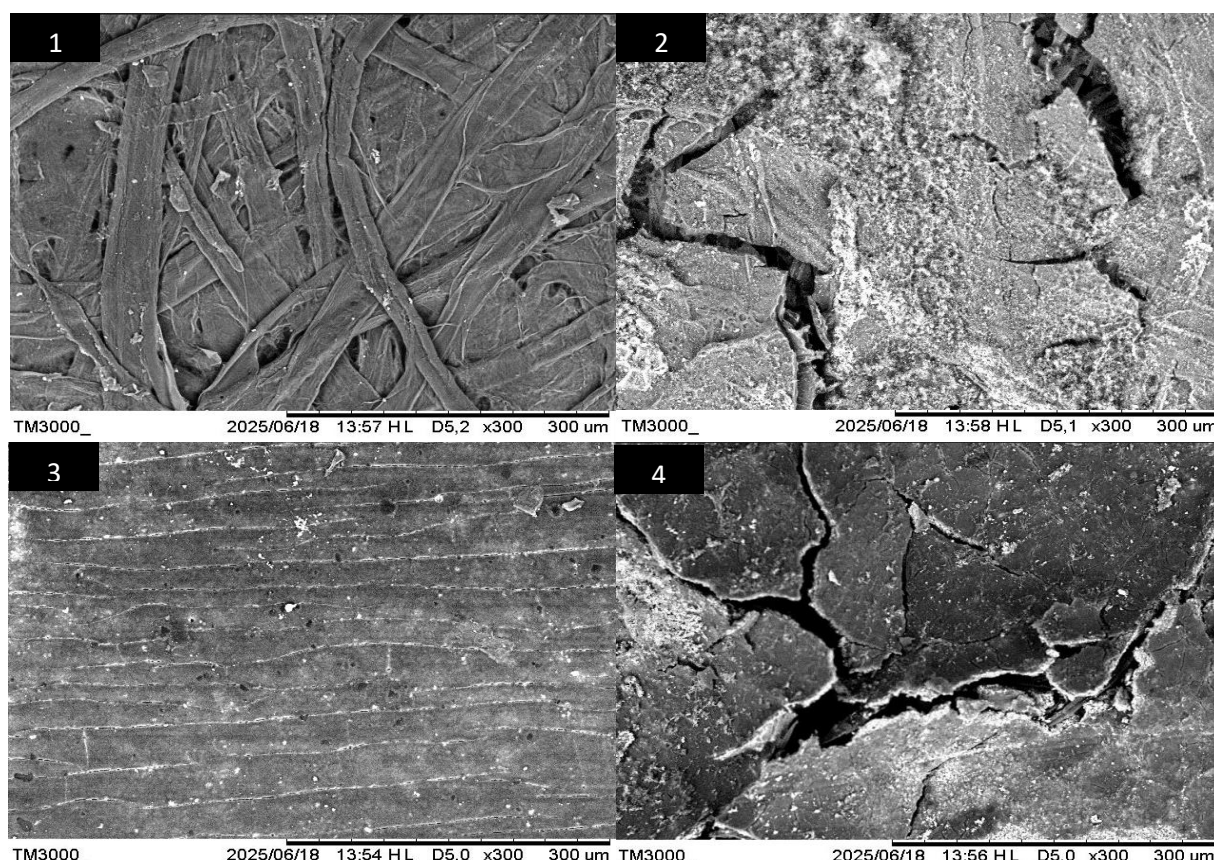


Figura 12 – Registro de degradação da embalagem RE-K ao longo de três semanas, obtidas a partir de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV). Onde: (1) Região interna com papel Kraft; (2) Região interna com papel Kraft degradada; (3) Região externa com revestimento; (4) Região externa com revestimento degradado.

Fonte: Próprio autor.

Na Figura 13 estão dispostas as imagens de MEV da embalagem RI-B, antes e depois da degradação. Na imagem 13.1 indica o revestimento de plástico aplicado sob a região interna do copo, e na 13.2 a região externa com acabamento de papel *Couché*, antes do processo de gradação. É nítido a diferença entre as superfícies, sendo a 13.1 um aspecto mais rugoso e a 13.3 uma superfície mais lisa e mais porosa. Após o processo de degradação, indicado na Figura 13.2, observa-se que não houve diferença significativa, somente alguns pontos que se assemelham com um princípio de degradação, enquanto que na 13.4 a superfície do papel *Couché* foi bastante degradado pela ação dos microrganismos. O polímero que reveste a superfície interna da embalagem, pode ser de origem sintética motivado pelo seu resultado aparente após o processo de degradação.

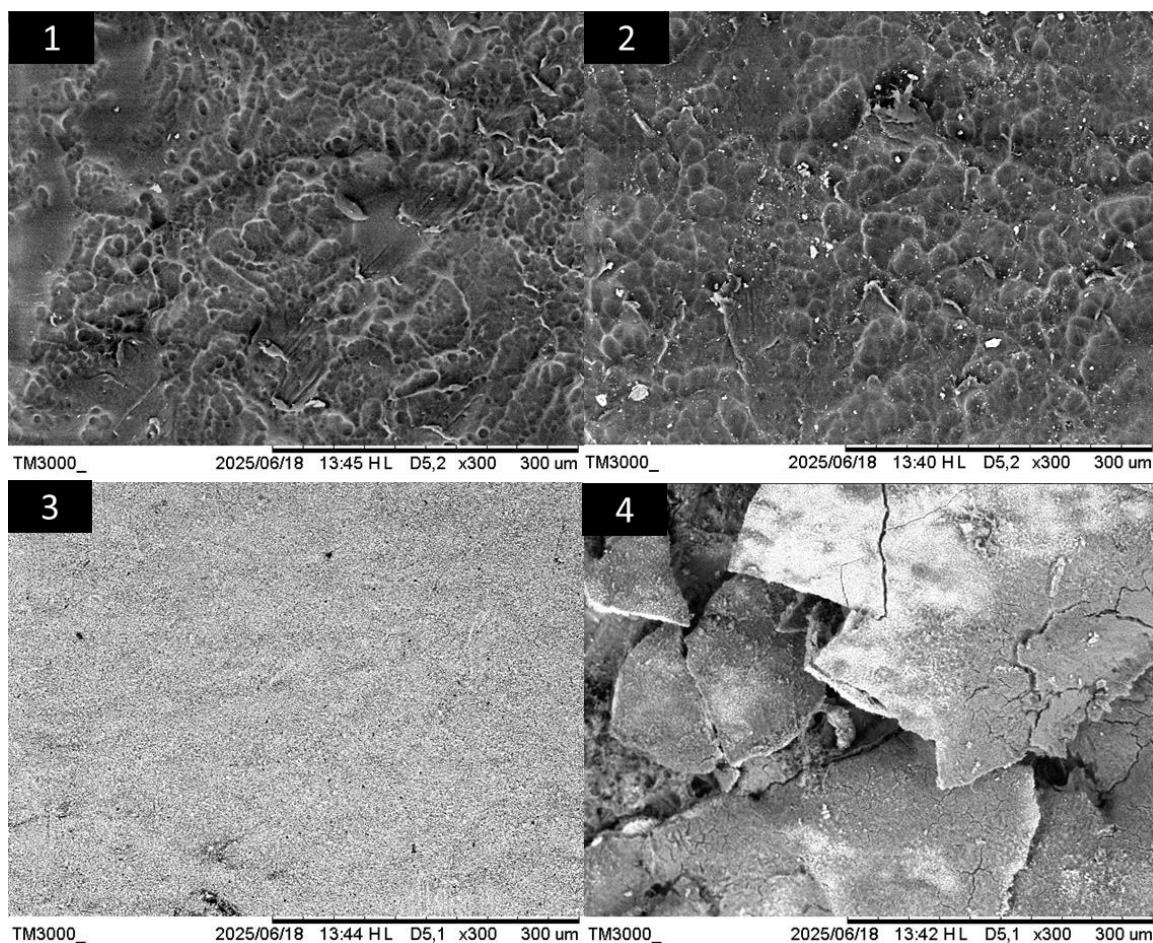


Figura 13 - Registro de degradação da embalagem RI-B ao longo de três semanas, obtidas a partir de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV). Onde: (1) Região interna com revestimento de plástico; (2) Região interna com revestimento de plástico degradado; (3) Região externa de papel *Couché* com brilho; (4) Região externa de papel *Couché* com brilho degradada.

Fonte: Próprio autor.

A embalagem RI-K representada na Figura 14 com relação as suas imagens do MEV, implica em discussões sobre o seu comportamento com relação a atividade de degradação. Na imagem 14.1 nota-se uma superfície bem uniforme e lisa indicando a presença do revestimento de polímero nessa face da embalagem (região interna). Enquanto que na imagem 14.3 verifica-se nitidamente as fibras do papel com bastante adesão entre si. Após o período de degradação, obtive as imagens das faces “degradadas” e na Figura 14.2 não houve ação do processo de degradação (face revestida com plástico), ao passo que na Figura 16.4 que representa a região externa da embalagem, a atividade de degradação é ligeiramente observada em alguns pontos, tornando as fibras um pouco

“esbranquiçadas”, porém não ocorre uma degradação significativa do papel Kraft, tal como foi vista na imagem 14.2 da embalagem RE-K. Esse comportamento de não degradação da região interna, da Figura 14.2 também pode estar atrelado a um revestimento sintético, tal como na embalagem RI-B.

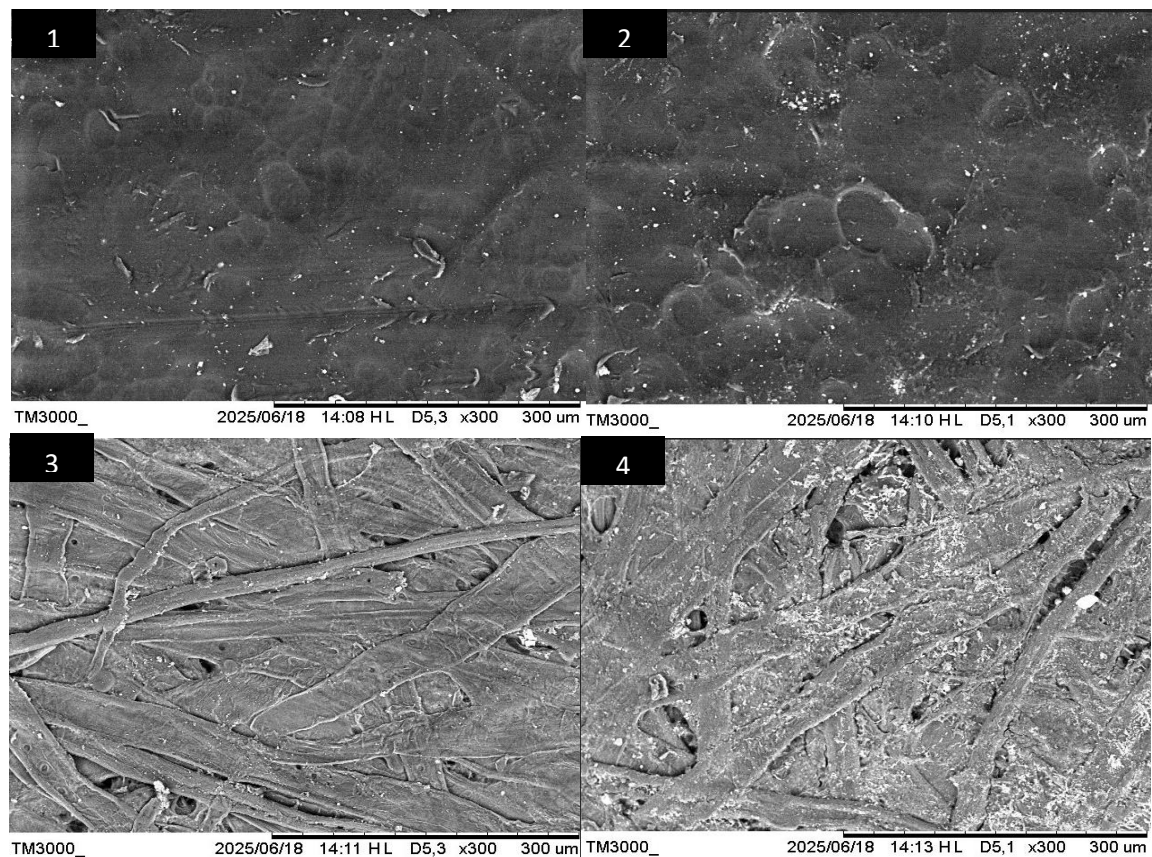


Figura 14 - Registro de degradação da embalagem RI-K ao longo de três semanas, obtidas a partir de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV). Onde: (1) Região interna com revestimento de plástico; (2) Região interna com revestimento de plástico degradado; (3) Região externa com papel Kraft; (4) Região externa com papel Kraft degradado.

Fonte: Próprio autor.

Além das imagens obtidas pelo MEV para análise e observação do comportamento da degradação nas embalagens em sua região superficial, foi registrado a estrutura física das amostras com o intuito de permitir uma análise qualitativa e, estabelecer correlações com os dados obtidos e, as alterações visuais observadas das embalagens durante o experimento de biodegradação em cinco semanas.

4.4 Avaliação Visual Pós-Degradação das Embalagens

Com intuito de compreender os resultados apresentados com as amostras que foram submetidas ao sistema de degradação, foram feitos registros dos materiais físicos ao longo de cinco semanas, para observar a ação da degradação no papel. Para as três embalagens analisadas, foram registradas imagens da região interna e externa, sendo assim necessário decorrente as diferenças na composição e no revestimento, resultando em níveis diferentes de degradação.

A análise visual da Figura 15 referente a embalagem RE-K indica também uma constante degradação ao longo do tempo, contudo essa perda de massa é possível ser verificada em ambas as faces do papel (interna e externa). Como já supracitado, suponha-se que devido a presença do revestimento não sintético e um papel Kraft com um baixo teor de lignina residual, permitiu que a atividade de biodegradação ocorresse de forma mais acentuada na região interna e externa, e de maneira constante no tempo. Entre as semanas 3 e 4, observa-se uma maior atividade da degradação no material de forma qualitativa, e de acordo com os dados o maior registro de perda de massa foi na semana 2 para a semana 3 com 10%.



Figura 15 - Teste de biodegradação da embalagem RE-K no período de cinco semanas, indicando a diferença da degradação na região externa e interna.

Fonte: Próprio autor.

Na Figura 16 da embalagem RI-B, diferentemente da RI-K (Figura 17), o processo de degradação já inicia desde a semana 1 conforme verifica-se algumas esfoliações na sua superfície. Ao longo do experimento, a degradação da região externa teve uma evolução constante indicando uma boa interação do papel *Couché* com os microrganismos degradadores e umidade presentes no solo. Na região interna, até a semana 3 não houveram grandes alterações visualmente. A partir da semana 4, aparentemente, indicou uma degradação do papel *Couché* que estava abaixo do revestimento, sendo possível identificar por meio da seta o polímero sintético intacto mesmo após a degradação do papel, na região interna. Com relação ao maior período de degradação entre uma semana e outra, visualmente foi entre a 3 e 4, e de acordo com os dados a maior perda de massa, sendo equivalente a 12,3% foi entre as semanas 3 e 4, coincidindo com a análise visual.



Figura 16 - Teste de biodegradação da embalagem RI-B no período de cinco semanas, indicando a diferença da degradação na região externa e interna.

Fonte: Próprio autor.

A embalagem RI-K representada na Figura 17, indica a evolução da degradação do papel ao longo de cinco semanas, tendo uma expressão maior da atividade na região externa e nas semanas 4 e 5, quando analisadas de maneira visual. Quando é feito um paralelo da análise qualitativa com a quantitativa do processo de biodegradação, verificou-se que o maior salto entre uma semana e outra, com relação a perda de massa foi da semana 2 para semana 3 com uma diminuição de 12,4%, não refletindo os resultados com a análise visual. Analisando a região interna, aparentemente, nas semanas 4 e 5 o papel *Couché* se degradou um pouco mais, contudo o plástico permaneceu na superfície. Vale ressaltar que, na semana 1 da embalagem RI-K não houve perda de massa, e por isso a amostra não consta nenhuma degradação.



Figura 17 - Teste de biodegradação da embalagem RI-K no período de cinco semanas, indicando a diferença da degradação na região externa e interna.

Fonte: Próprio autor.

5. CONCLUSÃO

Embalagens de papel Kraft com teores elevados de lignina (menor grau de deslignificação), impactam no tempo de degradação do material decorrente a baixa porosidade e interação com a umidade presente no solo. Por outro lado, embalagens provenientes de papel branqueado, por apresentarem baixos teores de lignina e elevado de celulose e hemicelulose, permitem assim uma maior interação das fibras com a umidade, favorecendo uma degradação em um período de tempo menor.

A possível identificação de um revestimento de polímero sintético mostrou impactar no tempo de degradação do material, visto que as embalagens com esse revestimento apresentaram uma redução de perda de massa em um mesmo espaço de tempo, quando comparado com a embalagem com revestimento não sintético, que por sua vez apresentou maior percentual de degradação.

Apesar dos fatores de composição química do papel e o polímero para revestimento contra umidade, a degradação se mostrou promissora para embalagens de material vegetal, constando uma perda de massa de até 33% em apenas cinco semanas sem o uso de polímero sintético, e as com filme de plástico obtendo uma degradação de 21% e 29%. Verificou-se que nas semanas 4 e 5 houve uma expressiva degradação visual dos materiais das três embalagens. Para uma degradação total, um maior tempo de experimento é necessário.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABRE - Associação Brasileira de Embalagens. (2024). **Consumo per capita de embalagens plásticas flexíveis cresce no Brasil em 2023**. Disponível em: < <https://www.abre.org.br/inovacao/comunicacao/consumo-per-capita-de-embalagens-plasticas-flexiveis-cresce-no-brasil-em-2023/>>. Acesso em: 29 de junho de 2025.

ABRE - Associação Brasileira de Embalagens. (2024). **Estudo ABRE macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo**. Apresentação março de 2024: fechamento dos dados de 2023. Disponível em: < <https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2023-2/>>. Acesso em: 14 de maio de 2025.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2012.

ABREMA - Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2024.

AHMED, S.; Hall, A. M.; Ahmed, S. F. Comparative biodegradability assessment of different types of paper. *Journal of Natural Sciences Research*, 8, 9-20. 2018.

ASTM D5338 – 15 Standard. Determining aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions, incorporating thermophilic temperatures.

BARDI, M. A. G.; Rosa, D. S. Avaliação da biodegradação em solo simulado de poli (ϵ -caprolactona), acetato de celulose e suas blendas. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, 26(1), 43-47, 2007.

BOEHM, C. Geração de lixo no mundo pode chegar a 3,8 bi de toneladas em 2050. Agência Brasil, 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2024-02/geracao-de-lixo-no-mundo-pode-chegar-38-bi-de-toneladas-em-2050>.

BONA, J. C. **Filmes biodegradáveis a partir de blendas de amido com polietileno**. 2007. 115f.

BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Conjuntura BRACELPA**. 2014.

BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Conjuntura BRACELPA**, 2014.

BROGLIO DA ROSA, C.; CARDOSO, G.; FRIZZ, S.; FOELKEL, C.; DE ASSIS, T.; DE OLIVEIRA, P. *Comportamento da madeira de Eucalyptus globulus com diferentes teores de lignina para produção de celulose Kraft* [CD-ROM]. In: **CONGRESSO E EXPOSIÇÃO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP**, 35., 2002, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ABTCP, 2002. p. 14–17.

BROWNING, B. L.; *Methods of wood chemistry*, John Wiley: New York, 1967.

CAMPOS, E. S. Produção de Papel. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - **ABTCP**, Boletim técnico, São Paulo, 2009, 23p.

CANEVAROLO, S.V. Jr. Técnicas de Caracterização de Polímeros. **Artliber Editora Ltda**, São Paulo, 2003, 2ª edição, 341-357.

DUBOWIK, M.; Przybysz, K.; Dańczak, J.; Lipkiewicz, A.; Gajadur, M.; Górská, B.; Przybysz, P. Micro-and Nanofibrillated Cellulose Coatings as Barriers Against Water and Oil in Food Packaging Paper: A Sustainable Alternative to Plastic Coatings. *Coatings*, 15(3), 270. 2025.

ECYCLE. **Embalagem biodegradável: vantagens, desvantagens e exemplos**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/2910-embalagem-biodegradavel>>. Acesso em: 14 maio de 2025.

Estudo ABRE macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo. Associação Brasileira da Embalagem, 2024. Disponível em: <https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2024-2/>. Acesso em: 27 de junho de 2025.

FELLOWS, P. J. Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípio e Prática. São Paulo: **Artmed**. 2018.

FELLOWS, P. J. Tecnologia do processamento de alimentos: princípio e prática. São Paulo: **Artmed**. (2006).

FERREIRA, M. C.; DA SILVA, J. S. G. Embalagens biodegradáveis: um estudo sobre as vantagens e desvantagens no setor de alimentos. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 3, p. e3659-e3659, 2024.

FRANCHETTI, S. M. M.; Marconato, J. C. Polímeros biodegradáveis: uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, 29(4), 811-816. 2006.

IBA - Relatório anual da Industria brasileira de árvores (2023).

IBA - Relatório anual da Industria brasileira de árvores (2024).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2022**. 2022.

JERZYK, E. Design and communication of ecological content on sustainable packaging in young consumers' opinions. J. **Food Prod. Mark.** 22 (6), 707 e 716. 2016.

JORGE, N. **Embalagens para alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2013. 194 p.

KLOCK, U.; Muñiz, G. D.; HERNANDEZ, J. A.; Andrade, A. D. Química da madeira. **Fupec, Curitiba**. 2005.

KUBASKI, L. A.; Ito, P. B. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável a partir de resíduos da indústria de batata e cerveja**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

KUMAR, M.; Mohanty, S.; Nayak, S. K.; Rahail Parvaiz, M. Effect of glycidyl methacrylate (GMA) on the thermal, mechanical and morphological property of biodegradable PLA/PBAT blend and its nanocomposites. **Bioresource Technology**, 101(21), 8406-8415. 2010.

LANDIM, A. P. M.; Bernardo, C. O.; Martins, I. B. A.; Francisco, M. R.; Santos, M. B.; Melo, N. R. D. **Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil**. *Polímeros*, v. 26, n. spe, p. 82-92, 2016.

LARINI, V. P. **Avaliação do ciclo de vida de embalagens para delivery**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de São Carlos, 2021.

LEA, E.; Worsley, A. Australian consumers' food-related environmental beliefs and behaviours. **Appetite** 50, 207e214. 2018.

Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília.

LIMA, S. L. T. Reciclagem e biodegradação de plásticos. **Revista Científica do IMAPES**, 2(2), 28-34, 2004.

MALI, S.; Grossmann, M. V. E.; Yamashita, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. *Semina: Ciências Agrárias*, 31(1), 137-156. 2010.

MANCINI, P.; Marchini, A.; Simeone, M. Which are the sustainable attributes affecting the real consumption behaviour? Consumer understanding and choices. *Br. Food J.* 119, 1839 e 1853. 2017.

MARIANO, M. J. Considerações sobre a história da embalagem de alimentos: a evolução de uma poderosa ferramenta de marketing. In: **6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, 2004, São Paulo.

MARIANO-TORRES, J. A.; LÓPEZ-MARURE, A.; DOMIGUEZ-SÁNCHEZ, M. A. Synthesis and characterization of polymers based on citric acid and glycerol: Its application in non-biodegradable polymers. **Dyna**, v. 82, n. 190, p. 53-59, 2015.

MARQUES, L. O que são polímeros e por que são interessantes?. **Jornal Diário do Sul**. 2010.

MARSH, K.; Bugusu, B. Food packaging: roles, materials, and environmental issues. **Journal of Food Science**, 72(3), 39-55, 2007.

MICHAELI, W. Tecnologia dos Plásticos. **Editores Edgard Blücher Ltda.**, São Paulo, 1995.

MORAES, J. O. Propriedades de Filmes de Amido Incorporados de Nanoargilas e Fibras de Celulose. Dissertação, Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Santa Catarina, p. 4. 2009.

MOTHÉ, C. G.; Fernanda T. G. D.; Mothé G. M. Avaliação térmica e mecânica da degradação de Materiais poliméricos na proteção ao meio Ambiente. **Congresso Brasileiro De Polímeros**. Vol. 10. 2009.

MUKHERJEE, Chandrapaul et al. Recent advances in biodegradable polymers Properties, applications and future prospects. **European Polymer Journal**, p. 112068, 2023.

NEIS, L. C.; SANTOS, P. S. A embalagem como importante ferramenta de merchandising na decisão e compra do consumidor. **Revista Advérbio**, v. 7, n. 13, 2012.

PITT, F. D.; BOING, D.; BARROS, A. A. C. Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. **Revista da UNIFEBE**, v. 1, n. 09, 2011.

PODDAR, D.; Srivastava, R. K.; Pattanayek, S. K.; Goel, G. Structure-property relationships in shellac-coated paper: impact of coating parameters on high-barrier bio-based packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 143172. 2025.

PRESAS, J.; PRESAS, P. **História da Embalagem: uma Brevíssima Resenha do Século XX. History of the Packing: One Soon Summary of Century XX**. 2009.

RODRIGUES, C et al. Materiais lignocelulósicos como matéria-prima para a obtenção de biomoléculas de valor comercial. **Biotecnologia aplicada a agroindústria**. 2017.

- RODRIGUES, T. T. Polímeros nas indústrias de embalagens. Uberlândia, MG. 2018.
- RODRÍGUEZ-BARREIRO, L.M.; Fernandez-Manzanal, R.; Serra, L.M.; Carrasquer, J.; Murillo, M.B.; Morales, M.J.; Calvo, J.M.; Valle, J.d. **Approach to a causal model between attitudes and environmental behaviour: a graduate case study**. J. Clean. Prod. 48, 116e125. 2013.
- RONCARELLI, S.; ELLICOTT, C. **Design de Embalagem: 100 fundamentos de projeto e aplicação**. São Paulo: Editora Blucher, 2010. p 110 - 220.
- SANTOS, A. M. P.; Yoshida, M. P. **Embalagem (Técnico em Alimentos)**. Recife: UFRPE. 2011.
- SANTOS, A. M. P.; Yoshida, M. P. **Embalagem (Técnico em Alimentos)**. Recife: UFRPE. 2007. Disponível em: <http://200.17.98.44/pronatec/wp-content/uploads/2013/06/Embalagem.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2025.
- SILVA, A. Design de embalagem e PDV. Curitiba: **InterSaberes**, 2021.
- SILVA, A. M.; MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M.; CICHOSKI DA SILVA, J. E.; COSTA, C. C.; CLINI, D. C.; FREITAS, O. J. V.; SOUZA, M. V. P. S. Análise das propriedades de molhabilidade para o papel Kraft e papelão ondulado. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 22, n. 2, p. 1–23, 2024.
- TAPPI ANSI T 410 om-23**. Grammage of paper and paperboard (weight per unit area).
- TAPPI ANSI T 411 om-21**. Thickness (caliper) of paper, paperboard, and combined board.
- TAPPI ANSI T 441 om-20**. Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper, paperboard, and corrugated fiberboard (Cobb test).
- TRIBST, Alline A. L.; SOARES, Beatriz M. C.; AUGUSTO, Pedro E. D. Papel da embalagem na integridade dos alimentos. *Nutrição Profissional*, v. 21, set./out. 2008. Disponível em: <<http://www.racine.com.br/portal-racine/alimentacao-e-nutricao/varejo-de-alimentos/papelda-embalagem-na-integridade-dos-alimentos>>.
- VANDAMME, T. F.; LENOURRY, A.; CHARRUEAU, C.; CHAUMEIL, J.C. The use of polysaccharides to target drugs to the colon. **Carbohydrate Polymer**, Oxford, v. 48, p. 219-231, 2002.
- WORLD BANK. What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development; Washington, DC: **World Bank**, 2018.
- YAM, K. L. *The Wiley encyclopedia of packaging technology*. New York: Wiley, 1986.
- ZHU, R.; Lv, W.; Sun, C.; Qin, C.; Zhang, D.; Long, Z. A facile strategy to fabricate high-barrier, water-and oil-repellent paper with carboxymethyl cellulose/collagen fiber/modified polyvinyl alcohol. *Carbohydrate Polymers*, 314, 120933. 2023.