

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Engenharia de Alimentos

**EMBALAGENS CELULÓSICAS PARA PRODUTOS
ALIMENTÍCIOS E SUSTENTABILIDADE**

Walesska de Souza Nunes

Montes Claros

2021

Waleska de Souza Nunes

**EMBALAGENS CELULÓSICAS PARA PRODUTOS ALIMENTÍCIOS E
SUSTENTABILIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Ciências
Agrárias da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial, para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof.^a Dra. Érika Endo Alves

Montes Claros
Instituto de Ciências Agrárias – UFMG
2021

Waleska de Souza Nunes. **EMBALAGENS CELULÓSICAS PARA
PRODUTOS ALIMENTÍCIOS E SUSTENTABILIDADE**

Aprovada pela banca examinadora constituída por:

Prof. Dr. Maximiliano Soares Pinto – ICA/UFMG

Profª. Dra. Roberta Torres Careli – ICA/UFMG



Profª. Dra. Erika Endo Alves – Orientadora ICA/UFMG

À minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Ao meu irmão por todo apoio, a todos os meus amigos que me deram suporte e não deixaram desistir, e principalmente à minha Mãe pela imensurável ajuda.

*"A natureza pode suprir todas as necessidades do
homem, menos a sua ganância".*

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

A embalagem é uma mercadoria amplamente difundida e o seu uso está crescendo consideravelmente, cujo uso e descarte indiscriminado constituem um grande problema ambiental. Esta situação também pode englobar os recipientes produzidos a partir de matérias-primas de fonte renovável, como as embalagens celulósicas, pois dependendo da forma como são produzidas, utilizadas e descartadas, também podem prejudicar o meio ambiente, devido à geração de compostos poluentes, consumo excessivo de recursos naturais etc. Assim, nas últimas décadas, o desenvolvimento de novos modelos econômicos aplicados ao setor de embalagens de alimentos, vem resgatando a importância da embalagem como ferramenta de sustentabilidade para a sociedade, onde os benefícios são bastante significativos, não somente para o meio ambiente, como também para a segurança dos alimentos. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre embalagens celulósicas para alimentos, sua produção e usos focados na sustentabilidade. Avaliações acerca de custos, impactos ambientais, benefícios internos e externos provenientes de práticas mais sustentáveis vem ganhando atenção tanto na literatura quanto nas indústrias, e vem se refletindo na adoção de técnicas inovadoras, como a geração de biopolímeros compostáveis, de recipientes com *designs* diferenciados e com redução de matéria-prima, entre outras inovações. Dentre os novos conceitos em ascensão, se destacam a Análise de ciclo de vida e a Economia circular, os quais primam pela redução de desperdícios e resíduos, pela manutenção dos recursos naturais e por uma produção e consumo mais conscientes. No entanto, mesmo que as novas tecnologias e os esquemas adotados tenham grande potencial de êxito, a disposição do consumidor em participar desses sistemas também precisa ser cuidadosamente considerada e estimulada. A conscientização/sensibilização dos consumidores e sua inserção no sistema, bem como a participação ativa de outros atores, como indústria, academia e governo, são essenciais para que a produção, o consumo e o descarte de embalagens de alimentos apresentem menor impacto negativo sobre o ambiente e sobre a qualidade de vida da população e das próximas gerações.

Palavras-chave: Celulose. Meio ambiente. Economia Circular. Biodegradável. Embalagem de Alimentos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura principal da parede celular vegetal na biomassa lignocelulósica	19
Figura 2 – Fluxograma de produção da polpa de celulose pelo processo.....	20
Figura 3 – Deposição da polpa de celulose sobre a mesa plana.....	21
Figura 4 – Esquema do equipamento do tipo Fourdrinier (mesa plana).....	22
Figura 5 – Estrutura e classificação do papelão.....	23
Figura 6 – Produção do papel ondulado de face simples.....	24
Figura 7 – Produção do papelão de parede simples.....	24
Figura 8 – Processo de produção da lata composta	27
Figura 9 – <i>Pack</i> de seis unidades de cerveja produzido com excedente de palha de cevada	33
Figura 10 – Embalagem compostável.....	34
Figura 11 – Embalagem celulósica com redução de matéria-prima e agentes químicos.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química de materiais lignocelulósicos de diferentes fontes.....	17
Tabela 2 - Tipos materiais e embalagens celulósicas utilizadas para embalar alimentos	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

ABRE – Associação Brasileira de Embalagem

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

EC – Economia Circular

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. METODOLOGIA.....	12
3. EMBALAGEM DE ALIMENTOS	12
4. MATERIAIS CELULÓSICOS	16
5. EMBALAGENS CELULÓSICAS	24
6. ECONOMIA CIRCULAR.....	28
7. PRODUÇÃO E USO SUSTENTÁVEL DE EMBALAGENS CELULÓSICAS	32
8. CONCLUSÃO.....	36
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

A origem da embalagem está atrelada à necessidade inicial de transporte de líquidos e grãos em potes e cestas, somada ao nomadismo de nossos ancestrais. Seu desenvolvimento ocorreu juntamente com a descoberta dos métodos de conservação e processamento dos alimentos, dado que, para serem de fato efetivos, devem considerar os tipos de materiais e embalagens que comportem os produtos, a fim de manter a qualidade e segurança para o consumo (DUNN, 2015).

A presença da embalagem na sociedade deve-se ao seu papel fundamental na preservação e minimização de desperdícios de alimentos ao longo da cadeia de distribuição (HAN *et al.*, 2018; ROBERTSON, 2012). Ao atuarem como transportadoras dos alimentos para regiões distantes do local e da época de colheita, as embalagens funcionam como uma importante ferramenta para transformação das economias agrícolas em indústrias, permitindo que os trabalhadores rurais forneçam mantimentos para aqueles que residem e trabalham em áreas urbanas (DUNN, 2015).

Ao longo dos séculos, diferentes tipos de materiais foram descobertos e aprimorados, sendo o vidro, os metais, os plásticos e os materiais celulósicos os mais empregados comercialmente na elaboração de embalagens para alimentos. Destes, os materiais celulósicos que outrora foram substituídos pelos plásticos na elaboração de embalagens de diversos produtos, têm o uso resgatado e impulsionado pelo aumento da preocupação com o meio ambiente e com os impactos causados pelo grande volume de embalagens geradas e descartadas inadequadamente.

Neste contexto, dentre as principais macrotendências observadas para as embalagens, temos a sustentabilidade, que vem norteando seu planejamento, produção, uso e descarte. Como reflexo dessa tendência, nos últimos anos, é visível a preocupação de grandes empresas quanto ao uso excessivo das embalagens plásticas e de seus impactos no meio ambiente, cuja reação vem ocorrendo pela redução da quantidade empregada do material, pela reciclagem e reuso de suas embalagens e, também, pela substituição por fibras celulósicas na elaboração dos recipientes e seus acessórios, como rótulos, canudos etc. (FROOZEN FOOD EUROPE, 2019; INTERPACK, 2020; NESTLÉ, 2019; RITTER SPORT, 2020).

Apesar de, aparentemente, os materiais celulósicos serem impecáveis quanto à sustentabilidade, não estão isentos de apresentarem problemas durante a produção da matéria-prima e das embalagens e nem durante o uso e descarte. Ademais, algumas características técnicas desses materiais devem ser aprimoradas, como o desempenho como substitutos dos plásticos, a interação com os produtos acondicionados, a resistência mecânica, dentre outros aspectos.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma visão geral sobre as embalagens celulósicas para alimentos, sobre a sua produção e usos focados na sustentabilidade.

2. METODOLOGIA

A revisão da literatura e a fundamentação teórica tem como intenção esclarecer o que já foi feito sobre o assunto ou tema e quais avanços o projeto propõe estabelecer. Para a realização da revisão bibliográfica, foram utilizados artigos científicos disponíveis em bancos de dados como SCIELO, GOOGLE ACADÊMICO, PUBMED e SCIENCEDIRECT. Também foram consultados diversos livros, legislações, páginas e blogs sobre o tema em estudo.

Inicialmente, foi realizada uma busca geral sobre embalagens celulósicas, empregando como critério de seleção os títulos e resumos coincidentes com o tema abordado. Posteriormente, foi efetuada uma busca mais específica sobre os tópicos a serem discutidos na presente revisão, como histórico, legislação, indústria de papel e celulose, sustentabilidade, novas tecnologias, desafios e perspectivas futuras.

3. EMBALAGEM DE ALIMENTOS

Os primeiros registros do que se pode chamar de embalagem surgiram juntamente com o nomadismo a 10 mil anos, pois com a necessidade de migração dos povos, também era preciso transportar os alimentos desde o local de obtenção até o de habitação e armazenar o excedente para uso posterior. Os primeiros tipos de embalagens eram constituídos de elementos provenientes da natureza, como galhos, folhas e terra.

Com a evolução da humanidade e expansão territorial, as embalagens também se desenvolveram, uma vez que os alimentos necessitavam ser conduzidos por percursos maiores (KATSUMATA, 2021; SÁ, 2020).

As mudanças mais notáveis nas embalagens ocorreram nos últimos 200 anos, saindo de um mero recipiente para uma peça importante do projeto do produto. A literatura relata, ainda, que as demandas militares da França do período de Napoleão Bonaparte, as transformações provocadas pela Revolução industrial e as grandes guerras do século XX, foram eventos-chave no desenvolvimento das embalagens (COLES; KIRWAN, 2011). Esses acontecimentos históricos apresentam tal importância na evolução dos recipientes, pois os novos parâmetros de escala/tempo/produção demandados nesses períodos, juntamente com a variedade de produtos que foram surgindo no decorrer dos séculos, impulsionaram o salto evolutivo na fabricação de embalagens (SÁ, 2020).

A primeira grande mudança ocorreu com a criação da conserva de alimentos em 1785, pelo inventor Nicholas Appert, que iniciou seus estudos no início da revolução francesa, por conta das longas viagens e demanda das tropas de Napoleão Bonaparte, quanto à conservação e qualidade dos alimentos transportados. O método de conservação proposto consistia no acondicionamento do alimento com líquido dentro de uma garrafa de vidro lacrada com cera e rolha de cortiça, submetida ao cozimento em banho-maria, invento que foi premiado por Napoleão Bonaparte e que recebeu o nome apertização, em homenagem ao seu criador. Anos mais tarde, a apertização serviu de inspiração para a criação da lata, embalagem desenvolvida como substituta da garrafa de vidro e patenteada em 1810 por Peter Duran (ADRIAN; GARCIA, 2009).

A Revolução industrial, por sua vez, provocou uma profunda mudança na forma como os produtos alimentícios eram elaborados, passando da escala artesanal para a industrial, fato que demandou e contribuiu para o desenvolvimento de novos materiais e de novas embalagens, que favorecessem a produção em maior escala, o transporte a longas distâncias e a extensão da vida comercial dos produtos acondicionados. As grandes guerras contribuíram para a evolução das embalagens por demandarem formas inovadoras de conservação de alimentos e, conseqüentemente, novas embalagens que favorecessem a viabilidade desses processos. Como observado na Segunda Guerra Mundial, que provocou a intensificação do desenvolvimento dos

métodos de congelamento, enlatamento e secagem (KATSUMATA, 2021; OLIVEIRA; CORRÊA, 2021).

Desse modo, juntamente com as necessidades da população, as embalagens passaram por diversas inovações até chegar aos conceitos atuais. Com o decorrer do tempo, as embalagens extrapolaram as funções de transporte e conservação e começaram a desempenhar, também, funções informativas, de marketing de produtos e de fortalecimento de marcas (KATSUMATA, 2021).

Segundo a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), órgão governamental responsável pela regulação, controle e fiscalização de embalagens de alimentos no Brasil, a embalagem é “o artigo que está em contato direto com alimentos, destinado a contê-los, desde a sua fabricação até a sua entrega ao consumidor, com a finalidade de protegê-los de agentes externos, de alterações e de contaminações, assim como de adulterações” (BRASIL, 2001).

Para Gustavo *et al.* (2018), além das finalidades citadas anteriormente, as embalagens de alimentos também possuem funções como: facilitação no armazenamento, manuseio, transporte, distribuição e preservação dos alimentos, além de fornecer uma forma de comunicação sobre o produto. Desse modo, dentre as principais vantagens associadas ao uso de embalagens, podem ser destacados o aumento da vida útil do alimento, a praticidade no manuseio/consumo, o maior favorecimento do transporte do produto em todo processo de distribuição da cadeia de abastecimento e maior garantia de qualidade até seu destino.

Para que as embalagens exerçam adequadamente as suas funções, a ANVISA (BRASIL, 2001) preconiza que os recipientes que entram em contato direto com alimentos devem ser produzidos seguindo as boas práticas de fabricação, evitando a migração de componentes indesejáveis, tóxicos ou contaminantes em quantidades tais que superem os limites máximos estabelecidos para migração total ou específica, e que possam representar um risco para a saúde humana e/ou ocasionar uma modificação inaceitável na composição ou nas características sensoriais dos alimentos. Além das características citadas anteriormente, segundo RHIM (2013), as embalagens também devem proporcionar segurança aos produtos alimentícios durante o armazenamento e distribuição, prolongar a vida de prateleira por meio de mecanismos como controle de transferência de massa e vapor de água e gases (O₂, CO₂ e aromas) e transmissão de luz entre o ambiente interno e externo à embalagem.

Em relação à classificação, as embalagens podem ser categorizadas de acordo com o material utilizado na sua constituição, consistência e contato com o produto embalado. No que diz respeito à estrutura, podem ser usados vários materiais, como papel ou cartão, metais, plásticos, vidro e madeira. Todos os materiais apresentam aspectos positivos e negativos em suas características. De forma simplista, os materiais de embalagem à base de fibra de celulose podem ser divididos em categorias flexíveis (papel) e rígidas (papelão, polpa moldada, papelão ondulado, papel cartão), enquanto outras denominações estão amplamente relacionadas ao uso e ao histórico (SCHENKER *et al.*, 2021); a possibilidade de sofrer corrosão e esterilização e permanecer por mais de 100 anos no meio ambiente são atribuídas as embalagens de metal; já a impermeabilidade a gases e vapor, versatilidade, transparência, maior custo de transporte e maior valor final são características atreladas as embalagens de vidro. E por fim, as embalagens de plástico destacam pelos seus aspectos de baixo peso, flexibilidade, baixo custo e possibilidade de reciclagem (FELLOWS, 2006; GAVA, 2009; HENNINGSSON *et al.*, 2004; SANTOS, 2011; SCHWARK, 2009).

Já no quesito consistência, para Jorge (2013), as embalagens rígidas se caracterizam por sua dureza, tais como vidro, plásticos rígidos e metais; enquanto as embalagens semirrígidas são consideradas menos duras que as rígidas (ex.: garrafas e recipientes plásticos, laminados mistos) e as embalagens flexíveis se caracterizam por sua baixa dureza e por não terem um formato pré-definido, como os envoltórios e sacos de plástico, celofane, papel e alumínio.

Em relação ao contato com o produto acondicionado, pode-se dividir em três tipos. As embalagens primárias são aquelas que estão em contato direto com o alimento; as secundárias protegem as embalagens primárias na distribuição e as terciárias são empregadas para a preservação das embalagens primárias e secundárias durante o transporte e estocagem (CORREIO; OLIVEIRA, 2019).

Segundo os dados da ABRE - Associação Brasileira de Embalagens (ABRE, 2019), os materiais mais comumente usados na fabricação de embalagens são papel, plástico e metal, os quais respondem por mais de 90% do investimento total na produção de embalagens. O vidro, a madeira e os têxteis, juntos, representam menos de 10% do mercado. Ainda de acordo com a ABRE (2021), o nível de emprego na indústria da embalagem atingiu 230.932 postos de trabalho em dezembro de 2020, sendo 4,0% superior ao de dezembro de 2019. A indústria de papelão ondulado é a

segunda que mais emprega, totalizando, em dezembro de 2020, 34.208 empregos formais (14,8%), seguida da indústria de papel com 22.404 (9,7%). A indústria brasileira de celulose e papel ocupa o 4º e 9º lugar, respectivamente, em termos de produção e gera 128 mil empregos diretos e 640 mil empregos indiretos (ABCP, 2020).

4. MATERIAIS CELULÓSICOS

Existem muitas fontes naturais de celulose e seus derivados, cuja abundância os torna disponíveis e de custo mais acessível. Uma das principais fontes de celulose é a madeira (ZHAO *et al.*, 2019), que é obtida de diferentes espécies de árvores e cuja composição (Tabela 1) pode influenciar nas características da polpa de celulose, matéria-prima base para a produção do papel e dos demais materiais celulósicos. Outras fontes importantes, englobam as fibras vegetais (algodão, cânhamo, linho etc.), animais marinhos (tunicado) ou algas, fungos e bactérias. No caso das fontes vegetais, a celulose pode estar presente na folha (por exemplo, sisal), na fruta (algodão), no caule ou na estrutura rígida das plantas (madeira, linho) (LAVOINE *et al.*, 2012). O algodão, por sua vez, além de ser uma fonte abundante de celulose, é capaz de gerar papéis especiais por conta de sua pureza. Outras fontes de materiais celulósicos são os resíduos agroindustriais como bagaço de cana-de-açúcar, fibra de coco e biomassa de pinha, que podem ter um aproveitamento sustentável e nobre, ao invés de apenas ser descartado na natureza (ZHAO, 2019).

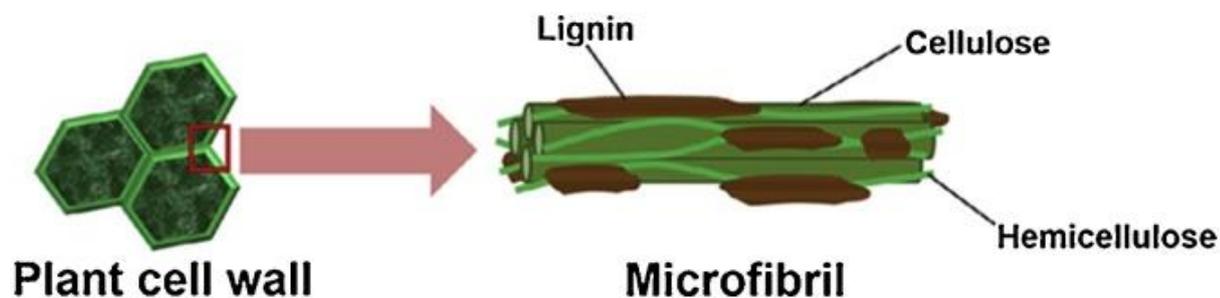
A maioria das paredes das células vegetais é composta de celulose, hemiceluloses e lignina (Figura 1). O conteúdo de lignina representa cerca de 10-25% em peso seco e atua como uma ligação entre os componentes da celulose e hemicelulose, conferindo rigidez e força por meio de sua função aglutinante e proteção à parede celular. A celulose e hemicelulose, são responsáveis por 35-50% e 20-35% do peso seco da biomassa lignocelulósica, respectivamente (SHARMA *et al.*, 2019). A hemicelulose é um polímero amorfo parcialmente solúvel em água e fortemente ligado às fibrilas de celulose, proporcionando estabilidade e flexibilidade às fibras (MONTE; SPINACÉ, 2009).

Tabela 1 - Composição química de materiais lignocelulósicos de diferentes fontes.

Composição (%)				
Fonte	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Extratos, pectina e ceras
Madeira dura	43-47	5-35	6-24	2-8
Madeira macia	0-44	25-29	5-31	1-5
Biomassa de pinha	2-46	27	0-23	4-11
Fibra de coco	1-32	25-26	3-37	5-11
Caule de algodão	8-52	25-27	4-26	2-4
Bagaço da cana-de-açúcar	5	30	0-22	3-5
Espiga de milho	8-34	39-47	1-29	5-12
Juta	60	23	6	1
Folha de abacaxi	34-40	21-25	5-29	8-10
Palha de trigo	37-43	31-37	8-22	2-14

Fonte: Adaptado de MALUCELLI *et al.*, 2017.

Figura 1 - Estrutura principal da parede celular vegetal na biomassa lignocelulósica



Fonte: Adaptado de PHANTHONG *et al.* (2018).

No “ranking” dos países produtores de celulose, o Brasil se encontra em primeiro lugar como o maior produtor mundial de celulose de eucalipto. Os tipos de madeira mais cultivadas são árvores do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*. Estes gêneros englobam 98% da produção brasileira devido às boas condições de clima e solo (IBÁ, 2016). A extração da celulose, a partir da madeira, consiste em transformá-la em um material de consistência fibrosa, denominado polpa ou pasta celulósica. Essa separação ocorre pela utilização de energia mecânica, química ou térmica e/ou a combinação entre elas (MARCELINO, 2019). A pasta obtida é usada como matéria-prima na fabricação do papel, papel cartão e papelão, cuja qualidade é um dos fatores considerados na sua aplicação, seja na elaboração de embalagens ou demais usos (BORGES, 2020; LOMBARDI, 2017).

O processo de produção da polpa celulósica começa pela preparação da madeira, que consiste na lavagem das toras para remoção das sujidades acumuladas durante a manipulação dos troncos na floresta ou no pátio da indústria. Após a lavagem, é feita a remoção da casca da madeira (descascamento) por atrito mecânico, no qual o tronco recebe jatos de água sob alta pressão, liberando as cascas (D’ALMEIDA, 2013; SHREVE, 1980). Também pode ser realizada em tambores cilíndricos contendo água e, por agitação, as cascas são separadas da lenha.

As toras descascadas são direcionadas para a picagem, onde são cortadas em pequenos pedaços denominados cavacos. A dimensão dos cavacos deve estar em conformidade com o demandado para a etapa seguinte, a polpação, pois a espessura do material interfere diretamente no consumo dos reagentes e no rendimento da polpa celulósica obtida. Para evitar cavacos fora do padrão desejado, estes são classificados por peneiramento, onde os de tamanho médio são encaminhados para o processo de polpação e os que não estiverem em conformidade voltam para o processo de picagem. Os cavacos menores, por sua vez, seguem para a queima na caldeira (D’ALMEIDA, 2013). Os cavacos que seguem no processo, podem ser cozidos sob alta pressão na presença de água, gerando a polpa celulósica obtida pelo método termomecânico (de alto rendimento e baixa pureza, por conter lignina e hemiceluloses) ou receberem agentes químicos e serem tratados termicamente sob alta pressão, cujos métodos recebem diferentes denominações, dependendo do agente químico utilizado.

No Brasil, cerca de 81% da produção da polpa celulósica emprega o processo Kraft ou Sulfato, em torno de 12% utiliza o processo Soda e o percentual

restante emprega outros métodos (BATISTA, 2018). É importante ressaltar que a qualidade dos materiais celulósicos depende do tamanho das fibras da celulose, característica que varia com a espécie vegetal utilizada como matéria-prima, bem como do grau de pureza da polpa, que resulta do processo utilizado para a polpação (D'ALMEIDA, 2013; SHREVE, 1980).

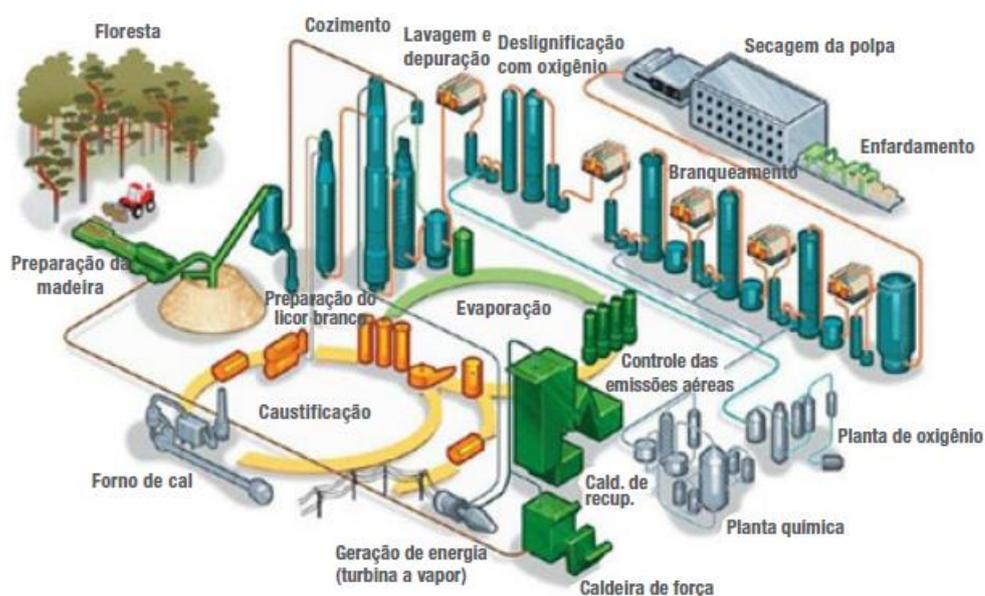
O processo Kraft promove a retirada da lignina das cadeias de carboidratos sem degradar excessivamente as fibras, favorecendo a obtenção da polpa de celulose de alta resistência e com a possibilidade de recuperação dos produtos químicos (FAVARO, 2015), que constitui uma de suas principais vantagens, juntamente com a possibilidade de maximização da eficiência energética, sendo que de 96 a 97% dos reagentes químicos utilizados na polpação podem ser recuperados (FOELKEL, 2009). As desvantagens, por sua vez, consistem no alto custo, emissões de odores para o meio ambiente, baixo rendimento (40 a 50%), baixa alvura após o cozimento e, conseqüentemente, maior custo de branqueamento. Mesmo com essas deficiências, o ciclo de recuperação dos reagentes químicos, com a recuperação do calor através da queima da matéria orgânica presente no licor preto, ainda é o principal meio de produção de energia na indústria, fazendo com que o processo seja ecologicamente correto (BRINK; SHREVE, 2008; COSTA, 2000).

Ademais, a polpa celulósica do tipo Kraft é amplamente utilizada na produção de papéis e de outros materiais celulósicos bastante resistentes, sendo empregados na confecção de sacos para cimento, sacos para acondicionamento de carvão, sacolas de lojas, chapas onduladas, papelões, dentre outros (D'ALMEIDA, 2013; PIOTTO, 2003).

O processo Kraft (Figura 2) consiste na cocção dos cavacos com um licor de cozimento químico (solução de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio), denominado licor branco (LOMBARDI, 2017). Essa etapa ocorre no equipamento denominado digestor contínuo e promove a dissolução da lignina, gerando uma pasta celulósica de alta qualidade e mais pura (MARCELINO, 2019). Após a reação, os produtos da hidrólise da lignina e das hemiceluloses permanecem em solução, formando o que é chamado de licor negro, que deve ser devidamente tratado, pois é altamente poluente. A polpa celulósica que sai do digestor após a etapa de cozimento, passa por uma lavagem e apresenta o aspecto de massa com coloração marrom. A polpa também pode ser branqueada e os compostos mais utilizados nesse processo são o peróxido de

hidrogênio, ozônio e compostos clorados, os quais são fortes agentes oxidantes, que reagem com a lignina remanescente e com os compostos orgânicos que conferem a coloração marrom. Com isso, a polpa é progressivamente branqueada (MOURAD *et al.*, 1999). Devido aos problemas decorrentes do uso do cloro gasoso e de outros compostos clorados, tais como a possibilidade de intoxicação dos trabalhadores da indústria de celulose, a formação de dioxina (composto carcinogênico), a geração de resíduos altamente poluentes, entre outros produtos tóxicos, existe a tendência de empregar os métodos de branqueamento do tipo “*chlorine free*” (livre de cloro), como os que fazem uso do peróxido de hidrogênio, ozônio, ácido peracético e oxigênio (CHEN, 2017).

Figura 2- Fluxograma de produção da polpa de celulose pelo processo Kraft



Fonte: CAMPOS; FOELKEL (2016)

A polpa branqueada (pasta em suspensão) é enviada para as etapas de secagem, onde a pasta é depositada sobre uma tela contínua perfurada e a drenagem da água (por meio dos orifícios da tela) possibilita a formação de uma camada de fibras. Em seguida, a água remanescente nas fibras é retirada pela prensagem com uso de feltro de lã ou mistura de lã e fibra sintética (TEIXEIRA *et al.*, 2017), formando a polpa de celulose desidratada, que pode ser estocada e comercializada na forma de fardos. A polpa de celulose também pode seguir para a produção do papel, cartão e papelão, sem passar pelo processo de secagem.

A produção do papel se inicia com a polpa celulósica hidratada, que é disposta em uma estrutura denominada caixa de entrada, por meio da qual, a polpa é aspergida sobre a mesa plana (Figura 3), uma espécie de esteira fina perfurada, utilizada como suporte para a drenagem da água e formação do papel (RAMOS, 2013). A polpa depositada sobre a mesa plana passa por uma série de conjuntos de rolos, começando pelos rolos de sucção, que com o uso do vácuo, auxiliam na remoção da umidade inicial; passando pelos rolos de prensagem, que comprimem o material, favorecendo a organização das fibras, homogeneização da espessura e eliminação de parte da água (ANDRIONI, 2009); seguindo para os rolos secadores, que são internamente aquecidos, para promover a remoção da umidade residual do papel. Ao final, o papel passa pelos rolos de calandragem (ou calandras), empregados para fazer o acabamento do material, padronizar a espessura e conferir uma superfície mais lisa, para melhorar a qualidade da impressão. O papel produzido é bobinado em um grande rolo, denominado rolo jumbo, a partir do qual o material pode ser dividido em rolos menores, cortado etc. (RAMOS, 2013).

Figura 3- Deposição da polpa de celulose sobre a mesa plana



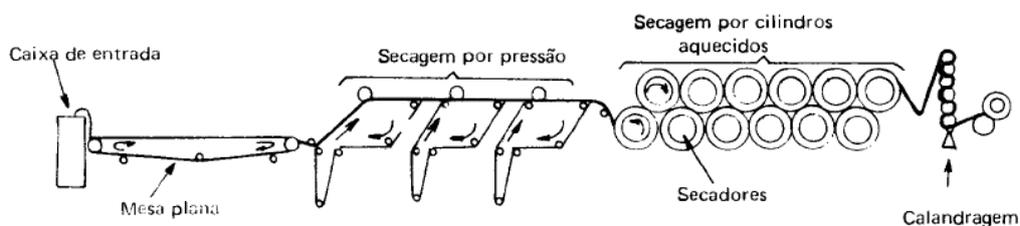
Fonte: CETESB (2008).

O cartão, por sua vez, é um material mais espesso que o papel – possui espessura superior a 0,3 mm e gramatura variando de 120 a 700 g/m² – e produzido de

forma similar à do papel, com algumas particularidades. Sua fabricação consiste na laminação de várias camadas de polpa de celulose durante a remoção da água, ou seja, são depositadas várias camadas de polpa sobre uma esteira que serve de suporte, a fim de que o produto resultante tenha espessura e gramatura elevadas e compatíveis com a aplicação desejada. Geralmente o cartão é empregado pela rigidez, para dar forma à embalagem e por ser um material que permite uma boa impressão. O material também passa por conjuntos de rolos, para organização das fibras celulósicas, remoção da umidade, padronização da espessura e da superfície. A produção do cartão pode ser realizada por diferentes processos, com destaque para o método que envolve o uso do equipamento Fourdrinier que também chamado mesa plana, um dos métodos mais antigos (Figura 4) (FARIA, 2016; FELTRIN, 2018).

O cartão é classificado de acordo com o número de camadas que compõe a sua estrutura (monoplex/simplex, duplex e triplex), com o tipo de pasta celulósica empregada em cada camada (branqueada ou não branqueada, virgem ou reciclada, pasta química ou mecânica) e quanto ao acabamento da superfície, que pode envolver a combinação de materiais, envernizamento etc. (JORGE, 2013).

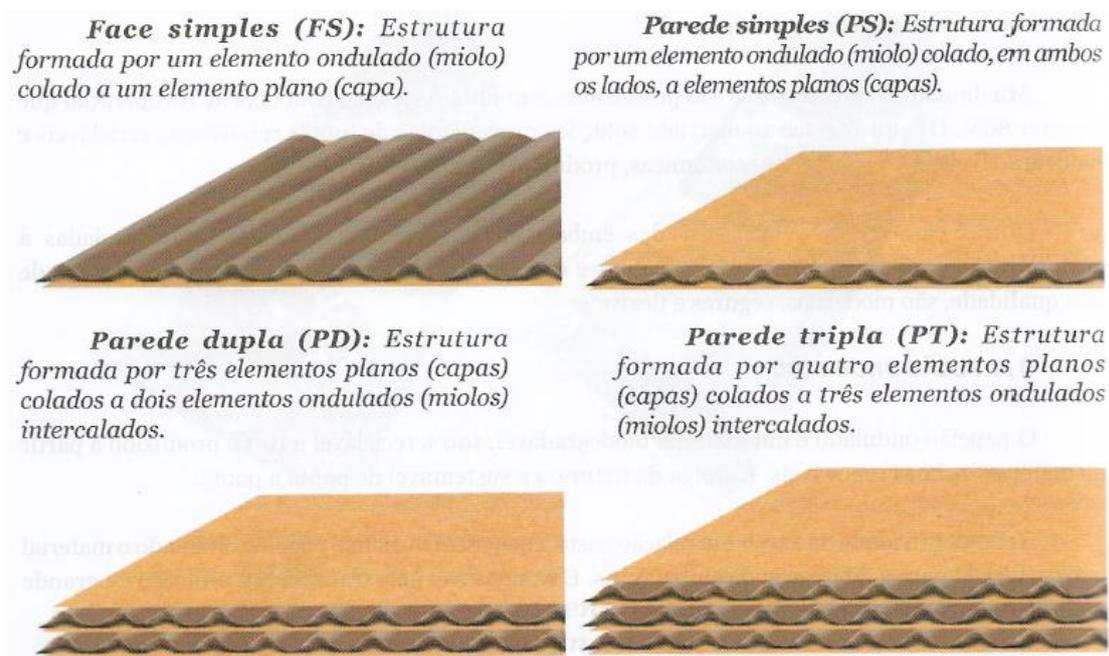
Figura 4- Esquema do equipamento do tipo Fourdrinier (mesa plana)



Fonte: MOURAD *et al.* (1999).

O papel ondulado, também conhecido como papel canelado ou papelão, é constituído por camadas de diferentes tipos de papel e normalmente é comercializado na forma de bobinas (SÁ, 2020). Esse tipo de material classifica-se de acordo com o número de capas e miolos presentes em sua composição e estrutura, dividindo-se em face simples, parede simples, parede dupla e parede tripla (Figura 5).

Figura 5- Estrutura e classificação do papelão

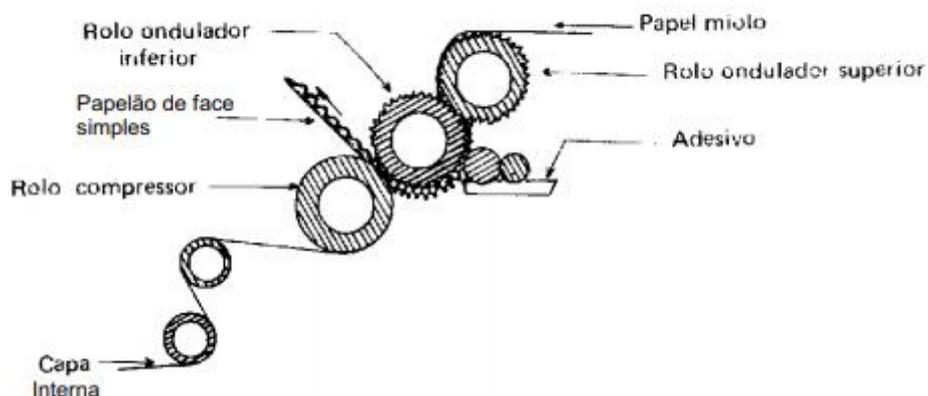


Fonte: INSTITUTO DE EMBALAGENS (2017).

De acordo com Sampaio (2008), a fabricação do papelão ondulado se inicia com a preparação do miolo, cujo papel é submetido ao processo de amaciamento por vaporização, sendo em seguida, pressionado entre um par de cilindros dentados, que confere o aspecto ondulado ao material. O miolo formado recebe a aplicação de adesivo e é colado à capa, com o auxílio de um rolo compressor, que pressiona as duas camadas (Figura 6). A estrutura resultante é denominada papelão de face simples (MOURAD *et al.*, 1999).

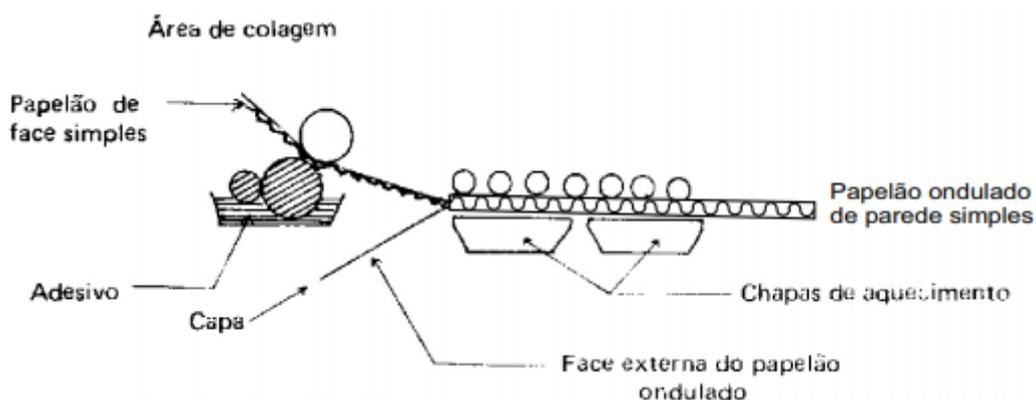
Para a produção do papelão ondulado de parede simples (Figura 7), é necessário que o material de face simples seja encaminhado a um mecanismo de rolos e chapas quentes, para favorecer a colagem e evaporação do solvente presente no adesivo. Com aplicação de calor e pressão, a capa externa se une ao miolo do papelão de face simples, resultando no papelão de parede simples (MOURAD *et al.*, 1999).

Figura 6 – Produção do papel ondulado de face simples



Fonte: MOURAD *et al.*, 1999

Figura 7 – Produção do papelão de parede simples



Fonte: MOURAD *et al.*, 1999

5. EMBALAGENS CELULÓSICAS

A madeira é considerada um dos materiais mais antigos empregados para a elaboração de embalagens, fato evidenciado por achados arqueológicos que remontam milhares de anos, como baús encontrados no Egito e que datam de mais de 5000 anos. É no Egito, também, que se encontra a origem do papel, na sua forma mais rudimentar, o papiro. Entretanto, seu invento é atribuído aos chineses, que desenvolveram há mais de 2000 anos o processo moderno de fabricação do papel (JORGE, 2013; TWEDE; GODDARD, 2010).

O histórico de muitas embalagens celulósicas está associado ao invento do papel e ao aprimoramento de sua produção que, segundo Twede e Goddard (2010), ocorreu somente na metade do século XIX, quando a polpa de madeira começou a ser usada na fabricação do papel em larga escala. Esta produção em maior quantidade, possibilitou novos usos do material e o desenvolvimento das embalagens celulósicas.

Como relatado no item anterior, a polpa de celulose é a matéria-prima base para a produção do papel, cartão, papelão dentre outros materiais, cujos processamentos apresentam variações e conferem produtos com características e aplicações diversificadas (Tabela 2).

Tabela 2 - Tipos de materiais e embalagens celulósicas utilizados para embalar alimentos

Tipos de embalagens celulósicas	Exemplos
Filmes transparentes	Celofane, acetato de celulose, outros.
Papel	Kraft pardo, Kraft branco, Kraft natural, monolúcido, couché, outros.
Cartões	Cartuchos, embalagens cartonadas.
Papelão ondulado	Caixas de papelão.
Madeira	Paletes, estrados e caixas.

Fonte: SANTOS; YOSHIDA, 2011

O papel é empregado isoladamente ou combinado a outros materiais para a produção de embalagens flexíveis, tais como as embalagens primárias (uni/multifoliadas, que entram em contato direto com o produto) e secundárias (acondicionam as embalagens primárias), as quais geralmente são representadas por sacos de papel multifoliados, de até seis folhas, podendo ser laminados com filmes plásticos (MOURAD *et al.*, 1999). Pelo fato de ser um material altamente higroscópico, com baixa barreira à passagem de gorduras e gases e não selável com uso do calor, demanda a combinação com outros materiais que melhorem essas características, cuja junção depende da aplicação da embalagem (VILLELA *et al.*, 2020). Assim, temos embalagens multicamadas de papel e plástico; papel, plástico e folha de alumínio; papel envernizado; papel metalizado, entre outras combinações, que são empregadas para

acondicionamento de produtos secos, desidratados, farináceos etc. (BERGER, 2005; LOPES *et al.*, 2006; PIRINGER *et al.*, 2008).

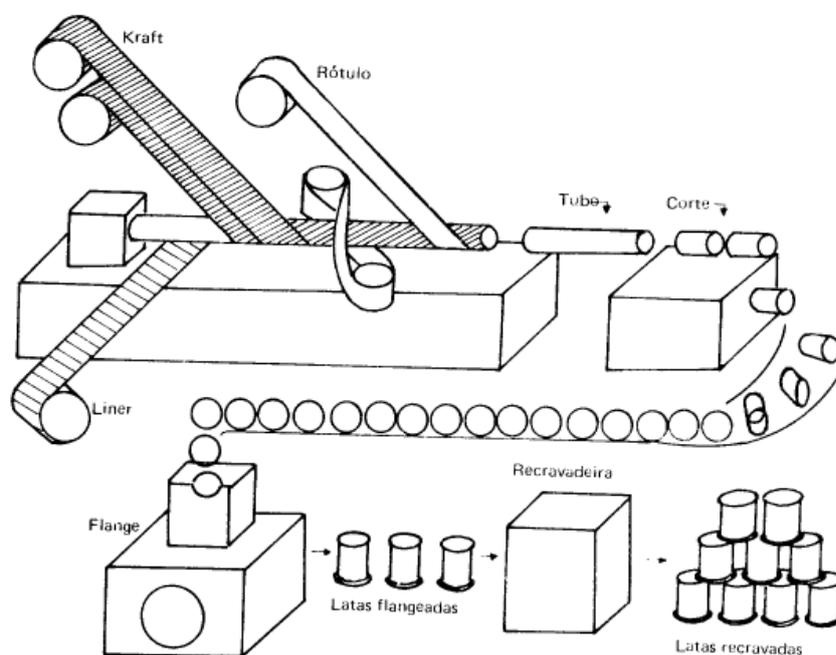
O cartão, cujo processo de elaboração lembra a produção do papel, é um material com espessura e resistência mecânica superiores às da folha de papel, sendo usado, comumente, para conferir forma e resistência às embalagens cartonadas. Pode ser usado de forma isolada ou combinada a outros materiais, sendo que quando empregado como material único, sua classificação em cartão monoplex (camada única de polpa celulósica branqueada), duplex (duas camadas e com polpas diferentes, branqueada e não branqueada) e triplex (três camadas e com polpas branqueadas e não branqueadas) são importantes para a indicação de uso (CAMPOS, 2010). As embalagens produzidas com cartão monoplex geralmente são utilizadas para produtos de maior valor agregado (como cigarros, cosméticos e produtos de *delicatessen*), pois a polpa branqueada favorece a impressão de alta qualidade e é mais cara. O cartão triplex, por sua vez, apresenta duas camadas de polpa branqueada, também possui um alto valor agregado e, é utilizado para a confecção de embalagens de produtos de *bomboniere* e caixas de presente. O cartão duplex, por sua vez, é muito empregado para a elaboração de embalagens de diversos produtos, como *snacks*, biscoitos, caixas de cereais matinais, caixas de medicamentos, *multipacks* que servem para unir embalagens individuais, como latas de refrigerantes e cervejas (JORGE, 2013).

A combinação do cartão com outros materiais gera as chamadas embalagens cartonadas, com destaque para as cartonadas assépticas, as latas compostas e as bandejas de cartão. As cartonadas assépticas geralmente são constituídas por camadas de polietileno, uma camada de cartão duplex e uma folha de alumínio, cuja laminação confere barreira à passagem de umidade, luz e gases (FENSTERSEIFER *et al.*, 2017). Essas embalagens comumente são vendidas na forma de bobinas ou pré-montadas, sendo formadas em máquinas específicas, do tipo “*form-fill-seal*”, que formam a embalagem, esterilizam (com peróxido de hidrogênio e luz UV), enchem com o produto e selam. Muitos produtos acondicionados nessas embalagens se conservam por vários meses e sob temperatura ambiente, condição favorável que decorre do fato do produto ser envasado em um ambiente asséptico, sem contato manual, somado ao tipo de tratamento térmico (em alguns casos, método UHT – *Ultra High Temperature* – com temperaturas superiores a 100 °C e por poucos segundos) e ao tipo de embalagem, que apresenta barreira aprimorada. Essas embalagens, eram usadas, inicialmente, para

envasar leites UHT e pasteurizados e, com o tempo, passaram a ser empregadas para acondicionar outros produtos alimentícios, como sucos, atomatados, doces, conservas vegetais etc. (MOURAD *et al.*, 1999).

As latas compostas são outra categoria de embalagens cartonadas, cuja estrutura é formada por um corpo tubular composto por cartão, plástico e folha de alumínio. Nesse mesmo tipo de embalagem, as extremidades, tampa e fundo são constituídos de discos à base de aço, os quais são recravados (MOURAD *et al.*, 1999). Essa combinação de materiais e o *design*, que lembra uma lata, justificam o nome dado à essa embalagem cartonada, cujo processo de produção está exemplificado na Figura 8. A lata composta é indicada para o acondicionamento de alimentos secos e/ou sólidos, como *snacks*, fermento químico, farináceos e rações para animais, pois a forma como a embalagem está estruturada pode comprometer a conservação de produtos líquidos ou úmidos, pela absorção da umidade e enfraquecimento/delaminação das camadas (JORGE, 2013).

Figura 8 - Processo de produção da lata composta



Fonte: MOURAD *et al.* (1999).

As bandejas de cartão, por sua vez, envolvem a combinação do cartão com plásticos resistentes ao aquecimento no forno micro-ondas, como o politereftalato de etileno (PET) e o polipropileno (PP), sendo muito utilizados para o acondicionamento

de produtos congelados que são aquecidos na própria embalagem. O cartão é empregado para dar forma, rigidez e favorecer a qualidade de impressão, enquanto as camadas plásticas são utilizadas para conferir propriedades de barreira à umidade e gordura e evitar o contato direto do alimento com o material celulósico (BARÃO, 2011; MOURAD *et al.*, 1999).

Além das cartonadas citadas, também estão muito em uso, os copos de cartão para o acondicionamento de bebidas quentes e frias, os quais recebem um tratamento superficial com camada de plástico (PEBD – polietileno de baixa densidade) ou parafina, para impermeabilização do cartão (MOURAD *et al.*, 1999).

A combinação de materiais favorece, como já relatado, uma série de características desejáveis, como o aumento da barreira aos diferentes agentes (umidade, luz, gases) e a extensão da vida útil do produto. Entretanto, pode criar um problema para a reciclagem, pela dificuldade na separação completa das camadas, situação que, por muitos anos, limitou o uso dos materiais reciclados a partir dessas embalagens, por não serem puros e apresentarem resquícios dos diferentes materiais (BALDIN *et al.*, 2018).

Além do papel e do cartão, outro material celulósico muito utilizado na elaboração de embalagens é o papelão. O papelão é um material com alta resistência mecânica, resultante da combinação de matéria-prima de maior resistência (geralmente polpa celulósica obtida pelo processo Kraft, podendo, no entanto, empregar polpa reciclada) e estrutura formada por miolo e capas (NOLETTO, 2019). Por este motivo, é um material muito utilizado na elaboração de caixas para transporte, destinadas ao acondicionamento e carregamento de produtos diversos, devido à proteção conferida contra danos mecânicos. Sua versatilidade para o uso é um dos fatores que justificam o fato da indústria de papelão ondulado ser a 2ª indústria do setor de embalagens que mais emprega no Brasil (SOUZA, 2018).

A maior vantagem do papelão é o baixo custo, enquanto a desvantagem mais relevante é a baixa resistência à água e umidade. Ademais, em seu processo produtivo, deve-se atentar à sustentabilidade, pois sua produção requer um grande consumo de água e energia (KATSUMATA, 2021).

6. ECONOMIA CIRCULAR

Juntamente com o crescimento da população, as economias dos países desenvolvidos e em desenvolvimento evoluíram. Por consequência, houve um aumento

da demanda do consumidor em relação ao desenvolvimento sustentável, diminuição do esgotamento de recursos e maior segurança e adaptabilidade da conveniência ao estilo de vida atual (WITZEL *et al.*, 2016, SIMOES *et al.*, 2015), o que pode ser observado, por exemplo, pelo maior consumo de produtos ecológicos (MASSANA *et al.*, 2015).

Neste contexto, diferentes conceitos surgiram e vem se desenvolvendo, com o intuito de serem aplicáveis na produção sustentável de diferentes produtos, com destaque para o modelo *Cradle to Cradle*, a Análise do Ciclo de Vida e a Economia circular.

O modelo *Cradle to Cradle* (C2C) – “do berço ao berço” – busca redefinir o sistema produtivo tradicional para obter produtos mais sustentáveis, por meio do foco na diminuição de desperdícios e poluição, não somente durante a fabricação, mas ao longo de toda vida útil. O C2C consiste, assim, em um fluxo constante e circular, onde os materiais são usados indefinidamente, sendo seu ciclo dividido em dois, o técnico e o biológico. O ciclo técnico é aquele em que os materiais são reutilizados como matéria-prima para gerar um novo produto e o ciclo biológico, abrange o circuito em que os materiais são absorvidos pela biosfera como nutriente biológico (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002). Nesse sentido, o padrão de produto C2C oferece um caminho para a indústria de produtos progredirem de forma mensurável, utilizando como base a administração de recursos naturais, a justiça social e a produção e o consumo sustentáveis (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) representa um método de avaliação quantitativo das vantagens ambientais da produção sustentável. O principal benefício do uso da ACV, baseia-se na possibilidade de visualização completa do impacto ecológico e a cobertura de todos os ciclos de vida do produto, desde a extração da matéria-prima até o final de sua vida, permitindo, assim, escolhas assertivas para a adequação do uso dos materiais em aplicações específicas (MALVIYA *et al.*, 2020), auxiliando, também, na construção de uma estrutura qualitativa para rastrear os fluxos de materiais (PAYNE, 2015).

Outros modelos têm surgido em paralelo aos já citados anteriormente, como é o caso do conceito de “ecoeficiência”, que surgiu durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento - Rio-92. Esse modelo se assemelha ao que hoje é conhecido como “produção mais limpa”, cujo objetivo consiste em evitar a geração de resíduos, tendo foco no máximo aproveitamento da matéria-prima, energia,

água e reuso dos resíduos gerados. No entanto, essa modalidade de produção oferece apenas uma solução temporária e não demanda a reestruturação dos fluxos de material, pois se concentra apenas na toxicidade dos produtos atuais. Por mais que este modelo seja amplamente aceito, a ecoeficiência não reduziu a poluição, nem o esgotamento de recursos não abióticos e tampouco atenuou efetivamente as mudanças climáticas (LISPERGUER *et al.*, 2017). Assim, a inovação no mercado de alimentos precisa de uma abordagem multi-escala, multidisciplinar e multifatorial, englobando iniciativas políticas, indústrias, pesquisadores e consumidores, diferentes atores que desempenham um papel relevante na sustentabilidade desse segmento (FRASER *et al.*, 2016, WIKSTRÖM *et al.*, 2016).

A Economia circular, por sua vez, tem a origem associada a vários autores. Dentre eles está Kenneth E. Boulding, cujo trabalho “*The Economics of the Coming Space ship Earth*”, publicado em 1966, descreve a Terra como um sistema fechado, sem troca de matéria com o resto do sistema solar. Com essa visão em mente, o autor tenta despertar no leitor a consciência de que é necessário que todos os terráqueos contribuam para evitar o esgotamento do meio ambiente, que decorre do desperdício de recursos naturais e da poluição do planeta em níveis insustentáveis (AVENI, 2021). Neste sentido, Stahel (2016) relata que a Economia circular (EC) possui dois modelos base. O primeiro diz respeito à reutilização de produtos, por meio de reparos e remodelações, no final de sua vida útil, enquanto o segundo modelo aborda a fabricação de produtos de reposição. No entanto, esses dois modelos não contemplam uma terceira possível vertente, onde os subprodutos e resíduos de indústrias são manuseados por indústrias de segmentos compatíveis, podendo até ser realinhada com a fábrica original, consistindo em uma prática mais comum no setor alimentício.

À medida que os recursos se tornam cada vez mais escassos, os governos pressionam as indústrias e os indivíduos para que adotem um nível de eficiência do uso de recursos, contemplando a “redução, reutilização, reparação e reciclagem” de materiais. Isso foi recentemente adotado na filosofia da Economia circular (GENOVESE *et al.*, 2017). Apesar de existirem versões divergentes quanto à definição da Economia circular, a maioria está associada ao uso eficiente de recursos, minimização de resíduos e desenvolvimento sustentável. Sendo assim, a EC é uma abordagem sistemática que promove conscientemente a regeneração e a recuperação, com o objetivo de dissociar o crescimento produtivo do aumento do consumo de

recursos não renováveis (LACY; RUTQVIST, 2015; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017, 2018).

A importância da aplicação dos conceitos da EC na produção e consumo de alimentos se torna evidente diante do aumento da população mundial e do volume de alimentos desperdiçados. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (FAO, 2013), relata que o volume desperdiçado na cadeia alimentar é de 54% do volume total de alimentos e que contribui em cerca de 34% da pegada de carbono total. Outro fator que contribui para o aumento da pegada de carbono é o volume de lixo produzido, em especial, o volume de embalagens descartadas, sendo que as embalagens (de produtos alimentícios e não alimentícios) representam, aproximadamente, 15 a 20% dos resíduos sólidos urbanos totais em vários países, sendo a metade desse valor correspondente aos resíduos plásticos, os quais, além de provirem de uma fonte fóssil e, na sua maioria, não serem biodegradáveis, também não podem ser reciclados e utilizados, novamente, na produção de embalagens para alimentos (com exceção do politereftalato de etileno - PET). (MIHAI; INGRAO, 2018; TENCATI *et al.*, 2016 ; UNEP, 2018).

Nesse sentido, alternativas mais ecológicas, como embalagens biodegradáveis e compostáveis produzidas a partir de resíduos agroindustriais, se tornam uma opção crescente na produção de embalagens que se enquadram na filosofia da EC (FOODBEV, 2018; BENNETT, 2013; SADH *et al.*, 2018). Esses biorresíduos podem ser aplicados na fabricação de produtos capazes de reduzir drasticamente a emissão de dióxido de carbono na atmosfera, por substituírem as fontes fósseis, além de serem degradados e assimilados por micro-organismos presentes no meio ambiente, retornando ao sistema (FAVA *et al.*, 2015).

Apesar das diversas vantagens elencadas na adoção da Economia circular, alguns fatores prejudicam sua implantação, os quais abrangem a complexidade das cadeias de suprimentos internacionais e os grandes investimentos iniciais, que dificultam a transição das empresas dos sistemas lineares para a EC (HERNANDEZ; RODRIGUES; TUKKER, 2021). Na realidade, para que a Economia circular seja implantada de fato, os diferentes atores devem participar ativamente, ou seja, a responsabilidade não é apenas das empresas privadas, mas também dos reguladores e formuladores de políticas (SUN *et al.*, 2020), bem como dos consumidores e das organizações sociais. Ademais, destaca-se que a EC pode ser combinada aos outros

conceitos mencionados, como o modelo *Cradle to Cradle* e a Análise do Ciclo de Vida, os quais são complementares e favorecem a produção consciente e equilibrada ao ecossistema.

7. PRODUÇÃO E USO SUSTENTÁVEL DE EMBALAGENS CELULÓSICAS

Durante o processo produtivo das embalagens é imprescindível atentar-se à sustentabilidade, visto que a confecção demanda elevado consumo de recursos ambientais, hídricos e energéticos (KATSUMATA, 2021). Dessa forma, o conceito de sustentabilidade deve transitar todo o ciclo de vida das embalagens, pois desde a extração e processamento da matéria-prima, fabricação, distribuição, até o consumo e descarte, esses materiais causam diversos impactos ambientais. Geralmente, esses impactos são mais visíveis e prejudiciais no início e no final da cadeia produtiva, pois envolvem o consumo de recursos e a geração de resíduos (SÁ, 2020).

A madeira é um recurso natural que é muito concorrido por indústrias de diferentes segmentos, tais como as indústrias de papel e celulose, energia, biocombustíveis, produtos químicos dentre outras (BAIS-MOLEMAN *et al.*, 2018). As projeções realizadas nos estudos sobre as perspectivas futuras do volume de madeira produzido, indicam que, em 2030, as florestas manejadas de forma sustentável não conseguirão suprir a demanda das diferentes indústrias, devido à grande procura da matéria prima (RODRIGUES, 2020). Portanto, é importante considerar o plantio de árvores em pequenas e médias propriedades rurais (RODIGHERI, 2000; SOMMERHUBER *et al.*, 2017), e incentivar os setores envolvidos a buscarem novos meios para obter a madeira de modo mais sustentável.

Uma alternativa ao uso da madeira consiste na reutilização de seus resíduos, processo de suma importância para as questões ambientais, uma vez que esta integra a chamada “estratégia dos 3Rs”, a qual significa reduzir, reutilizar e reciclar (PLATINA, 2018). Dentre os resíduos da madeira passíveis de reutilização, estão o briquete e o cavaco. De acordo com dados do SEBRAE (2017), o briquete é um combustível sólido que pode ser utilizado de diversas formas, e se empregado de maneira adequada, é possível garantir seu ciclo por meio de ações como o reflorestamento ou replantio, podendo gerar uma economia muito grande como substituto do carvão e da lenha.

Na produção de embalagens celulósicas, a madeira pode ser substituída por resíduos da agroindústria, como palhas e bagaços. Curling *et al.* (2017), em estudo sobre a viabilidade do uso da palha na produção de um material de embalagem resistente, fino e moldado com celulose, conseguiram ótimos resultados para o material moldado com celulose contendo 80% de palha, cujo desempenho, quando comparado ao poliestireno, foi significativamente melhor na propriedade de tração, com potencial para substituir a resina plástica na confecção de bandejas planas e redondas para alimentos embalados a vácuo.

O uso de resíduos na elaboração de embalagens já constitui uma prática comercial adotada por algumas empresas, como é o caso da embalagem do tipo *pack* elaborada com palha de cevada e destinada ao acondicionamento de garrafas de cerveja (Figura 9), representando um exemplo de aplicação da Economia circular (EMBALAGEMMARCA, 2021).

Figura 9 - *Pack* de seis unidades de cerveja produzido com excedente de palha de cevada



Fonte: <https://embalagemmarca.com.br/2021/03/corona-desenvolve-embalagem-sustentavel-feita-de-cevada/>

Outros avanços tecnológicos englobam o desenvolvimento de embalagens compostáveis de base biológica – polímeros de biomassa, elaborados com amido, celulose, lignina, quitina, lã, proteína e DNA – e com funcionalidade semelhante a dos polímeros sintéticos à base de petróleo (BOHLMANN, 2004; DAVIS; SONG, 2005; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b; UNEP, 2015). A ideia das

embalagens compostáveis vieram da natureza, onde a própria casca das frutas desempenha a função de embalagem. E, independentemente de sua destinação final/descarte, degradam-se de forma natural, tal qual o conceito C2C, “da terra a terra” (FROTA, 2015).

Algumas empresas de alimentos já estão adotando embalagens desenvolvidas a partir dessa tecnologia, pois muitas delas são totalmente biodegradáveis e compostáveis. A empresa Natural Salads, juntamente com o Grupo Campanha, FR Embalagens e Hubergroup, por exemplo, tem apostado nessa nova tecnologia de filme transparente (Figura 10) que é constituído apenas por celulose e, ao se degradar, torna-se húmus de alto valor nutricional para o solo (EMBALAGEMMARCA, 2021).

Figura 10 - Embalagem compostável



Fonte: <https://embalagemmarca.com.br/2021/03/produtor-de-vegetais-higienizados-inova-com-embalagem-compostavel/>

Além do uso na elaboração de novos materiais substituintes ao plástico, os materiais celulósicos tem a sua tecnologia de produção aprimorada, para reduzir a quantidade de matéria-prima e reagentes empregados na sua produção. Como é o caso do papel cartão produzido pela empresa Ibema (Figura 11), elaborado com fibras virgens (que confere a resistência ao material) e com uma redução de 70% dos agentes químicos empregados em sua produção, sendo adequado para a fabricação de embalagens de alimentos do tipo *take away* (para produtos retirados na loja e levados

pelo próprio consumidor), *delivery* e para cosméticos comercializados via *e-commerce* (EMBALAGEMMARCA, 2021).

Figura 11 - Embalagem celulósica com redução de matéria-prima e agentes químicos



Fonte: <https://embalagemmarca.com.br/2021/11/ibema-lanca-papel-cartao-com-70-menos-quimicos-que-reduz-peso-das-embalagens/>

Segundo o Instituto de Embalagens (2017), as embalagens podem se tornar melhores e mais sustentáveis por meio da adoção de algumas práticas, como a minimização da criação de embalagens excessivas; a abolição do uso de materiais ou insumos tóxicos no processo ou descarte; o planejamento do processo em conformidade com as normas de segurança do trabalho e meio ambiente; o uso preferencial de monomaterial (material único) ou de materiais que sejam fáceis de separar e de reciclar, maximizando o uso daqueles que são renováveis e recicláveis; o planejamento que contempla a conservação de energia e o uso da energia renovável; a análise completa do ciclo de vida do produto e da embalagem; o desenvolvimento de embalagens que permitem o uso integral do produto; a identificação do material utilizado e a orientação simples da destinação correta da embalagem, entre outras medidas.

Diante do exposto, verifica-se que, apesar dos materiais e embalagens celulósicos serem vistos como sustentáveis, por serem obtidos de fonte renovável e pela degradação facilitada no ambiente, sua produção, uso e destinação pós-consumo

também carecem de planejamento e atenção, para que a sua sustentabilidade não seja comprometida.

8. CONCLUSÃO

Atualmente, a preocupação com a sustentabilidade está mais visível no nosso cotidiano, a qual muitas vezes, está associada à apreensão com a quantidade de embalagens de alimentos geradas, usadas e descartadas inadequadamente no ambiente. Esta preocupação vem impulsionando a substituição de materiais considerados menos sustentáveis, como o plástico, por outros de fonte renovável e de fácil degradação na natureza, o que constitui uma das justificativas para o aumento do uso dos materiais celulósicos.

Apesar de serem vistos como materiais ecologicamente corretos, dependendo da forma de obtenção, uso e descarte, os materiais celulósicos – papel, cartão e papelão – também podem favorecer o aumento da poluição e o esgotamento dos recursos naturais. Neste contexto, o conhecimento e a implantação de novos conceitos como *Cradle to Cradle*, Análise de Ciclo de Vida e Economia circular, podem contribuir para o aumento da produtividade e com menor impacto sobre o meio ambiente e o bem-estar das futuras gerações.

Ademais, o desenvolvimento de tecnologias inovadoras baseadas nesses novos conceitos, tais como o desenvolvimento de biopolímeros biodegradáveis e a redução da quantidade de matéria-prima, tem potencial para reduzir a geração de resíduos, além de agregar valor ao produto e à imagem das empresas que as adotam.

Entretanto, para que o desenvolvimento sustentável seja uma realidade, são necessários o envolvimento e a participação de todos os atores do ecossistema – empresas, academia, governo, ONGs, entre outros – e a conscientização e adesão dos consumidores quanto às práticas de descarte adequado/reuso de embalagens, os quais muitas vezes, acabam sendo esquecidos e excluídos do processo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Vinícius Bononi de. **Caracterização, análise e perspectivas da matriz energética do setor de papel e celulose**. 2013. 80f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) Recursos Energéticos, Escola de Economia de São Paulo. São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/10995>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

ANDRIONI, J. L. Fabricação de papel: Preparo de massa. SENAI – Departamento Nacional. pp.99-135. Curitiba, 2009.

ARAÚJO, A. T. F. A. **Produção e caracterização de polieletrólitos catiônicos derivados da celulose**. 2019. 28f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2019. Disponível em: <<http://bdtd.uftm.edu.br/handle/tede/621>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGENS - ABRE. Dados de Mercado. Disponível em: <www.abre.org.br/centro_dados.php>. Acesso em: 20 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGENS - ABRE. Estudo ABRE macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2020-2/>>. Acesso em: 20 jun. 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP. O setor. ABTCP, 2020. Disponível em: <https://www.abtcp.org.br/quem-somos/osetor/osetor>. Acesso em: 05 jul. 2021.

AVENI, A. ECONOMIA CIRCULAR. UMA PESQUISA SOBRE CERTIFICAÇÕES. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 4, n. 9, p. 236-256, 2021. Disponível em: <<https://revistajrg.com/index.php/jrg/article/view/298> >. Acesso em: 07 fev. 2022.

BALDIN, T. *et al.* Embalagens cartonadas como matéria-prima na fabricação de compósitos. *Nativa*, Sinop, v. 6, n. 2, p. 177-182, mar. /abr. 2018. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/4990>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

BARÃO, M. Z. Embalagens para produtos alimentícios. **Instituto de Tecnologia do Paraná-TECPAR**, 2011. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTY0MQ>>. Acesso em: 04 ago. 2021.

BATISTA, T. S. **A indústria de papel e celulose no Brasil: Produtividade, competitividade, meio ambiente e mercado consumidor**. 2018. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26863>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

BENNETT, C. *Reducing Material Use Through Packaging Innovation: Aveda's Journey*, São Francisco, 26 fev. 2013. Disponível em: <<https://sustainablebrands.com/read/waste-not/reducing-material-use-through-packaging-innovation-aveda-s-journey>>. Acesso em: 13 ago. 2021.

BERGER, K. R. A. **Brief History of Packaging**. Florida: The Agricultural and Biological Engineering Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 2003. Disponível: <<https://journals.flvc.org/edis/article/download/109114/104276> >. Acesso em: Acesso em: 30 ago. 2021.

BOHLMANN, G. M. Biodegradable packaging life-cycle assessment. **Environmental Progress**, v. 23, n. 4, p. 342-346, 2004.

BRASIL. Resolução RDC nº 91, de 11 de maio de 2001. Aprova o “Regulamento Técnico - Critérios Gerais e Classificação de Materiais para Embalagens e Equipamentos em Contato com Alimentos” constante do anexo desta Resolução. Órgão

emissor: ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/legislacao#/visualizar/26724> >. Acesso em: 20 jun. 2021

BRAUNGART, M., MCDONOUGH, W., BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emission-astrategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**. 13-14. ed. [S.l]: Elsevier, 2007. 1394. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652606002587>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

CABRAL, A. C. D. *et al.* **Apostila de embalagem para alimentos**. Campinas: Unicamp, 1984. 335 p. Disponível em: <https://www.academia.edu/30790652/Embalagens_para_produtos_aliment%C3%ADcios>. Acesso em: 07 fev. 2022.

CAMPOS, E. S.; FOELKEL, C. **A evolução tecnológica do setor de celulose e papel no Brasil**. São Paulo: ABTCP (Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel), 2016. 224p.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Papel e Celulose**. Série P+L. São Paulo: CETESB, 2008. 49 p. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=4281>>. Acesso em: 07 set. 2021.

CHEN, J. F. Green Chemical Engineering. **Journal Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [S.l], jun. 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12343>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CORREIO, M. C. B. V; OLIVEIRA, N. Q. A LOGÍSTICA REVERSA NAS EMBALAGENS: ESTUDO DE CASO NO TEMPERO REGINA. **Administração de Empresas em Revista**, [S.l.], v. 2, n. 16, 400 - 420 p. abr. 2019. Disponível em: <<http://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/admrevista/article/view/3521/371372842>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CURLING, S. F. *et al.* Viabilidade do uso da palha em um material de embalagem forte, fino e moldado com celulose. **Industrial Crops and Products**, v. 97, p. 395-400, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092666901630872X>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

DAVIS, G; SONG, J. H. Embalagens biodegradáveis com base em matérias-primas de safras e seu impacto na gestão de resíduos. **Culturas e produtos industriais**, v. 23, n. 2, pág. 147-161, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669005000658>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

DUFRESNE, A. Potential of nanocellulose as a reinforcing phase for polymers. **J-Forest Journal of Science & Technology for Forest Products and Processes**, v. 2, n. 6, p. 6-16, 2012.

DUNN, T. J. Food Packaging. **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**. [S.l.: s.n], 2015. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0471238961.0615150402181504.a01.pub3>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Plastic pact network**. 2020. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/new-plastics-economy/plastics-pact>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The circular economy opportunity for urban & industrial innovation in China Circular**. Economy Perspectives Series. 2018. Disponível em: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/urban-and-industrial-innovation-in-china>>. Acesso em: 13 ago. 2021.

EMBALAGEMMARCA. Corona desenvolve embalagem sustentável feita de cevada. Disponível em: <<https://embalagemmarca.com.br/2021/03/corona-desenvolve-embalagem-sustentavel-feita-de-cevada/>>. Acesso em: 13 ago. 2021.

EMBALAGEMMARCA. Ibema lança papel cartão com 70% menos químicos que reduz peso das embalagens. Disponível em: <<https://embalagemmarca.com.br/2021/11/ibema-lanca-papel-cartao-com-70-menos-quimicos-que-reduz-peso-das-embalagens>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

EMBALAGEMMARCA. Produtor de vegetais higienizados inova com embalagem compostável. Disponível em: <<https://embalagemmarca.com.br/2021/03/produtor-de-vegetais-higienizados-inova-com-embalagem-compostavel/>>. Acesso em: 13 ago. 2021.

FAO. **Food wastage footprint: Impacts on natural resources**. FAO, 2013. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/i3991e/i3991e.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

FARIA, B. H. de. **Produção e avaliação tecnológica da polpa celulósica e papéis obtidos de misturas das madeiras de *Eucalyptus* sp. E *Pinus* sp.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, p. 84. 2016. Disponível em: <<https://poscienciaflorestal.ufv.br/wp-content/uploads/2020/07/Bruno-De-Freitas-Homem-De-Faria.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

FAVA, F. *et al.* Biowaste biorefinery in Europe: opportunities and research & development needs. **New Biotechnology**, v. 32, n. 1, p. 100-108, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678413001581>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

FAVARO, J. S. C. **Estudos da Polpação Kraft, Branqueamento e Refino de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2015. 180f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/132735>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

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

FELTRIN, M. R. **Adição de xilanas e nanofibras para melhoria de propriedades do papel cartão**. 2018. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/24784>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

FENSTERSEIFER, P. *et al.* Reaproveitamento de embalagens Tetra Pak® como suporte de telhados verdes. In: **Anais do XVIII Fórum Internacional de Recursos Hídricos**, 2017. Rebouças/ Curitiba. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Rutineia-Tassi/publication/323901790_REAPROVEITAMENTO_DE_EMBALAGENS_TETRA_PAKR_COMO_SUORTE_DE_TELHADOS_VERDES/links/5ab1ab1ea6fdcc1bc0bfe9cd/REAPROVEITAMENTO-DE-EMBALAGENS-TETRA-PAKR-COMO-SUORTE-DE-TELHADOS-VERDES.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2022.

FOODBEV MEDIA. New research reveals consumer demand for green packaging. Disponível em: <<https://www.foodbev.com/news/new-research-reveals-consumer-demand-for-green-packaging/>>. Acesso em: 13 ago. 2021.

FRASER, E. *et al.* Biotechnology or organic? Extensive or intensive? Global or local? A critical review of potential pathways to resolve the global food crisis. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 78-87, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092422441500268X>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

FROOZEN FOOD EUROPE. **Frosta to switch to paper packaging from 2020**. 2019. Disponível em: <<https://www.frozenfoodeurope.com/frosta-to-switch-to-paper-packaging-from-2020/>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

FROTA, M. N. **Embalagens compostáveis: uma estratégia para a redução de impacto ambiental**. Dissertação (Mestrado em Metrologia para qualidade e inovação) –

PUC, Rio, 2015. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/25786/25786.PDF>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

GAVA, A. J. **Tecnologia de alimentos: princípio e aplicações**. Rio de Janeiro: Nobel. 2009. 511 p. Disponível em: <https://www.academia.edu/36520893/Princ%C3%ADpios_de_tecnologia_de_alimentos_Altanir_J_Gava>. Acesso em: 07 fev. 2022.

GENOVESE, A. *et al.* Gestão sustentável da cadeia de suprimentos e a transição para uma economia circular: evidências e algumas aplicações. **Omega**, v. 66, p. 344-357, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.fei.edu.br/bitstream/FEI/205/1/fulltext.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

GONÇALVES, A. A.; PASSOS, M. G.; BIEDRZYCKI, A. **Percepção do consumidor com relação à embalagem de alimentos: tendências**. Estudos Tecnológicos, São Leopoldo, v. 4, n. 3, p. 271-283, set/dez. 2008.

GUSTAVO, J. U. JR. *et al.* Drivers, oportunidades e barreiras para um varejista na busca por um redesenho de embalagens mais sustentável. **Jornal da produção mais limpa**, v. 187, p. 18-28, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618308680>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

HAN, J. W. *et al.* Food packaging: A comprehensive review and future trends. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 4, p. 860-877, 2018. Disponível em: <<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1541-4337.12343>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

HENNINGSSON, S. *et al.* The value of resource efficiency in the food industry: a waste minimisation project in East Anglia, UK. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 5, p. 505-512, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652603001045>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

HERNANDEZ, G. A. A.; RODRIGUES, J. F. D.; TUKKER, A. Macroeconomic, social and environmental impacts of a circular economy up to 2050: A meta-analysis of prospective studies. *Journal of Cleaner Production*, v. 278, p. 123421, jan. 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620334661#sec1>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

INSTITUTO DE EMBALAGENS. **Embalagens melhor. Mundo melhor.** São Paulo: Instituto de Embalagens, 2017. 442p.

INTERPACK. **Ritter Sport tests paper as a packaging material for its chocolate squares.** 2020. Disponível em: <https://www.interpack.com/en/TIGHTLY_PACKED/SECTORS/CONFECTIONERY_PACKAGING/News/Packing_Ritter_Sport_in_paper>. Acesso em: 20 jul. 2021.

JORGE, N. **Embalagens para alimentos.** São Paulo: Cultura Acadêmica/Universidade Estadual Paulista, 2013, 194 p. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/61732996/EMBALAGENS_PARA_ALIMENTOS_Neuza20200109-8625-s198jd.PDF>. Acesso em: 07 fev. 2022.

KATSUMATA, T. V. **Aumento da padronização de sacos de papel multifolhados valvulados em uma empresa de modelo Business to Business.** Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2021. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/214139>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

LACY, P.; RUTQVIST, J. *Waste to Wealth: The Circular Economy Advantage.* 1. ed. Palgrave Macmillan, 2015.

LAVOINE, N. *et al.* Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. In___. (coord). **Carbohydrate Polymers**, 2. Ed .2012. 735–764p. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486171200447X>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

LISPERGUER, R. C. *et al.* Cradle-to-cradle approach in the life cycle of silicon solar photovoltaic panels. **Journal of Cleaner Production**, [S.l]: Elsevier, 2017. 1688 p. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617319479>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

LOPES, C. M. A., FELISBERTI, M. I. Composite of Low-Density Polyethylene and Aluminum Obtained from the Recycling of Postconsumer Aseptic Packaging. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 101, p. 3183-3191, 2006. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.23406>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

MACARTHUR, E. *et al.* Rumo à economia circular. **Journal of Industrial Ecology**, v. 2, p. 23-44, 2013. Disponível em: <https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport_McKinsey-Towards_A_Circular_Economy.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2022.

MALUCELLI, L. C. *et al.* Preparation, properties and future perspectives of nanocrystals from agro-industrial residues: a review of recent research. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 16, n. 1, p. 131–145, 16 fev. 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-017-9423-4>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

MALVIYA, R. K. *et al.* Natural fibre reinforced composite materials: Environmentally better life cycle assessment – A case study. *Materials Today: Proceedings*, v. 26, p. 3157–3160, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320314061>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

MASSANA, P. L.; FARRENY, R.; SOLÀ, J. O. Os produtos certificados Cradle to Cradle são ambientalmente preferíveis? Análise a partir de uma abordagem

LCA. **Revista de produção mais limpa**, v. 93, p. 243-250, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615000360>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. *Remaking the way we make things: Cradle to cradle*. New York: North Point Press. 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/240457059_Book_Review_Cradle_to_Cradle_and_Remaking_the_Way_We_Make_Things_William_McDonough_and_Michael_Braungart_2002_North_Point_Press_New_York_208_pp_2750_paperback_978-0-86547-587-8>. Acesso em: 07 fev. 2022.

MCKINLAY, R; MORRISH, L. **REFLEX PROJECT**: A summary report on the results and findings from the REFLEX project. [S.I], 2016. Disponível em: <https://ceflex.eu/public_downloads/REFLEX-Summary-report-Final-report-November2016.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2021.

MIHAI, F. C.; INGRAO, C. Avaliação das perdas de resíduos biológicos por meio de práticas inadequadas de gerenciamento de resíduos em áreas rurais e o papel da compostagem doméstica. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1631-1638, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616317942>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

MONTE, J. R. **Sacarificação da polpa celulósica do bagaço de cana-de-açúcar com celulases e xilanases de *Thermoascus aurantiacus***. 2009, 138 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial), Departamento de Biotecnologia, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97132/tde-03102012-113458/publico/BID09003.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

MOURAD, A. L. *et al.* **Embalagens de papel, cartão e papelão ondulado**. Campinas: CETEA/ITAL, 1999. 282 p.

NOLETTO, A. P. R. **Caixas de papelão ondulado para frutas, verduras e legumes (FLV)**. CETEA, jan/fev/ mar. 2019, v. 31, n. 1, p. Disponível em: <http://www.ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v31n1/artigos/v31n1_artigo1.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2022.

OLIVEIRA, F. X. V. C.; CORRÊA, S. M. P. **Estudo da perspectiva de agricultores sobre a aplicação das políticas públicas ao manejo de embalagens vazias de defensivos agrícolas**. 2021. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Saneamento Ambiental) - Instituto Federal do Espírito Santo, Colatina, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1306>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

PAYNE, A. **Open-and closed-loop recycling of textile and apparel products**. In: **Handbook of life cycle assessment (LCA) of textiles and clothing**. Woodhead Publishing, 2015. p. 103-123. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978008100169100006X>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

PHANTHONG, P. *et al.* Nanocellulose: Extraction and application. **Carbon Resources Conversion**, v. 1, n. 1, p. 32-43, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2588913318300036>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

PIOTTO, C. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso 28**. 2003. Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/teses/tese_zeila_c_piotto.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2021.

PIRINGER, O. G., BANER, A. L. **Plastic Packaging: Interactions with Food and Pharmaceuticals. Second Edition**. O.G. Piringer and A.L. Baner, Weinheim 2008. Cap. 10: permeation of Gases and Condensable Substances through Monolayer and Multilayer Structures, p. 297-347. Disponível em: <<https://books.google.com/books?hl=pt->

BR&lr=&id=wxvTeGVK5o8C&oi=fnd&pg=PR5&dq=PIRINGER,+O.+G.,+BANER,+A.+L.+Plastic+Packaging:+Interactions+with+Food+and+Pharmaceuticals.+Second+Edition.+O.G.+Piringer+and+A.L.+Baner,+Weinheim+2008.+Cap.+10:+permeation+of+Gases+and+Condensable+Substances+through+Monolayer+and+Multilayer+Structures,+p&ots=X0TaWKVjDs&sig=fcRrcR5IF4GeEV-H6Ehc_VKponU>. Acesso em: 07 fev. 2022.

PLATINA, I. D.; OLIVEIRA, A. L. REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE MADEIRA DA CONFECÇÃO DE PALETES. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 232-244, 2018. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/470>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

RAMOS, B. E. **Avaliação do ruído ambiental e ocupacional em uma fábrica de papel kraft extensível**. 2013. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/18051>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

RITTER SPORT. Apresentamos: Nosso protótipo “no papel”! Disponível em: <<https://www.ritter-sport.de/blog/2020/01/22/in-papier-prototyp/>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ROBERTSON, G. L. **Food packaging and shelf life**. 3. ed. CRC Press, 2012, 17 p. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12343>>. Acesso em: 18 jul. 2021.

RODIGHERI, H. R. Florestas como alternativa de aumento de emprego e renda na propriedade rural. **Embrapa Florestas-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2000. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/290733/1/circtec42.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

RODRIGUES, L. C.; MACEDO, C. M.; CASTRO, M. C. D. Inovação das embalagens como fator estratégico: Estudo de caso em uma indústria de alimentos. In: SIMPÓSIO

INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE. 6., 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CYRUS, 2017. Disponível em: <<https://singep.org.br/6singep/resultado/501.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2021.

RODRIGUES, M. I. **O manejo florestal na Amazônia e a viabilidade financeira dos ciclos de corte**. 2020. xii, 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) — universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/38873>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SÁ, B. C. **Extensão do ciclo de vida das embalagens: estratégias para desenvolvimento e implementação dos conceitos de extensão do ciclo de vida das embalagens através da reutilização**. 2020. 186 f., Dissertação (Mestrado em Design de Produto e Espaço) – Universidade Europeia, [S.l.]. 2020. Disponível em: <<https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/32345>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SANTOS, A. M. P.; Yoshida, C. M. P. **Embalagem**. UFRPE: Recife, 2011. 152 p. Disponível em: <pronatec.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2013/06/Embalagem.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2021.

SCHENKER, U. *et al.* Short communication on the role of cellulosic fiber-based packaging in reduction of climate change impacts. **Carbohydrate Polymers**, v. 254, p. 117248, fev. 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861720314211#sec0015>>. Acesso em: 13 ago. 2021.

SCHWARK, Florentine. Influence factors for scenario analysis for new environmental technologies—the case for biopolymer technology. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 7, p. 644-652, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652608002941>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Estudo Setorial da Indústria Catarinense – Alimentos e Bebidas. Disponível em: <

[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/310812d5766b1f5f758393bb0757491f/\\$File/5739.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/310812d5766b1f5f758393bb0757491f/$File/5739.pdf)> Acesso em: 01 set. 2021.

SHARMA, A. *et al.* Commercial application of cellulose nano-composites – A review. **Biotechnology Reports**, v. 21, p. e00316, mar. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X19300359#bib0010>>. Acesso em: 04 ago. 2021.

SHREVE, R. N; BRINK, Jr. J. A. **Indústrias de Processos Químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. p. 498-499.

SIMOES, J. S. *et al.* Effect of sustainability information on consumers' liking of freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 15, p. 3160-3164, 2015. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.7055>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SOUZA, J.; HADLICH, D. P. F.; MAAHS, T. R. Análise da substituição de paletes convencionais de madeira por paletes de papelão. **Revista Liberato**, v. 17, n. 28, p. 177-188, 2018. Disponível em: <<http://pce.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/538/317>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SPINACÉ, M. A. S.; LAMBERT, C. S.; FERMOSELLI, K. K. G.; PAOLI, M. Characterization of lignocellulosic curaua fibres. **Carbohydrate polymers**, v. 77, p. 47-53, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861708005493>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

STAHEL, Walter R. A economia circular. **Nature News**, v. 531, n. 7595, pág. 435, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/298909366_Circular_economy>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SUN, M. *et al.* Encargos ambientais da utilização abrangente da palha: Utilização da palha do trigo a partir de uma perspectiva de ciclo de vida. **Journal of Cleaner Production**, v. 259, p. 120702, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620307496>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

TEIXEIRA, M. B. D. *et al.* O Papel: uma breve revisão histórica, descrição da tecnologia industrial de produção e experimentos para obtenção de folhas artesanais. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 3, p. 1364-1380, 2017. Disponível em: <<https://www.academia.edu/download/65980332/1984-6835.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

TENCATI, A. *et al.* Políticas de prevenção que tratam de embalagens e resíduos de embalagens: Algumas tendências emergentes. **Gerenciamento de resíduos**, v. 56, p. 35-45, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16303300>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

TWEDE, D.; GODDARD, R. **Coleção embalagem: Materiais para embalagens**, v.3, São Paulo: Blucher, 2010, 171p. Disponível em: <<https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=gpK6DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR17&dq=TWEDE,+D.%3B+GODDARD,+R.+Cole%C3%A7%C3%A3o+embalagem:+Materiais+para+embalagens,+v.3,+S%C3%A3o+Paulo:+Blucher,+2010,+171p.&ots=lfSaiOmKOF&sig=sSngLI4pqLlzQsBAINOY6zUhKhk>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

TWO SIDES BRASIL. Embalagem influencia decisão de compra do brasileiro. **Two Sides**, 24 abr. 2019. Disponível em: <<https://twosides.org.br/BR/embalagem-influenciadecisao-de-compra-do-brasileiro-mostra-two-sides/>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

UNEP, U. Single-use plastics: a roadmap for sustainability. **Plásticos De Un Solo Uso: Una hoja de ruta para la sostenibilidad**, 2018. Disponível em:

<<https://www.unep.org/es/resources/informe/plasticos-de-un-solo-uso-una-hoja-de-ruta-para-la-sostenibilidad>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

VILARINHO, F. *et al.* Nanocellulose in green food packaging. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 58, n. 9, p. 1526-1537, 2018. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2016.1270254>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

VILLELA, L. S. *et al.* **Desempenho físico-mecânico de compósitos à base de gesso reforçados com embalagens multicamadas trituradas**. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 25, n. 3, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/KNYCWzQW9cn4tW9bLR8DFwk/?lang=pt&format=html>>. Acesso em: 1 set. 2021.

WIKSTRÖM, F.; WILLIAMS, H.; VENKATESH, G. A influência dos atributos da embalagem na reciclagem e no comportamento do desperdício de alimentos - uma comparação ambiental de duas alternativas de embalagem. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 895-902, 2016. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/178759>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

WITZEL, J.; HOOGE, I.; NORMANN, A. Resíduos de alimentos relacionados ao consumidor: papel do marketing e dos varejistas de alimentos e potencial de ação. **Journal of International Food & Agribusiness Marketing**, v. 28, n. 3, pág. 271-285, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618328877#bib6>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

ZHAO, G. *et al.* Preparation and thermostability of cellulose nanocrystals and nanofibrils from two sources of biomass: Rice straw and poplar wood. **Cellulose**, v. 26, n. 16, p. 8625-8643, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-019-02683-8>>. Acesso em: 07 fev. 2022.