

Neuza Jorge

EMBALAGENS PARA ALIMENTOS



EMBALAGENS PARA ALIMENTOS



Reitor Julio Cezar Durigan
Pró-Reitor de Graduação Laurence Duarte Colvara
Pró-Reitor de Pós-Graduação Eduardo Kokubun
Pró-Reitora de Pesquisa Maria José Soares Mendes Giannini
Pró-Reitora de Extensão Universitária Mariângela Spotti Lopes Fujita
Pró-Reitor de Administração Carlos Antonio Gamero
Secretária Geral Maria Dalva Silva Pagotto
Chefe de Gabinete Roberval Daiton Vieira



Neuza Jorge

EMBALAGENS PARA ALIMENTOS

**CULTURA
ACADÊMICA**
Editora

unesp 

Pró-reitoria de Graduação / UNESP
prograd 

São Paulo
2013

J82e Jorge, Neuza
 Embalagens para alimentos / Neuza Jorge. – São Paulo : Cultura Acadêmica : Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2013
 194 p.

 ISBN 978-85-7983-394-6

 1. Alimentos – Embalagens. I. Título. II. Universidade Estadual Paulista. Pró-Reitoria de Graduação.

CDD 664.09

Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria Geral de Bibliotecas da Unesp

equipe



Pró-reitor Laurence Duarte Colvara

Secretária Joana Gabriela Vasconcelos Deconto
 Silvia Regina Carão

Assessoria José Brás Barreto de Oliveira
 Maria de Lourdes Spazziani
 Valéria Nobre Leal de Souza Oliva

Técnica Bambina Maria Migliori
 Camila Gomes da Silva
 Cecília Specian
 Eduardo Luis Campos Lima
 Gisleide Alves Anhesim Portes
 Ivonette de Mattos
 Maria Emília Araújo Gonçalves
 Maria Selma Souza Santos
 Renata Sampaio Alves de Souza
 Sergio Henrique Carregari

Projeto Gráfico Andrea Yanaguita

Diagramação Vegas Design

PROGRAMA DE APOIO À PRODUÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO

Considerando a importância da produção de material didático-pedagógico dedicado ao ensino de graduação e de pós-graduação, a Reitoria da UNESP, por meio da Pró-Reitoria de Graduação (PROGRAD) e em parceria com a Fundação Editora UNESP (FEU), mantém o Programa de Apoio à Produção de Material Didático de Docentes da UNESP, que contempla textos de apoio às aulas, material audiovisual, *homepages*, *softwares*, material artístico e outras mídias, sob o selo CULTURA ACADÊMICA da Editora da UNESP, disponibilizando aos alunos material didático de qualidade com baixo custo e editado sob demanda.

Assim, é com satisfação que colocamos à disposição da comunidade acadêmica mais esta obra, “Embalagens para Alimentos”, de autoria da Profa. Dra. Neuza Jorge, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas do Câmpus de São José do Rio Preto, esperando que ela traga contribuição não apenas para estudantes da UNESP, mas para todos aqueles interessados no assunto abordado.

Dedico aos meus alunos do curso de Engenharia de Alimentos,
do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos –
Universidade Estadual Paulista.

AGRADECIMENTOS

À Carolina Médici Veronezi, aluna da disciplina “Estágio em Docência”, do curso de doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos, pelo auxílio na organização deste material didático.

APRESENTAÇÃO

Este material didático foi elaborado com o objetivo de oferecer um texto básico e acessível aos alunos de graduação, para apoio da disciplina “Embalagem para Alimentos” ministrada no curso de Engenharia de Alimentos. As informações aqui reunidas abordam sobre alguns conceitos gerais, embalagens metálicas, plásticas, de vidro, de papel/cartão/papelão, flexíveis e rotulagem. Ao final encontram-se as referências bibliográficas referentes aos temas abordados.

A autora desenvolve pesquisa em Ciência e Tecnologia de Alimentos e é professora dos cursos de Graduação em Engenharia de Alimentos e Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

São José do Rio Preto/SP

Janeiro de 2013

A autora

LISTA DE FIGURAS

3 EMBALAGENS PLÁSTICAS

- FIGURA 3.1 Estrutura química do polietileno 69
- FIGURA 3.2 Estrutura química do polipropileno 73
- FIGURA 3.3 Estrutura química do poliestireno 74
- FIGURA 3.4 Estrutura química do policloreto de vinila 78
- FIGURA 3.5 Estrutura química do policloreto de vinilideno 79
- FIGURA 3.6 Estrutura química de poliamidas 80
- FIGURA 3.7 Estrutura química do polietileno tereftalato 83
- FIGURA 3.8 Estrutura química do polietileno naftalato 84
- FIGURA 3.9 Estrutura química do policarbonato 85
- FIGURA 3.10 Estrutura química do etileno acetato de vinila 87
- FIGURA 3.11 Estrutura química do etileno e álcool vinílico 87

LISTA DE TABELAS

1 CONCEITOS GERAIS

TABELA 1.1 Embalagens rígidas, semi-rígidas e flexíveis 22

TABELA 1.2 Tempo de degradação de materiais de embalagens 26

2 EMBALAGENS METÁLICAS

TABELA 2.1 Comparação dos materiais metálicos 30

TABELA 2.2 Aplicações das embalagens metálicas 31

TABELA 2.3 Características da folha de flandres 32

TABELA 2.4 Porcentagem máxima de cada elemento na composição do aço base 33

TABELA 2.5 Tolerância de espessura para folhas de aço 34

TABELA 2.6 Dureza Rockwell 30T e as respectivas tolerâncias para folhas de aço nominal com diferentes têmperas e espessuras 35

TABELA 2.7 Diferentes têmperas da folha de flandres e suas aplicações em relação ao grau de dureza 36

TABELA 2.8 Massa do revestimento normal em folhas de flandres eletrolíticas 37

TABELA 2.9 Massa do revestimento diferencial em folhas de flandres eletrolíticas 38

TABELA 2.10 Tratamentos usuais de passivação 39

TABELA 2.11 Vantagens e desvantagens das latas de alumínio 41

TABELA 2.12 Conteúdo de elementos químicos em ligas de alumínio para embalagens (%) 42

TABELA 2.13 Classificação comercial das latas e suas dimensões mais comuns na indústria (1 polegada = 25,4 mm) 55

TABELA 2.14 Metodologia analítica para o exame de recravação 62

3 EMBALAGENS PLÁSTICAS

TABELA 3.1 Especificações de embalagens plásticas 88

TABELA 3.2 Especificações de filmes plásticos 88

4 EMBALAGENS DE VIDRO

TABELA 4.1 Composição do vidro (%) 104

TABELA 4.2 Fabricação de vidro: matérias-primas e suas funções 107

- TABELA 4.3** Classificação dos defeitos em embalagens de vidro 122
- TABELA 4.4** Especificações de embalagens de vidro 122
- TABELA 4.5** Tolerância de variações no volume de embalagens de vidro 124
- TABELA 4.6** Limites das tolerâncias de diâmetros de embalagens 124
- TABELA 4.7** Limites das tolerâncias para alturas de embalagens 125
- TABELA 4.8** Limites de transmissão luminosa estabelecidos por normas 127

5 EMBALAGENS CELULÓSICAS

- TABELA 5.1** Características do papelão 136
- TABELA 5.2** Configuração do miolo 137
- TABELA 5.3** Operações unitárias da indústria de papel e cartão 138
- TABELA 5.4** Especificações para papel e cartão 143
- TABELA 5.5** Especificações do papelão 147

6 EMBALAGENS FLEXÍVEIS

- TABELA 6.1** Principais características de alguns substratos usados na laminação 156

7 ROTULAGEM

- TABELA 7.1** Relação medida caseira x capacidade 175
- TABELA 7.2** Quantidades consideradas não significativas 176
- TABELA 7.3** Principais diferenças entre os principais processos de impressão 184

SUMÁRIO

1 CONCEITOS GERAIS

- 1.1 Introdução 19
- 1.2 Funções da embalagem 19
- 1.3 Classificação das embalagens 21
- 1.4 Características dos materiais de embalagem 22
- 1.5 Embalagem e ambiente 24

2 EMBALAGENS METÁLICAS

- 2.1 Introdução 29
- 2.2 Propriedades e características 29
- 2.3 Interação embalagem/alimento 44
- 2.4 Processos de fabricação 48
- 2.5 Controle de qualidade 58
- 2.6 Embalagem e ambiente 63

3 EMBALAGENS PLÁSTICAS

- 3.1 Introdução 67
- 3.2 Propriedades e características 68
- 3.3 Interação embalagem/alimento 88
- 3.4 Processos de transformação 93
- 3.5 Controle de qualidade 95
- 3.6 Embalagem e ambiente 99

4 EMBALAGENS DE VIDRO

- 4.1 Introdução 103
- 4.2 Composição do vidro 104
- 4.3 Classificação 107
- 4.4 Propriedades e características 111
- 4.5 Interação embalagem/alimento 113
- 4.6 Processos de fabricação 114
- 4.7 Recipiente de vidro 118

4.8	Controle de qualidade	121
4.9	Embalagem e ambiente	128
5	EMBALAGENS CELULÓSICAS	
5.1	Introdução	131
5.2	Propriedades e características	132
5.3	Interação embalagem/alimento	137
5.4	Processos de fabricação	137
5.5	Tipos de embalagens	141
5.6	Projeto e construção da embalagem	142
5.7	Controle de qualidade	142
5.8	Embalagem e ambiente	149
6	EMBALAGENS FLEXÍVEIS	
6.1	Introdução	153
6.2	Componentes da laminação	154
6.3	Propriedades e características	156
6.4	Interação embalagem/alimento	157
6.5	Processos de laminação	157
6.6	Metalização a vácuo	159
6.7	Aplicações	161
6.8	Controle de qualidade	164
6.9	Embalagem e ambiente	167
7	ROTULAGEM	
7.1	Introdução	169
7.2	Rotulagem	170
7.3	Materiais utilizados	177
7.4	Tipos de rótulos	179
7.5	Processos de impressão	180

REFERÊNCIAS	185
-------------	-----

GLOSSÁRIO	189
-----------	-----

1

CONCEITOS GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO

A embalagem desempenha um papel fundamental na indústria alimentícia graças às suas múltiplas funções. Além de conter o produto, a embalagem é muito importante na sua conservação, mantendo qualidade e segurança, atuando como barreira contra fatores responsáveis pela deterioração química, física e microbiológica.

Apesar das inúmeras inovações registradas em nível da produção, aplicação dos materiais, tecnologia de conservação dos produtos e sistemas de distribuição, os sistemas e formas tradicionais de embalagem coexistem graças a características específicas e funcionais e a sua capacidade de adaptação como resposta às necessidades e exigências dos mercados.

São várias as definições que podem ser apresentadas para a embalagem:

- Sistema coordenado de preparação de produtos para transporte, distribuição, armazenamento e uso final;
- Meio de assegurar o envio de produtos ao consumidor final, em condições ótimas e a baixo custo;
- Função técnico-econômica de diminuir o custo de distribuição e aumentar as vendas;
- Arte, ciência e tecnologia de preparar produtos para transporte e venda.

1.2 FUNÇÕES DA EMBALAGEM

Proteção

A embalagem é antes de mais nada um recipiente que contém o produto e que deve permitir o seu transporte, distribuição e manuseio, protegendo-o contra choques, vibrações e compressões que ocorrem em todo o circuito.

O sistema de embalagem deve também proteger o produto contra adulterações ou perdas de integridade, acidentais ou provocadas através de sistemas de evidência de abertura (selos, tampas com anel de ruptura, tampas com botão indicador de vácuo, etc.).

Conservação

A embalagem deve manter a qualidade e a segurança do produto, prolongando sua vida útil e minimizando as perdas do produto por deterioração. Para isso, ela deve controlar fatores como a umidade, o oxigênio, a luz e ser uma barreira aos micro-organismos presentes na atmosfera envolvente, impedindo o seu desenvolvimento no produto.

A embalagem deve também ser constituída por materiais e substâncias que não migrem para o produto, em quantidades que possam por em risco a segurança dos consumidores ou alterar as características organolépticas do produto.

A embalagem faz, muitas vezes, parte integrante do processo de preparação e conservação dos alimentos. Ela é concebida e adaptada a uma certa tecnologia para a qual é completamente indispensável, desempenhando assim um papel ativo, como no processamento térmico, no acondicionamento asséptico e na atmosfera modificada.

Processamento térmico: as embalagens devem ser herméticas, resistir a temperatura e permitir as variações no volume do produto durante o processo, sem perigo de deformação permanente e sem promover a recontaminação pós-processo.

Acondicionamento asséptico: o produto é esterilizado separadamente e introduzido asépticamente numa embalagem também estéril. A embalagem deve ser adequada ao processo de esterilização e permitir o enchimento do produto processado e o fechamento em condições perfeitamente assépticas, mantendo a integridade e hermeticidade do material e das soldas.

Embalagem em atmosfera modificada: consiste no acondicionamento em uma atmosfera gasosa, na qual emprega-se normalmente uma mistura de oxigênio, dióxido de carbono e nitrogênio ou, em alguns casos, apenas nitrogênio como gás inerte. Na maioria dos produtos, a conservação é também feita sob refrigeração. Esta tecnologia de processamento requer máquinas de acondicionamento eficientes e materiais de embalagem com permeabilidade seletiva e controlada, que permitem manter na atmosfera gasosa da embalagem, os seus gases em proporções constantes ou dentro de determinados limites, não obstante, o metabolismo ativo dos produtos embalados.

Informação

A embalagem é também, por excelência, o veículo de informação sobre o produto, quer seja de informação relevante para o consumidor, quer seja para os diferentes elementos de sua cadeia de distribuição e venda. Neste último caso, a embalagem transmite informação para a gestão de estoques, instruções de armazenamento e de manuseio, preço e permite a identificação e rastreabilidade do produto. Ao nível do consumidor, a embalagem é suporte dos requisitos legais de rotulagem (nome e tipo do produto, quantidade, data de consumo, fabricante, etc.), da informação nutricional e de instruções de armazenamento doméstico, de preparação e uso.

Conveniência ou serviço

Os aspectos da embalagem que se englobam nesta função são abertura fácil; tampas dosadoras e possibilidade de fechamento entre utilizações; possibilidade de aquecer/cozinhar e servir na própria embalagem; utilização em fornos micro-ondas; permitir a combinação de produtos diferentes; como iogurte e cereais e ser adequada a diferentes ocasiões de consumo, como em situações esportivas e em diferentes quantidades, doses individuais, etc.. Nesta função podem ser incluídos aspectos menos técnicos e mais relacionados com o *marketing* e a comunicação, já que a embalagem deve reter a atenção e seduzir o comprador no ponto de venda.

1.3 CLASSIFICAÇÃO DAS EMBALAGENS

Quanto à estrutura dos materiais

As embalagens de produtos alimentícios podem ser de metal, plástico, vidro ou papel. Ainda podem ser encontradas embalagens de madeira, têxteis e cortiça. As embalagens podem ser classificadas como rígidas, semi-rígidas ou flexíveis (Tabela 1.1.). Em alguns casos é a espessura do material que classifica a embalagem.

Tabela 1.1 Embalagens rígidas, semi-rígidas e flexíveis

Embalagens	Metálica	Plástica	Vidro	Papel
Rígidas	Latas em folha de flandres e alumínio	Bandejas, garrafas, potes, grades e caixas	Garrafas e frascos	Caixas de papelão
Semi-rígidas	Bandejas de alumínio	Bandejas em poliestireno expandido Frascos, copos e potes termo-formados	–	Caixas e cartuchos em cartolina Bandejas e alvéolos em polpa moldada
Flexíveis	Folha de alumínio Estruturas laminadas	Filmes Estruturas laminadas	–	Folha de papel Estruturas laminadas

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

Quanto à função ou nível das embalagens

A embalagem **primária**, como a lata, a garrafa ou o saco está em contato direto com o produto e é normalmente responsável pela conservação e contenção do produto. As embalagens primárias são agrupadas em cargas unitárias, em paletes de madeira ou plásticas, e estabilizadas com filme estirável, termoretrátil ou com cintas.

A embalagem **secundária**, como é o caso das caixas de cartão ou cartolina que contém uma ou várias embalagens primárias e é normalmente responsável pela proteção físico-mecânica durante a distribuição. A embalagem secundária é, muitas vezes, também responsável pela comunicação, sendo o suporte da informação, principalmente nos casos em que contém apenas uma embalagem primária.

A embalagem **terciária** agrupa diversas embalagens primárias ou secundárias para o transporte, como caixas de papelão ou grades plásticas para garrafas de bebidas. A escolha de embalagens deste tipo depende da natureza da embalagem individual (rígida, semi-rígida ou flexível); do esquema de paletização (dimensionamento da embalagem coletiva com vista a maximizar o aproveitamento do palete) e dos custos.

1.4 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DE EMBALAGEM

A seleção do sistema de embalagem para um dado produto depende de muitos fatores como o tipo de produto, os requisitos de proteção, a vida útil re-

querida para o produto, o mercado a que se destina e o circuito de distribuição e venda, etc. Todos os materiais apresentam aspectos positivos e negativos e as principais características são mencionadas a seguir.

Metal (base de aço)

- Interação química com o produto: corrosão, sulfuração
- Resistente à baixas e elevadas temperaturas
- Boa resistência mecânica
- Possibilidade de decoração
- Elevada barreira a gases
- Não transparente
- Reutilização limitada
- Reciclável e facilidade de separação dos resíduos

Metal (base de alumínio)

- Leve e resistente
- Elevada barreira
- Elevada resistência à sulfuração e moderada à corrosão
- Boa capacidade de formação
- Flexível ou rígido (depende da espessura)
- Possibilidade de combinação com papel ou plástico (laminados)
- Reciclável
- Custos elevados de produção

Plástico

- Leve
- Inquebrável
- Resistência mecânica e térmica relativa
- Barreira e inércia relativa
- Não reutilizável
- Reciclável
- Possibilidade de combinação com papel e alumínio ou outros plásticos

Vidro

- Inerte
- Transparente com possibilidade de se tornar colorido
- Elevada resistência à compressão vertical
- Elevada barreira
- Várias formas e tamanhos
- Quebrável
- Elevado peso
- Possibilidade de fechamento entre utilizações
- Reutilizável e reciclável

Papel

- Várias espessuras e formatos
- Combinação com vários materiais para formar produtos laminados ou revestidos
- Baixa resistência mecânica
- Baixa barreira
- Falta de inércia
- Resistente à baixas temperaturas
- Boa impressão
- Baixo peso
- Reciclável

1.5 EMBALAGEM E AMBIENTE

As grandes mudanças dos hábitos alimentares decorrentes das mudanças do estilo de vida, têm levado a aumento considerável na oferta de alimentos pré-preparados e conservados. Esta evolução associada às exigências dos modernos sistemas de distribuição tem favorecido o aparecimento de novas embalagens. Elas são resultantes da aplicação de novas tecnologias de fabricação e processamento de materiais, do aparecimento de novos materiais ou mesmo de novas combinações entre materiais tradicionais. As modificações nos hábitos alimentares também explicam o progressivo aumento na quan-

tidade de resíduos de embalagens no total dos resíduos sólidos urbanos produzidos.

Apesar da inquestionável importância econômica e social da embalagem, a consciência do seu impacto no ambiente e a regulamentação impõem a necessidade de prevenir a produção excessiva de resíduos de embalagens e de desenvolver a sua valorização, de modo a diminuir de forma intensa seu depósito em aterros e promover a economia ambientalmente sustentável.

No que diz respeito à gestão dos resíduos de embalagem, existe uma hierarquização dos métodos de gestão, denominada 3R's da sustentabilidade: Redução na origem, Reutilização e Reciclagem. Além disso, pode-se realizar sua incineração, com recuperação energética e, só em último caso, a deposição em aterro.

A **redução na origem** e não apenas o uso de menos embalagens, consiste na minimização do consumo de materiais (uso de embalagens mais leves), na redução do consumo de energia e na eliminação do uso de substâncias nocivas ao ambiente na produção e transformação das embalagens.

A redução no consumo de material em sua fabricação pode ser obtida através da redução da espessura das embalagens e/ou mudanças em seu formato, de forma a otimizá-la. O uso de embalagens com maior capacidade e a utilização de produtos concentrados são também maneiras de reduzir o material.

No entanto, a redução deste material não pode prejudicar as características básicas solicitadas pelo produto acondicionado, ou seja, deve-se minimizar o impacto que a embalagem provoca no ambiente, mas mantendo sua funcionalidade através da cadeia de distribuição, transporte e armazenamento, além de garantir a segurança e a qualidade do produto. Têm sido realizadas alterações em embalagens primárias, secundárias e/ou terciárias e essas alterações focam-se mais na concepção do produto, processo de acondicionamento, otimização da embalagem ou dos materiais.

A **reutilização** implica no retorno da embalagem à indústria de alimentos ou bebidas, após consumo, para nova utilização.

As embalagens reutilizáveis traduzem-se em mais benefícios não só ambientais como também, econômicos. As vantagens da reutilização são a redução na emissão de gases do efeito estufa, como as emissões de monóxido de carbono; na produção de resíduos sólidos; no custo operacional; e no consumo

de energia e água; além de diminuição no consumo de matérias-primas virgens. Apresenta, contudo, a desvantagem de exigir apreciável consumo energético no transporte e nas operações de monitoramento, além de controle e adequação ao ciclo de reutilização. São mais empregadas no mercado de cervejas/refrigerantes com as embalagens de vidro e no de água mineral, na forma de galões de 20 L, em polipropileno.

A **reciclagem** pode ser orgânica, que consiste no tratamento das partes biodegradáveis da embalagem com micro-organismos aeróbicos ou anaeróbicos e produção de resíduos orgânicos utilizáveis. A **reciclagem** mecânica consiste no processamento dos resíduos das embalagens para fabricar outras embalagens ou outros objetos. Para que a reciclagem seja eficiente, técnica e economicamente, é indispensável que os consumidores adiram à coleta seletiva, separando todos os materiais passíveis de reciclagem.

As autarquias desempenham um papel importante neste processo, pois deve tratar os resíduos recolhidos de forma a entregá-los às empresas recicladoras, em conformidade com as especificações técnicas exigidas.

A reciclagem mecânica tem como vantagens, a redução na quantidade de resíduos industriais, na exploração de recursos naturais, no consumo de energia elétrica e na poluição ambiental, além da ampliação do desenvolvimento econômico pela geração de novos empregos e pela expansão dos negócios relativos à reciclagem. O tempo médio de degradação dos principais materiais de embalagens está apresentado na Tabela 2.

Tabela 1.2 Tempo de degradação de materiais de embalagens

Material	Tempo médio de degradação
Madeira	13 anos
Metal	Mais de 100 anos
Alumínio	100 a 500 anos
Plástico	250 a 450 anos
Náilon	Mais de 30 anos
Isopor	80 anos
Papel	3 a 6 meses
Caixa papelão	Mínimo de 6 meses
Vidro	1 milhão de anos

Fonte: Grippi (2001).

A reciclagem possui alguns obstáculos, com questões relacionadas à segurança e viabilidade econômica do uso deste tipo de embalagem. Para contato direto com o alimento, é permitido o uso de embalagens recicladas de vidro, aço, alumínio e monocamada PET, pois durante o processamento desses materiais, eventuais contaminantes são eliminados devido às elevadas temperaturas envolvidas no processo. O uso de papel, papelão e alguns plásticos não é permitido, pois o processo ocorre a temperaturas inferiores às necessárias para a eliminação segura de contaminantes, que nem sempre é assegurada.

A efetiva reciclagem depende da demanda pelos produtos separados e de recursos financeiros para a implantação de programas e equipamentos para a coleta seletiva. Esta coleta é um sistema de recolhimento de materiais recicláveis, tais como papéis, vidros, metais e orgânicos, previamente separados na fonte geradora. Ela é importante porque proporciona melhor qualidade dos materiais recuperados; estimula a cidadania, devido à necessidade de participação comunitária; pode ser iniciada em pequena escala, que se amplia gradualmente; permite articulações com catadores, associações ecológicas e empresas; e reduz o volume do lixo. Por outro lado, há um aumento de custo, quando comparada à coleta regular, já que há necessidades de esquemas especiais de coleta e também de centros de triagem conforme os tipos de materiais.

Símbolos para identificar os diversos tipos de materiais foram criados a fim de facilitar a coleta e a separação. Além disso, também foram estabelecidas as latas de lixos coloridas, sendo a cinza para lixo comum; a verde para vidros; a amarela para metais; a vermelha para plásticos e a azul para papel e papelão (CONAMA, 2001).

Embora existam essas dificuldades para serem superadas, a reciclagem é uma das formas mais racionais de se tratar a embalagem descartada, visto que, ao invés de resíduo sólido, o material passa a ser uma matéria-prima, já disponível na forma pré-elaborada. O Brasil, contando com a ajuda da sociedade, desenvolveu métodos próprios para reciclar o lixo, o que aumenta, assim, o índice de embalagens reaproveitadas, mediante programas de coletas que estimulam a participação popular.

A **incineração**, com recuperação energética, trata-se da utilização dos resíduos das embalagens como combustíveis para a produção de energia.

O **aterro sanitário** é uma infra-estrutura que veio substituir as lixeiras a céu aberto, e onde os resíduos sólidos urbanos são depositados e isolados do ambiente permitindo o acondicionamento seguro de substâncias dificilmente biodegradáveis. Ao aterro sanitário devem chegar apenas resíduos que não têm qualquer possibilidade de serem valorizados. Estas infra-estruturas estão equipadas com um conjunto de medidas de proteção ambiental de forma a minimizar os riscos para o ambiente. Após o encerramento dos aterros sanitários, a zona é geralmente requalificada através da cobertura do local com vegetação.

A gestão dos resíduos sólidos urbanos e os resíduos de embalagem não é uma matéria fácil. Soluções integradas, envolvendo combinação das opções referidas, tendo em conta o balanço custo/benefício em termos ambientais e econômicos de acordo com as condições locais, são muitas vezes defendidas por especialistas e instituições reguladoras e de proteção ambiental. É necessário um compromisso entre a satisfação das necessidades dos consumidores, cada vez mais exigentes, e a efetiva proteção ambiental.

2

EMBALAGENS METÁLICAS

2.1 INTRODUÇÃO

As embalagens metálicas foram desenvolvidas no início do século XIX. Desde então, muitos avanços tecnológicos foram realizados em função de necessidades militares, como as guerras Napoleônicas. Estas, por volta de 1811 foram as precursoras da introdução de produtos preservados em recipientes metálicos, confeccionados com ferro estanhado.

A partir de 1865, iniciou-se a utilização destes recipientes, com diferentes capacidades e dimensões para a conservação de alimentos, por meio de patentes concedidas nos Estados Unidos. A lata era fabricada mecanicamente com material estanhado, cujo aço base tinha baixo teor de carbono.

A partir de 1920 diversificou-se a aplicação de embalagens para o acondicionamento de alimentos, com o emprego de vernizes internos e adequados aos diferentes tipos de produtos. Outras tecnologias também contribuíram para a criação de novas aplicações para as latas metálicas.

Do ponto de vista tecnológico, as principais inovações que ocorreram foram: evolução dos tipos e formatos das latas; desenvolvimento de sistemas para abertura fácil; redução da espessura da folha metálica, sem diminuir sua resistência mecânica da lata; substituição da solda convencional por agrafagem pela eletrossoldagem; melhoria na qualidade de impressão e desenvolvimento de latas embutidas a partir de materiais ferrosos e de alumínio.

Os novos avanços tecnológicos visam, sobretudo, a economia de energia e de materiais associados à maior produtividade. Os materiais utilizados na fabricação de embalagens metálicas podem ser divididos principalmente em materiais ferrosos, não ferrosos e orgânicos, tais como vernizes e tintas.

2.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

Com base nas características dos diferentes materiais disponíveis as latas podem ser fabricadas com **folha de flandres (FF)**, **folha cromada (FC)**, **folha não revestida (FNR)** e **folha de alumínio (FAL)**. As latas são, na grande

maioria dos casos, revestidas com **verniz**. Dependendo do metal usado e do tipo da lata pretendido, podem ser usados diferentes métodos de fabricação.

As embalagens metálicas para alimentos classificam-se fundamentalmente em dois tipos: embalagens de **três peças**, com corpo, tampa e fundo; e embalagens de **duas peças**, cujo corpo e fundo são uma peça única e tampa. As latas de três peças são geralmente feitas em folha de flandres. As latas de duas peças podem ser feitas em folha de flandres, folha cromada e folha de alumínio (Tabela 2.1.).

Estão disponíveis no mercado latas de vários formatos: redondas, retangulares, ovais, trapezoidais, etc. A lata redonda é a mais popular, não só por ser a que permite uma soldagem mais eficaz, como também por permitir um melhor aproveitamento da chapa metálica. A lata retangular é muito usada para acondicionar conservas de peixe, porque este formato favorece a apresentação do produto ao consumidor.

Tabela 2.1 Comparação dos materiais metálicos

Material	Folha de flandres	Folha cromada	Folha de alumínio
Resistência à corrosão	Muito boa	Muito boa	Baixa
Resistência à sulfuração	Boa	Muito boa	Boa
Soldagem	Boa	Fraca	–
Capacidade de formação	Boa	Boa	Muito boa
Custo	Médio	Baixo	Elevado
Aplicação	Latas de 2 e 3 peças, Tampas	Latas de 2 peças, Tampas	Latas de 2 peças, Tampas easy-open, Bisnagas

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

As aplicações das embalagens metálicas são múltiplas e variadas. Exemplos ilustrativos dessa diversidade são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Aplicações das embalagens metálicas

Produtos esterilizados	Conservas de legumes, pescados, carnes, frutas e sucos de frutas Tipos de embalagem: latas de 2 ou 3 peças, redondas, retangulares, ovais, troncocônicas, trapezoidais.
Bebidas	Cerveja e bebidas carbonatadas Tipos de embalagem: latas de 2 peças embutidas-estiradas em alumínio e em folha de flandres
Aerosóis	Diversos produtos alimentícios Tipos de embalagem: latas altas de 2 peças
Outros produtos alimentícios	Leite e produtos lácteos, xaropes, óleos comestíveis, chocolate e café, biscoitos Tipos de embalagem: caixas com tampa de encaixe, tambores

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

Folha de flandres

A folha de flandres (FF), ou *tinplate*, é o material ferroso mais usado na fabricação de latas de conserva. Trata-se de um material heterogêneo de estrutura estratificada, constituída por uma chapa de aço (liga de ferro com baixo teor de carbono), revestida por estanho em ambas as faces (2,8-11,2 g/m²) e com espessura entre 0,15 e 0,40 mm.

Devido às suas características intrínsecas, a folha de flandres pode ser empregada em numerosos tipos de embalagens, nas mais variadas formas e tamanhos. A aplicação do estanho é feita por eletrodeposição, a partir de soluções aquosas de sais de estanho.

Na folha de flandres, além das camadas de estanho e ferro, existem outras extremamente delgadas, que oferecem resistência à corrosão e são importantes por suas propriedades superficiais.

O processo de deposição do estanho empregado antes da segunda guerra mundial consistia na imersão da chapa num banho de estanho fundido. Atualmente, este processo praticamente foi substituído pelo processo de estanho eletrolítico, efetuado na bobina de aço. A eletrodeposição do estanho, submete-se o revestimento à fusão, para obtenção do brilho e formação da camada de liga FeSn₂.

Sobre o aço base encontra-se a camada de liga ferro/estanho e sobre esta, o revestimento de estanho livre, recoberto por uma camada de passivação, que é formada por compostos de cromo.

As folhas metálicas, de modo geral, também recebem uma camada de óleo, a qual é útil no manuseio e prevenção contra a corrosão atmosférica. As características da folha de flandres estão apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Características da folha de flandres

Camadas	Espessura (µm)	Efeito	Fator crítico
Aço	150-250	Resistência mecânica Resistência à corrosão	Composição química Uniformidade Rugosidade
Liga (FeSn ₂)	0,07-0,15	Resistência à corrosão Aderência do estanho	Estrutura
Estanho livre	0,08-1,5	Resistência à corrosão	Espessura uniforme Porosidade Tamanho do grão
Passivação	0,02	Aderência ao verniz Resistência à sulfuração Resistência à corrosão	Composição Espessura
Óleo	0,0005	Proteção contra ação atmosférica	Tipo Compatibilidade Quantidade Distribuição

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-7).

Aço base

O aço base é responsável pelas características mecânicas e em certa medida pela resistência à corrosão. Existem vários tipos de aço que variam de acordo com sua composição (Tabela 2.4.).

- Tipo D: aço com alumínio e destinado a latas embutidas (latas tipo embutimento/estiramento).
- Tipo L: baixo teor em metaloides e elementos residuais; usado para produtos de elevada corrosividade.
- Tipo MC: aço fosforizado para aumentar a resistência mecânica e corrosão. Destina-se a produtos pouco agressivos.
- Tipo MR: baixo teor em metaloides, mas menos restritivo em elementos residuais; é o mais utilizado para a fabricação da FF convencional e é recomendado para aqueles produtos de média corrosividade.

Tabela 2.4 Porcentagem máxima de cada elemento na composição do aço base

Elemento	Tipo D	Tipo L	Tipo MC	Tipo MR
Carbono	0,12	0,13	0,13	0,13
Magnésio	0,60	0,70	0,60	0,60
Fósforo	0,02	0,015	0,15	0,02
Enxofre	0,05	0,05	0,05	0,05
Silício	0,02	0,010	0,01	0,01
Cobre	0,2	0,06	0,20	0,20
Níquel	–	0,04	–	–
Cromo	–	0,06	–	–
Molibdênio	–	0,05	–	–
Outros	–	0,02	–	–

Fonte: CSN (2004).

Os elementos presentes no aço base exercem funções tanto relacionadas com a resistência mecânica quanto à corrosão. O carbono está diretamente relacionado às propriedades mecânicas da folha de flandres. Quanto mais dútil se desejar a folha e quanto maior for a estampagem a que estará sujeita, menor deverá ser seu teor de carbono.

O teor de manganês é mantido entre 0,30% e 0,50% e desempenha, como função principal, o papel compensador do enxofre que acelera a corrosão. A quantidade de manganês deve ser suficiente para reagir todo o enxofre presente, pois o excesso deste elemento forma um composto com o ferro, com ponto de fusão mais baixo, trazendo dificuldades à laminação a quente e tornando o aço mais frágil. A presença do fósforo aumenta a rigidez da folha e diminui sua resistência à corrosão. O teor máximo deve ser de 0,015%.

O teor de silício deve estar entre 0,01% e 0,02%. A elevada concentração deste elemento diminui a facilidade de estampagem da folha e prejudica o processo de fabricação do aço. Quanto ao cobre, sua presença em quantidade superior a 0,1% acelera a corrosão da folha de flandres em algumas conservas alimentícias. No entanto, este metal não é empregado no Brasil para nenhum tipo de folha de flandres (ANJOS, 1989).

Algumas propriedades físicas e mecânicas do aço base são descritas a seguir.

a) Espessura

A espessura está relacionada com as características mecânicas da folha e as dimensões da recravação da lata. Varia conforme as solicitações mecânicas que a lata deve suportar durante o processamento térmico, transporte e distribuição.

Do processo de fabricação da folha de flandres resultam as folhas de dupla redução e as folhas de redução simples. As folhas de dupla redução têm redução de 30-40% na espessura, com cerca de 0,12-0,18 mm, mas com resistência mecânica adicional. São folhas metálicas de aços ultrafinos, espessura igual ou inferior a 0,08 mm, que concorrem com o alumínio. A Tabela 2.5. apresenta as faixas de espessura para as folhas de flandres com simples e dupla redução e suas respectivas tolerâncias, quando a medida é feita por micrômetro. Por meio de pesagem, a tolerância é de $\pm 8,5\%$.

Tabela 2.5 Tolerância de espessura para folhas de aço

Simple Redução (mm)	Dupla Redução (mm)	Tolerância (\pm mm)	Massa por m ² (kg)
–	0,15	0,015	1,18
–	0,16	0,015	1,26
–	0,17	0,015	1,33
–	0,18	0,018	1,41
0,19	0,19	0,020	1,49
0,20	0,20	0,020	1,57
0,21	0,21	0,020	1,65
0,22	0,22	0,020	1,73
0,23	0,23	0,025	1,81
0,24	0,24	0,025	1,88
0,25	0,25	0,025	1,96
0,26	0,26	0,025	2,04
0,27	0,27	0,025	2,12
0,28	0,28	0,030	2,20
0,29	–	0,030	2,28
0,30	–	0,030	2,36
0,32	–	0,030	2,51
0,34	–	0,035	2,67
0,36	–	0,035	2,82
0,38	–	0,040	2,98

Fonte: Anjos (1989).

b) Dureza (têmpera)

A têmpera é obtida pela composição do aço e pelas etapas de recozimento e laminação de encruamento. A dureza do aço em relação à composição química está diretamente relacionada com seu teor de fósforo, nitrogênio e boro. O processo de recozimento, que pode ser do tipo contínuo ou em caixa, define o grau de têmpera da folha pelos parâmetros tempo e temperatura.

O grau de têmpera de uma folha metálica é habitualmente medido pelo ensaio de dureza superficial Rockwell 30T (ANJOS, 1989). As folhas metálicas são classificadas por tipo de têmpera, segundo os valores de dureza obtidos. A Tabela 2.6. apresenta os valores de dureza Rockwell 30T, com os respectivos graus de têmpera.

Tabela 2.6 Dureza Rockwell 30T e as respectivas tolerâncias para folhas de aço nominal com diferentes têmperas e espessuras

Têmpera	Espessura < 0,21 mm	Espessura (0,21 a 0,28 mm)	Espessura > 0,28 mm
T50	53 máx.	52 máx.	51 máx.
T52	53 ± 4	52 ± 4	51 ± 4
T57	58 ± 4	57 ± 4	56 ± 4
T61	62 ± 4	61 ± 4	60 ± 4
T65	65 ± 4	65 ± 4	64 ± 4

Fonte: Anjos (1989).

Na fabricação de latas devem ser verificados os processos pelos quais as folhas de aço deverão passar e também o uso ao qual serão destinadas. As folhas que receberão estampagens profundas devem ter menor resistência mecânica e as de dupla redução, a têmpera deve ser maior, para compensar a diminuição da espessura.

A espessura e a dureza conferem as propriedades mecânicas às folhas de aço. Em alguns casos, em função da sua composição química e de seu modo de elaboração, ele pode melhorar a resistência à corrosão da folha de flandres.

Uma das principais etapas da fabricação do aço é o recozimento, que confere ao material suas características de dureza, através da recristalização da estrutura, melhorando as propriedades de melhoramento, estampagem e embutimento. A Tabela 2.7. resume as aplicações da folha de flandres com relação ao grau de dureza.

Tabela 2.7 Diferentes têmperas da folha de flandres e suas aplicações em relação ao grau de dureza

Têmpera	Dureza*	Moldagem	Aplicações
T50	46-52	Estampagem profunda e extra profunda	Latas para sardinhas e de 2 peças
T52	50-56	Estampagem moderada a profunda	Tampas, latas para pastas e latas retangulares para carnes
T57	54-60	Usos gerais, folhas não sujeitas à pressões	Latas sanitárias cilíndricas e retangulares
T61	58-64	Usos gerais, folhas sujeitas à pressões (> rigidez)	Latas grandes, tampas e corpos rígidos
T65	62-68	Dobramentos, pressões severas	Latas grandes, corpos e tampas rígidas
T70	68-73	Dobramentos leves, pressões extremas (alta rigidez)	Tampas e fundos para latas de cervejas e bebidas carbonatadas

* Rockwell 30T

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

Camada de liga ferro/estanho

Esta estrutura é obtida após o processo de eletrodeposição do estanho sobre o aço base. A folha de flandres passa por um tratamento térmico em uma torre de refusão do estanho formando a camada intermetálica de ferro/estanho na forma de FeSn_2 , por um processo de difusão e transferência de massa.

Dependendo das condições do tratamento térmico aplicado à folha, a camada de liga pode ter uma estrutura cristalina retangular ou pode ser constituída por pequenos nódulos. Geralmente, a camada de liga com pronunciada estrutura retangular apresenta maior descontinuidade do que as nodulares.

A camada de liga pode ser formada em temperaturas abaixo daquela de fusão do estanho (231,9°C). Estudos realizados demonstraram que nas condições de tempo e temperatura mais utilizados no processo de envernizamento, a nucleação da camada de liga à temperatura abaixo do ponto de fusão do estanho pode beneficiar a estrutura final da camada e produzir folhas de flandres de melhor resistência à corrosão.

Algumas características da liga Fe/Sn_2 estão relacionadas com as boas práticas de produção do aço base, as quais devem favorecer a reação rápida entre os metais e uma formação desta camada mais uniforme. Os principais processos que podem influenciar estão ligados à limpeza da superfície, evitando contaminantes antes e durante o recozimento, usando agentes de limpeza com

boa capacidade de lavagem e uma limpeza eletrolítica eficiente, antes da deposição do estanho.

A camada de liga, embora delgada, é de fundamental importância, pois quanto mais contínua, melhor será a resistência da folha de flandres à corrosão ácida. A folha de flandres tipo K encontrada em alguns países, difere da normal, por possuir uma camada bastante contínua. A camada de liga, neste caso, é uma barreira à passagem da corrente de corrosão da pilha estanho-ferro, quando em presença de certos produtos ácidos, tais como suco de fruta. Esse tipo de folha normalmente é empregado na fabricação de latas sem aplicações de verniz interno.

Revestimento de estanho

O estanho usado para o revestimento da folha de flandres deve ter a pureza de 99,5%. A camada de estanho é expressa em g/m^2 para cada face da folha de flandres, que pode ser fabricada com revestimento normal ou diferencial em relação às suas duas faces da folha.

A Tabela 2.8. mostra as especificações das folhas de flandres com revestimento normal, produzidas no mercado nacional. A letra E significa eletrolítico e os números separados por barra representam a camada de estanho em g/m^2 , em cada face.

Tabela 2.8 Massa do revestimento normal em folhas de flandres eletrolíticas

Código	Revestimento Normal (g/m^2)		Revestimento mínimo (g/m^2)
	Por Face	Total	Total
E 2,8/2,8	2,8	5,6	4,9
E 5,6/5,6	5,6	11,2	10,5
E 8,4/8,4	8,4	16,8	15,7
E 11,2/11,2	11,2	22,4	20,2

Fonte: Anjos (1989).

A Tabela 2.9. ilustra as especificações das folhas de flandres diferenciais. A letra D significa diferencial e os números entre as barras, os valores de estanho em g/m^2 . Em geral, a face de maior revestimento fica no interior da lata. Para diferenciar o material com revestimento diferencial utiliza-se

marcação na face de maior revestimento, que em casos especiais pode ser feita na face de menor revestimento, com linhas tracejadas, figuras geométricas e outras formas. Geralmente, a marcação nas folhas é feita com linhas paralelas.

Tabela 2.9 Massa do revestimento diferencial em folhas de flandres eletrolíticas

Código	Revestimento Diferencial (g/m ²)		Revestimento mínimo (g/m ²)	
	Face de maior Revestimento	Face de menor Revestimento	Face de maior Revestimento	Face de menor Revestimento
D 5,6/2,8	5,6	2,8	4,75	2,25
D 8,4/2,8	8,4	2,8	7,85	2,25
D 8,4/5,6	8,4	5,6	7,85	4,75
D 11,2/2,8	11,2	2,8	10,1	2,25
D 11,2/5,6	11,2	5,6	10,1	4,75

Fonte: Anjos (1989).

O processo de deposição eletrolítica permite que sejam obtidos revestimentos distintos nos dois lados da chapa de aço. Esse tipo particular de folha foi denominada folha de flandres diferencial e representou um grande avanço na redução do custo desse tipo de embalagem.

A taxa de estanhagem pode ser diferente em cada uma das faces e a sua escolha depende, sobretudo, da agressividade do alimento a ser acondicionado e conseqüente tendência à corrosão do sistema lata/alimento.

Com o aparecimento da solda elétrica, desenvolveu-se nos anos 80 a folha de flandres de baixa estanhagem, 0,5-1,5,g/m², designada LTS, *low coated tin steel*. A utilização desta folha é limitada a tampas e eventualmente a corpos de latas de 2 ou 3 peças, para produtos pouco agressivos.

Revestimento de passivação

A superfície estanhada pode ainda receber um tratamento eletroquímico de passivação que consiste na deposição de uma fina camada de cromo metálico e óxido de cromo, cuja função é proteger o aço de descontinuidades da camada de estanho metálico. Não é comum especificar o tratamento de passivação à FF. No entanto, dada sua influência no comportamento do material, em certas utilizações pode se tornar uma exigência.

Existem três tratamentos de passivação praticados em diferentes condi-

ções: leve, convencional e resistente, que são designados, respectivamente, por tratamentos 300, 311 e 314 (Tabela 2.10.).

Tabela 2.10 Tratamentos usuais de passivação

Condições	300	311	314
$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (g/L)	20-30	20-30	20-30
Temperatura (°C)	46-52	46-52	82-91
pH do alimento	4-6	4-6	4-4,5
Corrente (C/dm ²)	0	≥ 3,2	16
Cr (mg/m ²)	1,5 (todo Cr ⁶⁺)	3-8	≥ 7,5

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

A película de passivação embora possua apenas alguns nanômetros de espessura, tem uma natureza bastante complexa. De acordo com o tipo de tratamento aplicado na saída de estanhamento (óxido de estanho, cromo metálico e óxido de cromo), ela pode ser obtida por via química ou eletroquímica, e confere propriedades particulares e interessantes à FF, como melhorar a resistência à corrosão atmosférica e à sulfuração e a aderência dos revestimentos orgânicos (tintas e vernizes).

Camada de óleo

A folha de flandres é recoberta com uma fina camada de óleo, que visa facilitar sua separação em fardos ou bobinas. Este óleo deve ser apropriado para uso em embalagens destinadas a alimentos e os comumente utilizados são o sebacato de dioctila ou acetil tributil citrato. A camada de óleo permite minimizar os danos mecânicos causados pela abrasão e facilita a manipulação das folhas de flandres durante a fabricação da lata. A massa do filme de óleo é expressa em mg/m², e os valores mínimo e máximo são de 5 e 15.

Folha cromada

Trata-se de um produto laminado, desenvolvido no Japão nos anos 60, e obtido pela deposição eletrolítica de cromo sobre uma folha de aço com baixo teor de carbono. É formada por uma película de cromo metálico e de óxidos em ambas as faces. Este material não solda facilmente, não apresenta grande

resistência à corrosão, mas é muito resistente à sulfuração e apresenta excelente aderência a certos vernizes. Quando envernizado adequadamente, oferece uma proteção compatível a um grande número de produtos alimentícios de baixa acidez.

O revestimento nominal apresenta uma grande gama de variação. Normalmente os valores situam-se em torno de 70 mg/m^2 ($32\text{-}140 \text{ mg/m}^2$) de cromo metálico e 12 mg/m^2 ($7,5\text{-}27 \text{ mg/m}^2$) de óxidos de cromo por face.

Quando comparada à folha de flandres (FF), a folha cromada apresenta maior aderência aos vernizes, boa resistência mecânica, menor resistência à corrosão por produtos ácidos, alta resistência à sulfuração, maior resistência à corrosão atmosférica, menor custo e resistência a temperaturas maiores que 232°C . Apresenta como desvantagens, o maior desgaste do ferramental usado em sua fabricação, por ser mais duro; baixa resistência mecânica da camada do cromo; necessidade de se envernizar as duas faces; alta dureza superficial; e ausência de soldabilidade da liga e de proteção catódica para o aço base.

Sua utilização em contenedores para o acondicionamento de alimentos tem sido em tampas e fundos envernizados de latas com três peças e destinadas a conservas vegetais e doces de frutas em geral; embalagens de duas peças, destinadas a produtos cárneos e pescados, com revestimento interno; e o corpo de latas retangulares para óleos comestíveis.

O sistema de soldagem convencional empregado para a folha de flandres não é aplicável às folhas cromadas, pois não existe estanho disponível no material. Em alguns casos, faz-se a soldagem da costura lateral com resinas termoplásticas que oferecem boa proteção, ao vazamento do produto.

Folha não revestida

A folha não revestida é um laminado de aço, sem qualquer tipo de revestimento, fornecido nas espessuras usuais da folha de flandres ou da folha cromada. Por não possuir qualquer tipo de revestimento superficial é de difícil conservação em condições normais de manuseio e utilização. Assim sendo, o processo de oxidação superficial é frequente, depende das condições de umidade relativa e temperatura ambiente e se inicia nas bordas da bobina ou das

folhas cortadas. Para minimizar esta ocorrência é feito um oleamento superficial, compatível com os vernizes ou tintas que serão posteriormente aplicados ao material.

A principal vantagem da folha não revestida é o seu baixo custo, enquanto que as principais desvantagens são a baixa resistência à corrosão, a necessidade de se envernizar as duas faces e a não soldabilidade à liga.

A legislação brasileira permite o uso de folha não revestida apenas para produtos alimentícios desidratados (leite em pó, farinhas) e óleos comestíveis, cuja interação com o material de embalagem é praticamente nula.

Folha de alumínio

O alumínio é um material não ferroso muito leve, fácil de transformar e com boa resistência à oxidação atmosférica. É utilizado nas mais variadas formas, como embalagens rígidas (latas), embalagens semi-rígidas (formas e bandejas), embalagens flexíveis (sacos e caixas) associadas a plástico e/ou papel e folha de alumínio. Devido à energia despendida na sua produção, o alumínio é no entanto um metal de custo elevado. A Tabela 2.11. apresenta as principais vantagens e desvantagens das latas de alumínio.

Tabela 2.11 Vantagens e desvantagens das latas de alumínio

Vantagens	Desvantagens
Recipientes de menor peso	Baixa resistência mecânica
Boa resistência à oxidação atmosférica	Requer tratamento de esterilização controlado
Boa resistência à sulfuração	Baixa resistência à corrosão com alimentos ácidos
Dútil, fácil de moldar, aspecto brilhante e atraente	Elevado custo
Facilmente reciclável	
Elevada condutividade térmica	
Aplicação fácil dos vernizes	

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

O alumínio para contato alimentar não é utilizado na sua forma pura, mas na forma de liga, ou seja, combinado com elementos como Mn, Mg, Si, Cu, Cr, etc. que melhoram suas características mecânicas e de resistência à corrosão (Tabela 2.12.). Estas ligas apresentam teor de alumínio ou pureza comercial da ordem dos 98,0% a 99,8%.

Para alguns usos específicos são utilizados os tratamentos de passivação do metal, porém, a maior parte das aplicações, os recipientes de alumínio são protegidos através da aplicação de vernizes sanitários ou materiais plásticos. São empregados os mesmos vernizes que para a folha de flandres, com procedimentos similares em sua aplicação.

O tratamento de passivação é realizado em uma cuba eletrolítica onde a folha de alumínio é colocada dentro de um banho de ácido sulfúrico, ficando como o ânodo, isto é, sujeito ao processo de corrosão. A passagem de corrente desenvolve uma camada de óxido sobre o metal, de característica bastante porosa. Para garantir uma proteção adicional eficaz, o material é submetido a um tratamento com água em ebulição, criando uma camada de hidróxido que fecha os poros do óxido. O tratamento deve ser aplicado nas embalagens, pois devido à fragilidade da camada, não resiste aos processos de fabricação das latas.

O alumínio não permite a soldagem rápida, através de métodos convencionais, para aagrafagem e obtenção de latas com três peças. Assim sendo, os recipientes de alumínio são, normalmente, de duas peças.

Tabela 2.12 Conteúdo de elementos químicos em ligas de alumínio para embalagens (%)

Liga	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Aplicações
3004	0,3	0,7	0,25	1-1,4	0,8-1,3	Corpos e tampas
3003	0,3	0,6	0,1	1,2		Tampas e cápsulas
3105	0,2	0,4	0,1	0,4	0,4	Tampas e cápsulas
5182	0,2	0,3	0,1	0,2-0,7	4-5,5	Tampas
5052	0,4	0,7	0,15	0,1	2,2-2,8	Tampas e cápsulas
8011	0,5	0,8	0,1	1,2		Tampas altas
1200	Soma < 1,0		0,05	≤ 0,05		Folha fina

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

Vernizes

As embalagens metálicas são na maioria das vezes protegidas, tanto no interior, quanto exteriormente por um revestimento orgânico. O alumínio e o aço cromado são sempre envernizados nas duas faces e apenas alguns produtos são acondicionados em latas de folha de flandres não envernizadas ou parcialmente envernizadas. A função essencial do verniz é de minimizar as interações dos metais da embalagem com os produtos acondicionados no seu

interior. Os vernizes aplicados devem resistir à deformação mecânica e aos tratamentos térmicos e não devem apresentar qualquer risco de toxicidade ou transmitir qualquer gosto ou odor ao produto enlatado.

Os vernizes são constituídos por uma ou várias resinas de base, termoplástica ou termoendurecível; pigmentos/aditivos diversos e solventes necessários à fabricação e aplicação e que serão posteriormente eliminados durante a secagem. Os vernizes formam, assim, uma película aderente, transparente (incolor ou dourada) ou opaca.

Cerca de 80% das latas para alimentos são envernizadas, excetuando as que são utilizadas com certas frutas e vegetais onde o contato direto com o estanho melhora suas características sensoriais e conservação.

As principais características que os revestimentos orgânicos devem ter são: fácil aplicação e secagem, boa aderência, resistência à abrasão, flexibilidade, resistência a tratamentos térmicos, resistência química, não transmitir sabor ou odor ao produto e baixo custo.

As resinas de maior utilização são as que pertencem à família das oleoresinosas, fenólicas, epoxifenólicas, epoxianidridos, organossóis, poliésteres, vinílicos e acrílicos.

Os primeiros vernizes a serem utilizados foram os **oleorresinosos**. São vernizes de baixo custo e boa resistência a ácidos, mas não resistentes à sulfuração. Tratando-se de um composto natural, este tipo de verniz foi rapidamente afastado com o desenvolvimento das resinas sintéticas alternativas. Os primeiros revestimentos sintéticos a serem desenvolvidos foram os vernizes **fenólicos** e **vinílicos**. Os fenólicos são resistentes à sulfuração, mas de flexibilidade limitada enquanto os vinílicos apresentam boa flexibilidade e aderência. São adequados para embalagens embutidas, embora sua baixa resistência à temperatura de soldagem cause problemas na fabricação de latas com 3 peças.

As **resinas epoxifenólicas** associam duas resinas complementares e com características diferentes (resina fenólica e resina epoxídica). Conforme a percentagem de cada uma das resinas, são obtidos vernizes que cobrem uma vasta gama de aplicações. A resina fenólica, devido ao seu elevado grau de reticulação, confere impermeabilidade, resistência química e é responsável pela cor dourada, mas é pouco flexível. A resina epoxídica melhora a flexibilidade. Po-

dem ser pigmentadas com alumínio ou óxido de zinco, que são barreira à sulfuração física ou química, respectivamente. As resinas epoxifenólicas têm dominado o mercado nos últimos anos, encontrando aplicações para todos os usos.

Os vernizes mais recentes (epoxiamidas, acrílicos, poliésteres, organossóis) foram desenvolvidos com o objetivo de dar resposta a problemas específicos, que surgiram com as novas tecnologias de fabricação de latas e com as exigências de qualidade do mercado.

As **resinas epoxiamidas** resultam da reação entre grupos epóxi e hidroxila de resinas epoxídicas com funções aminas (ureia, melanina), resultando em verniz com grande inércia química e boa resistência à esterilização térmica. São usadas, sobretudo, no interior de latas de bebidas carbonatadas.

Os **vernizes acrílicos** são ésteres do ácido poliacrílico ou polimetacrílico. Oferecem boa resistência química a temperaturas de esterilização e são usualmente pigmentados com uma carga mineral que lhe confere cor branca com aspecto cerâmico, muito atrativa.

Os **vernizes poliésteres** são polímeros formados por condensação de polialcoóis com poliácidos, com elevada resistência térmica, boa aderência e flexibilidade mediana. São, sobretudo, usados como pigmentos em decoração exterior.

Os **organossóis** são dispersões de policloreto de vinila reforçado por uma resina fenólica, em solvente orgânico. O extrato seco é de 65-70% o que permite obter revestimentos mais espessos. Os organossóis têm boa resistência química a temperaturas de esterilização e são usados na fabricação de latas embutidas, pigmentados ou não e em tampas de abertura fácil.

2.3 INTERAÇÃO EMBALAGEM/ALIMENTO

Migração

A migração de compostos da embalagem metálica para o alimento, pode ter origem no verniz que está em contato direto com o produto, ou em menor escala, pode haver doação dos metais constituintes da lata.

Nos primeiros tempos da utilização da folha de flandres, a má qualidade do revestimento de estanho implicava em ingestão elevada de estanho e até

envenenamento alimentar. Atualmente isto é evitado com o emprego de melhor tecnologia de deposição do estanho e de acondicionamento dos produtos alimentícios em latas envernizadas.

A ingestão humana de elevados teores de estanho provoca perturbações gastrointestinais e o nível máximo, correntemente aceito em alimentos, é de 250 mg/kg. Em condições normais de acondicionamento e processamento, a concentração de estanho no alimento pode aumentar em apenas 50 mg/kg após vários meses de armazenamento. Contudo, o excesso de oxigênio residual no espaço-livre da lata, ou a presença de nitratos, conduz a um aumento considerável na taxa de dissolução do estanho. Teores mais elevados, na ordem dos 100 mg/kg são possíveis em latas de frutos vermelhos ou que contenham pigmentos antociânicos, em que o estanho migra através de poros e imperfeições do verniz interno. As antocianinas que possuem dois grupos oxidrílicos adjacentes, não substituídos, reagem com íons de ferro, de alumínio ou de estanho para formar complexos cinzentos, azulados ou de cor de ardósia. Essa reação torna o alimento pouco atrativo (WENZEL, 2001).

A migração de cromo pode ter origem na camada de passivação da folha de flandres. O nível médio de migração do cromo para frutos e vegetais enlatados é da ordem de 0,018 mg/kg em latas envernizadas e de 0,090 mg/kg em latas sem verniz.

O alumínio é geralmente considerado seguro para contato alimentar. O interesse em seu teor na dieta humana prende-se à possibilidade de estar relacionado com desordens neurológicas quando ingerido em excesso. O alumínio para latas, como já foi visto anteriormente, é utilizado na forma de ligas com ferro, cobre, zinco, cromo ou magnésio. Isto melhora sua resistência à corrosão, sua resistência mecânica e aptidão ao processo de fabricação. O alumínio metálico e os outros constituintes da liga podem migrar para o alimento.

Os vernizes destinados à proteção do interior das latas para uso alimentar não devem apresentar qualquer risco de toxicidade, uma vez que estão em contato direto com o alimento. Os vernizes utilizados são materiais poliméricos, cujos problemas de migração e de compatibilidade são muito próximos dos encontrados nas embalagens plásticas. Qualquer que seja a natureza do revestimento orgânico, deve-se respeitar três critérios essenciais: todos os cons-

tituintes devem figurar numa lista positiva de substâncias autorizadas; a película de verniz, depois de aplicada e curada, não deve liberar constituintes em condições superiores aos limites fixados pelas normas e o revestimento deve atuar como barreira entre o metal e o alimento e não deve alterar as qualidades organolépticas do alimento (BRASIL, 2007).

Corrosão

É uma reação eletroquímica entre os metais e os componentes do meio envolvente, na presença de umidade e oxigênio. Trata-se de uma reação de oxidação-redução: a oxidação corresponde a uma perda de elétrons e a redução corresponde a um ganho. O metal que cede elétrons (ânodo) deixa a rede cristalina sob a forma de íon positivo passando para o meio, degradando-se. O outro eletrodo que apresenta uma falta relativa de elétrons (cátodo), aceita-os e em sua superfície ocorre a reação de redução. A base de todo o fenômeno de corrosão é a heterogeneidade física e química.

É conveniente recordar que a folha de flandres é um material constituído por aço com baixo teor de carbono e de elementos diversos (manganês, fósforo, enxofre, etc.) revestido, nas duas faces, por uma fina camada de estanho.

Na pilha galvânica formada, o estanho é, na maioria dos casos, o ânodo, devido ao forte poder complexante que a maioria dos meios alimentares ácidos exercem sobre seus íons. O aço comporta-se como cátodo e ele é responsável pela libertação de hidrogênio. A corrosão do estanho assegura a proteção catódica do aço.

A taxa da reação de corrosão depende da composição do meio, ou seja, da presença de ácidos e sais, que aceleram esta reação. Depende também da solubilidade dos compostos formados e da taxa de remoção destes compostos da superfície do metal. Outros fatores que influenciam a corrosão são: despolarizantes anódicos ou agentes complexantes do Sn^{2+} tais como ácido oxálico e taninos; despolarizantes catódicos O_2 , SO_2 , NO_3^- , H^+ ; produtos fitossanitários; temperatura; relação área/volume da embalagem; presença e tipo de verniz.

O alumínio faz parte da categoria dos metais sensíveis à corrosão e seu comportamento depende da natureza do meio. O pH é um dos fatores com papel preponderante sobre o comportamento do alumínio ou de suas ligas, em meio aquoso. A zona de passivação ou a formação de um filme contínuo de óxido de alumínio anidro ou hidratado que protege o metal, formando uma barreira na interface metal-meio aquoso tem pH entre 4,0 e 8,5. A estabilidade desta camada é mais estável quando o pH do meio está próximo da neutralidade e diminui gradualmente quando o pH se torna mais ácido ou mais alcalino.

Sulfuração

As proteínas presentes nos alimentos e que têm em sua composição enxofre, podem se decompor durante o processo de esterilização, liberando produtos sulfurados, em particular hidrogênio sulfurado (H_2S). Estes produtos reagem facilmente com o estanho e com o ferro da embalagem metálica, originando compostos acastanhados, violáceos ou negros. Os produtos suscetíveis de conduzirem a fenômenos de sulfuração são carnes, peixes e alimentos como ervilhas e milho. O FeS forma-se nas zonas onde o aço base está descoberto, devido a descontinuidade no revestimento de estanho, cromo e/ou verniz e aparece sob a forma de manchas negras, localizadas e pouco aderentes. O SnS afeta toda a superfície do revestimento de estanho sob a forma de marmorizações violáceas e muito aderentes. Se a folha de flandres estiver envernizada, a sulfuração pode ocorrer por baixo da película de verniz.

Os fenômenos de sulfuração não constituem nenhum problema para os alimentos conservados, isto é, não alteram o sabor ou o valor nutritivo dos alimentos, e nem põem em perigo a saúde humana. No entanto, constituem um defeito visual bastante importante, pois suscitam a desconfiança do consumidor e sua eliminação é feita por razões de ordem comercial.

Embora existam folhas de flandres passivadas resistentes à sulfuração é, sobretudo, do verniz que se exige proteção e suporte contra os riscos desta reação.

2.4 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Latas de 3 peças

Estas embalagens, geralmente feitas de folhas de flandres, foram as primeiras a serem usadas pela indústria de conservas. Seu processo de **fabricação convencional** consiste em produzir latas com fundo e tampa recravados. São as latas mais usuais e designadas por *open top can*.

Resumidamente, o processo convencional consiste em aplicar verniz numa folha metálica, proceder o corte do corpo da lata, efetuar a eletrossoldagem das extremidades ao corpo pré-cortado e do fundo, revestir a zona da solda com verniz e efetuar a estampagem e a montagem da lata, seguida da recravação da tampa.

Litografia

A seção de litografia possui máquinas envernizadeiras e impressoras do tipo *off set*, acopladas a sistema de alimentação, estufa litográfica, seção de resfriamento e empilhamento de folhas.

Os alimentadores conduzem as folhas, automaticamente, às envernizadeiras ou às impressoras com velocidade de 100 a 130 folhas por minuto. As envernizadeiras aplicam, uniformemente, os vernizes ou esmalte de proteção sobre as folhas metálicas através de rolos cilíndricos de aço e borracha.

Nas folhas destinadas à formação dos corpos das latas o verniz da parte interna é aplicado primeiro, preservando-se certas áreas bem delineadas e denominadas áreas de reserva. Essas áreas são reservadas para a agrafagem das latas cilíndricas que levarão solda. As tampas e os fundos receberão o mesmo verniz de proteção, usado no lado interno do corpo, porém sem as áreas de reserva.

No lado externo da lata será aplicado um verniz ou esmalte que receberá o rótulo a ser impresso pelo processo *off set*. Neste caso, o corpo da lata possuirá as áreas de reserva pouco mais largas, porém coincidentes com as do lado interno.

As impressoras visam a aplicação de diferentes cores com arranjos e desenhos que constituem o rótulo litografado das latas de conserva. A operação de impressão é feita, individualmente, quando se utiliza máquinas simples, ou

máquinas mais modernas, que imprimem duas ou três cores em uma só operação. O custo da impressão e as normas existentes limitam a quantidade de cores para os rótulos litografados (BRASIL, 2007).

As tintas e esmaltes para litografia devem resistir às operações de processamento, tais como o manuseio e as temperaturas de esterilização. É comum fazer a aplicação final com um verniz de acabamento (verniz acrílico) para melhorar a aparência da litografia externa e formar uma camada brilhante e resistente às condições normais de manipulação das latas durante o processamento do alimento.

Após as operações de envernizamento e impressão, as folhas são dispostas em suportes verticais e conduzidas por esteiras transportadoras para as estufas litográficas ou túneis de secagem. A secagem visa a eliminação dos solventes e possibilita uma rápida polimerização e/ou oxidação dos vernizes. O verniz interno, que foi aplicado primeiro, receberá maior temperatura durante as etapas de secagem.

As estufas litográficas são equipadas com dispositivos que permitem o controle adequado de temperatura e tempo para a secagem. A faixa de temperatura varia de 140°C a 210°C, em que os vernizes, em geral, requerem maior temperatura de secagem do que as tintas e esmaltes. Na saída destas estufas tem-se a seção de resfriamento, que permite obter uma rápida redução na temperatura das folhas litografadas e o empilhamento automático das mesmas, sem problemas com aderência.

Corte

Os cortes das folhas já envernizadas e/ou litografadas são efetuados para a obtenção dos fundos, tampas e corpos. Essa seção é comumente denominada de “Departamento de Tesouras”.

Para a produção dos fundos e tampas, as folhas podem ser fornecidas na forma de bobina e o corte é feito em zig-zag, para se obter um melhor aproveitamento do material. O corte em zig-zag é feito por uma tesoura do tipo guilhotina, ajustada de modo a cortar a folha em tiras com largura suficiente para a estampagem simultânea de duas fileiras de peças circulares. O dispositivo de corte é um conjunto de facas ajustáveis ao diâmetro dos círculos semi-in-

tercalados. Em seguida, essas folhas com bordas em zig-zag são envernizadas antes do corte individual das peças circulares para a estampagem de tampas e fundos.

As peças que se destinam à formação do corpo cilíndrico da lata são retângulos obtidos pelo corte de tesouras rotativas. Essas tesouras são facas circulares ajustáveis e com duas seções posicionadas em ângulo reto. A folha recebe os cortes de modo que o primeiro corte define o diâmetro e o segundo, a altura da lata. Esses corpos retangulares são empilhados automaticamente nos alimentadores das máquinas de estampagem.

Estampagem

É a operação que se faz nas folhas provenientes da seção de corte. As tiras em zig-zag são conduzidas para as prensas automáticas que operam com duas matrizes de estampagem e geralmente, com produção de 700 peças/minuto.

As matrizes de estampagem apresentam os detalhes técnicos que são impressos nas tampas e fundos das latas. Dependendo do tipo de lata que se deseja fazer, pode-se projetar o perfil estampado dessas peças.

As prensas de estampagem permitem a produção de tampas e fundos com perfil ligeiramente côncavo. Quando visto de cima, observa-se uma série de anéis concêntricos, denominados “anéis de expansão”, pois têm por finalidade proporcionar certa elasticidade da peça durante o processo de esterilização do alimento. Deste modo, a alta pressão interna desenvolvida dentro da lata causará apenas uma deformação temporária sem comprometer a região da recravação.

Acoplado às prensas, existem as enroladeiras que fazem o encurvamento da extremidade das bordas das tampas e fundos. A peça, ao passar pela máquina é enrolada para o lado de dentro, com ajuste do seu diâmetro externo. A finalidade do enrolamento consiste na melhor distribuição do vedante na aba e no ajuste desta peça ao corpo da lata, na operação de recravação.

A peça enrolada é transportada para a máquina aplicadora do vedante, cuja aplicação é efetuada por uma válvula regulável e com bico dosador. O vedante é expelido na forma de esguicho sobre a peça em movimento de rotação. Tal movimento imprime uma força centrífuga sobre o vedante em suspensão aquosa espalhando-o uniformemente na periferia da dobra enrolada da aba.

A quantidade e a uniformidade do anel vedante vão interferir na qualidade da gaxeta que tem por função garantir o fechamento hermético da recravação. O vedante é uma suspensão aquosa de borracha sintética, que necessita cura em estufa com circulação de ar aquecido a 100°C. Após a cura do vedante, as peças são empilhadas automaticamente e conduzidas à seção de montagem.

Montagem

A seção de montagem é a que se procede após a obtenção das peças (tampa/fundo e retângulo para o corpo). A montagem envolve uma série de operações através de um processo inteiramente automático, a saber: formação ou *body-making*, flangeamento e recravação.

O corpo da lata é formado por um conjunto de máquinas em uma linha de montagem automática e integrada, conectadas por elevadores e transportadores horizontais e inclinados.

Os corpos retangulares, provenientes da seção de corte, são conduzidos por meio de alimentador para um conjunto de cilindros com a função de reduzir o efeito de mola existente na folha. Após a passagem pelos cilindros, os corpos são enviados à operação de agrafagem.

A agrafagem, ou formação do corpo cilíndrico da lata é, então, concluída por uma máquina contendo um mandril, duas abas e um martelo. O movimento das abas orienta os ganchos do corpo em torno do mandril, efetuando o enganchamento. Finalmente, o martelo completa a operação de união e aperto da agrafagem. Dependendo do caso, pode-se obter diferentes tipos de costura mecânica, conferindo maior resistência à agrafagem.

Resta, então, a operação final de acabamento da agrafagem, que é a solda. A soldagem, uma operação característica das latas de folhas de flandres, tem por finalidade permitir o fechamento hermético e resistência mecânica ao processamento térmico.

A soldagem inclui as operações de pré-aquecimento, solda e pós-aquecimento.

O pré-aquecimento da agrafagem é obtido por chama direta, que queima a superfície orgânica da folha metálica. Os gases formados escapam pelas folgas provenientes do serrilhado.

A costura lateral do corpo da lata, pode ser feita através de soldagem elétrica, ou mais comumente com liga na direção axial por meio de cilindros rotativos. Outros sistemas também são empregados, onde a chapa não permite a soldagem por liga. Neste caso pode-se aplicar um vedante termoplástico naagrafagem, ou promover a fusão do material por meio de um fio de cobre.

De modo geral, existem diferentes tipos de soldas empregadas nas latas de três peças, descritas a seguir.

a) Solda convencional

Seguindo as etapas de fabricação da lata, após a formação do cilindro e da junção das laterais do corpo, tem-se a aplicação de uma solda. A composição, em geral, é de chumbo e estanho com diversas proporções para os elementos, sendo que a solda com 98% Pb + 2% Sn foi a mais utilizada. Este tipo de solda já não se aplica na indústria de alimentos, devido possível contaminação pelo chumbo.

b) Solda com termoplástico

As latas podem ser soldadas com termoplásticos resistentes e não resistentes ao calor, sendo o primeiro à base de poliamidas e o segundo, de modo geral, fabricado a partir de borracha sintética.

c) Solda elétrica

Nas latas eletrossoldadas, a junção do corpo é feita pela fusão do ferro através da passagem de corrente elétrica e aplicação de pressão na área a ser soldada, gerando calor suficiente para a união das partes laterais do corpo. A principal vantagem é a ausência do chumbo, porém, a região de soldagem deve ser devidamente protegida para evitar a corrosão nesta região e a migração de ferro.

Como já mencionado, o uso de folhas cromadas e não revestidas implica num sistema de soldagem não comercial. Embalagens cilíndricas de folha não revestida e usadas para óleos comestíveis têm usualmente o emprego de selantes termoplásticos, uma vez que estes tipos de latas não são submetidos a processamento térmico.

Pós-aquecimento, também por chama direta, é feito para facilitar a penetração da solda e garantir a resistência e o fechamento hermético.

Como operação complementar do processo de soldagem, é feita a eliminação do excesso de solda por meio de escova rotativa de feltro. Posteriormente, faz-se o resfriamento por meio de jatos de ar direcionados sobre a agrafagem.

Completando a agrafagem, o corpo cilíndrico das latas passa pela flangeadora para a formação dos flanges em suas extremidades, o que permitirá a recravação, que consiste na união do fundo ao corpo da lata e é executada por recravadeiras em duas operações distintas.

As recravadeiras incluem uma placa que ajusta o fundo sobre o flange do corpo e dois roletes que efetuam a união dos ganchos. O rolete de primeira operação inicia o enrolamento da aba sobre o flange e o de segunda operação finaliza a junção dos ganchos, com o devido aperto. Deste modo, obtém-se uma lata cilíndrica de três partes, sendo que a tampa é recravada pela indústria, por ocasião do acondicionamento do alimento.

O controle de qualidade do processo de produção de latas baseia-se no exame de recravação e no teste de vazamento. O exame de recravação engloba análise visual e medidas externas, bem como análise interna minuciosa e medidas dos ganchos do corpo e do fundo. O teste de vazamento é efetuado automaticamente por um sistema pneumático eletrônico que separa as latas com defeitos.

As latas aprovadas pelo controle de qualidade completam automaticamente a operação de produção, ao serem embaladas em caixas de papelão ou paletizadas para posterior distribuição, juntamente com os pacotes de tampas para as indústrias de alimentos.

Latas de 2 peças

As embalagens metálicas de duas peças destinadas à indústria alimentícia são obtidas por embutimento, operação que consiste em transformar uma folha plana ou uma pastilha metálica numa superfície com forma determinada. Fundamentalmente, esta operação pode ser efetuada tanto a quente como a frio. Comparativamente à produção de embalagens formadas por três peças, este processo tem a vantagem não só de diminuir o número de passos de fabri-

cação, mas também de aumentar a estabilidade dimensional e garantir melhores condições de enchimento.

As embalagens de duas peças, tanto podem ser obtidas por embutimento simples como por embutimento múltiplo ou por uma combinação de embutimento com estiramento.

O processo de **embutimento simples** ou **estampagem simples** é efetuado em prensas automáticas, a partir da conformação de uma folha metálica envernizada. Este processo aplica-se a todos os tipos de materiais metálicos (FAL, FF, FC), e as embalagens obtidas terão a espessura inicial da folha que lhes deu origem.

As latas produzidas por este processo são destinadas ao acondicionamento de pescados em conserva (sardinhas, postas de peixes) e doces em massa (goiabada, marmelada). Os formatos mais comuns são os retangulares com os cantos curvos, os ovais e os cilíndricos.

O **embutimento múltiplo** consiste num conjunto de operações que têm por objetivo obter formas mais profundas do que as obtidas por embutimento simples. Pode ser por estampagem/re-estampagem e estampagem/repuxo.

A **estampagem/re-estampagem** se aplica a todos os materiais, embora não seja de fácil aplicação na folha cromada. As embalagens obtidas terão a espessura inicial da folha que lhes deu origem. O processo consiste em estampagens sucessivas sobre um disco metálico que é forçado, por meio de um pistão especial, através de uma matriz que define o corpo do recipiente. Na primeira estampagem é formado um caneco, que na segunda passa por uma redução no diâmetro, ficando com altura maior, porém com a chapa tendo a mesma espessura inicial.

Os recipientes provenientes deste processo de estampagem são pouco usados para acondicionar alimentos. Portanto, os exemplos mais comuns são recipientes metálicos para produtos como aerosol, inseticidas, tintas, etc.

O **embutimento/estiramento** ou **estampagem/repuxo** é aplicado ao alumínio e à folha de flandres para acondicionar cervejas e refrigerantes. O material metálico é embutido inicialmente seguindo-se o processo de estiramento com redução da espessura das paredes da lata. O envernizamento é feito posteriormente.

O processo como um todo, inclui as etapas: corte da folha ou bobina em *scroll* e zig-zag; obtenção de peças circulares; estampagem inicial dos corpos; re-estampagem e alisamento das paredes; acabamento das bordas; aparamento das bordas; limpeza do óleo de estampagem; litografia dos corpos e cura posterior; formação do “pescoço” e flangeamento; aplicação do verniz e cura posterior; e acondicionamento dos corpos prontos para uso.

De forma a uniformizar os termos usados na indústria foi criada uma nomenclatura própria (SILVA, 1981) em que as latas são identificadas com base no seu diâmetro e altura. Cada dimensão é expressa por um conjunto de três dígitos (Tabela 2.13.). O primeiro dígito indica o número total de polegadas, enquanto que os outros dois acrescentam uma fração às dimensões expressas em 1/16 de 1 polegada. Por exemplo uma lata designada por 401 x 514 = (4 + 01/16 polegadas x 5 + 14/16 polegadas). Significando que a lata apresenta um diâmetro equivalente a 4 polegadas e 1/16 de polegada (4” 1/16”) e a altura equivale a 5 polegadas e 14/16 da polegada (5” 14/16”).

No Brasil é muito comum a terminologia latas de 1/2 kg (73,3 mm de diâmetro/111 mm de altura, e similar a 300 x 406); de 1 kg (99,5 mm de diâmetro/118 mm de altura, e similar a 401 x 411); e a de 5 kg (155,4 mm de diâmetro por 175,5 mm de altura, e similar a 604 x 614).

Tabela 2.13 Classificação comercial das latas e suas dimensões mais comuns na indústria (1 polegada = 25,4 mm)

Dimensões da lata (pol)	Classificação Comercial
211 x 400	nº 1
307 x 409	nº 2
401 x 411	nº 2 e 1/2
404 x 414	nº 3
502 x 510	nº 5
603 x 700	nº 10
603 x 812	nº 12
303 x 406	nº 303
307 x 400	nº 95

Fonte: Silva (1981).

A capacidade do recipiente é avaliada pelo número de centímetros cúbicos equivalente ao peso de água destilada a 20°C, para encher inteiramente o

recipiente. A capacidade, tamanho, espessura e demais características da lata, deverão corresponder às condições de volume e do estado físico do produto.

As vantagens das latas de duas peças em relação às de três peças são a ausência de agrafagem e, por não apresentar risco de contaminação com chumbo proveniente de solda; ausência de vazamento e corrosão que são comuns na agrafagem de latas de três peças; melhor estética e acabamento. Como desvantagens, tem-se a menor velocidade de produção; requerer folhas metálicas com melhor qualidade, o que resulta em maior refugo e custo final; verniz-especial (adesão e elasticidade); maior desgaste do ferramental; maior possibilidade de microvazamentos na recravação das tampas de latas retangulares e ovais.

As tampas para as latas de duas peças são produzidas de forma semelhante ao processo de estampagem convencional de tampas para latas de três peças. A aplicação do vedante em tampas não circulares é conseguida pelo uso de estampagem ao invés da aplicação por bico injetor. Como consequência, a quantidade e uniformidade do vedante é mais difícil de se controlar.

Tampas de abertura fácil

As tampas de abertura fácil foram desenvolvidas nos anos 60 e são consideradas um exemplo da engenharia de precisão, e balancea a necessidade da facilidade de abertura com a total integridade durante o ciclo de distribuição comercial do produto. As tampas das latas de bebidas são exemplo disso, já que apresentam uma fácil abertura parcial, não se desprende e redução do topo da lata para diminuir o material da tampa.

As tampas de abertura fácil são fabricadas em alumínio ou em folha de flandres de abertura parcial ou total, sendo aplicadas, respectivamente, sobre recipientes de alumínio e folha de flandres. De uma maneira geral, não se aplica tampas em alumínio sobre embalagens em folha de flandres, e vice-versa, devido à formação de pares metálicos suscetíveis de provocar corrosões que vão limitar a duração prevista do produto enlatado. Devido as condições extremamente severas a que a folha metálica está sujeita durante a fabricação deste tipo de tampa, os vernizes devem apresentar excelente aderência e elasticidade. Assim, são empregados vernizes epoxifenólicos (quan-

do a tampa terá contato com produtos pouco agressivos) ou organossóis em várias camadas (quando as tampas estarão em contato com produtos agressivos).

Tecnologia de recravação

O fechamento dos recipientes deve ser feito de modo a assegurar hermeticidade a gases e micro-organismos e resistência ao aumento de pressão durante a esterilização, evitando-se deformações permanentes da embalagem.

O aumento da pressão interna durante o processamento e o perigo de deformação permanente do recipiente e, em particular da zona de recravação, conduzem à necessidade dos **anéis de expansão** característicos das tampas e fundos de latas para produtos esterilizados.

O nível de pressão interna depende do formato do recipiente e das condições de enchimento e fechamento, na medida em que condicionam o espaço livre, com o nível de vácuo e de ar residual. Depende, ainda, da existência ou não de uma compensação externa pela pressão do meio de aquecimento ou de resfriamento.

A recravação é a parte da lata formada pela junção dos componentes do corpo e da tampa ou fundo, cujos ganchos se encaixam e formam forte estrutura mecânica. Consiste de três espessuras do componente da tampa ou do fundo e de duas do componente do corpo, com um vedante apropriado, sendo comprimidos conjuntamente para formar uma vedação hermética.

O curle é a curvatura na borda da tampa para que, durante a recravação, seja feito o gancho que a unirá ao corpo da lata. O curle também serve de apoio para a resina sintética e é indispensável para a separação das tampas no desempilhar da recravadeira.

A resina sintética é um vedante à base de borracha que é inserida na união entre a tampa e o corpo. Sua aplicação pode ser feita por esguicho. Sua maior concentração deve estar na região do curle e afastada do painel da tampa cerca de 1 mm (exceção para tampas e fundos de latas de cerveja e refrigerante).

O excesso ou a falta de vedante poderá acarretar sérios problemas na recravação, originando microvazamentos, o que levará à perda do produto. A quantidade de vedante depende do diâmetro da tampa ou do fundo da lata, da

maneira de esterilização do produto enlatado e do estilo do recipiente. O tipo de vedante depende do produto.

A flange ou pestana é a curvatura existente na borda do corpo da lata que formará o gancho do corpo que, durante a recravação se unirá à tampa. O perfil da pestana é importante para uma boa recravação, não devendo estar amassada, acogumelada ou fora das dimensões pré-estabelecidas.

2.5 CONTROLE DE QUALIDADE

Folha metálica

Os parâmetros selecionados para o controle da qualidade em folhas metálicas estão relacionados com características que poderão avaliar a qualidade da lata quanto a resistência mecânica, fechamento hermético e interação com o produto alimentício. Os ensaios mais comuns estão descritos a seguir, conforme Soler et al. (1985).

Determinação da espessura

A determinação da espessura em folha de flandres (FF), folha cromada (FC) e folha de alumínio (FAL) pode ser feita por método direto ou por pesagem (método indireto). O princípio do método direto consiste na medição da espessura com um micrômetro manual de ponta esférica com mola e com precisão de normalmente, 0,001 mm. A determinação pelo método indireto baseia-se no peso, dimensões e densidade do material.

Determinação da dureza superficial

A determinação da dureza baseia-se na medida da resistência à penetração de uma esfera, tomando como medida a profundidade dessa penetração. Os ensaios de dureza devem ser efetuados antes do envernizamento.

No caso de materiais metálicos à base de aço, esta determinação é feita num durômetro de dureza Rockwell diretamente na escala HR 30T ou indiretamente, para folhas de espessura fina, na escala HR 15T e depois faz-se a conversão para a escala HR 30T.

Determinação da camada de passivação na folha de flandres

Esta determinação consiste na quantificação de compostos de cromo existentes na superfície das folhas metálicas submetidas ao tratamento de passivação e pode ser feita por três métodos distintos: colorimétrico, espectrofotometria de absorção atômica e coulométrico.

No método colorimétrico, o cromo na forma de óxido e na forma metálica é extraído. Por adição de difenilcarbazida aos extratos, provoca-se uma reação de desenvolvimento de cor. A concentração de cromo extraído é determinada a partir da leitura de absorvância dos extratos. No método por espectrofotometria de absorção atômica, o cromo é igualmente extraído e depois quantificado em espectrofotômetro.

A determinação coulométrica do cromo metálico presente na camada de passivação pode ser feita pelos métodos galvanostático e potenciométrico. No primeiro caso, aplica-se determinada corrente na amostra e mede-se a variação do potencial ao longo de um determinado período de tempo. No segundo caso, faz-se variar o potencial numa gama de valores e regista-se a variação da intensidade da corrente, ao longo do tempo, correspondente à massa de cromo metálico que se dissolveu.

Determinação do revestimento de estanho total

A determinação da massa do revestimento de estanho pode ser feita por três métodos diferentes: gravimétrico, volumétrico ou coulométrico.

O método gravimétrico ou de Clark permite a determinação do estanho total por pesagem, após a amostra ter passado por uma decapagem em solução ácida. O método volumétrico consiste na dissolução do revestimento de estanho em meio ácido e redução de uma parte do estanho ao estado bivalente com alumínio metálico e determinação do estanho, no seu estado reduzido, por titulação com solução-padrão de iodato de potássio. O método coulométrico é um método galvanostático. Aplica-se determinada corrente à amostra e mede-se a variação do potencial ao longo de um período de tempo. Essa variação de potencial corresponde à dissolução do estanho na forma livre e na forma ligada.

Vernizes

Identificação de vernizes

A identificação de vernizes pode ser feita por método físico-químico ou de espectrofotometria de infravermelho. O método físico-químico baseia-se nas diferentes características físicas e químicas inerentes a cada uma das resinas base, por exemplo, reações a alterações de temperatura, ácidos, bases, luz, etc.

O método por espectrofotometria de infravermelho baseia-se no fato de que toda molécula orgânica absorve energia eletromagnética em comprimentos de onda específicos, de acordo com as ligações existentes entre os átomos que as constituem. A identificação de vernizes é normalmente efetuada por comparação com espectros padrão, existentes na bibliografia.

Determinação da camada seca

O método de ensaio baseia-se na diferença de peso de uma amostra envernizada, de área conhecida, antes e após a remoção do verniz.

Determinação da espessura das películas de verniz

Para a medição da espessura de películas com superfície plana usa-se um medidor de espessura de revestimentos e respectivas películas padrão. O princípio de funcionamento do aparelho baseia-se no fato de um fluxo magnético entre um ímã e um substrato magnético variar de acordo com a espessura da película não magnética entre o ímã e o substrato.

Determinação da aderência do verniz

A aderência do verniz aplicado sobre folhas metálicas é avaliada pelo método da quadrícula. O procedimento consiste em fazer cortes na película seca de verniz até a base metálica por meio de um instrumento cortante, fazendo-se uma quadrícula. Depois de examinado o aspecto da incisão, removendo as partículas sólidas, completa-se o teste com um ensaio de aderência efetuado por meio de uma fita adesiva padrão que se aplica sobre a quadrícula.

Determinação da porosidade do verniz

A porosidade do verniz pode ser determinada por método químico ou eletroquímico. O método químico baseia-se na reação entre o sulfato de cobre e a folha metálica, depositando-se nos poros descobertos, tornando-se visíveis as áreas expostas, ou seja, nas discontinuidades da película de verniz. O método eletroquímico baseia-se na medida da intensidade da corrente, cujo valor está relacionado com as áreas metálicas expostas.

Embalagens metálicas

Determinação da espessura residual em tampas de abertura fácil

Esta determinação é feita por meio de um micrômetro com um par de agulhas suficientemente finas que ao penetrar na linha de enfraquecimento das tampas de abertura fácil funciona como um apalpador. Tendo-se que a espessura residual varia ao longo do perfil da tampa, a marcação dos pontos de medição deve ser distribuída.

Determinação da força de abertura

A determinação da força de abertura faz-se utilizando um dinamômetro de tração apropriado. O ensaio é realizado em dois passos: determina-se a força de perfuração ou rompimento da tampa e depois a força para abertura.

Exame de recravação

A avaliação da recravação pode ser realizada através da projeção transversal da recravação ou apenas pela sua decorticação. A metodologia analítica inclui o exame visual (externo e interno) e a determinação de parâmetros específicos: profundidade do rebaixo, espessura e altura da recravação, gancho do corpo e da tampa e espessura da folha do corpo e da tampa. A partir destes parâmetros é possível avaliar outras características da recravação como a sobreposição, o nível de rugas, o índice de compactação, o espaço livre e a porcentagem do gancho do corpo (Tabela 2.14.).

Tabela 2.14 Metodologia analítica para o exame de recravação

Etapas	Método	
	Corte seção transversal	Decorticação
Exame visual externo	Defeitos acidentais (forma irregular, picos e rugas, laminação inferior, arestas vivas, etc)	
Parâmetros externos	Profundidade do rebaixo Espessura da recravação Altura da recravação	
Exame visual interno	–	Rugas
Parâmetros internos	Gancho do corpo Gancho da tampa Sobreposição Espessura da folha do corpo Espessura da folha da tampa	Gancho do corpo Gancho da tampa Espessura da folha do corpo Espessura da folha da tampa
Cálculos	% do gancho do corpo* Espaço livre	% de sobreposição % do gancho do corpo* Espaço livre

* gancho do corpo/altura da recravação x 100

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

São aceitos como parâmetros de avaliação da recravação em latas cilíndricas de 3 peças com diâmetro de 73 mm os seguintes limites: sobreposição > 45%; índice de compactação > 75%; espaço livre 0,03-0,19 mm; % do gancho do corpo > 70%; % de rugas - 3 rugas de grau 3 ou 0 rugas de grau 4; grau 0 com comprimento < 12,5%; grau 1 com comprimento entre 12,5 e 25%; grau 2 com comprimento entre 25 e 37,5%; grau 3 com comprimento entre 37,5 e 50% e grau 4 com comprimento superior a 50%, sendo calculados das seguintes formas:

$$\text{Espaço livre} = ER - (2 EC + 3 EF)$$

$$\% \text{ do gancho do corpo} = \frac{GC - 1,1 EC}{AR - 1,1 (2 EF + EC)} 100$$

$$\% \text{ de sobreposição} = \frac{GC + GF + 1,1 EF - AR}{AR - 1,1 (2 EF + EC)}$$

$$\text{Índice de compactação} = \frac{3 EF + 2 EC}{ER} 100, \text{ onde}$$

ER - espessura da recravação

GC - comprimento do gancho do corpo

GF - comprimento do gancho do fundo

EC - espessura da folha do corpo

EF - espessura da folha do fundo

AR - altura da recravação

Avaliação da inércia

Esta avaliação contempla ensaios de migração global e específica, mais especificamente a determinação de metais dissolvidos (estanho, ferro e alumínio) e de outras substâncias cedidas pelos vernizes.

2.6 EMBALAGEM E AMBIENTE

A forma de valorização das embalagens metálicas mais interessante é a reciclagem. A reutilização tem expressão apenas na embalagem industrial, como os barris de cerveja e de outras bebidas que são vendidas em latas. No que diz respeito às latas de aço ou de alumínio, a coleta e o tratamento dos seus resíduos são feitos há muito tempo em alguns países.

Embora seja maior o interesse na reciclagem de metais não-ferrosos (alumínio), devido ao seu maior valor comercial, é muito grande a procura de ferro e de aço pelas siderurgias e fundições. As embalagens à base de aço (folha de flandres e folha cromada) são triadas por sistemas de ímãs e entregues às indústrias metalúrgicas para serem novamente fundidas. Através deste processo é possível retirar até 90% do metal ferroso existente no lixo.

A utilização de aço reciclado poupa cerca de 60-70% da energia necessária para a produção de latas, reduz a emissão de gases e o consumo de água.

O processo de reciclagem das latas de aço envolve várias etapas. Depois de separadas do lixo, por processo manual, ou através de separadores eletromagnéticos, estas latas passam por um processo de limpeza em peneiras para a retirada de terra e outros contaminantes. Em seguida, são prensadas em fardos para facilitar o transporte até as indústrias recicladoras. Ao chegar à usina de fundição, a sucata vai para fornos elétricos ou a oxigênio, a 1550°C, pois em temperaturas superiores as latas sofrerão intensa oxidação e voltarão ao estágio natural de minério de ferro. Após atingir o ponto de fusão e chegar ao

estado líquido, o material é moldado em placas metálicas, e passa por processo de laminação. Em seguida são cortadas na forma de chapas de aço ou bobinas. A sucata demora somente um dia para ser reprocessada e transformada em lâminas de aço. O material pode ser reciclado infinitas vezes, sem causar perdas significativas ou prejudicar a qualidade. Quando reciclado, o aço volta ao mercado na forma de automóveis, ferramentas, vigas para construção civil, arames, utensílios domésticos e outros produtos, inclusive novas latas.

O alumínio reciclado tem muito interesse comercial porque sua introdução no processo de fabricação leva a grande economia de energia. Por cada kg de alumínio reciclado são poupados 5 kg de bauxita (minério de onde se produz o alumínio). Para reciclar uma tonelada de alumínio, gasta-se somente 5% da energia que seria necessária para produzir a mesma quantidade de alumínio primário, ou seja, a reciclagem do alumínio proporciona uma economia de 95% na energia elétrica. Para se ter uma ideia, a reciclagem de uma única lata de alumínio economiza energia suficiente para manter um aparelho de TV ligado durante três horas.

A reciclagem de latas de alumínio é dividida em várias etapas, e se inicia com a entrega das latinhas nos postos de coleta. As latas chegam prensadas às unidades de reciclagem, passando primeiramente por um desfardador, que quebra os blocos de latinhas em pedaços que são transportados por correia até um moinho de facas, onde os pedaços são completamente desmanchados. Em seguida, um separador eletromagnético remove materiais ferrosos que possam estar misturados ao alumínio. As latas passam, então, para o moinho de martelos, onde são picotadas e novamente submetidas ao separador eletromagnético. Em seguida, as latinhas passam por uma peneira vibratória que retira terra, areia e outros resíduos. Um separador pneumático completa o processo de limpeza através de jatos de ar, que separam os papéis, plásticos e outros materiais. Na sequência são removidas todas as tintas e vernizes que recobrem as latas em um grande forno rotativo. Os pedaços de alumínio limpos passam para um forno de fusão, onde são submetidos a um banho de metal líquido para derreter. O metal derretido é colocado em formas e os lingotes resultantes seguem para a etapa de laminação em chapas, que serão novamente transformadas em latas.

Os principais benefícios desta reciclagem são a colaboração para o crescimento da consciência ecológica na comunidade; menor agressão ao meio ambiente; ajuda a melhorar a composição do lixo urbano; é fonte de renda permanente para a mão de obra não qualificada; não necessita de grandes investimentos; e proporciona grande economia de energia elétrica.

3

EMBALAGENS PLÁSTICAS

3.1 INTRODUÇÃO

Os materiais plásticos vêm ganhando cada vez mais espaço no mercado competidor. Muitos são os exemplos de alimentos tradicionalmente acondicionados em recipientes de vidro e, que só são encontrados em embalagens plásticas, simples ou complexas, como o leite pasteurizado e o leite esterilizado, tipo longa vida. Grande parte das bebidas carbonatadas vem acondicionada em garrafas de poliéster (PET).

A escolha de um determinado tipo de embalagem é fundamentada em requisitos essenciais de proteção ao alimento acondicionado. Por outro lado, os aspectos econômico e mercadológico devem ser levados em consideração.

O aspecto econômico é talvez, o fator acelerador da procura de embalagens plásticas alternativas para os recipientes de vidro e metálicos. Na substituição dessas embalagens sempre ocorre uma drástica redução no fator de proteção. Contudo, procura-se balancear esse fator com o aspecto econômico em função do alimento e de um menor período de comercialização.

As embalagens plásticas, por sua vez, possuem características que dependem do tipo de material e de sua composição estrutural. Existem, portanto, filmes plásticos simples com limitadas características de proteção, como alta permeabilidade aos gases, ao vapor de água e irradiações luminosas, e ainda, as embalagens convertidas, ou seja, os laminados com propriedades de proteção semelhantes às dos recipientes de vidros e metálicos, isto é, quando uma folha de alumínio faz parte da estrutura do laminado.

O termo *plásticos* é habitualmente usado para designar materiais à base de polímeros sintéticos ou naturais modificados, que podem ser moldados pela ação do calor e/ou pressão. Os materiais plásticos usados na embalagem são muito diversificados na sua estrutura química e apresentam propriedades variáveis em função do processamento, dos aditivos incorporados e da combinação com outros polímeros.

3.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

Os plásticos podem ser classificados em **homopolímeros** ou **copolímeros** de acordo com o número de unidades básicas de natureza química (monômeros) que compõem as macromoléculas. Em alguns casos, os nomes dos polímeros são derivados dos monômeros antecidos do prefixo *poli*.

Polietileno (PE)

O polietileno é o termoplástico mais utilizado como material de embalagem. É obtido pela polimerização de olefinas (hidrocarbonetos insaturados). Baseado na estrutura molecular, o polietileno pode se apresentar linear ou ramificado. Esse tipo de estrutura influencia a densidade aparente do polímero de tal modo que existem polietilenos de alta, média e baixa densidade. Quanto maior for a ramificação da cadeia polimérica, menor é a densidade. Deste modo, o polietileno de alta densidade apresenta moléculas lineares e dispostas paralelamente.

O polietileno de baixa densidade é o mais usado como filme plástico. Já, o polietileno de alta densidade é mais usado nas embalagens semi-rígidas, como os copos e garrafas plásticas.

Obtenção do monômero

Os polietilenos são obtidos pela polimerização do etileno, que é uma olefina gasosa com dupla ligação e pode ser preparada por desidratação e por craqueamento. Por desidratação do álcool etílico, a reação é conseguida pela reação com um ácido concentrado, como sulfúrico, fosfórico ou pelo p-toluenosulfônico, em presença de óxido de alumínio. Com o craqueamento de gases naturais tem-se o processo industrial de propano para a produção do etileno e metano. Enquanto o craqueamento térmico do petróleo consiste em craquear a nafta, que é a fração leve de óleos de refinaria.

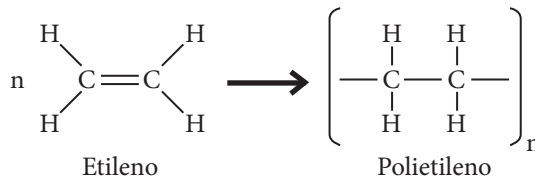
O etileno, um gás com ebulição a -140°C em pressão atmosférica, deve apresentar pureza de 99,8% para que a polimerização seja adequada. Portanto, tem-se a necessidade de eliminar traços de oxigênio e de acetileno. A remoção do oxigênio é feita pela ação catalisadora do cobre reduzido ou por tratamento

sob pressão com sódio fundido a 150°C. O acetileno é eliminado por hidrogenação catalítica. O acetileno induz a formação de ligações cruzadas, resultando em polietileno mais ramificado ou com menor densidade.

Estrutura molecular

O potietileno é um dos polímeros com composição molecular mais simples, sendo basicamente um hidrocarboneto linear ou ramificado, saturado e com alto peso molecular (Figura 3.1.).

Figura 3.1 Estrutura química do polietileno



O grau de polimerização pode variar desde centenas e até milhares de monômeros por molécula. O tamanho dessas moléculas e suas ramificações definem as características do filme.

Polietileno de baixa densidade

A obtenção do polietileno de baixa densidade (0,910-0,925 g/cm³) é feita através da polimerização do gás etileno em reatores contendo alta pressão e temperatura. Na maioria dos processos industriais, a pressão é de 1000-3000 atm e a temperatura de 100-300°C.

Os catalisadores da polimerização são rigorosamente controlados de modo a se obter o máximo de rendimento. O oxigênio é um dos principais catalisadores, e sua concentração deve ser de 0,05-0,06%. Além do oxigênio, o peróxido de benzoila, o peróxido de butila di-terciário, alquilas metálicas e compostos azóicos também são catalisadores usados.

Nos reatores do tipo autoclave ou tubular, a reação altamente exotérmica forma o polímero ramificado e, conseqüentemente, de baixa densidade. Quando a ramificação é parcial ou moderada obtém-se o polietileno intermediário, ou seja, o de média densidade (0,926-0,941 g/cm³).

As principais características e propriedades são a alta flexibilidade, transparência quando em pequenas espessuras, boa resistência à maioria dos solventes, permeabilidade a óleos e gorduras, baixa permeabilidade a vapores de água e elevada ao oxigênio, fácil termossoldagem por barra ou impulso (-50 a 80°C), boa resistência à tração e à perfuração/impacto.

Os polietilenos de baixa densidade são aplicados em sacos (extrusão em filme), como revestimento, como camada interna para termossoldagem de estruturas e como camada intermediária para ligação (laminação e coextrusão).

Polietileno de alta densidade

O polietileno de alta densidade (0,942-0,965 g/cm³) é também denominado de polietileno de baixa pressão, porque sua produção é obtida em pressão próxima a uma atmosfera e pelo uso de catalisadores organometálicos.

Deste modo, o uso do tetracloreto de titânio mais alumínio trietila como catalisador, possibilita a polimerização à pressão atmosférica e em temperaturas de 50-75°C.

A eliminação do catalisador é necessária, caso contrário, as propriedades elétricas do polímero serão afetadas. O resíduo de titânio deve ser removido pela adição de ácido clorídrico gasoso e com posterior lavagem e filtração da resina.

Possuem propriedades de barreira, sendo ótima barreira à umidade, má barreira a gases e média barreira à gorduras; térmicas com média soldabilidade (40-121°C); e de resistência mecânica, ótima resistência à tração e ao impacto/perfuração.

As principais características são a menor flexibilidade que o de baixa densidade; menor transparência, pois se apresenta opaco quando é feito por extrusão e sopro; maior resistência química que o de baixa densidade; e menor permeabilidade ao vapor de água e ao oxigênio. Representa apenas 25% do total dos polietilenos usados como embalagem. Tanto o polietileno de baixa quanto o de alta densidade requerem tratamento superficial para permitir boa aderência das tintas da impressão.

Apresenta boa aplicação para confecção de garrafas e outros recipientes

plásticos, sacos para frutas e legumes (extrusão de filme), potes e bandejas (injeção) e garrafas de leite esterilizado (extrusão-sopro).

Copolímeros de polietileno

As propriedades físico-químicas do polietileno podem ser modificadas pela adição de certos compostos à estrutura básica do polímero.

A copolimerização do polietileno de baixa densidade com o acetato de vinila vai resultar em etileno vinil acetato conhecido por etileno e acetato de vinila (EVA), o qual é mais flexível e com maior coeficiente de atrito. Outra possibilidade é a combinação com polipropileno, formando um composto com características distintas, para uso em temperaturas de congelamento.

Polipropileno (PP)

É outro termoplástico bastante comum, mas um pouco mais complexo, quimicamente, em relação ao polietileno. Dependendo da distribuição do radical metila na cadeia polimérica, pode-se obter três tipos de polipropileno (PP), com características bem distintas: atático, isotático e sindiotático. Os primeiros polipropilenos sintetizados apresentavam natureza amorfa (atática). Só então, após a descoberta dos catalisadores estéreo-específicos é que se conseguiu produzir estruturas cristalinas, tipo isotática e sindiotática.

O polipropileno é o mais leve de todos os plásticos ($d = 0,9 \text{ g/cm}^3$). Essa propriedade é importante pois, indica alto rendimento ou maior área/unidade de peso.

Possuem propriedades de barreira, pois é boa barreira à umidade em relação ao PE e fraca barreira a gases e gorduras; térmica, com boa soldabilidade, 0-130°C; resistência mecânica variável; ótica, com elevada transparência quando comparado com o PE e excelente brilho. Filme não orientado é frágil a baixas temperaturas.

As principais características do polipropileno são destacadas: é um plástico de baixa densidade; a maioria é do tipo isotático e altamente cristalino, quando na forma de filme. Suas propriedades físicas são semelhantes às do polietileno de alta densidade, mas quando copolimerizado com polietileno fica menos quebradiço em temperaturas de congelamento. É pouco mais resistente

aos agentes químicos que o polietileno, exceto aos solventes clorados. É melhor barreira aos óleos e gorduras e sua permeabilidade é menor ao oxigênio e vapor de água em comparação com os polietilenos. A biorientação reduz ainda mais a permeabilidade e aumenta sua transparência.

A biorientação do polipropileno melhora as propriedades mecânicas e a transparência do filme. Nesse caso, é denominado, polipropileno biorientado (PPBO), e é o maior concorrente dos celofanes. É mais barato, mais resistente e não necessita de revestimento para se tornar menos permeável ao vapor de água e termossoldável.

O polipropileno biorientado apresenta propriedades de barreira, ótima à umidade, fraca a gases e gorduras; térmica, fraca soldagem, -50 a -120°C e de resistência mecânica, ótima à tração e fraca ao impacto/perfuração.

A biorientação do polipropileno traz alguns problemas à termossoldagem. O calor de fusão fornecido pelas peças aquecidas faz com que o filme perca a orientação, reduzindo a resistência do fechamento a quente. O uso da soldagem por impulso ou por fio aquecido é mais indicado do que por barra aquecida. Neste caso, a menor área de contato diminui o efeito de encolhimento.

O polipropileno substituiu os filmes de celofane por apresentar maior rendimento, ser mais barato, possuir transparência e brilho semelhantes e oferecer maior resistência à tração. O celofane é mais permeável ao vapor de água e não é termossoldável. Por isso, geralmente se apresenta revestido com nitrocelulose, policloreto de vinilideno ou laminado com polietileno.

As principais aplicações do polipropileno são como filme termorretrátil, potes para sorvetes e margarinas, camada interna de bandejas termoprocessáveis e para uso em fornos micro-ondas, garrafas para *keetchup* e molhos com enchimento a quente, e em embalagens de alimentos sensíveis à umidade.

Obtenção do monômero

O monômero que dá origem ao polipropileno é o propeno, hidrocarboneto insaturado (C_3H_6), também chamado propileno. É um gás obtido comercialmente a partir de gases de refinaria por destilação de misturas de propano-propeno.

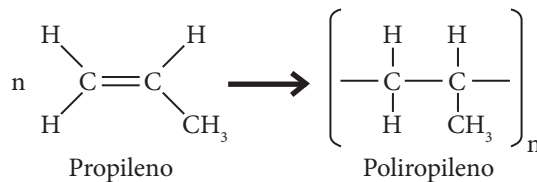
A pureza do monômero é essencial, pois a presença de água afeta a ação dos catalisadores, e por outro lado, resíduos de metil-acetileno promovem a formação de ligações cruzadas.

Estrutura molecular

A polimerização do propeno sem a adição de catalisador resulta numa estrutura em que o grupo metila encontra-se ao acaso, originando o tipo atático, amorfo e não é usado como filme, mas como adesivo. O uso de catalisadores estéreo-específicos permite a disposição do grupo metila de maneira alternada (sindiotático) ou dispostos em um só lado da estrutura principal (isotático). Esses dois tipos são os mais comuns.

A polimerização do polipropileno é similar ao processo do polietileno de alta densidade. O monômero propeno é introduzido num reator com pressão de cerca de 100 atm, onde é misturado com uma dispersão homogênea do catalisador. A temperatura é mantida baixa para forçar a precipitação da fração cristalina, sendo que a porção atática fica dispersa na solução. Em seguida, faz-se a centrifugação e remoção do catalisador por extração com uma solução diluída de HCl em álcool metílico. A Figura 3.2. ilustra a estrutura química do polipropileno.

Figura 3.2 Estrutura química do polipropileno



Poliestireno (PS)

O uso do poliestireno em escala comercial só teve impulso com o início da Segunda Guerra Mundial e devido a demanda de borracha sintética composta por estireno/butadieno. Desde então, a evolução tecnológica permitiu a elaboração de poliestireno com características específicas para diversas aplicações industriais. Por ser relativamente um dos materiais plásticos mais barato, vem

sendo escolhido como alternativa de otimização de custo em vários sistemas de embalagem.

O poliestireno é um polímero obtido pela reação do benzeno com o gás etileno. Apresenta baixo ponto de fusão (88°C), o que o torna não indicado para acondicionar alimentos quentes. É um plástico bastante quebradiço quando puro. Modificação química ou física é obtida pela incorporação de borracha sintética ou pela biorientação. É bastante permeável aos gases e ao vapor de água, e é muito transparente.

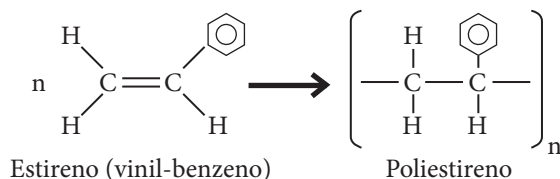
Apresenta as propriedades: barreira, fraca à umidade e a gases e má à gorduras; térmica, não solda de -30 a 50°C; resistência mecânica, muito boa à tração, baixa ao impacto/perfuração e facilidade de termoformação; e ótica, elevado brilho e transparência.

Sua aplicação inclui os copos descartáveis, copos para iogurtes, bandejas descartáveis e outros. Quando expandido é usado em bandejas pré-moldadas para acondicionar carnes, frutas e ovos.

Obtenção do monômero

O monômero básico para a obtenção do poliestireno é o estireno, também conhecido por vinilbenzeno (Figura 3.3.). Tem ponto de ebulição de 145°C, podendo ser preparado por várias maneiras: destilação seca do ácido cinâmico, desidratação do feniletilálcool, desidrogenação do etilbenzeno e reação do benzeno com etileno.

Figura 3.3 Estrutura química do poliestireno



Os dois últimos processos geralmente são associados para a produção industrial do monômero. A reação do benzeno com etileno é controlada pelo uso de cloreto de alumínio como catalisador. O produto intermediário é o etilbenzeno que sofrerá uma desidrogenação posterior para estireno, pelo uso de catalisadores como os óxidos de zinco, alumínio, cálcio ou ferro.

Tipos de poliestireno

Por meio de ação física ou química pode-se obter poliestirenos comuns, biorientados, endurecidos e expandidos.

Nos filmes comuns, o polímero apresenta-se puro e, portanto, o filme obtido não possui boas características de resistência ao impacto.

Quando biorientados, o filme de poliestireno puro adquire resistência ao impacto e alta transparência. Melhora também a barreira à permeabilidade e permite seu uso em temperaturas de congelamento, -60°C .

A modificação do poliestireno mediante a copolimerização com butadieno dá origem aos filmes endurecidos ou de alto impacto. A copolimerização pode ser por mistura mecânica das resinas ou por reação direta entre os monômeros de estireno e butadieno. Conseqüentemente, a adição de borracha ao poliestireno reduz a resistência à tração e torna o filme menos transparente, ou seja, fica translúcido.

O poliestireno expandido é outra grande aplicação do poliestireno, na forma de pérolas gaseificadas e não como um filme plástico. Como exemplos têm-se as bandejas e as caixas para ovos.

As pérolas gaseificadas são obtidas pela aplicação de pentano ou cloreto de metila, através de aquecimento em vapor. O calor adicionado expande o gás de modo a causar uma expansão do volume inicial das pérolas cerca de 30 a 40 vezes. Deste modo, obtém-se um material com densidade média de $0,02 \text{ g/cm}^3$.

O processo de produção deste tipo de material é efetuado em três etapas: pré-expansão, maturação e moldagem. A moldagem é a operação final executada em moldes projetados, conforme o formato da embalagem desejada.

Policloreto de vinila (PVC)

Esse termoplástico, mais comumente reconhecido por PVC, de ampla aplicação industrial, pertence ao grupo químico dos vinílicos. Uma molécula vinílica contém uma ligação dupla entre dois átomos de carbono. O polímero na sua composição pura é muito rígido com limitadas aplicações como material de embalagem.

Existem vários tipos de PVC dependendo da formulação final do polímero. A adição de agentes plastificantes e lubrificantes torna o PVC rígido em um

filme aderente e esticável. Além destes aditivos, ainda é necessário a inclusão de estabilizantes, pigmentos e outros compostos. Caso contrário, o PVC não se adequa ao uso como material de embalagem.

Para a produção de PVC rígido adiciona-se estabilizantes, lubrificantes e pigmentos, enquanto para a produção de filmes, adiciona-se agentes plastificantes. A mistura desses ingredientes é feita mecanicamente antes da operação de extrusão da resina em filmes ou em recipientes moldados.

Os estabilizantes mais usados são o sulfato tribásico de chumbo, estereatos de bário e cádmio e compostos organo-estanhosos. Têm a função de proporcionar estabilidade térmica e resistência aos raios ultravioletas.

Os lubrificantes funcionam como agentes de redução do atrito ou aderência do material com as superfícies metálicas das máquinas de conversão. Geralmente esses lubrificantes são do tipo oleoso, ou seja, ácidos graxos glicéricos.

Plastificantes como o di-isoacetato, acetil-tributil-citrato, adipatos, ftalatos e fosfatos são adicionados com a função de facilitar o processamento e melhorar as características mecânicas.

Os agentes plastificantes afetam as propriedades físico-químicas e mecânicas do polímero. O filme sem agentes de plastificação torna-se quebradiço e com baixa resistência ao impacto, contudo, apresenta melhor barreira contra a permeabilidade a gases e vapor de água.

A concentração desses aditivos atinge cerca de 5%. Para a produção de PVC rígido, a composição percentual mais comum é 95% de resina pura, 3% de estabilizante e 2% de lubrificante. No caso de PVC plastificado, cerca de 2% de agentes de plastificação são adicionados à formulação acima.

O grande problema com o uso do PVC é a migração dos aditivos do plástico para o alimento. Por outro lado, ainda existe a grande toxicidade do monômero (cloreto de vinila). Tal toxicidade pode ocorrer durante a fabricação da resina e dos recipientes de PVC ou pela migração do monômero residual no plástico para o alimento. A legislação americana permite, no máximo 1 mg/kg do monômero na estrutura polimérica das embalagens de PVC (FERNANDES; GARCIA; PADULA, 1987).

Apresentam propriedades de barreira, média à umidade, fraca a gases e ex-

celente à gorduras; térmica, média soldabilidade a 60-85°C e -30°C; mecânica, variável e ótica, com ótima transparência.

O comportamento do polímero vai depender do grau de plastificação, mas como características gerais dos filmes de PVC destacam-se: filme bastante transparente e brilhante; boa resistência a óleos e gorduras; e boa resistência a hidrocarbonetos não polares. Quando orientado, há melhora na resistência ao impacto e à tração. A permeabilidade depende do grau de plastificação, pois quando muito plastificado é indicado para carnes frescas e frutas, devido a alta permeabilidade ao oxigênio. Apresenta problema de migração dos aditivos para o alimento, pois quando super aquecido libera ácido clorídrico e voláteis tóxicos.

As tintas de impressão necessitam de resina vinílica na formulação básica, sendo o processo flexográfico e o acabamento da impressão com resinas poliarmídicas os mais recomendáveis.

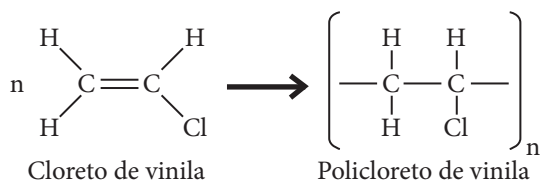
O PVC é também utilizado como filme estirável para carnes frescas, frutos e vegetais e como filme termorretrátil, para bandejas, potes para achocolatados, margarinas e manteiga, garrafas para óleo, etiquetas de garrafas e cápsulas de inviolabilidade.

Obtenção do monômero

O monômero, cloreto de vinila, pode ser obtido a partir do acetileno ou do etileno. O acetileno é proveniente do carbeto de cálcio, mas o uso mais viável é o do etileno derivado do petróleo, com reação de adição de átomos de cloro às moléculas de acetileno. No primeiro processo usa-se ácido clorídrico e no segundo usa-se o cloro gasoso e, em seguida, o ácido clorídrico.

Estrutura molecular

Basicamente, a estrutura molecular do PVC é bem semelhante ao do polietileno (Figura 3.4.). Entretanto, por ser o átomo de cloro bem mais volumoso do que o hidrogênio, o cloreto de polivinila é relativamente mais amorfo e não cristaliza facilmente. Os átomos de cloro no polímero formam fortes pontos polares. Tal polaridade torna o PVC insolúvel em solventes apolares e facilmente atacado por solventes polares como acetona e hidrocarbonetos clorados.

Figura 3.4 Estrutura química do policloreto de vinila

A reação de polimerização do monômero de cloreto de vinila é conduzida por um mecanismo de radical livre. É uma reação em cadeia do tipo autocatalisadora, necessitando de agente iniciador para a formação do radical reativo.

Os métodos mais usados são a polimerização por suspensão e emulsão. Nesses dois métodos, o monômero fica em meio aquoso de tal modo que facilita a remoção de calor e a atuação dos catalisadores.

A polimerização em massa ou em solução pode ser usada, porém, o polímero resultante é de baixo peso molecular e com qualidade inferior.

Policloreto de vinilideno (PVDC)

O policloreto de vinilideno é bem similar ao PVC, porém mais polar devido ao outro átomo de cloro existente no monômero. O homopolímero de PVDC é muito rígido e com propriedades limitadas. A copolimerização do cloreto de vinila com cloreto de vinilideno resulta no SARAN, nome comercial da mistura destes polímeros, em que a concentração de PVC é de 20-30%.

O PVDC apresenta baixa permeabilidade. É o plástico com melhor barreira contra a passagem de gases inorgânicos, compostos voláteis, umidade e gorduras.

A principal vantagem do PVDC sobre os demais plásticos é a baixa permeabilidade aos gases e ao vapor de água. Devido ao seu elevado preço, é comum o seu uso em pequena espessura e laminado com outros materiais. Apresenta bom encolhimento sob a ação de calor, quando orientado.

Por outro lado, por ser bastante pegajoso, apresenta problema ao uso nas máquinas automáticas. A adição de sílica coloidal diminui a pegajosidade, mas não apresenta boa termossoldabilidade, pois o intervalo de temperatura de fusão é pequeno. Os agentes de plastificação (dietil-ftalatos) possibilitam maior flexibilidade, porém, aumentam a permeabilidade. A boa resistência

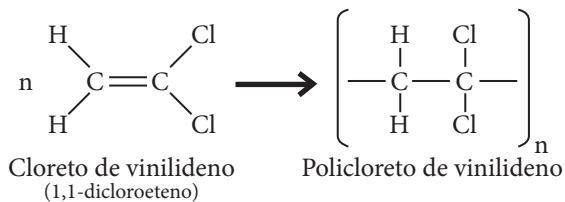
mecânica em condições normais de temperatura, torna-se baixa em temperatura de congelamento; ocorre encolhimento na área de termossoldagem, devido a orientação normal dos filmes; apresenta baixo rendimento devido a alta densidade e, por isso, o filme é atacado por solventes clorados, cetonas e éteres aromáticos.

É aplicado como filme envolvente; revestimento de filmes (polipropileno orientado, película celulósica, papel, polietileno tereftalato e poliamida) e de garrafas PET, embalagens com alta barreira para produtos termoprocessados e para fornos micro-ondas. Quando pigmentado de cor laranja ou vermelha é comumente usado para acondicionar queijos e carnes defumadas.

Obtenção do monômero

O cloreto de vinilideno é obtido pela cloração do etileno (Figura 3.5.). Primeiramente forma-se o tricloroetileno que é, então, pirolizado para dicloroetileno.

Figura 3.5 Estrutura química do policloreto de vinilideno



Estrutura molecular

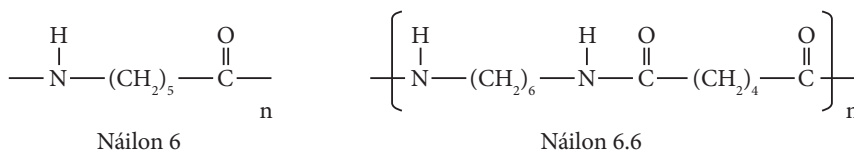
O policloreto de vinilideno pode ser processado de modo a formar dois tipos de estrutura. Na primeira, o monômero principal, o vinilideno, predomina, enquanto na segunda, a estrutura se apresenta mista devido ao cloreto de vinila.

O policloreto de vinilideno puro apresenta-se muito denso devido a força dipolar dos dois átomos de cloro no mesmo carbono. Nesta forma, torna-se muito rígido e impróprio como material de embalagem. Quando polimerizado com 30-50% de cloreto de vinila permite a produção de filmes flexíveis e com características bem distintas.

Poliâmidas (PA)

Os plásticos que caracterizam as poliâmidas são, genericamente, denominados náilons. Os tipos mais comuns desses termoplásticos incluem o náilon 6, o náilon 6/6, o náilon 6/10, o náilon 11 e o náilon 12. Entretanto, os náilons 6 e 6/6 são os mais populares como material de embalagem (Figura 3.6.).

Figura 3.6 Estrutura química de poliâmidas



O número que procede ao nome, refere-se à quantidade de átomos de carbono existente no monômero. Portanto, observa-se que a polimerização envolve a reação entre um ou dois monômeros, dependendo do tipo de náilon a ser processado.

As propriedades importantes dos náilons são a alta resistência mecânica e a baixa permeabilidade ao oxigênio. Entretanto, é um material caro e bem permeável ao vapor de água. Sua maior aplicação é como componente das embalagens laminadas.

Devido as pontes de hidrogênio entre as moléculas do polímero, os náilons possuem alta cristalinidade e consequentemente alto ponto de fusão. Apesar de serem termoplásticos, não são facilmente termoestáveis. Por isso, geralmente são laminados por co-extrusão com o polietileno para facilitar a operação de termossoldagem nas embalagens flexíveis.

Os náilons são razoavelmente higroscópicos. Quando em ambientes com alta umidade relativa, as propriedades mecânicas são afetadas pela umidade absorvida pelo polímero. A absorção de água é cerca de 1,6; 1,5; 0,4; e 0,3% para os náilons 6, 6/6, 6/10 e 11, respectivamente.

A permeabilidade aos gases inorgânicos e aos compostos aromáticos é baixa, quando comparada com a dos outros termoplásticos.

Quanto às propriedades químicas, os náilons são inertes aos reagentes inorgânicos; resistentes aos alcoóis, acetonas, tetracloreto de carbono, benze-

no e aos óleos e gorduras, mas podem ser atacados por agentes de oxidação, tais como peróxidos de hidrogênio e hipocloritos, ácidos concentrados, fenóis, formamida, álcool benzílico, nitrobenzeno.

Apresentam as propriedades: barreira, má à umidade, boa a gases em 0% UR e excelente à gorduras; térmica, não solda a 50°C-140°C e tem elevada estabilidade térmica; mecânica, excelente à tração e ao impacto/perfuração, elevada dureza superficial e reduzido coeficiente de atrito; e é boa barreira ótica.

Os náilons, além do uso como filme de embalagem, são também empregados como componentes de formulações de adesivos termofixos e de tintas de impressão.

São empregados como embalagens flexíveis e bandejas para acondicionamento a vácuo e em atmosfera modificada para queijos, carnes, pescados (co-extrusão e laminação), como embalagens com resistência a temperaturas elevadas, para produtos *boil in bag*.

Obtenção dos monômeros

Os monômeros usados para produção das poliamidas são os ácidos adípico, sebático, ω -amino capríco, ω -aminodecanóico, ω -aminododecanóico e o hexametileno-diamina.

Estrutura molecular

De maneira geral, os náilons apresentam estrutura molecular contendo o grupo polar (-CONH-) disposto alternadamente na cadeia hidrocarbonada. Este grupo polar é o responsável pelas pontes de hidrogênio entre as moléculas do polímero. Deste modo, a cristalinidade, a temperatura de fusão e a afinidade por moléculas de água dependerão das pontes de hidrogênio entre as moléculas do polímero.

A reação de síntese das poliamidas consiste na polimerização por condensação para os náilons 6/6, 6/10, 11 e 12 e por adição para o náilon 6. Na polimerização por condensação ocorre a liberação de uma molécula de água para cada monômero reagido.

Poliésteres

A reação de condensação entre um álcool e um ácido resulta num éster. Quando se faz a polimerização de reações entre um poliálcool e um ácido policarboxílico obtém-se um poliéster.

A classificação geral para os poliésteres é baseada nas características químicas dos monômeros. Esses podem ser saturados (fibras e filmes, platificantes, vernizes e adesivos, elastômeros e espumas) e não-saturados (resinas alquídicas para moldagem e resinas para laminação).

De modo geral, os poliésteres são classificados como termofixos ou intermediários, em relação aos termoplásticos. Sem dúvida, os polímeros provenientes de monômeros não-saturados são termofixos devido às reações cruzadas durante o processo de cura do produto final.

Obtenção dos monômeros

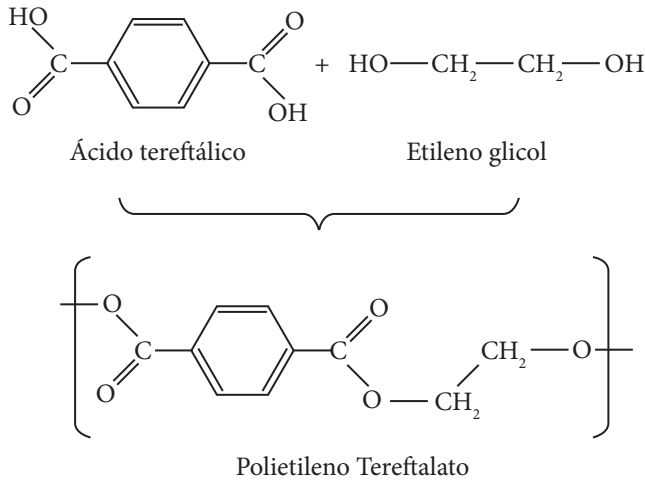
Dada a complexidade dos poliésteres, muitos são os monômeros utilizados para a reação de polimerização. As matérias-primas mais empregadas são o etileno e o propileno provenientes do craqueamento do petróleo, do alcatrão de hulha e de óleos vegetais.

Polietileno tereftalato (PET)

O poliéster mais utilizado como material de embalagem flexível é o proveniente da reação do ácido tereftálico com o etileno glicol (Figura 3.7.). O polímero resultante é o polietileno tereftalato, abreviado como PET.

O PET possui grande resistência à tração e ao impacto, baixa permeabilidade e boas propriedades óticas. Semelhante aos náilons, é um material caro, sendo viável o seu uso combinado com outros materiais plásticos. É difícil de ser termossoldado, portanto, é sempre laminado com polietileno ou polipropileno.

Tal polímero apresenta estrutura linear com características específicas. Quando a resina é transformada em filmes, esses têm aplicação industrial bastante variada, a exemplo dos filmes fotográficos, fitas de gravadores e isolamentos eletrônicos. Na área das embalagens flexíveis, o PET vem sendo utili-

Figura 3.7 Estrutura química do polietileno tereftalato

zado como componente dos laminados para acondicionamento a vácuo, para embalagens esterilizáveis, para embalagens de café, etc.

O PET empregado nas embalagens flexíveis é fabricado em espessuras de 12, 13 e 23 μ . Mesmo com a espessura de 12 μ , já apresenta características mecânicas destacáveis em relação aos demais filmes. Geralmente, o filme é biorientado quando usado individualmente.

As principais características mecânicas do PET são a alta resistência à ruptura, perfuração, rasgamento, absorção e impacto. A resistência química do PET é alta para solventes hidrocarbonados, clorados, cetonas, ésteres e ácidos diluídos. Todavia, é atacado por ácidos fortes e álcalis alcoólicos.

A ampla faixa de temperatura de trabalho (-40°C a 220°C) faz do PET um material ideal para tratamento térmico de pasteurização, esterilização e até mesmo nas embalagens para super congelados.

A permeabilidade ao vapor de água é alta, semelhante à da celulose pura, que em temperaturas de congelamento, se reduz drasticamente. É comum o revestimento do PET com PVDC para reduzir a permeabilidade ao vapor de água.

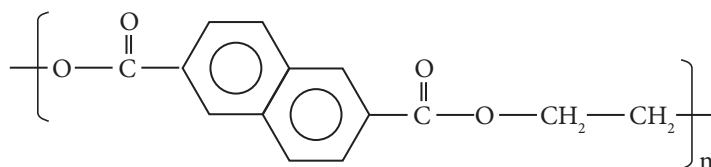
O PET apresenta boa barreira ao oxigênio, aos odores e aos óleos e gorduras. A laminação do PET com polietileno ou polipropileno facilita a termos-

soldagem e reduz a permeabilidade ao vapor de água. A permeabilidade aos gases, ao vapor de água e aos raios solares é também reduzida pela metalização do filme com alumínio pulverizado sob vácuo.

Polietileno naftalato (PEN)

Além do PET, também existe o polietileno naftalato (Figura 3.8.), que é um poliéster aromático, termoplástico, linear e saturado, sintetizado por polimerização em etapas a partir do etileno glicol (EG) e do 2,6-éster dimetílico do ácido naftaleno dicarboxílico ou dimetil-2,6-naftaleno dicarboxilato (DM-2,6-NDC ou simplesmente NDC).

Figura 3.8 Estrutura química do polietileno naftalato



Polietileno Naftalato

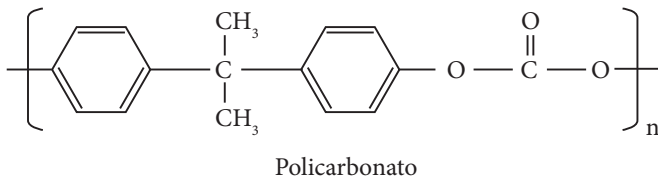
Em comparação ao PET, o polietileno naftalato possui propriedades de barreira a gases 10 a 15 vezes maior é melhor barreira ao vapor de água, 3,5 vezes maior; tem melhor resistência química; e é barreira aos raios ultravioleta. Ele é 3 a 4 vezes mais caro. Além disso, o PEN possui alto desempenho térmico; elevada resistência mecânica, química e hidrolítica; e excelente estabilidade dimensional. Devido a estas características, o PEN é um polímero de grande interesse para o mercado de bebidas e alimentos com enchimento a quente (marmeladas e gelatinas).

Uma das formas de viabilizar economicamente a aplicação do PEN é sua combinação com o PET pela copolimerização, o que certamente acarreta em melhora às propriedades do PET, permitindo sua utilização em embalagens para bebidas carbonatadas, pois terá menor permeabilidade a gases. Deste modo, o desenvolvimento de misturas poliméricas PET/PEN pode minimizar esta deficiência.

Policarbonato (PC)

A primeira produção comercial de policarbonato foi realizada em 1958 pela GE/Bayer. O PC é um poliéster linear do ácido carbônico, sendo o mais simples dos poliésteres (Figura 3.9). É feito por uma reação de transesterificação entre um composto aromático hidroxilado (bisfenol A) e carbonato de difenila. No entanto, a maioria dos PCs comerciais é produzida pela reação do bisfenol A com cloreto de carbonila, utilizando um processo interfacial, por ser mais barato do que a transesterificação.

Figura 3.9 Estrutura química do policarbonato



A presença do carbonato na estrutura molecular torna o PC um dos plásticos mais rígidos e duráveis, enquanto o bisfenol contribui para a elevada estabilidade térmica (150°C).

O PC tem uma excelente combinação de resistência a altas temperaturas, elevada resistência ao impacto e transparência, conservando suas propriedades com o aumento da temperatura. Suas propriedades a baixas temperaturas também são excelentes, pois só se tornam quebradiços abaixo de -135°C.

Quimicamente, o PC é resistente a ácidos e bases, porém é atacado por ácidos e bases fortes. É resistente a hidrocarbonetos alifáticos, alcoóis, óleos e gorduras, mas é solúvel em hidrocarbonetos clorados e parcialmente solúvel em hidrocarbonetos aromáticos, ésteres e cetonas. Estes compostos atuam como agentes de ataque químico em temperaturas elevadas ou sob condições de tensão. Por outro lado, o PC apresenta alta resistência à absorção de pigmentos de produtos como chá, café, sucos de frutas, molhos de tomate, tintas, sabões e detergentes.

O PC tende a amarelar sob exposição prolongada à radiação UV. Porém, este efeito pode ser minimizado por meio do uso de aditivos apropriados, revestimentos ou co-extrusão.

A permeabilidade ao vapor de água e a gases é elevada. Assim, se propriedades de barreira forem necessárias, o PC necessita de revestimento. O PC pode ser orientado, porém, sua permeabilidade não diminui, ocorrendo somente o aumento de sua resistência à tração.

Como o PC é amorfo, ele amolece a uma ampla faixa de temperatura (220-250°C). A substituição dos grupos ligados à cadeia principal por grupos propila propicia uma redução da temperatura de amolecimento do PC de 225°C para 195°C.

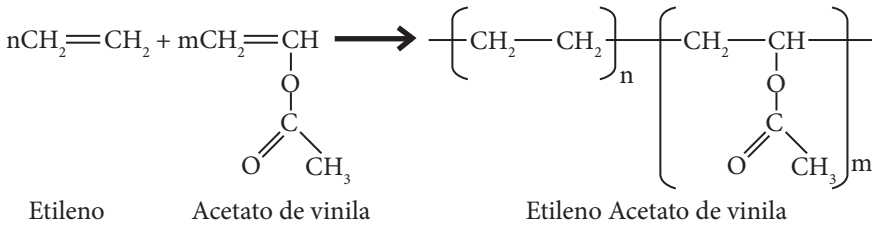
O PC pode ser facilmente termoformado em profundidade com obtenção de bom detalhe do molde. Uma possível aplicação do PC é na forma de bandejas para alimentos congelados que podem ir ao forno, dada suas propriedades como estabilidade térmica, resistência ao impacto à baixa temperatura e rigidez. Nesta aplicação é normalmente co-extrusado com PET.

O PC moldado por injeção ou sopro é largamente empregado na forma de garrafas retornáveis ou recipientes reutilizáveis. Outra aplicação expressiva do PC é na fabricação de garrafões retornáveis para água mineral.

Etileno e acetato de vinila (EVA)

O etileno e acetato de vinila é um copolímero randômico de etileno e acetato de vinila (Figura 3.10.), cujas propriedades dependem do teor de acetato de vinila (AV). Sua resistência ao impacto aumenta, com o aumento do teor de AV e a massa molar. É um polímero de cristalinidade baixa e muito elástico. Nas aplicações em embalagens flexíveis apresenta um teor de AV entre 3% e 12%, pois acima de 12% são usados como adesivos. O aumento da porcentagem de AV na molécula aumenta sua polaridade e, conseqüentemente, aumenta a flexibilidade e a faixa de selagem do material, como também, aumenta a resistência da termoselagem ainda a quente. Quanto maior o teor de AV, o EVA é menos cristalino e mais elástico. A redução na cristalinidade leva a um aumento na permeabilidade a gases e vapor d'água, e na permeação à gorduras.

O EVA é um polímero de aplicação restrita em embalagens flexíveis, pois tem alta tendência ao bloqueio e atrito, o que dificulta sua maquinabilidade. O EVA solda com maior facilidade que o PE, e geralmente é mais transparente,

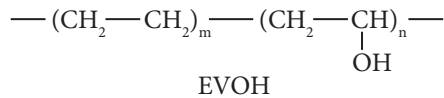
Figura 3.10 Estrutura química do etileno acetato de vinila

sendo mais indicado para embalagens que necessitam alto grau de estiramento e encolhimento. Devido às propriedades de adesão e de selagem é utilizado como revestimento ou como camada interna em estruturas co-extrudadas.

O EVA é obtido pelo mesmo processo utilizado para a produção do polietileno de baixa densidade. Trata-se de uma síntese em massa em que o polímero é dissolvido no próprio monômero, em altíssimas pressões (2500 a 3000 atm).

Etileno e álcool vinílico (EVOH)

O copolímero de etileno e álcool vinílico (Figura 3.11.) é obtido pela hidrólise controlada do copolímero EVA, que transforma em álcool vinílico o grupo vinila. A sua baixa concentração de etileno assegura excelentes propriedades de barreira a gases, ao odor, ao sabor e especialmente ao oxigênio.

Figura 3.11 Estrutura química do etileno e álcool vinílico

Devido à sua elevada higroscopicidade e ao aumento da permeabilidade com absorção de água, a resina EVA passa por uma secagem antes do processamento e é preferencialmente processada em co-extrusão onde encontra a proteção de camadas de baixa permeabilidade ao vapor d'água. As condições de umidade afetam a taxa de permeabilidade ao oxigênio de materiais hidrofílicos como o nylon, o EVOH e o celofane. A água absorvida pelo polímero age como um plastificante, associa-se às cadeias do polímero dando mobilidade e permitindo uma maior difusão do oxigênio no polímero.

Especificações dos materiais plásticos

As embalagens plásticas podem se apresentar como filmes plásticos para embalagens flexíveis, garrafas, potes, bandejas, copos, etc. (Tabelas 3.1. e 3.2.).

Tabela 3.1 Especificações de embalagens plásticas

Características dimensionais e identificação	Dimensões Peso Capacidade e nível de enchimento Distribuição de espessura Identificação da resina base
Propriedades mecânicas	Resistência à compressão
Propriedades de barreira	Permeabilidade (vapor de água, gases e luz) Hermeticidade
Inércia	Quantidade máxima residual Migração global e específica

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

Tabela 3.2 Especificações de filmes plásticos

Características dimensionais e identificação	Distribuição de espessura Gramatura Identificação da resina base
Propriedades mecânicas	Resistência à tração Resistência ao rasgamento inicial e sua propagação Coeficiente de atrito
Propriedades de barreira	Permeabilidade (vapor de água, gases e luz)
Inércia	Migração global e específica Quantidade máxima residual

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

3.3 INTERAÇÃO EMBALAGEM/ALIMENTO

O tempo de vida útil de um produto depende, além das suas características intrínsecas e da sua aptidão à conservação, de dois fatores: de seu contato direto com a embalagem, o que possibilita a **migração** de constituintes; e de seu contato com fatores da atmosfera, como oxigênio e umidade e, portanto, da permeabilidade da embalagem.

Migração

A migração é a transferência de substâncias da embalagem para o alimento, por fenômenos de natureza físico-química. A inércia total não existe e, por isso, os fenômenos de migração ocorrerem em todos os materiais, sendo os plásticos e os papéis os mais problemáticos, dada a natureza das moléculas destes materiais e, por isso, são alvo de maior atenção.

A migração é normalmente classificada em **migração global** ou **específica**. A primeira corresponde à totalidade dos componentes que migram da embalagem, sejam eles conhecidos ou não. A migração específica diz respeito à determinação da transferência de compostos bem identificados. O interesse da determinação da migração específica relaciona-se aos problemas de ordem toxicológica, ou organoléptica, ou ainda com a perda de características do material de embalagem por migração de alguns aditivos de embalagens poliméricas.

Entre o grande número de compostos que entram na formulação de uma resina, os mais importantes do ponto de vista da migração são os monômeros não convertidos de PS, PVC e PET, resíduos de solventes das tintas de impressão ou de adesivos, compostos de termodegradação e aditivos (plastificantes e antioxidantes).

Migração de monômeros

a) Estireno

Uma das preocupações quando da utilização do poliestireno (PS) no acondicionamento de alimentos diz respeito à presença, em sua estrutura, de material não polimerizado, especialmente o estireno, dada a possibilidade de migração do monômero para o conteúdo da embalagem.

A migração do estireno para o produto alimentício é facilmente detectada, pois este monômero apresenta odor característico, forte e indesejável, o que previne sua ingestão em doses tóxicas. Apesar disso, não existe limite deste monômero na legislação brasileira, harmonizada pelo Mercosul (ANVISA, 2012).

Duas técnicas são utilizadas para a determinação do residual de estireno em resina ou embalagens de poliestireno, a espectrofotometria e a cromatografia gasosa ou líquida.

b) Cloreto de vinila

A migração do cloreto de vinila para o alimento ocorre em virtude da sua incompleta polimerização na resina. Estimativas indicam que cerca de 90% do cloreto de vinila são convertidos em PVC. Os 10% remanescentes podem ser perdidos na atmosfera ou recuperados por técnicas como sucção, entrando novamente no processo. Apesar disso, quantidades pequenas deste monômero permanecem livres na resina e vão sendo perdidas nas diversas etapas de sua transformação. Após a conversão em embalagem, a perda por difusão continua a ocorrer e, se colocado em contato com o alimento, o PVC pode vir a ser o responsável pela aditivação incidental do produto.

Devido à preocupação com este monômero, no início dos anos 80, a Comunidade Econômica Européia estabeleceu duas diretivas específicas para o cloreto de vinila. Uma sobre a determinação do nível de cloreto de vinila em materiais e embalagens destinados ao contato direto com alimentos, que deve ser de 1 mg/kg em material de embalagem. A outra sobre a determinação do cloreto de vinila migrado para o produto alimentício que deve ser de no máximo 0,1 mg/kg. O limite deste monômero livre estabelecido pela legislação brasileira, harmonizada pelo Mercosul, é também de 1 mg/kg do material plástico (ANVISA, 2012).

A cromatografia gasosa é a técnica mais utilizada para a determinação de cloreto de vinila em materiais plásticos associada à técnica do espaço livre para amostragem (FERNANDES; GARCIA; PADULA, 1987).

c) Ácido tereftálico, mono e dietilenoglicol

O ácido tereftálico e os monômeros mono e dietilenoglicol são utilizados na fabricação do polietileno tereftalato (PET), muito empregado na confecção de filmes e laminados, inclusive para aplicações à temperaturas elevadas.

O limite de migração específica do ácido tereftálico estabelecido pela legislação brasileira é de 7,5 mg/kg de simulante, enquanto o limite para os monôme-

ros mono e dietilenoglicol é de 30 mg/kg de simulante, sozinho ou combinado (ANVISA, 2012). Estes mesmos limites são adotados pela União Européia.

O método para determinação de ácido tereftálico após a migração para o simulante é simples e envolve o uso de cromatografia líquida de alta eficiência, enquanto que para os outros monômeros é feita por cromatografia gasosa (OLIVEIRA et al., 2008).

Migração de solventes residuais

A fabricação de materiais de embalagens geralmente emprega solventes orgânicos, tanto no processo de polimerização de resinas plásticas, quanto nos processos de conversão como laminação, impressão e recobrimento de substratos.

Quando não totalmente retidos no material constituinte das embalagens, resíduos destes solventes podem migrar para o produto alimentício e se acumular. Mesmo estando em quantidades abaixo dos níveis toxicologicamente significativos, podem provocar alterações sensoriais limitando sua aceitação ou vida útil.

Não há um limite máximo de solvente residual estabelecido em nível nacional ou mesmo internacional. Para prevenir a ocorrência desses problemas é necessário controlar adequadamente os processos de fabricação de materiais de embalagem, a fim de garantir que os solventes retidos estejam abaixo de limites que possam causar alterações sensoriais detectáveis. Esse controle pode ser efetuado por análises subjetivas e instrumentais que identificam e quantificam os solventes residuais presentes, como a cromatografia a gás (FERNANDES; GARCIA; PADULA, 1987).

Migração de produtos de termodegradação

O polietileno tereftalato (PET) é um polímero susceptível à termodegradação, o que depende das condições do processo e da tecnologia de polimerização. Como consequência, na fabricação de embalagens, podem ser formados compostos voláteis.

O composto volátil mais importante desenvolvido durante a transformação do PET é o acetaldeído. É formado por degradação térmica durante os processos de policondensação e amolecimento da resina para a etapa de in-

jeção na pré-forma, e com o tempo, são difundidos da parede da embalagem, migrando para o produto acondicionado.

As legislações brasileira, americana e européia não estabelecem limites máximos de acetaldeído nas paredes da embalagem, visto que esta substância não apresenta riscos toxicológicos para a saúde humana, embora possa modificar características sensoriais de alguns alimentos e bebidas.

Migração de aditivos

Aos materiais plásticos de embalagens são adicionados aditivos, em pequenas quantidades, cujo objetivo é mudar as características do material base ou facilitar seu processamento. O aditivo não deve volatilizar durante o processamento, exudar para a superfície do material, precipitar ou cristalizar fora da matriz polimérica ou formar depósitos em determinadas regiões do plástico.

O aditivo também não pode ser passível de extração por líquidos com os quais a matriz polimérica venha a entrar em contato, nem migrar para estes produtos. Enquanto os aditivos inorgânicos insolúveis, como pigmentos, não tendem a migrar ou exudar, os aditivos solúveis de baixo peso molecular, como os plastificantes, tendem a exudar durante o processamento e a utilização do material, podendo ser veículo para a migração de outros aditivos solúveis, como os estabilizantes.

Para a análise de migração desses aditivos podem ser utilizados vários métodos, dependendo do aditivo a ser detectado, como cromatografia gasosa para a análise de plastificantes e estabilizantes, cromatografia líquida de alta eficiência para os antioxidantes, espectrofotometria para estabilizantes à luz UV, dentre outras (FERNANDES; GARCIA; PADULA, 1987).

Propriedades de barreira

Os requisitos de barreira para uma embalagem devem ser definidos para cada produto alimentício, considerando-se sua composição, forma de apresentação, sistema de distribuição e tempo de vida útil desejado. A determinação das propriedades de barreira dos materiais é feita com métodos normalizados.

A embalagem de um alimento tem inúmeras funções, sendo a de proteção do produto contra a ação do meio exterior uma das mais importantes. Por

um lado, o produto necessita ser protegido contra danos físicos e mecânicos durante o transporte e distribuição, por outro, é necessário garantir a proteção contra a ação de fatores ambientais como **gases, vapor de água, luz e odores**.

No que diz respeito às transferências gasosas, a embalagem desempenha um papel duplo: barreira à transferência do **exterior para o interior** da embalagem, do oxigênio, vapor de água e de substâncias voláteis que possam estar presentes no ambiente e são suscetíveis de alterar as propriedades organolépticas do alimento; e barreira à transferência do **interior para o exterior** de forma a evitar perda de aroma específico do produto, desidratação dos produtos úmidos; e perda de gás ou mistura gasosa que pode ter sido introduzida no interior da embalagem para conservação do produto.

Ao contrário dos recipientes de vidro e de metal, as embalagens plásticas são permeáveis a gases (oxigênio, dióxido de carbono, etc.) e ao vapor de água, num grau maior ou menor, conforme os materiais. Também são permeáveis a vapores orgânicos, ou odores estranhos provenientes do meio ambiente ou característicos do produto. A luz, em particular a ultravioleta com menor comprimento de onda, pode catalisar reações adversas como as de oxidação. Estas reações conduzem a descoloração, perda de nutrientes e desenvolvimento de odores, e por isso, algumas embalagens devem também ser barreira à luz, em particular a alguns comprimentos de onda.

3.4 PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO

As embalagens são produzidas pelos processos de extrusão, termoformação, injeção e sopro.

Extrusão

Pode ser de matriz tubular para obtenção de sacos plásticos e de matriz plana para a obtenção de filmes e chapas para transformação posterior. No processo de extrusão, os grânulos de resina do plástico são submetidos a elevadas temperaturas e pressões na extrusora, havendo a sua fusão. O material plástico sai da extrusora em forma de filme ou de chapa plástica com dimensões que dependem da matriz .

O processo de **co-extrusão** é semelhante ao de extrusão, porém na co-extrusão cada material é plastificado numa extrusora específica. Cada extrusora homogeneiza e plastifica o seu material em condições ótimas individuais de trabalho e o introduz em um único cabeçote que receberá também todos os outros materiais. Estes sairão juntos da matriz em multicamadas. Este processo aumenta bastante a capacidade dos filmes plásticos, pois possibilita a combinação das propriedades de vários polímeros em uma mesma estrutura

Termoformação

Este processo consiste em aquecer uma chapa plana previamente extrusada até a temperatura de amolecimento do termoplástico, para ser introduzida em molde refrigerado multicavidades, onde ação de ar comprimido e vácuo, ocorrerá a formação do produto. O produto é, então, resfriado, cortado, extraído e empilhado.

Apresenta algumas vantagens sobre o processo de injeção como menor investimento em equipamentos e moldes, além da produção de peças de diferentes espessuras com o mesmo molde. Entretanto, o custo das lâminas é mais alto que o das resinas, e a perda com material é muito elevada, devido aos recortes das embalagens. A uniformidade da espessura das paredes das embalagens também é difícil de ser controlada. A termoformação é muito usada para a fabricação de copos, potes e bandejas, recipientes baixos e de boca larga.

Injeção

A injeção é o processo mais utilizado na fabricação de termoplásticos, quando produzidos em alta escala, pela facilidade de automação, baixo custo de mão de obra operacional e matéria-prima. Em contrapartida, suas desvantagens se encontram no elevado custo dos moldes, no baixo lucro por força da concorrência e na falta de mão de obra especializada.

A resina é fundida numa máquina de injeção e é forçada a entrar num molde, onde é resfriada e, em seguida, retirada por ejetores mecânicos ou pneumáticos. O molde é constituído por duas ou mais partes que se abrem depois para deixar sair a peça moldada. A injeção é usada para fabricação de tampas, copos e bandejas.

Extrusão-sopro

Este processo é usado para moldar garrafas. A resina é fundida na extrusora, passa por uma matriz e adquire a forma de um tubo vertical denominado *parison*. Este entra num molde onde através de um sopro de ar comprimido é forçado contra as paredes e adquire a forma final.

É um processo que tem baixo custo de material, alta durabilidade da ferramenta, bom acabamento superficial e boa precisão dimensional, porém apresenta algumas dificuldades como o alto custo do maquinário, a dificuldade de se ter mão de obra qualificada, a necessidade de retrabalho, o brilho insuficiente ou inaceitável e a produção de produtos com pouca resistência mecânica e térmica.

Injeção-sopro

Este processo também é usado para fabricar garrafas. O processo é idêntico ao anterior, mas com a injeção de uma gota na pré-forma, em vez de ser extrusada. A pré-forma já tem o gargalo moldado, e só o corpo é soprado para a sua forma final num segundo molde. Neste processo, as embalagens obtidas apresentam uma melhor distribuição de espessura e a possibilidade da segunda moldagem ser efetuada à medida que as embalagens são utilizadas.

Na maioria das aplicações para embalagem, há necessidade de se combinar materiais plásticos diferentes ou mesmo combinar materiais plásticos com outros materiais como o alumínio ou o cartão para se obter as características requeridas de proteção, soldabilidade, boa impressão, etc. A combinação de diferentes materiais é normalmente feita por **co-extrusão** (extrusão simultânea de polímeros), **laminação** (junção de vários filmes plásticos e/ou película de alumínio, folha de papel por intermédio de um adesivo ou cola) ou por **revestimento** (deposição de outro material polimérico ou metálico - metalização).

3.5 CONTROLE DE QUALIDADE

São inúmeros os ensaios de controle de qualidade e avaliação de especificações em materiais e embalagens plásticas. No entanto, são salientados aqueles

que refletem de alguma forma suas características físicas e químicas, de resistência mecânica, propriedades de barreira e de migração (inércia química) (ALVES et al., 1998; OLIVEIRA et al, 2008).

Determinação da espessura

A espessura influencia o desempenho do material da embalagem relativamente à resistência mecânica, à permeabilidade ao vapor de água e gases e, conseqüentemente, à vida útil dos alimentos. A espessura pode ser determinada por método direto ou por método gravimétrico. Para a determinação de filmes não impressos ou gravados é habitualmente usado o método direto. Caso os filmes sejam impressos ou gravados, utiliza-se o método gravimétrico.

Determinação da gramatura

A gramatura é definida como o peso de uma determinada área do material e habitualmente é expressa em g/m^2 . A gramatura está diretamente relacionada com a resistência mecânica do material e pode ser determinada em filmes de uma camada ou multicamada.

Identificação de materiais

Esta determinação tem como objetivo conhecer a natureza de um determinado material e normalmente é realizada para facilitar a condução de ensaios físicos e mecânicos e para interpretar os resultados fornecidos pelos mesmos. A determinação pode ser feita por ensaio simples (método químico) que se baseia na solubilidade, na queima ou na reação a determinados reagentes, ou por espectroscopia na região do infravermelho. Neste último caso, a identificação do material é feita por comparação dos espectros obtidos com espectros de materiais conhecidos.

Determinação das propriedades de tração

Este ensaio permite determinar a resistência ao alongamento e ruptura do material quando submetido a ação de tração, como nos processos de impressão, laminação, conversão e durante todo o manuseio da embalagem.

Neste ensaio, a amostra do material a testar é fixada entre duas garras pneumáticas que vão ser tracionadas a uma velocidade constante. A força de resistência que o material exerce é medida e registrada obtendo-se normalmente um gráfico.

Determinação da migração

Neste ensaio, a amostra do material é colocada em contato com um simulante adequado durante um período de tempo e à temperatura que a norma de ensaio indica para simular as condições de contato habituais e previsíveis na utilização das amostras. Ao fim desse tempo, o simulante é evaporado e o resíduo de substância quantificado.

A uso de simulantes dos alimentos tem a ver com o fato de nem sempre ser possível utilizar os próprios alimentos para ensaiar os materiais que com eles entram em contato. São normalmente utilizados os simulantes água destilada, solução aquosa de ácido acético a 3% (p/v), solução aquosa de etanol a 15% e n-heptano, representativos de alimentos aquosos, ácidos, alcoólicos e gordurosos, respectivamente. Neste último caso, a quantificação da matéria extraída não pode ser feita por evaporação do simulador, sendo uma metodologia muito mais morosa, requerendo recurso de cromatografia gasosa.

As condições de ensaio são determinadas pelas condições de utilização desse material plástico e definidas de acordo com o estabelecido na legislação vigente. Em termos de migração global, os materiais e objetos de matéria plástica não devem ceder os seus constituintes aos alimentos em quantidades superiores a 10 mg/dm² da área de superfície do material ou equivalente a 60 mg/kg de produto alimentício.

Determinação da permeabilidade ao vapor de água

A taxa de permeabilidade ao vapor de água é definida como a quantidade de vapor que passa através de uma unidade de área do material, por unidade de tempo, sob as condições de teste, e é habitualmente expressa em g/m² dia.

A determinação pode ser feita sobre o material da embalagem ou sobre a embalagem já pronta quando se deseja determinar o efeito do sistema de fechamento ou do processo de fabricação sobre essa propriedade, avaliar ma-

teriais e configurações para certos tipos de embalagens, comparar o desempenho de embalagens, e avaliar a adequação de proteção para determinado produto ou aplicação.

A permeabilidade pode ser determinada pelo método gravimétrico, para valores $> 1 \text{ g/m}^2 \text{ dia}$, ou por métodos rápidos que fazem uso de sensores especiais, como o infravermelho. O método gravimétrico baseia-se no aumento de massa de um material higroscópico colocado no interior de uma cápsula e isolado do meio ambiente pelo material de embalagem, cuja taxa de transferência se deseja conhecer. No método com sensor de infravermelho, a amostra é colocada como divisória entre duas cavidades de uma célula de difusão. Numa das cavidades existe uma atmosfera de 100% de umidade relativa enquanto na outra há um fluxo contínuo de gás de arraste seco (nitrogênio). À medida que o vapor de água passa através do material de teste, é conduzido pelo gás de arraste para um detector infravermelho, onde é quantificado.

Determinação da permeabilidade a gases

A permeabilidade a um determinado gás (oxigênio, dióxido de carbono, etc.) é definida como a quantidade desse gás que passa através de uma unidade de área de material, por unidade de tempo, nas condições de teste, habitualmente expressa em $\text{mL/m}^2 \text{ dia}$.

A medida de permeabilidade a gases e em particular ao oxigênio é relativamente difícil, especialmente para materiais com barreira. Existem dois métodos básicos: método por aumento de pressão e o método com sensor coulométrico.

No método por aumento de pressão, a quantidade de gás que passa através da amostra num dado tempo é medida pela alteração da pressão. A amostra forma uma barreira entre duas câmaras numa célula de transferência de gás. Uma pressão constante e elevada, geralmente 1 atm, é mantida numa das câmaras e uma pressão baixa, geralmente vácuo, é inicialmente estabelecida na outra câmara. Sabendo que a diferença de pressão entre as duas superfícies do material não varia significativamente, o coeficiente de permeabilidade pode ser calculado a partir do declive da linha de representação da variação da pressão com o tempo. O método com sensor coulométrico tem a vantagem de

permitir determinar a permeabilidade em sacos, tubos, copos, garrafas, etc. e não apenas em plásticos sob a forma de filmes. Desta forma, é possível um controle mais eficaz dos efeitos adversos resultantes das máquinas de processamento, impressão e distribuição.

Avaliação da hermeticidade

Este ensaio é muito utilizado em embalagens assépticas cartonadas e pode identificar falhas na termossoldagem com dimensões de um capilar no corpo da embalagem. No ensaio da determinação da integridade é aplicada uma pequena quantidade de uma solução colorida de baixa tensão superficial diretamente sobre a área de soldagem ou na parte interna do corpo da embalagem. Posteriormente é verificada a penetração desta solução por meio da termossoldagem.

3.6 EMBALAGEM E AMBIENTE

As formas de gestão dos resíduos de materiais plásticos mais interessantes, do ponto de vista técnico e ambiental, são a reciclagem e a incineração com recuperação energética. Há alguns materiais plásticos que podem ser usados em garrafas reutilizáveis como o PC ou o PET, existindo exemplos em vários países.

O processo de reciclagem inicia-se com triagem e separação dos diversos tipos de plásticos que são depois encaminhados para os diferentes recicladores. A reciclagem de plásticos misturados prejudica a qualidade do reciclado e limita as suas aplicações. Para facilitar a identificação dos plásticos é corrente as embalagens conterem um símbolo convencionalizado (ABNT, 2008).

A reciclagem de plásticos é classificada em primária, secundária, terciária e quaternária ou energética. No Brasil, o maior mercado é o da reciclagem primária, que consiste na regeneração de um único tipo de resina separadamente. Este tipo de reciclagem absorve 5% do plástico consumido no país e é geralmente associada à produção industrial.

Um mercado crescente é o da chamada reciclagem secundária, onde há processamento de polímeros, misturados ou não. Esse tipo de reciclagem con-

siste na conversão dos descartes plásticos pós-industriais ou pós-consumo em grânulos que poderão ser reutilizados. Primeiramente, o plástico passa por uma esteira onde é realizada a separação de acordo com o aspecto visual. Por ser uma etapa geralmente manual, a eficiência depende diretamente da prática das pessoas que executam essa tarefa. Outro fator determinante da qualidade é a fonte do material a ser separado, sendo que aquele oriundo da coleta seletiva é mais limpo em relação ao material proveniente dos aterros. Estes plásticos passam pelo processo de moagem em que são fragmentados em pequenas partículas. Em seguida, é aplicada água para a retirada de contaminantes e para provocar um resfriamento repentino que resultará na aglutinação dos fragmentos, ou seja, as moléculas dos polímeros se contraem, aumentando sua densidade, transformando os plásticos em grãos. Assim, passa a ter peso e densidade suficientes para descer até a extrusora que funde o material e o transforma em tiras. Na última etapa, as tiras passam por um granulador, sendo picotados em grãos chamados *pellets*, que são ensacados e vendidos para fábricas de artefatos plásticos.

A reciclagem terciária, ainda não existe no Brasil, é a aplicação de processos químicos para recuperar as resinas que compõem o lixo plástico. Seu objetivo é a recuperação dos componentes químicos individuais e reutilizá-los como produtos químicos ou para a produção de novos plásticos. Os novos processos de reciclagem terciária permitem a reciclagem de misturas de plásticos, com aceitação de determinado teor de contaminantes como, por exemplo, tintas, papéis, e outros materiais. Na reciclagem terciária ocorre, inicialmente, a **hidrogenação**, em que as cadeias são quebradas mediante o tratamento com hidrogênio e calor, gerando produtos capazes de serem processados em refinarias. Depois passam pela **gaseificação**, em que os plásticos são aquecidos com ar ou oxigênio, gerando-se gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogênio; e por fim, passa pela **pirólise**, que é a quebra das moléculas pela ação do calor na ausência de oxigênio. Este processo gera frações de hidrocarbonetos capazes de serem processados em refinaria.

Há também, a chamada de reciclagem quaternária ou energética, que é a recuperação da energia contida nos plásticos por meio de processos térmicos. A reciclagem energética distingue-se da incineração por utilizar os resíduos

plásticos como combustíveis na geração de energia elétrica. A energia contida em 1 kg de plástico é equivalente à contida em 1 kg de óleo combustível. Além da economia e da recuperação de energia, com a reciclagem ocorre uma redução de 70-90% da massa do material, restando apenas um resíduo inerte esterilizado.

Contrariamente ao caso do vidro e do alumínio, na reciclagem dos plásticos há uma certa degradação de suas propriedades físico-mecânicas e há também alguma reserva em relação à segurança dos materiais plásticos reciclados para contato direto com os alimentos. Por isso, estes materiais são normalmente reciclados para outros fins, menos exigentes.

A principal limitação da reciclagem de plásticos é a contaminação do material com matéria orgânica, areia ou óleo. Quando reciclado, o plástico pode ser útil como embalagem de produtos de limpeza, brinquedos, revestimentos de automóveis e engradados; além disso, é possível economizar até 50% de energia com o uso de plástico reciclado.

4

EMBALAGENS DE VIDRO

4.1 INTRODUÇÃO

O vidro é um dos materiais mais antigos que se tem conhecimento. A lenda conta que o vidro foi descoberto ocasionalmente em 5000 a.C. por navegadores fenícios, que desembarcaram em uma praia na Síria. Eles observaram, ao fazerem uma fogueira, que o efeito do calor sobre a areia, o salitre e o calcário das conchas formou uma placa dura, transparente e brilhante. Até 1500 a.C., o vidro tinha pouca utilidade prática e era empregado principalmente como adorno.

Foram os egípcios que industrializaram a produção deste material. A partir do vidro fundido faziam-se filetes que eram enrolados em forma de espiral em moldes de argila. Quando o vidro era esfriado tirava-se a argila do interior e obtinha-se um frasco, utilizado como recipientes para cosméticos, bálsamo e perfumes.

Por volta de 300 a.C., a descoberta da tecnologia do sopro revolucionou o vidro. Por volta do ano de 1200 desta era, os vidreiros foram confinados na ilha de Murano ao lado de Veneza, na Itália, para que não se espalhassem os conhecimentos vidreiros que eram passados de pai para filho. Ocorreu, então, a descoberta de um vidro muito claro e transparente, similar a um cristal. A partir deste vidro claro e límpido puderam ser criadas lentes e com elas serem inventados os binóculos (1590) e os telescópios (1611).

Em 1880, iniciou-se a fabricação de garrafas de vidros para transportar leite, devido à necessidade de se ter um transporte higiênico deste alimento. Muitas máquinas foram desenvolvidas para a produção de vidro e abastecer o mercado de diversos alimentos, tornando-o um material de uso em larga escala na indústria alimentícia e de utensílios domésticos. Em 1900 teve início à produção de vidro plano contínuo, através do estiramento da folha na vertical. Somente a partir do início do século XX que a indústria do vidro se desenvolveu com a introdução de fornos contínuos e máquinas semi ou totalmente automáticas.

A década de 1990 foi marcante para a indústria de embalagens de vidro, pois foi introduzida no Brasil a tecnologia de vidros leves, causando uma redução de 20% no peso da embalagem e permitindo que o vidro se tornasse mais resistente.

O vidro também possui outras aplicações, além de embalagens para alimentos, como as fibras óticas que substituem com vantagens os tradicionais cabos de cobre e alumínio utilizados em comunicações, lâmpadas, isoladores, etc.

4.2 COMPOSIÇÃO DO VIDRO

O vidro, do ponto de vista físico, é definido como um líquido sub-resfriado, rígido, sem ponto de fusão definido, com uma viscosidade suficientemente elevada para impedir a cristalização. Do ponto de vista químico, é uma substância amorfa, resultado da união de substâncias inorgânicas minerais, de sílica e de outros compostos, obtendo um produto final com uma estrutura atômica ao acaso. Quase 90% de todo o vidro fabricado no mundo é formado principalmente por sílica, soda e cal. As porcentagens de cada componente variam bastante, visto que cada um tem uma função específica na composição (Tabela 4.1.).

Tabela 4.1 Composição do vidro (%)

Silício	SiO ₂	70-72
Sódio	Na ₂ O	12-14
Cálcio	CaO	9-11
Magnésio	MgO	0-3
Alumínio	Al ₂ O ₃	1-2
Potássio	K ₂ O	0-1

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

Dentre os componentes se destacam a sílica (óxido de silício), obtida da areia, que é o elemento vitrificante ou estruturante e que transmite essa propriedade aos demais. Funde-se entre 1700°C a 1800°C e quando pura apenas permite a obtenção de um vidro que não pode ser transformado em objetos

moldados. Para ser aceita para a fabricação do vidro, os grãos de quartzo devem ser descoloridos.

A soda é obtida do carbonato de sódio (Na_2CO_3) ou hidróxido de sódio (NaOH), atua como agente fundente para reduzir a elevada temperatura de fusão da sílica. Outro elemento fundente utilizado é o carbonato de potássio.

O óxido de cálcio, obtido de pedra calcária, é o elemento cristalizante, que impede a solubilidade do vidro na água. Tem-se também o cálcio na forma de carbonato de cálcio, que atua como estabilizante para melhorar a resistência ao ataque de agentes químicos e permitir a moldagem. Outros elementos estabilizantes utilizados são o carbonato de magnésio e o óxido de alumínio.

Outros elementos como a dolomita ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]$), o nitrato de sódio (NaNO_3), o sulfato de sódio (Na_2SO_4), o carbonato de potássio (K_2CO_3), o tetraborato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), o óxido de chumbo (PbO), e o arsênico (As_2O_3), podem participar das composições dos vidros. Cada um dos componentes tem sua função específica e é fornecido por matérias-primas específicas, que podem ser classificadas em grupos, conforme a função que desempenham.

Vitrificantes

São aquelas passíveis de se transformar em vidro. O principal é a sílica (SiO_2), fornecida principalmente pela areia.

Fundentes

A sílica sozinha produz um vidro de ótima qualidade, porém necessita de temperaturas extremamente altas para fundir e para poder ser conformado, o que torna o vidro extremamente caro. Para contornar este problema são adicionadas matérias-primas fundentes, que apresentam características de se fundirem a temperaturas muito inferiores à sílica gerando um líquido que dissolve os grãos de areia, produzindo vidro a temperaturas tecnologicamente viáveis.

O principal fundente é a barrilha que é o carbonato de sódio produzido industrialmente a partir da salmoura ou pela purificação de um mineral

chamado trona, também conhecido como barrilha natural. A principal característica da barrilha é que embora presente em torno de 20% em peso na composição, seu custo é da ordem de 60% do custo total das matérias-primas. O Brasil não é auto-suficiente em barrilha que é importada da Europa e dos Estados Unidos.

Estabilizantes

Uma mistura de barrilha e areia produz vidro a temperaturas razoáveis, porém são vidros solúveis, isto é, se dissolvem em contato com a água. Para evitar isto, se acrescentam óxidos estabilizantes. O principal é o óxido de cálcio fornecido pelo calcário. O calcário é uma rocha extraída de pedreiras e moída até a granulometria adequada. Daí surge o nome da família de vidros mais comuns, empregado tanto para os vidros planos como em embalagens, que são os sodo-cálcicos ou sílico-sodo-cálcicos (sílica da areia, sódio da barrilha e cálcio do calcário).

Outros estabilizantes que podem também ser utilizados em conjunto com o cálcio são o óxido de magnésio, cuja matéria-prima é a dolomita, e o óxido de alumínio ou alumina, do feldspato.

Afinantes

Com os três grupos anteriores já se faz um bom vidro a temperaturas razoáveis e estável ao longo do tempo. Porém, como o vidro é um material viscoso, mesmo a altas temperaturas, e as matérias-primas geram grande quantidade de gases durante a fusão, o primeiro estágio da fusão dá origem a uma massa vítrea repleta de bolhas que não conseguem sair do seu interior devido à alta viscosidade.

Para afinar, isto é, retirar as bolhas da massa, se acrescenta à massa vítrea pequenas quantidades de sulfato de sódio, que possui a propriedade de se liquefazer, mas não de se misturar ao vidro, ficando acumulado em torno das bolhas. Quando se atinge uma determinada temperatura, o sulfato se decompõe violentamente, gerando gás em grande quantidade que entra nas bolhas e as fazem crescer e desta maneira ter força suficiente para subir à superfície, arrastando consigo outras menores que se encontram no seu caminho.

Corantes

O vidro sem contaminantes é incolor e para conseguir que ele se apresente em cores, determinados óxidos ou elementos metálicos são acrescentados à composição para ficarem dissolvidos na massa, interferindo com a luz e produzindo cores. Os colorantes mais comuns são o cobalto (azul), selênio (rosa), manganês (vinho), ferro (verde em vidro plano) e cromo (verde em vidro de garrafa de vinho). Estes e outros corantes podem ser utilizados sozinhos ou em conjunto dependendo do resultado esperado.

Resumidamente, a Tabela 4.2. mostra as matérias-primas e as suas funções na composição do vidro.

Tabela 4.2 Fabricação de vidro: matérias-primas e suas funções

Função	Matéria-prima	Composto químico ativo	Ação
Vitrificante	Areia	Sílica - SiO_2	Elemento estruturante
Fundente	Soda	Óxido de sódio - Na_2O	Ajuda a fusão da sílica
Estabilizante	Calcário	Óxido de cálcio - CaO	Estabiliza quimicamente
	Dolomita	Óxido de magnésio - MgO	Estabiliza, melhora as propriedades mecânicas e manuseio do vidro
	Feldspato	Óxido de alumínio - Al_2O_3	Estabiliza. Contraria a desvitrificação. Confere mais brilho. Aumenta a resistência mecânica e química do vidro
Descorante	Selênio	Selênio metálico - Se	Em meio oxidante e em conjunto com o cobalto, descora o vidro
	Cobalto	Óxido de cobalto - Co_2O_3	
Corante	Cromita	Óxido de cromo - Cr_2O_3	Aplicados em conjunto para conferir a cor verde
	Portafer	Óxido de ferro - Fe_2O_3	
	Carvão	C	Aplicado em conjunto com o sulfato de sódio para conferir a cor âmbar.
		Sulfureto de ferro	Vidro âmbar
Óxido de cobre - CuO		Vidro azul	
	Selênio	Vidro vermelho	
Afinante	Sulfato de sódio	Na_2SO_3	Ajuda a fundir e afinar o vidro
	Nitrato de sódio	NaNO_3	Ajuda a afinar o vidro
	Esposito-fluor	Fluoreto de cálcio - CaF_2	Ajuda a fundir e afinar o vidro

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

4.3 CLASSIFICAÇÃO

Quanto à composição química

Existem várias formulações de vidros em função da aplicação, processo de produção e disponibilidade de matérias-primas.

Sodo-cálcicos

Alguns átomos, como o sódio, quando presentes no vidro, se ligam ionicamente ao oxigênio. Isto interrompe a continuidade da rede, já que alguns dos átomos de oxigênio não são mais compartilhados entre dois tetraedros, mas ligados somente a um átomo de silício. Este tipo de átomo de oxigênio é chamado de oxigênio não pontante. Por essa razão, os óxidos alcalinos são utilizados como fundentes que diminuem a viscosidade do vidro, pois quebram algumas ligações.

Constituem a maior parte das garrafas, frascos e potes. Eles contêm, normalmente, 8-12% do peso em óxido de cálcio e 12-17% de óxido alcalino, principalmente óxido de sódio. Muito cálcio faz com que o vidro tenha tendência a se cristalizar durante o processo de produção, em contrapartida, pouco cálcio resulta em vidro com baixa durabilidade química. Usualmente, 0,6-2,5% de alumina (Al_2O_3) é incluída na formulação para aumentar a durabilidade química.

Borossilicatos

O óxido de boro (B_2O_3), por si só, forma um tipo de vidro com o resfriamento a partir de temperaturas acima do seu ponto de fusão, a $460^\circ C$. Entretanto, ao invés da rede tridimensional da sílica vítrea, o óxido de boro vítreo é composto de uma rede de triângulos boro-oxigênio. Em vidros silicatos, tendo-se baixo teor de alcalinos e altas temperaturas, o boro mantém sua coordenação triangular plana, que diminui a coesão tridimensional da estrutura de vidros ao silicato. Devido a isso, este é frequentemente usado como agente fluxante em substituição aos óxidos alcalinos, uma vez que íons formadores de rede não aumentam muito o coeficiente de expansão térmica em relação aos íons modificadores de rede. O óxido de boro é frequentemente utilizado em vidros comerciais, nos quais se deseja resistência ao choque térmico, apresentando, em relação aos vidros comuns, um terço da dilatação pelo calor.

Devido à menor quantidade de óxidos modificadores, além da resistência ao choque térmico, os vidros borossilicatos são também muito resistentes ao ataque químico, além de possuírem alta condutibilidade elétrica. São aplicados

em produtos de mesa que podem ser levados ao forno e em equipamentos e vidrarias de laboratórios.

Quanto à coloração

Os vidros podem ser incolores ou apresentar infinitas cores, que variam de uma leve tonalidade à total opacidade. Nas embalagens de vidro, a cor é decorrente da adição de pigmentos inorgânicos, que são incorporados à massa de vidro para proporcionar as mais diversas colorações.

Em questões de *marketing* a cor também é muito importante, pois ajuda na escolha do produto. Além da função estética, a cor do vidro tem também uma função utilitária. Dependendo dos elementos introduzidos na composição do vidro, este filtra a luz, deixando passar alguns raios e retendo outros. O vidro é o único material que possibilita a visualização do produto ao mesmo tempo em que o protege contra radiações que o deteriorariam.

Transparente ou branco

O vidro branco é considerado um material sem cor, mas na realidade todos os vidros brancos têm cor presente de grau variável. A cor varia de azul muito pálido até a uma tonalidade rosa em diversos graus de concentração.

Para a obtenção do vidro transparente, entretanto, são utilizados agentes descolorantes, uma vez que dependendo da pureza da matéria-prima utilizada na fabricação do vidro, poderá favorecer a obtenção de vidro com tonalidade amarelo-esverdeada, característica da presença do óxido de ferro (> 0,04%) como impureza na matéria-prima. Para minimizar esse efeito são adicionados agentes descolorantes que mascaram o efeito da cor amarelo-esverdeada do ferro, desde que a concentração do ferro esteja entre 0,04-0,08%. O elemento descolorante mais utilizado é o selênio combinado ao óxido de cobalto e o processo consiste em sobrepor as cores complementares à coloração indesejável. Neste caso, o selênio promove uma cor vermelha, enquanto o cobalto introduz uma cor azul que associada à coloração amarelo-esverdeada leva à percepção de ausência de coloração. O vidro transparente oferece total barreira à luz na faixa do comprimento de onda dos raios ultravioleta, até 320 nm. A partir desse comprimento de onda, o vidro apresenta alto percentual de transmissão

de luz. Para a obtenção de melhores propriedades de barreira das embalagens de vidro à radiação acima de 320 nm são adicionados pigmentos para conferir coloração ao vidro.

Verde

O óxido crômico (Cr_2O_3) é o agente corante primário para todos os vidros verdes. O cromo no estado reduzido fornece uma tonalidade fortemente esverdeada ao vidro, enquanto que no estado oxidado dá uma cor mais amarelo-esverdeada. Existem várias tonalidades de verde, sendo o verde esmeralda que contém perto de 0,125 % de Cr_2O_3 , o verde Georgia que contém perto de 0,018% de Cr_2O_3 e 0,002% de CoO, e o verde *Champagne* que contém aproximadamente 0,20% de Cr_2O_3 , 0,01% de CoO e 0,025% de NiO. O cromo se incorpora no vidro pelas matérias-primas, cacos e outras contaminações.

Âmbar

A cor âmbar é formada pela combinação dos elementos ferro (Fe) e enxofre (S) junto com os íons de sódio, em fornos com atmosfera fortemente redutora. Apesar da cor envolver íons oxidantes e redutores, o vidro âmbar é fortemente reduzido. Isto é devido ao estado de valência do enxofre que muda mais facilmente que os íons de ferro ou sódio. Portanto, enquanto praticamente todo o enxofre se reduz, somente ao redor de 85% do ferro é reduzido e todo o sódio permanece oxidado.

Esta coloração é controlada pelo nível da reação de redução, geralmente com uma fonte de carbono (carvão vegetal ou coque de petróleo). Adicionando mais carbono se reduz mais o enxofre a sulfeto e escurece a cor. Não obstante, deve existir suficiente quantidade de Fe_2O_3 presente para combinar-se com o sulfeto e formar a cor central. As experiências mostram que o ferro total, expresso como Fe_2O_3 , deve estar entre 0,28-0,30% em peso.

Os agentes oxidantes, tais como o sulfato de sódio, clareiam a cor enquanto os agentes redutores como o carvão e o alumínio metálico a escurecem. Porém, ao se agregar ao vidro âmbar uma grande quantidade de agente redutor, pode se clarear a cor em lugar de escurecê-la, porque após reduzir todo o en-

xofre, o agente redutor começa a afetar o Fe_2O_3 , reduzindo-o a FeO , deixando quantidade de Fe_2O_3 insuficiente para formar os centros de cor.

4.4 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

Dentre as vantagens de se utilizar o vidro se destacam a retornabilidade, o seu uso para o mesmo fim, por várias vezes; a reutilização ou uso da embalagem de maneiras diferentes para as que foi fabricada; a total reciclabilidade, sem perda de volume ou de propriedades do material; a inércia; e a impermeabilidade. Além disso, é higiênico, asséptico, prático, versátil e proporciona alta inércia química, ou seja, as reações químicas levam muito tempo para acontecer, o que garante maior preservação das características originais do conteúdo embalado. Suas desvantagens são o custo, o peso e a fragilidade, pois qualquer arranhão, por mais leve que seja, pode ocasionar redução na resistência, reduzindo seu valor à metade.

As propriedades dos vidros, assim como de todos os outros materiais, dependem de suas características estruturais. A estrutura, por sua vez, está condicionada principalmente à composição química, e em menor escala à história térmica. A variação das propriedades com a composição pode ser avaliada, com certa aproximação, em função da concentração dos componentes, mediante expressões lineares nas quais intervêm fatores de proporcionalidade obtidos experimentalmente para cada óxido e para cada propriedade. Com relação à história térmica, o tempo que o vidro teve para dissipação do calor, determina o seu grau de relaxação estrutural que influi sobre suas características finais.

Viscosidade

A viscosidade de um vidro é uma de suas mais importantes propriedades sob o ponto de vista da tecnologia empregada em sua elaboração e conformação. Ela determina as condições de fusão, temperaturas de trabalho e recozimento, comportamento na afinagem ou remoção de bolhas do banho, temperatura máxima de utilização e taxa de devitrificação. A viscosidade varia enormemente com a composição e temperatura.

Densidade

Alta densidade nos materiais proporciona vantagens em certos aspectos, mas é geralmente desvantajoso quando se trata do manuseio, fixação e suporte. O vidro é um material razoavelmente leve com uma densidade de $2,47 \text{ g/cm}^3$ para a soda-cal e $2,2 \text{ g/cm}^3$ para a sílica fundida. A adição de fluidos e modificadores geralmente tem o efeito de aumentar a densidade.

Resistência mecânica

O vidro é um material frágil, porém não fraco. Ele tem grande resistência à ruptura, podendo até ser utilizado em pisos. É duro e rígido, porém não resistente. Por isso não é apropriado para aplicações sujeitas a impactos. Quando submetido a cargas crescentes num ensaio de tração há uma fase em que ele se comporta como uma mola e quando cessada a força que o deforma, retorna à forma original. O vidro não se deforma plasticamente à temperatura ambiente e ao passar seu limite de resistência se rompe catastróficamente, pois seu limite de resistência é igual ao limite de ruptura. Uma maneira de aumentar a resistência mecânica é proteger a superfície contra fissuras decorrentes do manuseio, por meio da aplicação de rótulos, e a outra é a realização da têmpera.

Resistência ao choque térmico

A capacidade do vidro de resistir aos choques térmicos depende do módulo de elasticidade, da resistência à tração e principalmente do coeficiente de dilatação. Esta capacidade de resistência é inversamente proporcional a quanto ele se dilata quando aquecido, ou seja, quanto maior for a dilatação térmica, menor será sua resistência a mudanças bruscas de temperatura.

A dilatação térmica depende da composição química do vidro. Para os vidros sodo-cálcicos, que são a grande família que compreende as embalagens, com 4 a 5 mm de espessura e que suportam até 60°C de diferença de temperatura. Para aumentar a resistência aos choques térmicos fundamentalmente se emprega a têmpera, pois vidros temperados suportam $240\text{-}300^\circ\text{C}$ de diferença de temperatura.

Durabilidade química

Não obstante suas boas qualidades, nem os melhores vidros podem ser considerados rigorosamente inertes. Portanto, todos os vidros sofrem alterações superficiais quando colocados em contato com uma solução aquosa. Os vidros são muito resistentes a soluções ácidas, com exceção do ácido fluorídrico (HF), e básicas ($\text{pH} < 9$), porém são atacados por soluções fortemente básicas ($\text{pH} > 9$).

Propriedades óticas

O vidro por não apresentar estrutura cristalina, mas sim randômica em todas as direções, tem a característica de ser isotrópico, isto é, suas propriedades independem da posição na qual são analisadas. Quando um feixe de luz incide sobre uma superfície de vidro, parte da luz é refletida e o restante passa para seu interior onde, devido à maior densidade, o feixe é desviado ou refratado. Parte da energia luminosa é perdida por absorção no vidro.

4.5 INTERAÇÃO EMBALAGEM/ALIMENTO

O vidro é considerado como o material de maior inércia química para contato com alimentos, isto é, que não cede substâncias e nem absorve compostos do alimento. Os principais compostos extraídos para soluções aquosas são o sódio e o potássio, que não têm efeitos significativos nas características organolépticas ou em nível da segurança dos alimentos.

A contaminação por chumbo ou por cádmio é extremamente difícil de ocorrer nos alimentos, uma vez que estes metais raramente entram na composição do vidro para contato alimentar. Isto, não é verdade para os cristais que têm em sua composição estes metais pesados.

Bebidas alcoólicas em garrafas de cristal, nomeadamente licores e vinho do Porto, podem adquirir teores de chumbo elevados após tempos de contato relativamente curtos. Teores iniciais da ordem dos 0,03 mg/kg podem elevar-se a cerca de 0,1 mg/kg após quatro horas de contato.

4.6 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

As matérias-primas devem ser inspecionadas no ato do recebimento, para checar aspectos como granulometria, densidade e umidade, e como forma de garantir que o processo seja reprodutivo, visto que a mistura é uma das etapas mais importantes do processo de fabricação do vidro.

Depois de inspecionadas e aprovadas, as matérias-primas são armazenadas em silos, para facilitar a etapa seguinte de dosagem e mistura e evitar a absorção de umidade e emissão de partículas para a atmosfera. O carregamento dos silos deve ser pneumático, para evitar a formação de poeira, além de reduzir a área necessária para alimentação dos silos, pois não há necessidade de construir rampas para o transporte do material.

Os diferentes componentes são pesados em balanças específicas, especialmente selecionadas para atender às propriedades físicas e químicas dos materiais a serem pesados, e com a precisão necessária para cada tipo de material, em função da proporção requerida na mistura. Após a pesagem, os componentes são transferidos a um compartimento específico, ou diretamente para o misturador.

Durante o transporte do material ao misturador, os níveis de poeira são mantidos baixos por meio do uso de transportadores fechados e um filtro, instalado sobre o misturador. Para se obter uma mistura homogênea, uma quantidade específica de água deve ser adicionada ao misturador. Isto é feito por meio de um jato fino. A esta mistura são adicionados também cascos pós-consumo, resíduos de embalagem de vidro adquiridos de terceiros e caco industrial. As matérias-primas e os cacos são, então, introduzidos no forno de fusão.

Fusão

Existem diferentes tipos de fornos de fusão. Os fornos de cadinho, com capacidade de até duas toneladas, são adotados vantajosamente na produção de vidros especiais ou quando é essencial proteger o banho fundido da ação dos produtos de combustão. São empregados principalmente na manufatura dos vidros ótico, artístico e plano em chapa fundida. Os cadinhos são de argila

especial ou de platina. É muito difícil fundir o vidro nesses cadinhos sem contaminar o produto ou fundir parcialmente o próprio cadinho, exceto quando se usa platina.

Outro tipo é o forno-tanque. Nele existem diferentes mecanismos de carregamento, sendo o *pusher* (empurrador) um dos mais utilizados. Neste sistema, a mistura fica armazenada em um silo sobre a entrada de material, que consiste em uma abertura na lateral do forno por onde o material é introduzido.

A composição é alimentada diretamente na superfície do banho, o que resulta na redução da formação de poeira. O material flutua sobre o banho de vidro e é empurrado para dentro do forno pelo mecanismo empurrador, o qual pode se mover em direções variadas, permitindo uma melhor cobertura da superfície do banho. A região por onde o material é introduzido é selada, garantindo que não haja perda de energia, o que resulta em maior eficiência do forno.

O material se mistura ao banho de vidro e é levado a um estado maleável, a 1400-1550°C, adquirindo um nível de viscosidade suficientemente baixo para permitir sua escoabilidade através dos canais de alimentação e também sua moldagem.

Afinagem e condicionamento

Há aumento da temperatura para libertação de gases (1550-1580°C), que causariam bolhas. Em seguida, passa por um resfriamento lento para a homogeneização e aumento da viscosidade estando, então, preparado para ser moldado.

Moldagem

O vidro é moldado a 600°C. O processo inicia-se com o corte de uma determinada quantidade, designada *gota*, previamente definida como necessária para formar um recipiente. Este corte é realizado por tesouras automáticas. A gota é, então, transportada por meio de alimentadores até as máquinas de produção. O vidro pode ser moldado pelo processo sopro-sopro ou pressão-sopro.

Sopro-sopro

Até o século XIX, o sopro era feito pelos artesãos. A partir de então, foram desenvolvidas máquinas de sopro mais rápidas. Neste processo, a gota de vidro cai no pré-molde, onde ocorre a formação do gargalo. Injeta-se ar comprimido no pré-molde, completando a formação do gargalo. O primeiro sopro forma o chamado *parison*, a pré-forma do recipiente. Em seguida, esta pré-forma é transferida para um segundo molde, onde uma nova etapa de sopro expande a parede do recipiente e faz com que este adquira sua forma final. Após esta operação, o molde é aberto e um mecanismo de garras retira o recipiente e o coloca sobre uma placa de resfriamento.

As garrafas são, em sua maioria, produzidas desta forma, automática ou manualmente, dependendo do grau de sofisticação da embalagem, das quantidades mínimas necessárias e das tolerâncias dimensionais exigidas. Este tipo de moldagem é mais barato, porém a espessura da parede dos recipientes não é facilmente controlável.

Pressão-sopro

Neste processo, a gota de vidro é depositada sobre o pré-molde e por meio de um êmbolo é, em seguida, pressionada contra o interior do pré-molde, formando o gargalo. A pré-forma é transferida para outro molde, no qual uma etapa de sopro faz com que a parede do recipiente se expanda até atingir a forma final do produto e, então, o produto é retirado por garras e colocado sobre a esteira de resfriamento. Permite a formação de recipientes de boca larga, mais leves e resistentes, como os potes para geléias.

Tratamento superficial a quente

Depois de obtidos os produtos conformados, os mesmos são transportados através de esteiras e passam por uma etapa de tratamento superficial a quente (400°C), que consiste na aplicação de um recobrimento à base de compostos metálicos, na forma de vapor, e tem como função aumentar a resistência à pressão interna e a choques mecânicos. Os compostos metálicos mais comuns são o tetracloreto de estanho ou de titânio, embora o uso de cloreto de titânio deve ser evitado, uma vez que possui caráter explosivo e sua aplicação é con-

trolada de forma rigorosa. Este tratamento é normalmente aplicado em garrafas para líquidos fortemente carbonatados, como a cerveja e os refrigerantes.

Recozimento

Durante o processo de conformação, o vidro frequentemente desenvolve tensões permanentes devido ao fato de que várias regiões do material passam pela faixa de transição vítrea a taxas de resfriamento e tempos variáveis. Como forma de assegurar a estabilidade dimensional e para evitar o desenvolvimento de tensões excessivas em regiões críticas, estas tensões devem ser reduzidas pelo processo de recozimento.

Após receber o tratamento a quente, o produto segue até o forno de recozimento, um forno contínuo, que opera em duas fases. Uma é a manutenção da massa de vidro de 500-550°C; e outra é o resfriamento da massa, que deve ser feito com lentidão até a temperatura de 50°C. Tem como funções aliviar as tensões causadas pela conformação e conferir ao produto boa resistência mecânica e ao choque térmico.

Tratamento de superfície a frio

Este tratamento aplica-se a todos os recipientes de vidro de embalagem e destina-se a aumentar a lubricidade dos mesmos, evitando assim o atrito que danifica a superfície do vidro. Facilita o transporte nas linhas de produção desde a lavagem, o enchimento, a etiquetagem e o fechamento. São aplicados produtos como o ácido oleico ou emulsão à base de água e polietileno.

O ácido oleico confere as características de lubrificação e resistência à abrasão da embalagem e não acarreta problemas quanto à rotulagem posterior da embalagem de vidro. Este tipo de recobrimento é considerado não permanente, pois pode ser facilmente removido por meio de lavagem da embalagem ou mesmo perder a propriedade de lubrificação durante a estocagem. Existem informações de que algumas cervejarias não aceitam garrafas com o ácido oleico, pois este poderá alterar o sabor da cerveja.

Para utilizar a emulsão à base de água e polietileno deve-se levar em conta a concentração da emulsão a ser aplicada, para não haver problemas de desempenho do tratamento a frio aplicado. Caso a solução seja aplicada com uma con-

centração acima da recomendada, a aparência da embalagem de vidro poderá ser prejudicada ficando com um aspecto listrado e escorregadio, favorecendo a sua expulsão da linha de enchimento em regiões de acúmulo de garrafas ou mesmo dificultando a aderência do rótulo. Além disso, poderá resultar ainda em uma deposição insuficiente do produto sobre a embalagem, resultando em um alto ângulo de deslizamento. De forma contrária, uma baixa concentração da emulsão resultará em uma embalagem com recobrimento insuficiente para evitar a abrasão superficial. Neste caso, é recomendado que a diluição seja feita com boa precisão e, caso possível, sistemas dosadores sejam utilizados para garantir a quantidade adequada do produto.

Controle da qualidade em linha

Após as operações de produção, os recipientes de vidro são submetidos aos processos de inspeção, escolha e separação de embalagens com defeitos através de um sistema ótico e os itens com defeitos são descartados no que se chama de processo de seleção. Os produtos aprovados seguem para paletização e embalagem, enquanto que os produtos rejeitados são eliminados da linha e encaminhados ao triturador para que o material possa ser reintegrado ao processo na forma de cacos.

Paletização

Após a inspeção, a produção é paletizada. Os recipientes são conduzidos a um paletizador onde são agrupados e colocados em cima de separadores de madeira prensada, cartão ou plástico e empilhados num estrado de madeira de dimensões normalizadas para poderem ser movimentados. O estrado é depois coberto com plástico estirável ou termorretrátil para estabilidade e unificação da carga.

4.7 RECIPIENTE DE VIDRO

Do ponto de vista do fabricante, há três partes fundamentais em um recipiente de vidro, sendo a parte superior, o corpo e a base.

Parte superior

É a parte do recipiente de vidro para a fixação da tampa ou fechamento, que circunda a boca de um recipiente. Esta parte possui várias áreas específicas, discriminadas a seguir.

Superfície de vedação

Seção localizada na parte superior da embalagem, onde se coloca a tampa e que contém a abertura por onde se enche e esvazia a embalagem. A superfície de vedação pode ser no topo ou lateral da parte superior.

Fios de rosca do vidro

São filetes de vidros, horizontais, afilados e salientes, em torno da periferia da parte superior, permitindo que filetes espacialmente construídos na tampa deslizem entre aquelas saliências, fixando-a firmemente mediante um giro parcial. O número desses filetes e sua configuração são estabelecidos pelo fabricante de tampas.

Filete contínuo

Uma saliência em espiral de vidro sobre a parte superior do recipiente, destinada a acoplar com o filete de uma tampa específica.

Cordão de transferência

Um cordão horizontal contínuo de vidro, próximo da base da parte superior, utilizado para transferir o recipiente de um local para outro durante a operação de fabricação. Nem todos os recipientes possuem este cordão.

Emenda vertical do anel do gargalo

É a linha que marca a união ou divisão de moldes, ou seja, uma marca no acabamento do vidro resultante da junção das duas metades do anel do gargalo. Alguns acabamentos são feitos em anel de peça única, não apresentando esta emenda.

Emenda horizontal do anel do gargalo

É a marca horizontal na superfície do vidro na base do anel do pescoço ou do acabamento, resultante da junção das partes do anel do gargalo com as partes do molde do corpo.

Corpo

É a porção mais longa do recipiente, compreendida entre a parte superior e a base, com várias partes características.

Pescoço

Parte que se estende desde a linha de partição do produto até o ombro. A maioria dos recipientes de vidro para alimentos processados, como os potes, possuem um pescoço pequeno.

Ombro

Parte que se estende desde a base do pescoço até a parte reta ou corpo da embalagem, ou seja, porção de um recipiente de vidro na qual a seção transversal máxima ou área do corpo diminui para se unir a área do pescoço ou gargalo.

Calcanhar ou curvatura do fundo

Área entre o fundo e o início da área plana da parede lateral.

Emenda do molde de corpo

É a marca vertical na superfície do vidro na área do corpo resultante da junção das duas metades do molde do corpo. A emenda do molde pode se alinhar ou não com a emenda vertical do anel do gargalo.

Fundo

Também designada de base, é um elemento fundamental, já que grande parte da resistência e equilíbrio depende dela e da espessura das paredes de vidro. Nela deve constar uma série de referências, como marca comercial, número do molde, data de fabricação, etc. As partes designadas da área do fundo são a emenda do fundo e a superfície de apoio.

Emenda do fundo

Marca horizontal na superfície do vidro resultante da junção das metades do molde do corpo com a placa do fundo.

Superfície de apoio

Pode ter uma configuração especial, conhecida como base para empilhamento, a qual se destina a dar encaixamento do fundo de um vidro com a tampa do outro, de modo que possa ser empilhado para fins de exposição e transporte.

4.8 CONTROLE DE QUALIDADE

A garantia da qualidade e o seu controle é assegurada de duas formas: por **inspeção** a 100% dos frascos e contínua a toda produção, utilizando meios humanos (inspeção visual) e mecânicos para a eliminação de defeitos do vidro e de moldagem e; por **controle estatístico**, por amostragem, para detecção de defeitos e aprovação de lotes, com o recurso de ensaios laboratoriais (JAIME; DANTAS, 2009).

Para identificar e **classificar os defeitos**, os lotes de garrafas são objetos de controle por atributos e os defeitos são classificados em três classes, conforme o indicado na Tabela 4.3.

Os **críticos** são defeitos que podem tornar uma embalagem gravemente perigosa para a saúde e segurança do consumidor do produto nela contido, ou originar avarias graves no equipamento de enchimento. Os **absolutos ou maiores** são defeitos que podem tornar uma embalagem incapaz de suportar com êxito as condições de utilização ou diminuir o rendimento do enchimento. Os **relativos ou menores** são defeitos que não cabem nas definições das duas classes anteriores. Tratam-se habitualmente de defeitos de aspecto.

Tabela 4.3 Classificação dos defeitos em embalagens de vidro

Críticos	Maiores	Menores
Agulha	Verticalidade	Altura fora das tolerâncias
Trapézio	Ovalização	Diâmetro do corpo fora das tolerâncias
Escamas de vidro no interior	Estrangulamento interior do gargalo	Embocadura fora das tolerâncias
Fundo falso	Distribuição da espessura	Enrugado
Rebarba cortante	Costuras grossas	Martelado
Dimensões do gargalo	Bolha	Estriado
	Fissura	Marca do molde
		Bolha

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

O controle de qualidade deverá dispor de um laboratório para medida de todas as características dimensionais, testes de resistência à pressão interna, choque térmico, carga vertical e impacto. Este tipo de amostragem permite aprovar com segurança toda a produção.

Cada embalagem de vidro obedece a especificações relacionadas com as dimensões, peso e capacidade volumétrica, ensaios de resistência mecânica e térmica e propriedades óticas (Tabela 4.4.).

Tabela 4.4 Especificações de embalagens de vidro

Características dimensionais, peso e capacidade volumétrica	Altura Diâmetro do corpo Diâmetro da embocadura Horizontalidade do gargalo Verticalidade da garrafa Peso Capacidade total Capacidade nominal ou útil Nível de enchimento Distribuição de espessura
Propriedades mecânicas	Resistência ao impacto Resistência à pressão interna Resistência à carga vertical
Propriedades térmicas	Resistência ao choque térmico
Propriedades óticas	Cor Transmissão de luz

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

A seguir são apresentadas as principais análises empregadas no controle de qualidade de embalagens de vidro (XAVIER; ORTIZ, 1986; JAIME; DANTAS, 2009).

Inspeção visual

É uma das análises mais importantes no controle de qualidade das embalagens de vidro. O inspetor deve ser treinado para remover as embalagens defeituosas.

Determinação da distribuição de espessura

O ensaio consiste na medição eletrônica ou por contato, da espessura da parede da garrafa em diferentes pontos desde o gargalo até ao fundo. A importância deste ensaio está relacionada com a tendência para redução da espessura com vista à redução do peso e conseqüentemente do custo. A espessura influencia na resistência das embalagens ao choque térmico, à pressão interna e ao impacto.

Determinação do peso e capacidade volumétrica

O ensaio consiste na pesagem da garrafa vazia. É importante como medida de controle do processo de produção para verificar o estado do equipamento, o processo de fabricação, o cálculo da capacidade dos fornos, e corrigir eventuais desvios de produção, sendo realizado pelo próprio operador da máquina por meio de balança. A determinação da capacidade volumétrica consiste em verificar o volume de água contido na embalagem quando esta é cheia até um nível pré-determinado. É importante para a garantia da quantidade de produto embalado. A Tabela 4.5. apresenta as especificações da *Glass Manufactures Association of UK* referentes às tolerâncias de volume.

Caracterização dimensional

Este ensaio consiste na medição de todas as dimensões da embalagem, pré-estabelecidas em normas técnicas (Tabelas 4.6. e 4.7.). É de fundamental importância, principalmente para um desempenho satisfatório na linha de enchimento e processamento das indústrias de alimentos. São exemplo deste

tipo de ensaio a determinação do diâmetro do recipiente, diâmetro do gargalo, verticalidade, ovalidade, etc.

Tabela 4.5 Tolerância de variações no volume de embalagens de vidro

Capacidade até o volume de	Tolerância (\pm mL)	
	Cilíndricas	Não cilíndricas
25	1,3	1,7
50	1,9	2,5
75	2,3	3,1
100	2,7	3,6
125	3,0	4,0
150	3,3	4,4
175	3,5	4,7
200	3,8	5,1
250	4,2	5,6
300	4,6	6,1
350	5,0	6,7
400	5,3	7,1
450	5,7	7,6
500	6,0	8,0
600	6,5	8,7
700	7,1	9,5
800	7,6	10,1
900	8,0	10,7
1000	8,4	11,2
1250	12,5	16,7
1500	15,0	20,0
1750	17,5	23,3
2000	20,0	26,7

Fonte: Xavier e Ortiz (1986).

Tabela 4.6 Limites das tolerâncias de diâmetros de embalagens

Diâmetro (mm)	Tolerância (\pm mm)
25,0	0,8
37,5	0,9
50,0	1,1
62,5	1,2
75,0	1,4
87,5	1,5
100,0	1,7
112,5	1,8
125,0	2,0
137,5	2,1
150,0	2,3

Fonte: Xavier e Ortiz (1986).

Tabela 4.7 Limites das tolerâncias para alturas de embalagens

Altura total (mm)	Tolerância (\pm mm)
25	0,7
50	0,8
75	0,9
100	1,0
125	1,1
150	1,2
175	1,3
200	1,4
225	1,5
250	1,6
275	1,7
300	1,8

Fonte: Xavier e Ortiz (1986).

Grau de têmpera

É controlado pela luz polarizada e d  uma indicação de possíveis pontos de falhas quanto   resistência mecânica. Discos padrões ajudam a controlar o grau de têmpera.

Eficiência do fechamento

O fechamento do recipiente de vidro é uma das operações mais importantes no processo de embalagem. A manutenção de um fechamento hermético ao ar é uma exigência absoluta para assegurar que produtos nutritivos e saudáveis cheguem ao consumidor.

Um dos métodos mais usados para verificar a hermeticidade consiste em colocar no interior da embalagem, uma solução de AgNO_3 a 0,5% e submete-la ao processamento normal. Em seguida colocar em solução de NaCl e verificar a formação de precipitado de AgCl , indicativo da não hermeticidade da embalagem.

Determinação da resistência ao choque térmico

O ensaio consiste na determinação da resistência das garrafas a uma variação brusca de temperatura 105°C a 25°C . As embalagens são imersas num tanque de água quente (120°C) durante cinco minutos e, em seguida, são trans-

feridas para um tanque de água fria (60°C) por 30 segundos. É um método muito importante no controle da qualidade de embalagens que vão ser sujeitas a enchimento a quente, pasteurização e esterilização.

A resistência das embalagens ao choque térmico é diretamente influenciada pela espessura do vidro. As fraturas estendem-se da base da embalagem ao longo do corpo e não são irradiais.

Determinação da resistência ao impacto

Neste ensaio, as garrafas são sujeitas ao impacto de um pêndulo. O pêndulo em repouso, a uma determinada altura, possui uma energia potencial e, quando liberado, realiza trabalho pela força da gravidade. Este trabalho é absorvido pela embalagem sob a forma de impacto. O método de ensaio baseia-se no aumento progressivo da velocidade de impacto até que a embalagem quebre.

Este teste é particularmente importante na avaliação da resistência das embalagens (ombro e calcanhar) nas linhas de enchimento. Os fatores que influenciam os resultados do ensaio têm a ver com a espessura da parede, diâmetro da embalagem e com a existência de regiões vulneráveis.

Determinação da resistência à carga vertical

Corresponde ao desvio com relação ao eixo vertical. Este desvio é igual à metade do diâmetro do círculo descrito pelo centro do produto acabado, quando a embalagem gira em torno do eixo vertical que passa pelo centro da base.

Neste teste as embalagens são submetidas a uma carga vertical crescente até a ruptura ou até ser atingido o nível de carga pré-selecionado. Este ensaio é importante na avaliação da resistência ao empilhamento e à carga vertical na linha de enchimento ou de aplicação do fechamento. As características da garrafa que mais influenciam esta determinação são o formato do ombro e a espessura da parede.

Determinação da resistência à pressão interna

Consiste na aplicação de uma pressão hidrostática crescente até a ruptura ou ponto da pressão final pré-selecionado. A fratura tem origem na parede ex-

terna, com trinca vertical. A trinca estende-se para cima e para baixo em várias direções. Este ensaio é importante no controle da qualidade de embalagens que estão sujeitas a uma pressão interna elevada (bebidas gaseificadas e produtos que sofrem tratamento térmico).

A resistência à pressão interna é influenciada por diferentes fatores, como a espessura e distribuição do vidro nas paredes, condições da superfície externa e formato da garrafa.

Cor e transmissão luminosa

O vidro possui determinadas cores obtidas à custa de agentes químicos introduzidos durante o processo de fabricação. As diversas cores do vidro conduzem a diferentes características de transmissão de luz. A transmissão de luz é determinada em espectrofotômetro de UV/VIS. Em termos de transmitância, o vidro de cor âmbar é o que menos deixa atravessar a radiação ultravioleta e visível e, por isso, oferece maior proteção.

Este fator é importante na conservação de alguns produtos que devem ser protegidos de determinados comprimentos de onda do espectro solar. As embalagens ensaiadas não deverão superar as porcentagens de radiação transmitida indicadas na Tabela 4.8.

Outros

Têm-se outros ensaios de controle da qualidade, como a determinação do coeficiente de atrito estático e ângulo de deslizamento, e a determinação da espessura do revestimento a quente.

Tabela 4.8 Limites de transmissão luminosa estabelecidos por normas

Capacidade (cm ³)*	% max. de transmissão luminosa (290 a 550 nm)
1	25
2	20
5	15
10	13
20	12
50	10

*Embalagem cheia

Fonte: Certi (2008).

4.9 EMBALAGEM E AMBIENTE

As embalagens de vidro são reutilizáveis e recicláveis. O vidro permite a lavagem e desinfecção usando temperaturas elevadas e agentes químicos de limpeza que garantem uma superfície limpa para reutilizar com bebidas sem por em risco a segurança alimentar. As garrafas de vidro para reutilização têm de ser mais pesadas, consumindo mais matérias-primas e energia na fabricação do que as garrafas não retornáveis. O processo de limpeza também acarreta impacto ao ambiente.

A reciclagem do vidro pode ser dividida em três etapas, sendo coleta e separação, retirada dos contaminantes e moagem dos cacos. A primeira fase é a separação dos recipientes de cores diferentes (transparente, verde, âmbar, etc.). Essa separação pode ser mecânica ou manual e é facilitada se os recipientes estão inteiros. A cor do caco afeta diretamente a cor padrão no novo recipiente, por isso em vidro transparente é permitido até 1% de caco verde e 5% de âmbar; em vidro verde é permitido até 10% de verde e 10% de transparente; em vidro âmbar é permitido até 15% de transparente e 35% de âmbar.

A etapa seguinte trata-se da remoção dos contaminantes como tampas, rótulos e rolhas que podem causar defeitos nas garrafas, como mudança na coloração, além de danos ao forno, o que acarreta sérios prejuízos. Por fim, as garrafas passam por um triturador que as transformam em pedaços de tamanho homogêneo que são encaminhados para um eletroímã, que separa os metais ainda existentes nos cacos. Os cacos são, então, armazenados em silos ou tambores para posterior utilização.

O uso do caco de vidro apresenta vantagens tecnológicas, pois melhora sensivelmente o processo de fusão, reduz o gasto com energia e água, sendo que para cada 10% de caco de vidro na mistura economizam-se 4% da energia necessária para a fusão nos fornos industriais e 9,5% no consumo de água, além de poupar matérias-primas naturais, como areia, calcário e outras. Além disso, o vidro é infinitamente reciclável, possuindo as mesmas qualidades de um vidro fabricado apenas com matérias-primas virgens, independente do número de vezes que o material foi utilizado.

O vidro sendo um material inorgânico e não combustível, não produz alterações biológicas ou de contaminação da atmosfera quando da sua incineração, mas não contribui para a produção de energia térmica. Além disso, em termos ambientais, sua degradação química e erosão física é muito lenta e inócua.

5

EMBALAGENS CELULÓSICAS

5.1 INTRODUÇÃO

Os derivados de celulose são largamente utilizados como materiais de embalagem para produtos alimentícios. O papel, o principal deles, é empregado na forma de sacos, cartuchos, caixas de papelão, etc. Pode-se destacar ainda, como polímero celulósico, o celofane.

Os primeiros povos a utilizarem o papel, na sua forma mais rudimentar, foram os egípcios. Utilizaram em sua fabricação o papiro, vegetal facilmente encontrado nas regiões alagadiças do Nilo, que também servia para a fabricação de embarcações. O processo de fabricação consistia em retirar a casca e utilizar somente a parte medular da planta, rica em celulose e resina, que depois de disposta transversalmente sofria esmagamento.

Atribui-se, no entanto, aos chineses o início da fabricação industrial do papel. No processo, a madeira era esmagada com água, por um sistema de pilão até que se observasse desfibramento. Quando em estado pastoso, o produto era colocado sobre um tecido de seda, para escorrer a água. Ainda úmida, esta camada era retirada, prensada e seca. Em épocas posteriores, o papel era fabricado de bambu e possuía maior flexibilidade.

Após uma série de acontecimentos tais como guerras, invasões e imigrações, o papel foi difundido pelo mundo. Até o século XVII era fabricado manualmente utilizando-se martelos para o desfibramento.

A partir de então, desenvolveu-se um novo tipo de equipamento que proporcionou aumento de produção e melhor homogeneidade. A mecanização da preparação das fibras substituiu o processo manual por moinhos de água ou vento. As matérias-primas empregadas eram cânhamo e linho. Somente algum tempo depois é que se utilizou o algodão.

5.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

Papel

O papel consiste essencialmente num aglomerado de fibras celulósicas de diferentes tamanhos de origem natural, afiladas e entrelaçadas umas com as outras e finalmente, prensadas, oferecendo uma superfície adequada para colar, escrever ou imprimir. A resistência mecânica do papel não depende somente do tamanho e da resistência individual de cada fibra, mas também do modo como elas estão dispostas. A qualidade do papel, por sua vez, é consequência da natureza das fibras, pois estas variam conforme o vegetal que lhes deu origem, com diferenças entre si quanto a forma estrutural, tamanho e pureza.

As fibras que constituem o papel podem ser curtas, obtidas de árvores folhosas do eucalipto ou longas, obtidas de pinheiros. As primeiras são indicadas para situações em que se privilegie a maleabilidade e a qualidade de impressão, cópia e escrita; enquanto que as outras são preferidas quando se pretende conferir resistência ao papel para embalagem. Os principais tipos de papel com aplicação em embalagens estão descritos a seguir.

Kraft

Obtido de pasta química, por meio do processo sulfato-fibras de pinheiro, com gramatura de 70-300 g/m². Apresenta alta resistência mecânica e boa resistência à umidade. Basicamente existem os seguintes tipos de papel Kraft (ARDITO; GARCIA; GARCIA, 1988):

a) Kraft natural para sacos multifoliados

Fabricado com 100% de pasta química (processo sulfato), de fibra longa, geralmente nas gramaturas de 80-90 g/m². Altamente resistente ao rasgo, à tração e ao estouro, sendo utilizado essencialmente para sacos de embalagens industriais de grande porte no acondicionamento de grãos, produtos em pó e granulados.

b) Kraft branco para sacos multifoliados

Fabricado com pasta química (processo sulfato), branqueada e de fibra

longa. Usado essencialmente como folha externa de sacos multifoliados para impressão em cores, geralmente aplicado em produtos farináceos.

c) Kraft natural ou em cores para outros fins

Fabricado com 100% de pasta química (processo sulfato) não branqueada, de fibra longa geralmente nas gramaturas de 30-150 g/m², e características de resistência mecânica similares ao kraft natural para sacos multifoliados, porém, com menor resistência ao rasgo. Empregado na fabricação de embalagens em geral.

d) Kraft branco ou em cores para outros fins

Similar ao papel do item anterior, porém fabricado a partir de pasta branqueada. Usado para confecção de sacos de açúcar e farinha, bolsas de papel e, nas gramaturas mais baixas, para embalagens de balas e similares.

e) Tipo kraft de primeira

Papel para embalagem semelhante ao kraft natural ou em cores para outros fins, porém com menor resistência mecânica e fabricado com pelo menos 50% de pasta química, nas gramaturas acima de 40 g/m². Usado geralmente para produção de saquinhos simples para pães.

f) Tipo kraft de segunda

Semelhante ao kraft natural ou em cores para outros fins, porém com menor resistência mecânica e fabricado com menos de 50% de pasta química, nas gramaturas acima de 40 g/m². Usado para embrulhos e embalagens em geral.

Couché

Papel que recebe um tratamento especial, feito em máquina de revestimento, que aplica tinta sobre a superfície (3-30 g/m²) em ambos os lados do papel. Este processo é realizado com o objetivo de dar lisura e brilho ao papel, melhorando a impressão. É normalmente utilizado no revestimento externo de embalagem com o objetivo de melhorar seu aspecto visual.

Glassine

Papel fabricado com 100% de pasta química especial, refinada ao máximo, para torná-lo transparente. Quando adicionado de cargas minerais adquire aspecto leitoso translúcido. Fabricado geralmente nas gramaturas de 40-150 g/m². Possui baixa permeabilidade à gordura, sendo empregado essencialmente para embalagens de alimentos.

Celofane

O celofane difere dos filmes plásticos transparentes, pois é constituído por celulose que não é plástica e assim sendo, não amolece ou funde durante a secagem de tintas ou vernizes ou mesmo na aplicação de calor para selagem.

Os diversos tipos de celofane são caracterizados pelos produtos nele aplicados. O celofane comum, sem nenhum revestimento, é utilizado na indústria de embalagens para produtos que não necessitam de boa proteção contra os agentes externos. Pelo fato de não possuir nenhum tipo de revestimento termosselável, é utilizado para invólucros, onde recebe simplesmente uma impressão.

Outro tipo, também largamente utilizado, é aquele que possui verniz de nitrocelulose em um dos lados. Este celofane foi desenvolvido nos Estados Unidos para embalar carne fresca em supermercados, tendo sido substituído pelo PVC.

Uma maior aplicação, entretanto, na indústria de conversão, é para laminado ou extrusão com o polietileno. A utilização desta estrutura é em sua grande parte, destinada a diversas embalagens para produtos alimentícios e farmacêuticos.

Outros

Estiva, com gramatura de até 70 g/m², era usado geralmente em açougues.

Manilha, fabricado com aparas, pasta mecânica ou semi-química, nas gramaturas de 40 a 45 g/m², monolúcido, em cores características e, quando ao natural, branco acinzentado. Usado para embrulhos nas lojas e congêneres.

Monolúcido de primeira, também chamado simplesmente de monolúcido, é fabricado de celulose química branqueada, com adição de carga mineral

na ordem de 10 a 12%. Usado na fabricação de sacos e laminados com filmes plásticos.

Monolúcido de segunda é o monolúcido de primeira com a inclusão de pasta mecânica, usado para as mesmas finalidades, porém com produtos de qualidade inferior. Papel para embalagem, impermeável, com baixa permeabilidade a substâncias gordurosas. Pode ser encontrado nas formas de pergaminho, glassine ou cristal, granado e fosco.

O papel vegetal é obtido de pasta química tratada com ácido sulfúrico, com gramatura de 12-75 g/m². É resistente a óleos e gorduras e à umidade.

Cartão

A distinção entre papel e cartão nem sempre é muito clara, no entanto, é do senso comum que o cartão é mais espesso e mais pesado que o papel. Geralmente, as folhas com mais de 300 µm de espessura são classificadas como cartão. A gramatura do cartão em geral varia entre 120 e 700 g/m².

Normalmente os cartões são compostos por uma combinação de duas ou mais camadas que podem diferir conforme a pasta. Os cartões de baixa gramatura, geralmente designados de cartolinas, podem ser de apenas uma camada, no entanto, a estrutura multicamada é adotada mesmo para os cartões mais finos. São normalmente utilizados para caixas tipo cartucho e *multipacks*. Os cartões mais grossos podem ter mais do que 1000 µm. Estes são utilizados para fabricação de caixas e bandejas.

A estrutura multicamada obtém-se numa máquina de Fourdrinier com várias caixas de entrada ou numa máquina com vários cilindros.

A classificação dos cartões baseia-se no número de camadas que compõem a estrutura (simplex ou monoplex, duplex, triplex, etc.), tipo de pasta de cada camada (branqueada ou não, pasta química ou mecânica, virgem ou reciclada) e tipo de tratamento da superfície.

Num cartão duplex, a camada interna que entra em contato com o produto é denominada por suporte e a camada externa por forro. No cartão triplex a camada do centro é designada intermediária. Cartões com forro de pasta branqueada são de boa aparência e apresentam boa superfície de impressão. A pasta kraft é utilizada quando é necessário aumentar a resistência mecânica,

como por exemplo, nos *multipacks*. A pasta reciclada é incorporada ao cartão para reduzir o custo, mas não deve estar em contato direto com os produtos alimentícios.

Papelão

O papelão é constituído por uma estrutura formada por um ou mais elementos ondulados (miolos), fixados a um ou mais elementos planos (capas) por meio de um adesivo aplicado no topo das ondas (Tabela 5.1.). As capas podem ser em papel com uma grande quantidade de fibras virgens e, por isso, de elevada resistência ao arrebentamento, ou em papel de menor qualidade com maior percentagem de fibra reciclada, ou seja, com propriedades mecânicas inferiores. Os miolos podem ser de papel semi-químico ou reciclado. O adesivo desta estrutura é uma cola do tipo aquosa à base de amido adicionada de soda cáustica e bórax.

Tabela 5.1 Características do papelão

Elementos	Efeito	Material
Capa	Confere rigidez Resistência ao arrebentamento Resistência ao rasgamento Suporte de impressão	Fibra virgem Fibra reciclada
Miolo	Resistência ao esmagamento Resistência ao choque Resistência à compressão	Semi-químico (fibra virgem) Reciclado
Cola	Assegura a estabilidade da estrutura	Base de amido

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

O papelão de face simples é constituído por uma capa e por um miolo representando o módulo elementar de toda a tecnologia de fabricação. A junção de uma segunda capa origina o papelão de parede simples. A junção a este papelão de um segundo módulo dá origem ao papelão de parede dupla constituído por dois elementos ondulados ou miolos e três elementos planos ou capas. Seguindo a mesma linha, o papelão de parede tripla resulta da associação do papelão de parede dupla e um terceiro módulo.

Existem vários tipos de miolos que podem ser aplicados mediante as características de resistência, rigidez e qualidade de impressão desejadas (Tabela 5.2.).

Tabela 5.2 Configuração do miolo

Tipo	Nº/m	Altura (mm)	Aplicação
A	110	4,70	Ótimo acolchoamento, resistência à compressão
B	154	2,46	Melhor qualidade para impressão
C	128	3,61	Balanço entre as qualidades dos tipos A e B
E	315	1,14	Caixas <i>display</i> , com pouco peso

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

5.3 INTERAÇÃO EMBALAGEM/ALIMENTO

Tal como nos outros materiais, substâncias usadas na fabricação dos papéis e cartões, como aditivos diversos, quer de processo quer para conferir determinadas características aos papéis, tintas de impressão, colas e adesivos, etc. podem migrar para os produtos. Por isso, os papéis e cartões para contato com alimentos devem ser fabricados apenas com substâncias aprovadas para este fim, e não devem ceder, ou deixar migrar, substâncias que provoquem uma alteração organoléptica no produto, ou que sejam prejudiciais para a saúde humana. Existem regulamentação e legislação sobre os papéis e cartões para contato com alimentos, indicando quais as substâncias são autorizadas na fabricação e quais que devem ser controladas (ANVISA, 1999).

Esta questão é mais crítica no caso de papéis e cartões fabricados com fibra reciclada, de natureza e proveniência diversas, e conseqüentemente incluir contaminantes variados.

5.4 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Papel e cartão

A fabricação do papel compreende diferentes etapas, das quais se destacam a desagregação das fibras, a preparação da pasta, a fabricação do papel, os acabamentos da folha e a transformação (Tabela 5.3.).

Tabela 5.3 Operações unitárias da indústria de papel e cartão

Desagregação	Seleção das matérias-primas Liberação das fibras
Preparação	Modificação da fibras Preparação da massa
Fabricação	Pré-formação Formação da folha bruta
Acabamentos	Acabamentos superficiais Acabamentos físicos
Transformação	Impressão Ondulação Embalagem Corte em formatos

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

Fibras

A primeira etapa na fabricação de papel consiste essencialmente na separação das fibras da madeira por métodos mecânicos, químicos ou semi-químicos.

O **método mecânico** consiste em pressionar a madeira num triturador, utilizando-se água como veículo de transporte da matéria moída. O rendimento deste método é muito elevado (90-95%), embora a fibra fique bastante danificada e seja obtida uma pasta de baixa pureza. Este processo é utilizado para papéis que não exigem muita resistência e brilho, como o papel de jornal.

O **método químico** permite fazer a remoção seletiva de lignina e carboidratos, produzindo pasta de alta qualidade. É feito um cozimento da madeira com reagentes químicos obtendo-se uma pasta de elevada pureza com a fibra pouco danificada. O rendimento deste método é inferior ao obtido com o método mecânico (40-65%). Os produtos químicos mais utilizados são a soda cáustica (**processo soda**) geralmente usada para madeiras duras produzindo pasta clara e de textura fina, mistura de soda e sulfato de sódio (**processo sulfato ou kraft**) onde a pasta obtida é muito resistente, acastanhada e de difícil branqueamento e bissulfito de cálcio ou magnésio (**processo ácido**), geralmente usado para madeira de espécies do tipo do pinheiro produzindo pasta clara de resistência superior à do processo soda, porém inferior à do kraft. Este método químico é aplicado na fabricação de papel para embalagens, sacos e outros.

Os chamados **processos semi-químicos** têm rendimentos da ordem de 65 a 85% e incluem um tratamento inicial para amaciar a madeira. Em seguida, a madeira é reduzida mecanicamente ao estado fibroso obtendo-se uma pasta e fibras com características intermediárias. Este processo serve para aplicações onde a resistência, a rigidez e a coloração não são tão necessárias como por exemplo, o miolo do papelão.

Preparação da pasta

A pasta e/ou os papéis recuperados são desfibrados nos *hidrapulpers* mediante um sistema de agitação e diluição em água. Nos *hidrapulpers* são normalmente adicionados os aditivos adequados ao processo de fabricação.

Em seguida, a pasta é branqueada (tratamento com agentes químicos) para obtenção de papel branco. A pasta é submetida a um processo de seleção para eliminar substâncias e materiais estranhos. Logo a seguir passa por um processo de batimento e refinação (ação mecânica que melhora as características de resistência) obtendo-se uma pasta refinada de grau médio que depende do produto a ser fabricado. Depois do ajuste rápido do grau de refinação, a pasta passa por um processo de aditivação (ação físico-química) e a seguir é introduzida numa caixa, onde é homogenizada e misturada com água para alimentação do processo de obtenção do papel.

Fabricação do papel

A pasta é depositada sobre uma tela contínua onde a água é drenada permitindo a deposição de uma camada de fibras e a pré-formação da folha de papel é feita na máquina de Fourdrinier ou na máquina de cilindros. Na **máquina de Fourdrinier**, o papel ou o cartão obtido é mais uniforme na orientação das fibras nas duas direções, nas quais não diferem muito quanto às propriedades físicas. Em estruturas multicamadas, uma camada base de pasta é formada na primeira mesa plana e é parcialmente seca. Em seguida, uma segunda caixa de entrada deposita uma outra camada. Uma terceira camada pode ser adicionada e assim sucessivamente.

Na **máquina de cilindros**, a pasta é colocada num tanque onde se encontra um cilindro em rotação. As fibras vão-se depositando na superfície do cilindro

que, por sua vez, as transfere para uma tela que se move sobre a superfície superior do cilindro. Nessa tela é promovida a secagem da pasta. Em estruturas multicamadas para cartões, várias camadas podem ser adicionadas durante o processo de remoção de água. Este tipo de máquina tem um baixo custo de produção e a possibilidade de fácil ajuste da combinação das gramaturas. Sua velocidade de fabricação é limitada e as fibras tendem a uma maior orientação na direção de fabricação o que poderá resultar em características não uniformes das propriedades físicas entre as duas direções.

À saída da máquina de pré-formação, as fibras estão distribuídas de uma forma homogênea e orientada. Em seguida, mais água é retirada por prensagem. À saída da prensa, o papel entra na seção da secagem, composta por várias baterias de cilindros aquecidos internamente com vapor. Depois desta operação, o papel pode receber vários tratamentos, com o objetivo de melhorar as suas características superficiais.

Acabamento

O papel é submetido a operações de acabamento que dependem da sua utilização final. O acabamento monolúcido caracterizado pela calandragem da pasta é especialmente indicado para a laminação, impressão ou revestimento com camadas de polietileno, parafinas, vernizes ou emulsões. Quanto maior a pressão na calandragem mais lisa será a superfície do papel ou do cartão. No acabamento couché, o papel recebe um tratamento especial de revestimento branco à base de caulim e outros pigmentos, conferindo à sua superfície lisura e brilho. O papel e o cartão com acabamento couché é particularmente indicado para uma boa impressão conferindo à embalagem excelente aspecto visual.

Transformação

Nos processos de transformação podem incluir a impressão, laminação e/ou aplicação de revestimentos, por exemplo, com camadas de PE, parafinas, vernizes ou emulsões. Estes processos servem para conferir propriedades especiais aos materiais celulósicos tais como melhorar a resistência à umidade, resistência à gorduras, barreira ao vapor de água e soldabilidade. Outros processos como obtenção das ondulações para fabricação de papelão, de sacos e

outras embalagens, também devem ser referidos na fase de transformação de materiais celulósicos.

A transformação da cartolina em caixas envolve vários passos. As caixas são normalmente impressas e quando são necessárias propriedades de barreira, a cartolina é revestida com ceras ou laminada com polietileno que permite adicionalmente o fechamento da caixa por termossoldagem. As caixas são fabricadas por corte e vincagem do cartão, sendo fornecidas ao embalador espalmadas, por vezes com a junta lateral colada, prontas para montar.

Papelão

O processo de fabricação do papelão é executado em uma máquina onduladeira e conta com dois elementos básicos, além do papel, que são o vapor e a cola. Imediatamente após o papel-miolo passar no cilindro ondulado é aplicada cola no topo das ondas e efetuada a colagem de uma das capas. A capa e o miolo são pressionados entre o rolo compressor e o rolo ondulado inferior para completar a colagem. A pressão aplicada nesta operação confere ao papel-capas marcas, sendo desta forma utilizado como capa interna. Este problema é mais crítico para capas de menores espessuras.

Após a fabricação de papelão ondulado de face simples, este caminha até chegar a um subconjunto de chapas quentes, onde encontra o papel-capas externa, que vem do outro subconjunto chamado forradeira.

A pressão exercida para a colagem da capa ao miolo nesta etapa, deve ser a mínima possível, uma vez que pressões excessivas podem amassar as ondas, afetando seriamente a qualidade da estrutura do papelão ondulado.

Devido ao processo de colagem ser diferente para esta capa, esta apresenta-se sem marcas sendo mais adequada para o lado externo da caixa de papelão ondulado.

5.5 TIPOS DE EMBALAGENS

As aplicações do papel na área da embalagem são como invólucros, laminados com plástico e alumínio, sacos e rótulos. Os sacos podem ser termossoldáveis (em estrutura multicamada com um elemento termossoldante) ou

não termosoldáveis quando, por não conterem um elemento termosoldante, são formados e fechados por um processo de colagem, costura ou fita adesiva.

O cartão e a cartolina são aplicados em caixas simples ou tipo *display*, *multipacks*, embalagens para líquidos (estruturas laminadas com plástico e alumínio), embalagens *blister* e latas compostas.

5.6 PROJETO E CONSTRUÇÃO DA EMBALAGEM

No projeto da embalagem devem ser consideradas as **dimensões, peso, forma e tipo de produto** a acondicionar, se há contato entre a embalagem e o alimento. A caixa deve igualmente ser projetada para a sua **função de venda** e prever as **operações de enchimento**.

As dimensões das caixas são convencionalmente apresentadas na forma comprimento x largura x profundidade em que o comprimento e a largura são sempre as dimensões de abertura da caixa.

No projeto de caixas de papelão deve ser dada especial atenção à **seleção do formato**, levando em consideração o fim a que a embalagem se destina. Para que haja garantia da adequabilidade da caixa ao produto é também necessário que seja feita uma **otimização geométrica**, tendo em vista principalmente as dimensões interiores. Devem ainda ser considerados aspectos como a altura do espaço livre e as resistências física e mecânica.

A construção das embalagens de papel e cartão envolve basicamente os processos de impressão, corte, vincagem e montagem.

O projeto e a construção das caixas devem igualmente prevenir a resistência ao empilhamento. A opção por diferentes tipos de empilhamento deverá considerar a estabilidade e o alinhamento da carga de forma que seja mantida a integridade física e mecânica das caixas.

5.7 CONTROLE DE QUALIDADE

Os ensaios em materiais celulósicos devem ser realizados sob condições normalizadas de temperatura e umidade relativa ($23 \pm 1^\circ\text{C}$ e $50 \pm 2\%$ UR) e

as amostras devem ser condicionadas, ou seja, com um teor de umidade em equilíbrio com atmosfera de ensaio.

Outro aspecto a ser levado em consideração é a direção de fabricação. Conforme a orientação das fibras (transversal ou longitudinal), o papel apresenta diferentes características de resistência mecânica.

Papel e cartão

As especificações mais importantes para papel e cartão estão indicadas na Tabela 5.4, conforme Ardito; Garcia; Garcia (1988).

Tabela 5.4 Especificações para papel e cartão

Especificações	Ensaio
Estruturais	Gramatura
	Espessura
Relativas à umidade	Absorção de água (Ensaio de Cobb)
	% de umidade
	Ascensão capilar
Mecânicas	Resistência ao arrebentamento
	Resistência ao rasgamento
	Propriedades de tração
Superfície	Lisura
	Porosidade
	Brancura e opacidade

Fonte: Ardito, Garcia e Garcia (1988).

Determinação da gramatura

A gramatura é a propriedade individual do papel que assume maior importância, pois influencia a maioria das outras propriedades.

Trata-se da relação entre o peso de uma amostra e a sua área superficial (g/m^2). O processo consiste na determinação da área das amostras e da sua massa, seguida do cálculo da gramatura em g/m^2 .

Determinação da espessura

Quando associada à gramatura, a determinação da espessura adquire um significado importante já que permite obter a densidade do papel. Portanto, para uma mesma pasta é possível por meio da espessura determinar qual foi o

grau de calandragem aplicado ao papel e para uma mesma calandragem qual a densidade de pasta utilizada.

A medida da espessura é especialmente importante na transformação do papel já que vai influenciar a qualidade de impressão e da formação de embalagens.

Entende-se por espessura, a distância entre as duas faces do papel ou cartão medida na perpendicular. A determinação da espessura pode ser feita numa folha simples ou num conjunto de folhas. A medição é feita com um micrômetro específico de alta precisão.

Absorção de água (ensaio de Cobb)

A absorção de água depende fundamentalmente da qualidade da celulose utilizada, do seu processo de obtenção e do tipo de revestimento aplicado. Neste ensaio é determinada a quantidade de água absorvida pelo papel, cartão e papelão, em condições normalizadas.

Determina-se a quantidade de água que é absorvida à temperatura de 23°C e durante um determinado tempo de ensaio. A área de teste é normalizada a 100 cm² (g/m²).

Determinação do teor de umidade

Este parâmetro permite avaliar a qualidade da pasta utilizada na fabricação da embalagem, uma vez que, quando devidamente condicionada, a percentagem de umidade do material celulósico varia de acordo com a qualidade da pasta utilizada na sua fabricação e, portanto, resultados diferentes do normal indicam uma pasta de melhor ou pior qualidade.

Determina-se a diferença de peso da amostra antes e após secagem até peso constante, exprimindo-se em percentagem.

A percentagem de umidade de um papel em equilíbrio está em torno de 5 a 10%. Valores fora deste intervalo diminuem a resistência mecânica do papel ou cartão.

Resistência ao arrebentamento

Este parâmetro fornece a indicação da robustez do papel e é influenciado pela resistência à tração e ao rasgamento.

Este ensaio consiste na determinação da resistência ao arrebentamento do papel submetido a uma pressão hidroestática crescente. A ruptura é provocada por uma membrana elástica circular que, por bombeamento de um fluido hidráulico, vai dilatando até à ruptura da amostra. A resistência ao arrebentamento da amostra é o valor máximo da pressão hidráulica aplicada.

Resistência ao rasgamento

A resistência ao rasgamento é feita pela determinação da força necessária para rasgar um certo comprimento de papel, medida em aparelho Elmendorf. Normalmente, uma leitura é dada em gramas e tem importância no controle de qualidade de papéis destinados à fabricação de sacos.

Resistência à tração

A resistência à tração é uma propriedade básica do papel que está relacionada com a maquinabilidade do material e também com o desempenho mecânico das embalagens. Quanto à maquinabilidade, a resistência à tração indica a probabilidade de ruptura quando o papel é submetido à tensão exercida pelos cilindros durante os processo de conversão (impressão, laminação, etc.). Esta propriedade também demonstra a adequação do papel para diversas aplicações tais como invólucros, sacos, fitas adesivas, etc., que implicam uma tração direta no material. O desempenho mecânico de embalagens como sacos, fardos e sacos multifolhados durante o manuseio e em situações de choque (por exemplo na queda livre) também dependem da resistência à tração do material de embalagem.

A resistência à tração depende de vários fatores como o tipo de fibra, processo de obtenção da pasta e da folha, gramatura da folha, direção de ensaio e teor de umidade do papel. A resistência à tração é diretamente proporcional à gramatura e inversamente proporcional à percentagem de umidade. Por outro lado, é maior na direção de fabricação devido ao alinhamento das fibras nessa direção.

Neste ensaio determina-se a resistência à ruptura, alongamento e energia absorvida durante a ruptura por tração de papéis e cartões. O método de ensaio consiste no alongamento de uma amostra com dimensões específicas

a uma velocidade constante, com medição da força que a amostra exerce à medida que é tracionada.

Determinação da lisura

A lisura e a rugosidade são características que representam o acabamento superficial do papel, o que afeta a sua aparência e qualidade de impressão. Quanto maior a rugosidade mais irregular é a superfície do papel, que ocorre devido a marcas da tela, pregas, matérias estranhas, espaços entre fibras, danos mecânicos e outras imperfeições causadas por agrupamentos de fibras.

A rugosidade do papel ou do cartão é definida como sendo o volume de ar que, sob determinado diferencial de pressão, passa por unidade de tempo, entre a superfície de uma amostra e um anel de metal perfeitamente liso colocado sobre a amostra, exercendo uma determinada pressão. Este teste baseia-se no método de Bendtsen, ou seja, no princípio da perda de ar através da superfície rugosa de uma determinada amostra.

Porosidade

A medição da porosidade é utilizada para avaliar a formação do papel e para prever a capacidade de absorção de tintas e adesivos. Por estes motivos, ela é um parâmetro importante para a avaliação da qualidade de papéis e cartões que se destinam à impressão, revestimento e laminação. Este parâmetro também é importante para papéis que vão ser convertidos em sacos de enchimento automático, pois devem apresentar porosidade tal que evite que o saco estoure durante o enchimento.

Um dos métodos baseia-se na medição do tempo necessário para que um certo volume de ar atravesse, sob pressão constante, uma determinada área de papel.

A resistência à passagem de ar é proporcional à espessura e à gramatura. Com a calandragem, o papel sofre uma diminuição da porosidade, pois as suas fibras tendem a assentar mais, fechando os poros. A utilização de fibras curtas na massa também proporciona uma redução na porosidade.

Brancura e opacidade

Estas são as principais propriedades óticas dos papéis. A brancura do papel é obtida a partir de processos de branqueamento que, além de permitirem a obtenção de uma celulose mais estável, contribuem para a melhoria das características de impressão. O papel é branco quando reflete com perfeição todas as cores. Quanto mais branco o papel, maior será a fidelidade da cor.

A opacidade limita a quantidade de luz que atravessa o papel. O papel deve apresentar a maior opacidade possível de forma a evitar problemas relacionados com a legibilidade de textos e alterações das cores nas imagens coincidentes de frente e verso da folha.

Papelão

As especificações estruturais e relativas à umidade e ainda à resistência ao arrebentamento são comuns ao papel e ao cartão e, por isso, não é necessário nova abordagem (NOLETTO et al., 2010). As especificações do papelão estão descritas na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 Especificações do papelão

Especificações	Ensaios
Estruturais	Gramatura
	Espessura
Relativas à umidade	Absorção de água (Ensaio de <i>Cobb</i>)
	% de umidade
Mecânicas	Resistência ao arrebentamento
	Compressão vertical em coluna
	Compressão plana
	Perfuração dinâmica
	Resistência à compressão de caixas

Fonte: Noletto et al. (2010).

Compressão vertical em coluna

Esta característica é muito utilizada na especificação de caixas, porque está relacionada com a resistência ao empilhamento e à compressão de uma caixa de papelão.

A amostra de papelão de forma retangular é colocada entre dois pratos de compressão, com as ondulações na perpendicular em relação à superfície dos pratos. Em seguida é aplicada uma força de compressão até ao colapso da amostra.

Compressão plana

Neste ensaio é medida a força necessária para provocar o colapso das ondas do miolo, quando comprimidas entre duas placas paralelas, com a força de compressão aplicada perpendicularmente à sua superfície. Embora não haja uma correlação direta com a resistência à compressão de caixas, este ensaio avalia alguns fatores envolvidos na fabricação do papelão, bem como o material utilizado na fabricação dos miolos.

A amostra de forma circular é comprimida, tal como no caso anterior, entre dois pratos de compressão. O sentido das ondulações é, no entanto, diferente, provocando o seu esmagamento. A compressão plana corresponde ao valor da carga máxima aplicada (kPa).

Valores baixos de resistência ao esmagamento significam que pode ter ocorrido uma má formação dos miolos ou que o miolos são de baixa qualidade ou ainda que houve danos nos miolos após fabricação.

Resistência à perfuração

A resistência à perfuração é definida como a energia necessária para perfurar uma placa com um dispositivo de perfuração normalizado.

É uma característica importante por se esperar que as caixas de papelão suportem impactos externos e, dependendo do tipo do produto embalado, impacto e pressões internos.

Resistência à compressão de caixas

A resistência à compressão, na grande maioria das aplicações, é o fator mais importante no desempenho de caixas de papelão. Todos os outros ensaios físicos que visam, através da manutenção da qualidade e do tipo de papéis utilizado, manter o desempenho da caixa durante o empilhamento no armazenamento e transporte de produtos alimentícios, são realizados em caixa

não acabada. Isso deve-se ao fato de ser mais fácil, rápido e barato controlar a qualidade do papel através de um ou mais ensaios físicos do que por meio da compressão da caixa acabada, devido principalmente, ao custo e operações dos equipamentos de compressão.

O principal objetivo deste ensaio é simular o empilhamento das caixas de papelão em armazém. Neste ensaio, coloca-se a caixa em prova (com ou sem conteúdo) numa prensa munida de dois pratos, um fixo e outro móvel, submetido a uma velocidade constante. O movimento exercido pelo prato superior da prensa provoca uma carga crescente à qual a caixa deve resistir até atingir o ponto de ruptura. Neste momento, é registrada a resistência máxima oposta pela caixa à pressão exercida.

A leitura deste ensaio faz-se através de um gráfico no qual se pode observar a correspondência entre a resistência e a deformação da caixa de papelão.

O equipamento usado na realização do ensaio permite determinar a resistência à compressão e a resistência ao empilhamento. No primeiro caso é aplicada uma carga até se verificar o colapso da embalagem ou até serem atingidos valores de deslocamento ou força previamente estabelecidos. Na determinação da resistência ao empilhamento é aplicada uma força previamente determinada, durante um tempo pré-definido ou até se dar o colapso da embalagem.

5.8 EMBALAGEM E AMBIENTE

O destino final do papel velho e do cartão pode ser a reciclagem, a incineração para recuperação energética, a compostagem ou a deposição em aterro.

No processo de reciclagem, o papel é separado do lixo e enfardado em prensas, sendo, então, encaminhado aos aparistas, que classificam as aparas e vendem para as fábricas de papel como matéria-prima. Ao chegar à fábrica, o papel entra em uma espécie de grande liquidificador, chamado *hidrapulper*, que tem a forma de um tanque cilíndrico e um rotor giratório ao fundo. O equipamento desagrega o papel, misturado com água, formando uma pasta de celulose. Uma peneira abaixo do rotor não deixa passar impurezas, como fibras, pedaços de papel não desagregado, arames e plásticos. Em seguida, são aplicados compostos químicos (água e soda cáustica) para retirar as tintas.

Uma depuração mais fina, feita pelo equipamento *centre-cleaners*, separa a areia existente na pasta. Discos refinadores abrem um pouco mais as fibras de celulose, melhorando a ligação entre elas. Finalmente, a pasta é branqueada com compostos de cloro ou peróxido, seguindo para as máquinas que fabricam papel.

As fibras de papel/cartão podem ser recicladas, em média, até cinco vezes. O uso de fibra recuperada na fabricação de papel pode conduzir a uma economia de 75% em termos energéticos e 50% da água de processo, bem como a uma redução da poluição atmosférica e recursos naturais, como a madeira. Para cada tonelada de papel reciclado evita-se o corte de 15 a 20 árvores de médio porte.

A grande maioria do papel ou cartão utilizado contém fibras recuperadas. No entanto, alguns produtos admitem uma maior quantidade de fibra reciclada do que outros. Por exemplo, as caixas de cartolina para embalagem secundária, como as de cereais ou o papel para ondular e fabricar papelão contém sempre uma porcentagem elevada de fibra recuperada, enquanto que o papel para escrita é mais exigente em termos de fibra virgem. O papel reciclado para embalagem, bem como o plástico, não é normalmente usado para contato direto com alimentos.

A reciclagem dos materiais multicamada dos sistemas de cartão para líquidos é também possível. A situação mais frequente é a reciclagem sem separação prévia dos diferentes componentes. O material é triturado e prensado para utilizações diversas como placas isoladoras e “madeira sintética”. O material obtido está registrado com a marca *Tectan*[®].

O processo de reciclagem com separação do material nos seus componentes é um processo mais recente e ainda em desenvolvimento. As embalagens depois de separadas de outros resíduos são fragmentadas e a camada de cartão (fibra celulósica) é separada do polietileno e alumínio num desintegrador, destinando-se à fabricação de papel. O alumínio é recuperado da fração alumínio/polietileno numa caldeira onde é feita a combustão do polietileno. O calor de combustão é aproveitado nas operações de fabricação de papel e o alumínio é recuperado para aplicações industriais.

A reciclagem do papel ondulado é igual à do papel de escritório, porém não é preciso aplicar técnicas de limpeza fina, retirada de tintas, branqueamento do material e lavagens especiais. Com as fibras de melhor qualidade faz-se a capa de papel que é colocada na superfície externa da caixa de papelão. As de qualidade inferior são usadas na fabricação do forro que reveste a parte interna e as piores servem para produzir o miolo ondulado, por meio de uma máquina.

A reciclagem do papel ondulado é limitada devido à contaminação com cera, plástico, manchas de óleo, terra, pedaços de madeira, barbantes, cordas, metais, vidros, entre outros. Fator igualmente limitante é a mistura com a chamada caixa ondulada amarela, composta por fibras recicladas que perderam a resistência original. Materiais contaminantes não podem exceder 1% do volume e a perda total no reprocessamento não deve passar de 5%. A umidade em excesso altera as condições do papel, dificultando sua reciclagem.

6

EMBALAGENS FLEXÍVEIS

6.1 INTRODUÇÃO

Os flexíveis são embalagens, cujos formatos dependem da forma física do produto acondicionado em seu interior. São feitos de filmes plásticos finos e flexíveis e têm a capacidade de embalar e selar hermeticamente os produtos por meio de máquinas de envase especiais. Os materiais flexíveis devem ter propriedades mecânicas especiais, como a característica de selagem por pressão fria ou quente, protegendo os produtos de agentes internos e externos. Assim, estes materiais se destacam pela flexibilidade que oferecem ao dimensionamento de suas propriedades e pela relação otimizada de massa de embalagem/quantidade de produto acondicionado.

As embalagens flexíveis podem ser **monocamadas**, que são embalagens de um só tipo de material impresso ou não; e **multicamadas**, que são embalagens compostas por dois ou mais tipos de materiais para aproveitar as características de cada um.

As embalagens multicamadas têm por objetivo a integração de propriedades de diferentes materiais termoplásticos em uma única embalagem, de modo a atender as exigências de conservação, de proteção, de visual e custo do produto acondicionado, entre outras, como as propriedades relativas a selagem, termoformação e impressão.

As embalagens multicamadas têm encontrado excelente mercado na indústria de carnes e derivados, em razão da sua potencialidade de conjugar propriedades como transparência ou opacidade, resistência mecânica, rigidez ou flexibilidade, como também barreira contra gases e umidade. A composição das camadas varia de acordo com o tipo de produto a ser embalado, necessidade de barreira e custo do material, bem como das combinações de propriedades e do nível de eficiência desejados. O crescimento do uso de multicamadas na indústria de carnes é consequência também da possibilidade de se produzir embalagens eficientes com o mínimo de material e com menor peso possível.

6.2 COMPONENTES DA LAMINAÇÃO

A proteção dos alimentos por meio de embalagens flexíveis requer o conhecimento das propriedades intrínsecas dos mesmos e também das características do ambiente em que ocorrerá a comercialização, fatores extrínsecos. De posse dessas informações será possível determinar exatamente qual tipo de material poderá ser utilizado, uma vez que existem diferenças sensíveis entre eles.

A princípio, nenhum filme flexível destinado ao acondicionamento de produtos alimentícios possui barreira total à passagem de oxigênio, dióxido de carbono, nitrogênio, luz e vapor de água. Cada material, em função de suas características, constituirá numa barreira específica a cada um dos fatores extrínsecos.

Quando dois ou mais materiais são combinados, eles não somente contribuem para a estrutura formada com as suas características próprias, como também podem conferir benefícios adicionais como maiores durabilidade, rigidez e maquinabilidade.

Pode-se dizer ainda que as laminações têm, sob certo aspecto, um efeito sinérgico, ou seja, o comportamento da estrutura formada é maior que a soma teórica dos efeitos de cada um dos componentes atuando isoladamente.

Os materiais componentes de uma laminação podem ser divididos em duas classes principais: substratos, constituídos por papel, celofane, polímeros sintéticos e folhas de alumínio; e a classe dos produtos aplicados, depositados sobre os substratos por meio de processos específicos. Destacam-se dentre eles, as tintas, os vernizes, os *hot melts*, os *primers*, os adesivos, as resinas plásticas, as dispersões aquosas e outros.

O papel é ainda um dos mais importantes componentes das laminações, em função da rigidez que confere à estrutura final. Não possui boas propriedades de barreira, no entanto, é um substrato de menor custo.

O celofane tem seu uso em laminados devido ao brilho, à baixa permeabilidade ao oxigênio e também à rigidez da estrutura resultante. Nos últimos anos, têm-se notado um certo declínio no uso desse material, substituído principalmente pelo polipropileno biorientado.

Dentre os polímeros sintéticos mais empregados, citam-se o polietileno e os polímeros de estireno. Tem havido um aumento no uso dos filmes orientados (polipropileno e poliéster) em razão das propriedades de barreira e de resistência mecânica superiores àqueles não orientados (polietileno e copolímeros, náilon, polipropileno e policarbonato).

A produção de alumínio é feita a partir de lingotes com alta pureza, que são fundidos e transformados em placas. Estas são laminadas a quente e a frio até que sejam obtidas espessuras variando de 6 a 150 μm . Ao final, a folha é recozida para eliminar os resíduos do óleo de laminação estando apta para as operações de colagem, impressão e outras. O metal é obtido nas seguintes formas, de acordo com a espessura: lâminas ($> 6,351 \text{ mm}$), chapas (0,151-6,350 mm) e folhas ($< 0,150 \text{ mm}$). É atóxico, inodoro e insípido, podendo ser usado em contato com a maioria dos alimentos e produtos farmacêuticos.

Na forma de folha caracteriza-se pela baixa permeabilidade a gases, vapor de água e odores, tornando-se, portanto, um material excelente para uso em laminados. Nas espessuras finas necessita recobrimento com outros materiais para fechar os microfuros que, com bastante frequência se mostram presentes.

O alumínio tem boa estabilidade dimensional e excelente resistência a óleos e gorduras, tanto em altas como em baixas temperaturas. É bom condutor de calor, o que permite o aquecimento e resfriamento rápidos, podendo ser, portanto, utilizado na composição de embalagens flexíveis pasteurizáveis ou esterilizáveis.

A folha de alumínio é de aparência brilhante permitindo a impressão com efeitos que não são obtidos com outros materiais. Porém, apresenta algumas limitações. Possui fraca resistência ao rasgamento, fato contornado pela laminação com papel. Além disso, é atacado por álcalis e certos ácidos fortes. Não é termosselante, necessitando, para tanto, de revestimentos especiais. A título de ilustração, a Tabela 6.1. apresenta as principais características de alguns substratos empregados na laminação.

Tabela 6.1 Principais características de alguns substratos usados na laminação

Substrato	Características
Papel comum	Baixo custo, rigidez, resistência mecânica.
Papel glassine	Barreira a passagem de gorduras e aroma.
Celofane	Transparência, brilho, rigidez, boa maquinabilidade.
Polietileno	Baixo custo, baixa TPVA, termossoldável.
Polipropileno	Rigidez, baixa TPVA, brilho.
PVC	Termossoldável, boa resistência a gorduras.
Saran	Barreira a gases e umidade.
Poliéster	Resistência à tração, resistente à variações na temperatura.
Náilon	Baixa permeabilidade a gases.
Alumínio	Boa aparência, baixa permeabilidade a gases e ao vapor de água.

TPVA, taxa de permeabilidade ao vapor de água

Fonte: Bureau e Multon (1995).

Os laminados podem ser oferecidos para comercialização nas formas de bobinas, sacos já formados, *pouches* ou cortados para atender às linhas manuais ou semi-automáticas.

O projeto e especificação de laminados destinados ao acondicionamento de produtos alimentícios deverão considerar a proteção oferecida ao alimento, o custo, a maquinabilidade e os aspectos de *marketing*.

É fundamental enfatizar que a indústria de embalagem, ao selecionar este ou aquele material laminado, deve ter as reais necessidades de proteção, considerando inclusive as condições de comercialização, de modo a impedir dimensionamentos onerosos, porque representam perda eventual de alimentos e gastos excessivos com material de embalagem de alto custo de produção.

6.3 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas estão associadas ao desempenho mecânico dos materiais de embalagens nos equipamentos de conversão, nas máquinas de acondicionamento e frente às inúmeras solicitações dos ambientes de estocagem e distribuição. As principais propriedades mecânicas avaliadas em embalagens flexíveis para produtos são as propriedades de tração, as resistências à delaminação, ao rasgamento, ao impacto em queda livre, à perfuração e à termossoldagem.

Propriedades de resistência química

São, em geral, dadas em função de cada polímero e do contato deste material com o agente químico, esteja ele presente no produto embalado, no processamento ou no ambiente em que o produto é mantido.

Propriedades de barreira

Mostram a capacidade de uma embalagem resistir à absorção ou à evaporação de gases e vapores, resistir à permeação de lipídios e à passagem de luz. As propriedades de barreira de uma embalagem estão intimamente relacionadas com a estabilidade química, física, sensorial, microbiológica e biológica dos produtos.

As principais barreiras e permeabilidades estudadas para as embalagens flexíveis são taxa de permeabilidade ao vapor de água, ao gás oxigênio e ao gás carbônico; transmissão de luz; permeabilidade a gorduras e a vapores orgânicos.

6.4 INTERAÇÃO EMBALAGEM/ALIMENTO

Os processos de transferência de massa em sistemas de embalagem normalmente referem-se aos fenômenos de permeação, migração e absorção. A permeação é resultado de dois mecanismos básicos: difusão de moléculas através da parede do filme, e absorção/dessorção para o meio interno/externo. Migração é a liberação de componentes da embalagem para o produto embalado.

Posteriormente, a absorção de componentes originalmente contidos no produto pelo material da embalagem passou a chamar a atenção. Estes componentes do produto, quando absorvidos pela embalagem podem causar perda de aroma, ou de barreira, alteração nas propriedades mecânicas, resultando em uma redução da qualidade do produto embalado.

6.5 PROCESSOS DE LAMINAÇÃO

Laminar significa unir, colar dois materiais ou substratos utilizando para tanto parafina, adesivos ou extrusão.

Laminação com parafina

A laminação com parafina (*hot melt*) encontra grande aplicação nos casos em que se deseja, sob certa forma, conferir propriedades adicionais de proteção ao laminado. Citam-se como exemplo o celofane/*hot melt*/celofane. Esse processo utiliza equipamento bastante simples e consiste na aplicação do *hot melt* no substrato 1, união com o substrato 2 e posteriormente, por contato do laminado com cilindro refrigerado, o adesivo se solidifica. Pode ser empregado também para simples revestimentos de materiais flexíveis de embalagem.

Laminação via úmida

Também conhecida por *wet bonding*, consiste na aplicação de adesivo num dos substratos a colar, ocorrendo a união antes do adesivo. É fundamental, nesse processo, que um dos substratos seja poroso, como o papel, uma vez que a evaporação do solvente se dará através dele. Os adesivos são geralmente à base de silicatos, dextrina, dentre outros e utilizam água como solvente. Os principais laminados obtidos por esse processo são papel/papel, papel/alumínio e outros.

Laminação via seca

A laminação a seco é efetuada nos casos em que os dois substratos a laminar não são porosos. Nessa circunstância, a cola é aplicada num deles, e o solvente é evaporado antes do contato com o outro material. É importante salientar que os adesivos são especialmente formulados para essa finalidade e necessitam de um determinado tempo pós-processo para que a cura ocorra adequadamente. Como exemplo deste tipo de laminado pode ser citado o alumínio/filmes plásticos/celofane.

Laminação por extrusão

A laminação por extrusão, utilizando PE, é amplamente empregada em embalagem de alimentos. O PE fundido sai da extrusora e é aplicado entre dois substratos. Após a solidificação, a poliolefina atuará como adesivo.

Quando o polietileno é aplicado sobre substratos não porosos, como o alumínio, há a necessidade de se revestir este último com uma fina camada

de substância altamente polar, denominada *primer*, que facilita a aderência do polietileno. Alguns exemplos seriam o celofane/PE/celofane, celofane/PE/alumínio e celofane/PE/papel.

A laminação pode ser feita ainda por co-extrusão, quando dois termoplásticos são fundidos, extrusados e aplicados na formação de um laminado. Em alguns casos, a co-extrusão num simples filme substitui, pelo menor custo, a laminação propriamente dita.

6.6 METALIZAÇÃO A VÁCUO

O primeiro uso da metalização data da década de 60, época em que o brilho e a alta reflexibilidade do material eram subsídios importantíssimos e de grande uso em embalagens de produtos cosméticos. Os materiais metalizados em maior escala nessa época eram PVC, papel, celofane e poliéster.

Apesar do processo incrementar as características de barreira dos substratos submetidos a ele, somente em 1974, foi considerado como uma boa alternativa para redução de custos em embalagem. Esse fato torna-se ainda de maior importância ao se considerar que inicialmente a metalização visava substituir a adicional folha de alumínio, um dos materiais de embalagens que requer mais consumo de energia na sua fabricação.

A utilização de filmes metalizados nas embalagens de alimentos relaciona-se àqueles produtos que requerem proteção contra o ganho de umidade, a oxidação e principalmente à presença de luz ultra-violeta, a qual atua na catálise de reações de oxidação de lipídios.

No processo de metalização a vácuo, metais ou sais metálicos são depositados na superfície dos plásticos, vidros, papéis e outros materiais de modo a ser obtido um acabamento decorativo e funcional. A principal finalidade do vácuo é a de contribuir para as condições ótimas de vaporização do metal e minimizar a presença de gases e vapor de água que são indesejáveis ao processo.

Basicamente, o processo de metalização a vácuo de filmes flexíveis consiste na fusão de um metal, mais comumente o alumínio, e subsequente vaporização sobre a superfície móvel do filme.

A primeira etapa da metalização é a aplicação de um verniz sintético no material a ser metalizado. A finalidade desse envernizamento é a de tornar a superfície do filme sem imperfeições, tais como microfuros e riscos que poderão interferir na qualidade da metalização. Após a aplicação do verniz base, ocorre a secagem e posteriormente o material é bobinado e colocado na câmara de vácuo para metalização.

Quando o nível de vácuo adequado é atingido, os filamentos são aquecidos por uma corrente elétrica até a incandescência. A temperatura é, então, subitamente elevada para 1100°C e o metal se vaporiza, condensando-se a seguir numa superfície mais fria que é justamente a do filme flexível envernizado. A trajetória do metal desde os filamentos até o filme dá-se em linha reta, havendo a necessidade, portanto, de se mover o filme, rebobinando-o logo em seguida.

Dependendo de fatores como velocidade, pressão, temperatura da fonte de metal, distância da fonte ao substrato e do resfriamento desse material, a camada de metalização pode ser densa ou porosa.

A câmara de vácuo é o principal equipamento utilizado na metalização a vácuo. É normalmente cilíndrica e posicionada horizontalmente com uma das extremidades removíveis para que haja o acesso ao seu interior.

Quando é necessária a metalização em ambos os lados do filme, o ciclo é repetido, com a exposição da segunda camada aos vapores do metal. Há também o processo contínuo de metalização, cujas câmaras permitem metalização simultânea em ambas as faces.

O alumínio é o metal preferido para a maioria das aplicações, uma vez que o produto acabado tem uma aparência de metal polido ou mesmo cromado e isso exerce grande influência visual em gôndolas de supermercados, por exemplo. Através do uso de vernizes coloridos, a metalização utilizando alumínio poderá simular qualquer coloração metálica.

A camada de alumínio poderá ser depositada nas faces interna ou externa do filme, dependendo das características de resistência necessárias. A metalização interna do material tem a vantagem de ser protegida da abrasão.

O filme ideal para servir de base para a metalização deve ser disponível em espessuras bastante pequenas e, nessas condições, ser inerte, dimensionalmen-

te estável, apresentar boa aderência do metal ao substrato, ser transparente, ter grande durabilidade e, principalmente, baixo custo.

No que se refere aos materiais flexíveis que podem ser metalizados, o poliéster se destaca por sua superfície lisa que permite a deposição uniforme do alumínio. Outros filmes como o náilon e polipropileno orientado e mesmo o policarbonato são considerados como opções viáveis à metalização.

6.7 APLICAÇÕES

Basicamente, o emprego dos laminados em alimentos é consequência das propriedades dos substratos que os compõem. Em outras palavras, quando se deseja proteger um produto qualquer de forma adequada, empregando materiais flexíveis de embalagem e filmes simples, em função de suas características, a solução é procurar composições que ofereçam a proteção esperada.

Assim, carnes embaladas a vácuo exigem material de baixa permeabilidade ao oxigênio e, ao mesmo tempo, de fácil termossoldagem. Os laminados PA/PE e PET/PE, se prestam muito bem a essa finalidade. No geral, ao projetar embalagem para esse tipo de produto perecível deve-se considerar que a vida de prateleira do mesmo dependerá também da temperatura de estocagem, que reduz o crescimento microbiano. Como consequência, o material empregado deve manter a qualidade à baixas temperaturas.

No caso de manteiga, a embalagem deverá evitar a perda de umidade, os componentes aromáticos característicos e, em conjunto com a baixa temperatura de estocagem, a rancificação, impedir que voláteis presentes no ambiente de estocagem alterem o aroma e o sabor do produto, e não transferir odor e sabor estranhos ao alimento.

Dessa forma, alguns laminados, especialmente aqueles à base de alumínio podem ser empregados. Cita-se como exemplo o papel/alumínio, onde o papel tem a finalidade de conferir ao laminado maior rigidez e resistência mecânica. Essas mesmas considerações são válidas no caso de margarinas.

Para queijos, as necessidades de proteção são semelhantes às da manteiga. Recomenda-se materiais com permeabilidade máxima de $5 \text{ cm}^3 \text{ O}_2/\text{pol}^2 \text{ dia}$ e baixíssima taxa de permeabilidade ao vapor de água. As estruturas à base de

PVDC atendem a esse requisito. Como exemplos: celofane/PVDC/PE, PET/PVDC/PE, PA/PVDC/PE e outras à base de alumínio.

No que se referem aos confeitos e produtos à base de chocolate, o projeto e especificação das embalagens deverão levar em consideração alguns aspectos do produto como a atividade de água e, em decorrência, sua suscetibilidade à alteração em função do ambiente de estocagem; a fragilidade; a capacidade à rancificação; a suscetibilidade à absorção de compostos voláteis responsáveis por alterações no odor e sabor característicos; e a necessidade de proteção ao ataque de insetos.

Conseqüentemente, a embalagem deverá apresentar baixa permeabilidade ao oxigênio, ao aroma, à umidade e à gordura. Como exemplos de alguns laminados destacam-se: alumínio/papel, celofane/PVDC, papel/PE/alumínio/PE, PET/metaliação/PE e outros.

Os salgadinhos do tipo aperitivo constituem-se numa classe de alimentos que se caracterizam por um teor de gordura relativamente alto e baixa concentração de umidade. Assim, a embalagem deverá protegê-los contra a incidência de luz, oxigênio e umidade, de modo que não se tornem rançosos e nem percam sua característica crocante. Ao projetar embalagens para essa classe de alimentos, é fundamental que seja considerada também, a fragilidade e a sensibilidade dos mesmos a odores estranhos provenientes do ambiente de estocagem e da própria embalagem. Exemplos de laminados para esses produtos são: PET/metaliação/PE, PE/metaliação/PP, celofane/PVDC/celofane e outros.

Em sopas são utilizados materiais com baixa permeabilidade à gases e ao vapor de água, não absorventes de gordura, como exemplo típico, o papel/PE/alumínio/PE.

Para frutas secas são empregados materiais com baixa permeabilidade ao vapor de água e resistentes à ação do SO₂. Em alguns casos, o uso de polietileno pode acarretar condensação de umidade no espaço livre e causar crescimento de fungos. A embalagem deve ser especialmente resistente ao ataque de insetos.

Quando empregados em biscoitos, os laminados devem ter baixa permeabilidade de ao vapor de água, baixo teor de resíduos de solventes de impressão ou laminação e rigidez suficiente para impedir quebras do produto durante

a comercialização. Como exemplos têm o celofane/PE e o celofane/PE/celofane.

Para café torrado e moído, a embalagem deve ter baixa permeabilidade a gases e ao oxigênio. Os prazos de validade do produto dependem do material empregado podendo atingir de 6 a 12 meses para aqueles à base de alumínio (a vácuo). Como exemplos de embalagens em atmosfera normal: celofane/PE, PET/metaliação/PE, PP/metaliação/PE e outros.

Os laminados podem ainda ser empregados como embalagens flexíveis esterilizáveis ou pasteurizáveis. Trata-se de uma estrutura complexa formada por PET/alumínio/poliolefina, com algumas variações com ou sem alumínio, que se destinam a acondicionar produtos possíveis de esterilização em autoclave.

Recipientes cilíndricos de cartão com extremidades de metal ou plástico são denominados normalmente de latas compostas. Nos últimos anos, a lata composta evoluiu de um simples tubo de papel com tampas nas extremidades, para uma embalagem bastante sofisticada e simples utilizando-se dos modernos sistemas para fabricação de embalagens.

Uma lata composta é constituída por uma camada interna que atua como barreira, corpo de papel que dá uma resistência mecânica à lata, rótulo que proporciona uma barreira externa e o visual necessário, fundo, tampa superior onde algumas vezes pode-se utilizar tampas de fácil abertura.

Existem basicamente dois sistemas de fabricação de latas compostas: processos não contínuo e contínuo. O primeiro processo utiliza o material previamente cortado. O segundo baseia-se na fabricação de um tubo espiral onde são cortados os diversos tamanhos (altura das latas) com uma velocidade de produção muito maior. Normalmente, os diâmetros das latas compostas são os mesmos das latas convencionais.

Este tipo de embalagem encontra-se em evolução, principalmente pelo estado da tecnologia dos materiais que formam os corpos e os tipos de tampas. Existe uma série de produtos alimentícios que não interagem com a embalagem, como produtos desidratados e congelados. Porém, necessitam de certos requisitos para sua proteção como resistência mecânica, baixa permeabilidade ao vapor de água e resistência à baixas temperaturas. Neste campo, a utilização de novos materiais vem possibilitando a entrada das latas compostas em novos

mercados. No Brasil, a lata composta é utilizada desde algum tempo para óleos lubrificantes. Porém, novos mercados foram conquistados, como por exemplo, óleos comestíveis, batatas fritas, fermento químico, etc.

6.8 CONTROLE DE QUALIDADE

Por se tratar de materiais flexíveis, ou laminados a partir de filmes flexíveis, praticamente todos os ensaios de caracterização e controle de qualidade aplicados nas estruturas simples são válidos para estruturas compostas (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

Resistência à tração

Esta medida expressa a resistência do material à deformação por alongamento quando submetido à tração, sendo necessárias às características do acondicionamento, dos processos de conversão e do manuseio das embalagens. A determinação envolve a separação constante de duas garras que prendem as extremidades dos corpos de prova, registrando-se ao longo do ensaio a força ou a resistência que o material oferece à deformação ou alongamento.

Delaminação

A resistência à delaminação é uma medida que indica a facilidade de separação de componentes de uma estrutura multicamadas. Os problemas de delaminação têm efeito negativo sobre a aparência do material, podendo também comprometer a integridade, as propriedades de barreira e a resistência mecânica de embalagens flexíveis.

As origens da delaminação podem estar no adesivo impróprio, na falta de pressão na laminação ou ainda em paradas eventuais nas máquinas. O operador com prática poderá facilmente avaliar a qualidade do material. Alguns ensaios específicos são, todavia, propostos para quantificar essa avaliação.

Resistência ao rasgamento

A resistência ao rasgamento de um material flexível é um parâmetro de resistência mecânica útil para especificação e avaliação da qualidade desse ma-

terial. É definida como a força ou carga, medida diretamente ou por unidade de espessura do corpo de prova, necessária para iniciar o rasgamento ou a propagação de um rasgo em condições específicas do teste. Altos valores de resistência ao rasgamento são geralmente necessários para garantir uma boa maquinabilidade do material ou bom desempenho mecânico da embalagem. Por outro lado, na seleção de materiais para embalagem de fácil abertura, um baixo valor de resistência ao rasgamento é desejável.

Dois métodos são mais conhecidos e empregados para essa determinação: um método utiliza o equipamento do tipo Elmendorf e outro emprega dinamômetro de tração.

Resistência ao impacto do dardo em queda-livre

No ensaio de resistência ao impacto do dardo em queda livre determina-se a energia que causa ruptura em filmes flexíveis sob condições específicas de impacto. Esta energia é expressa em termos de peso de um dardo que cai de uma altura específica, o qual provocará falha em 50% dos corpos de prova ensaiados.

O ensaio é útil para avaliar filmes flexíveis que, a princípio, deformam no local do impacto e depois rasgam neste local sem, contudo, propagar o rasgo. Podem ser estabelecidas correlações entre os resultados deste ensaio e o desempenho da embalagem durante a sua utilização. Os valores obtidos dependem muito do processo de fabricação do filme, bem como do tipo e grau de resina utilizada. Esses valores também são influenciados pela qualidade do filme sob ensaio, uniformidade da espessura, presença de impressão e contaminações.

Este ensaio é subdividido em dois métodos. Um método é usado para filmes, cuja resistência ao impacto se encontra na faixa entre 50 g a 2 kg. O outro é usado quando a resistência ao impacto se encontra entre 300 g a 2 kg. As características do dardo e a altura da queda são diferentes em cada um dos métodos, de modo que, os dados obtidos com um destes métodos não podem ser comparados diretamente com os do outro método.

Resistência à perfuração

A resistência à perfuração de embalagens flexíveis é função do material da embalagem monocamada ou dos materiais presentes nas estruturas co-extru-

sadas, da espessura de cada um dos materiais, da presença e grau de orientação, do módulo de elasticidade, da taxa de penetração (velocidade do ensaio), entre outros.

O ensaio de resistência à perfuração é feito em um dinamômetro de tração. É realizado utilizando uma célula de carga de 100 N, com velocidade de perfuração de 25 mm/min. Um *software* associado ao dinamômetro compila os dados e os fornece em uma tabela, e plota um gráfico da extensão (mm) x força ou carga aplicada (N).

Termossoldagem

É um processo no qual dois materiais são unidos sob condições que permitam a sua fusão. A termossoldagem se aplica a polímeros termoplásticos e revestimentos termosseláveis. É a técnica mais utilizada para o fechamento de embalagens plásticas flexíveis.

A qualidade da termossoldagem é função de uma série de fatores dentre os quais destacam-se o tipo de equipamento utilizado, a forma de aplicação do calor, o perfil do mordente de fechamento e as características físicas e mecânicas do material de embalagem. A resistência da termossoldagem de embalagens flexíveis pode ser determinada por meio de sua resistência à tração.

A indústria de alimentos dispõe de duas opções para avaliá-la, a solução alcoólica de Rhodamin e a determinação da resistência da termossoldagem por dinamógrafo.

O ensaio de penetração de solução colorida baseia-se na capacidade de uma solução com baixa tensão superficial em penetrar em pequenos poros. A solução colorida normalmente usada é obtida com o pigmento rodamina B.

Resistência ao estouro

Também conhecido como *Millen Test*, é empregado em algumas indústrias para caracterizar laminados à base de alumínio. O ensaio não pode ser correlacionado com o comportamento físico-mecânico da embalagem.

Migração de solventes residuais

Os solventes aplicados na laminação trazem ao alimento, em concentra-

ções elevadas, as mesmas consequências dos de impressão. Os mesmos cuidados devem ser tomados de modo a impedir que os alimentos tenham curta vida de prateleira. Além dos solventes, pode-se citar a tinta, o *hot melt* e mesmo o polietileno extrusado em condições indevidas.

Permeabilidade

A permeabilidade dos laminados pode ser determinada do mesmo modo que a dos filmes simples. Uma das formas de se avaliar a taxa de permeabilidade ao vapor de água de filmes é através de método gravimétrico, o qual se baseia no aumento de peso de um material higroscópico colocado no interior de uma cápsula impermeável e isolado do meio ambiente pelo material de embalagem, cuja taxa de permeabilidade se deseja conhecer. A cápsula é colocada em um ambiente com umidade relativa e temperatura constante e o ganho de peso da cápsula ao longo do tempo é usado para calcular a taxa de permeabilidade do vapor de água através do material. Este tipo de ensaio é aplicado em materiais de embalagem que irão acondicionar produtos com baixa atividade de água e que, portanto, devem ser protegidos da umidade presente no ambiente externo.

6.9 EMBALAGEM E AMBIENTE

O processo para reciclagem das embalagens multicamadas acontece em duas etapas: fibras de papel, polietileno e alumínio.

O processo de reciclagem inicia-se nas fábricas de papel, onde as embalagens são alimentadas a um equipamento semelhante a um liquidificador gigante, o *hidrapulper*. As fibras são agitadas com água e sem produtos químicos, hidratando-se e separando-se das camadas de polietileno e alumínio. Após a separação, estas fibras celulósicas seguem para a máquina de papel. O produto final é o papel reciclado que pode ser usado para confecção de caixas de papelão. Após o reaproveitamento do papel, o polietileno e o alumínio seguem para outros processos produtivos.

Reciclagem via plasma

A tecnologia de plasma permite a completa separação das camadas de polietileno e alumínio. Este processo consiste em um reator com uma tocha de plasma acionada eletricamente que ioniza a atmosfera no interior do reator podendo chegar a 15000°C. Com o processo, no polietileno ocorre a quebra das ligações carbono-carbono e carbono-hidrogênio gerando a degradação do polímero e formando uma mistura de hidrocarbonetos gasosos que passarão pelo processo de condensação dando origem à parafina. Esta é vendida para a indústria petroquímica nacional. O alumínio é fundido e totalmente recuperado em forma de lingotes de alta pureza. Esses lingotes são transformados em novas folhas de alumínio usadas na fabricação de novas embalagens e, assim, fecham o ciclo de reciclagem do material. A aplicação dessa tecnologia para reciclagem de embalagens é 100% brasileira, tendo já despertado o interesse de diversos países europeus.

Fabricação de placas e telhas

Outra possibilidade é a trituração das camadas de polietileno e alumínio, que são depois prensadas a altas temperaturas, produzindo chapas semelhantes à madeira, ideais para a produção de móveis e divisórias. Essas chapas podem ser transformadas também em telhas utilizadas na construção civil.

Produção de *pellets*

O composto de polietileno com alumínio pode ser encaminhado para as indústrias de plástico, onde são reciclados por meio de um processo de extrusão para produção de *pellets*. Esses *pellets* são pequenos grãos de plástico e alumínio que podem ser utilizados como matéria-prima nos processos de fabricação de peças por injeção, termoformação ou sopro. Os produtos finais são canetas, paletes, banquetas, vassouras, coletores, por exemplo.

7

ROTULAGEM

7.1 INTRODUÇÃO

Desde o século XV os rótulos têm sido utilizados. Inicialmente eram manuscritos, no entanto, com a invenção da imprensa, passaram a ser impressos por meio de tipografia. Em 1798, a descoberta do princípio da litografia popularizou os rótulos que, em 1830, passaram a ser utilizados em grande escala em diversas formas e para os mais variados produtos. Porém, ainda faltava a descoberta de um processo de impressão em cores. Em 1850 descobriu-se a cromolitografia, concretizando o que se considera a primeira solução satisfatória de impressão em cores. Essa técnica possibilitou a inclusão de imagens chamativas e cenas que descreviam a utilização do produto, agregando mais funções ao rótulo.

Em 1930 surgiu a ideia capitalista de supermercado, onde os clientes sozinhos deviam escolher as mercadorias. A implementação dessa ideia deu origem ao chamado autosserviço. No supermercado, as mercadorias estão dispostas nas gôndolas e a identificação do produto se dá pelos rótulos, que são definidos como todas as inscrições, legendas ou imagens, ou todas as matérias descritivas ou gráficas, escritas, impressas, estampadas, gravadas, litografadas ou coladas sobre a embalagem do alimento, com a tarefa de informar o consumidor, sem a ajuda dos vendedores, a mercadoria que pretende comprar.

A rotulagem ganhou maior importância com o advento da industrialização, pois apareceram produtos de diversas marcas. Com isso, surgiu a necessidade de uma padronização para os rótulos. Cada produto tem sua legislação própria, que regulamenta as informações obrigatórias que os rótulos devem conter. Tais informações destinam-se a identificar a origem, a composição e as características nutricionais dos produtos, permitindo o rastreamento dos mesmos, e constituindo-se, portanto, em elemento fundamental para a saúde pública.

7.2 ROTULAGEM

Entende-se por rotulagem o processo através do qual se estabelece uma linha de comunicação entre as empresas produtoras de alimentos e os consumidores que desejam maiores informações sobre os produtos que estão comprando. A principal função da rotulagem é orientar o consumidor sobre a qualidade e a quantidade dos constituintes nutricionais dos produtos, fornecendo os elementos necessários para que o consumidor possa decidir sobre o consumo ou não do alimento, ou ainda, esclarecimentos e base de comparação que fundamentem sua escolha.

Para elaboração de rotulagem adequada devem ser observadas as normas horizontais e aquelas específicas aos produtos. As normas horizontais são as que trazem conceitos e diretrizes genéricos, bem como os requisitos mínimos aplicáveis para qualquer grupo de alimentos, independente de sua natureza e composição, para que o mesmo possa ser comercializado. Estas normas incluem aquelas relacionadas aos aditivos, defesa do consumidor, etc. Se enquadram também aquelas que regulamentam informações pertinentes a alguma característica particular do produto, destinado a um público consumidor específico, não necessariamente se restringindo a um único tipo de alimento, a exemplo dos produtos *light e diet*.

As normas específicas são aquelas aplicadas para determinados grupos de alimentos e estabelecem os requisitos mínimos para que o produto possa pertencer às mesmas. Incluem aquelas criadas em função de diretrizes e políticas públicas, como é o caso da regulamentação sobre a fortificação obrigatória das farinhas de trigo e de milho com ferro e ácido fólico.

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é o órgão responsável pela regulamentação da rotulagem de alimentos industrializados (BRASIL, 2003). Muitas portarias regulamentam o que um rótulo deve ou não conter. O objetivo desses regulamentos é proteger os consumidores de declarações abusivas ou infundadas que possam induzi-los a erro, e garantir produtos de qualidade para toda população brasileira visando à manutenção da saúde. Nos últimos anos, as leis e regulamentações sobre a rotulagem de alimentos evoluíram da proteção dos consumidores contra

fraudes econômicas para a proteção contra riscos à saúde. Salvo exceções, o rótulo do alimento embalado deve conter obrigatoriamente as informações descritas a seguir.

Denominação de venda é o nome específico que indica a verdadeira natureza e as características do alimento. Esta denominação informa o tratamento físico sofrido pelo alimento, quando existe risco de confusão entre o produto tratado ou não (congelado, pasteurizado, concentrado).

Na lista de ingredientes consta os alimentos e os aditivos, utilizados na preparação, inclusive aqueles presentes de forma modificada. Devem estar enumerados em ordem decrescente da respectiva proporção.

A água deve ser declarada na lista de ingredientes, exceto quando fizer parte de salmouras, xaropes, caldas, molhos ou outros similares, e se estes ingredientes compostos forem declarados como tais na lista de ingredientes. Não será necessário declarar a água e outros componentes voláteis que se evaporem durante a fabricação. Quando se tratar de alimentos desidratados, concentrados, condensados ou evaporados, que necessitam de reconstituição para seu consumo, através da adição de água, os ingredientes podem ser enumerados em ordem de proporção no alimento reconstituído.

Na declaração de aditivo alimentar deve constar a função principal do mesmo no alimento e seu nome completo, ou seu número SIN (Sistema Internacional de Numeração) ou ambos. Os aditivos devem ser declarados depois dos ingredientes.

O conteúdo líquido indica a quantidade total de produto contido na embalagem. O valor deve ser expresso em unidade de massa (kg) ou volume (L). Salvo quantidades inferiores a 5 g ou 5 mL, será facultativo indicá-lo, a menos que se trate de especiarias ou plantas aromáticas.

Origem é o local em que o alimento foi produzido ou, tendo sido elaborado em mais de um país, onde recebeu o último processo substancial de transformação. Deve ser indicado a razão social do fabricante, o endereço completo, o país de origem, o município e o número de registro ou código de identificação do estabelecimento fabricante junto ao órgão competente. São informações importantes para o consumidor saber qual a procedência do produto para entrar em contato com o fabricante se for necessário.

Lote é o conjunto de produtos de um mesmo tipo, processados pelo mesmo fabricante, em um espaço de tempo determinado, sob condições essencialmente iguais, que faz parte do controle na produção. Para indicação do lote, pode ser utilizado um código chave precedido da letra L, que deverá estar à disposição da autoridade competente e constar da documentação comercial quando ocorrer o intercâmbio entre países. Caso haja algum problema, o produto pode ser recolhido ou analisado pelo lote ao qual pertence.

Prazo de validade é a data até a qual o produto conserva suas propriedades específicas, assim como as condições de conservação. Os produtos devem apresentar, pelo menos, o dia e o mês quando o prazo de validade for inferior a três meses; o mês e o ano para produtos que tenham prazo de validade superior a três meses. No caso de produtos perecíveis, deve-se colocar a data-limite de consumo e se o mês de vencimento for dezembro, basta indicar o ano, com a expressão “fim de... “. Alguns produtos são dispensados da obrigatoriedade da apresentação do prazo de validade, como bebidas alcoólicas, especiarias, sal, água mineral, etc.

Informação nutricional é a tabela nutricional. Sua leitura é importante porque a partir das informações nutricionais é possível escolher produtos mais saudáveis.

Quando necessário, o rótulo deve conter as instruções sobre o modo apropriado de uso, incluindo a reconstituição, o descongelamento ou o tratamento que deve ser dado ao produto pelo consumidor. Estas instruções não devem ser ambíguas, nem dar margem a falsas interpretações, a fim de garantir a utilização correta do alimento. Além dessas informações, nos rótulos aparece o código de barras, que é um conjunto de números com uma estrutura pré-determinada, que visa obter a identificação clara de um produto, serviço, item, etc. O sistema permite a individualização independentemente da sua origem e de destino final, facilitando a livre circulação de mercadorias.

O código de barras pode ser lido por vários equipamentos de coleta de dados, tais como *scanners*, leitores óticos, etc. Tem como vantagens agilizar processos de identificação de produtos e evitar possíveis erros de informações aplicadas manualmente, além de possibilitar a automação por meio de arquivos de consulta de preços, do recebimento de produtos, gestão de estoque, reposição

automática de pedidos, análise de vendas e uma ampla gama de outras aplicações de negócios.

Um dos sistemas mais utilizados para identificar os produtos comerciais pelo código de barras é o EAN (Artigo de Numeração Européia), também conhecido como Código Nacional de Produtos, que foi instituído no Brasil através do Decreto-Lei nº 90.595, de 29/11/94, da Presidência da República. O sistema EAN-13 é o mais difundido no mundo inteiro, embora exista também o EAN-8. O EAN-13 consiste em um código de treze dígitos, nos quais os três primeiros identificam o país de origem, os quatro seguintes correspondem ao número da empresa, os cinco restantes é a identificação do produto e o último é o código verificador. Enquanto o EAN-8 é formado por oito dígitos e utilizado quando o espaço disponível para impressão é pequeno, sendo que os três primeiros dígitos identificam o país, os outros quatro são o produto e o último é o código verificador.

Com o mesmo objetivo de auxiliar o consumidor na escolha de seus alimentos, evitando que ele possa se enganar na hora da compra foram regulamentadas algumas informações que os rótulos dos alimentos não podem declarar, como utilizar vocábulos, sinais, denominações, símbolos, emblemas, ilustrações ou outras representações gráficas que possam tornar a informação falsa, incorreta, insuficiente, ilegível ou que possa induzir o consumidor a equívoco, erro, confusão ou engano, em relação à verdadeira natureza, composição, procedência, tipo, qualidade, quantidade, validade, rendimento ou forma de uso do alimento; atribuir ao produto efeitos ou propriedades que não possuam ou possam ser demonstradas; destacar a presença ou ausência de componentes que sejam intrínsecos ou próprios de alimentos de igual natureza; ressaltar a presença de alguma substância que é adicionada como ingrediente em todos os alimentos com tecnologia de fabricação semelhante; realçar qualidades que possam induzir a engano com relação a propriedades terapêuticas, verdadeiras ou supostas, que alguns ingredientes tenham ou possam ter quando consumidos em quantidades diferentes daquelas que se encontram no alimento ou quando consumidos sob forma farmacêutica; indicar que o alimento possui propriedades terapêuticas ou medicinais; aconselhar consumo do produto como estimulante, para melhorar a saúde, para evitar doenças ou como ação curativa.

Rotulagem nutricional

Rotulagem nutricional é toda descrição destinada a informar ao consumidor as propriedades nutricionais de um produto. Em 23 de dezembro de 2003, foi homologada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) a Resolução RDC nº. 360, destinada à regulamentação sobre rotulagem nutricional obrigatória de alimentos e bebidas (BRASIL, 2003). Cabe ressaltar também que, no Brasil, as informações fornecidas através da rotulagem contemplam um direito assegurado pelo código de defesa do consumidor que, em seu artigo 6º, determina que a informação sobre os produtos e serviços deve ser clara, adequada e com especificação correta de quantidade, características, composição, qualidade e preço, bem como sobre os riscos que apresentam.

Produtos como especiarias, aditivos alimentares, vinagres, sal, águas minerais, bebidas alcoólicas, café e chás (quando não tem açúcar adicionado), alimentos preparados e embalados em restaurantes e estabelecimentos comerciais, produtos fracionados nos pontos de venda a varejo (queijo, presunto, etc.), frutas, vegetais e carnes *in natura*, refrigerados ou congelados e aqueles acondicionados em embalagens menores que 100 cm² não precisam apresentar a informação nutricional. Porém, em todos os outros são obrigatórias as informações nutricionais que se referem ao produto na forma como está exposto à venda, além disso, devem ser apresentadas em porções e medidas caseiras correspondentes, e conter o percentual de valores diários para cada nutriente declarado.

Porção

É a quantidade média do alimento que deve ser usualmente ingerida por pessoas sadias, maiores de 36 meses, a cada vez que o alimento é consumido, com a finalidade de promover uma alimentação saudável. É indicada para facilitar a interpretação da informação nutricional, uma vez que a declaração de nutrientes é feita considerando a forma como o alimento é consumido.

Medida caseira

Indica a medida normalmente utilizada pelo consumidor para medir alimentos, como por exemplo, fatias, unidades, pote, xícaras, copos, colheres

de sopa. É obrigatória, pois ajuda o consumidor a entender melhor as informações nutricionais. Estabeleceu-se para fim da declaração na rotulagem nutricional a medida caseira e sua relação com a porção correspondente em gramas ou mililitros detalhando-se os utensílios geralmente utilizados, suas capacidades e dimensões aproximadas, como mostra a Tabela 7.1.

Tabela 7.1 Relação medida caseira x capacidade

Medida caseira	Capacidade ou dimensão
Xicara de chá	200 cm ³ ou mL
Copo	200 cm ³ ou mL
Colher de sopa	10 cm ³ ou mL
Colher de chá	5 cm ³ ou mL
Prato raso	22 cm de diâmetro
Prato fundo	250 cm ³ ou mL

Fonte: Brasil (2003).

Porcentual de valores diários (%VD)

É um número em percentual que indica o quanto o produto em questão apresenta de energia e nutrientes em relação a uma dieta de 2000 kcal. Cada nutriente apresenta um valor diferente para se calcular o VD, sendo o valor energético - 2000 kcal/8400 kJ, carboidratos - 300 g, proteínas - 75 g, gorduras totais - 55 g, gorduras saturadas - 22 g, fibra alimentar - 25 g, sódio - 2400 mg. Não há valor diário para as gorduras *trans*.

Declaração de nutrientes

É a relação ou listagem ordenada dos nutrientes de um alimento, onde deve constar o valor calórico, carboidratos, proteínas, gorduras totais, saturadas e *trans*, fibra alimentar e sódio. Além do valor calórico e destes nutrientes deve-se informar também a quantidade de qualquer outro nutriente, que se considere importante para manter um bom estado nutricional.

Como opção podem ser declaradas quantidades de vitaminas e de minerais, sempre e quando estiverem presentes em quantidade igual ou superior a 5% da ingestão diária recomendada por porção indicada no rótulo.

A disponibilização de informações adequadas e compreensíveis sobre o conteúdo nutricional, que não levem o consumidor a erro, pode contribuir

para a promoção da saúde e a redução do risco de doenças relacionadas à alimentação e à nutrição.

A expressão informação nutricional, o valor e as unidades da porção e da medida caseira devem estar em maior destaque do que o resto da informação nutricional. A declaração de nutrientes deve ser em forma numérica e apresentada em diferentes maneiras, como vertical, horizontal ou, na falta de espaço na embalagem, linear. Além disso, deve estar no idioma oficial do país de consumo do alimento em lugar visível, com letras legíveis, que não possam ser apagadas ou rasuradas, e em cor contrastante com o fundo onde estiver impressa, como estabelece a Resolução RDC nº 360 de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003).

A declaração simplificada de nutrientes pode ser utilizada quando o alimento tiver quantidades menores ou iguais às estabelecidas como não significativas (Tabela 7.2.). A declaração do valor calórico, carboidratos, proteínas, gorduras totais e sódio é obrigatória, independente da quantidade destes nutrientes.

Tabela 7.2 Quantidades consideradas não significativas

Valor energético/nutrientes	Quantidade não significativa
Valor energético	≤ 4 kcal e 17 kJ
Carboidratos	≤ 4 kcal
Proteínas	≤ 0,5 g
Gorduras totais	≤ 0,5 g
Gorduras saturadas	≤ 0,2 g
Gorduras trans	≤ 0,2 g
Fibra alimentar	≤ 0,5 g
Sódio	≤ 5 mg

Fonte: Brasil (2003).

Os rótulos também podem apresentar informações nutricionais complementares, em formas de *claims*, como “baixo em...”, “não contém...”, “sem adição de...”, “fonte de...”, etc. Devem ser apresentadas, obrigatoriamente, informações como contém fenilalanina, contém (especificar o mono ou dissacarídeo), contém glúten, alegações de propriedades funcionais e/ou saúde, devido às pessoas fenilcetonúricas, diabéticas, etc.

Todas as informações da rotulagem nutricional são de responsabilidade da empresa e podem ser obtidas por meio de análises físico-químicas de amostras representativas do produto a ser rotulado ou de tabelas de composição de alimentos e banco de dados de composição de alimentos nacionais. Na ausência destes, podem ser utilizadas as tabelas e bancos de dados internacionais.

Rotulagem ambiental

A disseminação dos processos de certificações e rótulos ambientais data da década de 70, devido a vários acidentes ambientais, acirramento da construção de usinas nucleares, crises do petróleo e, portanto, aumento do movimento e consciência ambientalistas.

Entende-se como rotulagem ambiental um mecanismo de comunicação com o mercado consumidor sobre os aspectos ambientais do produto ou serviço com características benéficas, cujos objetivos são aumentar a consciência dos consumidores, produtores, distribuidores e demais envolvidos sobre os propósitos de um programa de rotulagem; incrementar o conhecimento sobre aspectos ambientais dos produtos que recebem o rótulo; influenciar positivamente os consumidores na escolha dos produtos que causem menor impacto ao meio ambiente; e incentivar os produtores a substituírem processos e produtos danosos ao meio ambiente.

O mecanismo de comunicação é materializado por meio de símbolos, marcas, textos ou gráficos. Embora nem todos os símbolos estejam normalizados, grande parte já está consolidada, e são amplamente conhecidos pelos consumidores. Estas auto-declarações auxiliam na educação ambiental e nas etapas de coleta seletiva e triagem de materiais recicláveis.

7.3 MATERIAIS UTILIZADOS

Diversos são os materiais que podem ser utilizados para produção de rótulos, destacando os plásticos e os papéis.

Plásticos

Os rótulos plásticos oferecem inalterabilidade na identificação do produ-

to, como uma vantagem perante o de papel. Tem como características a melhor resistência mecânica e química, evitando riscos e rasgos, deterioração por água, solventes, produtos corrosivos, etc.

Polipropileno biorientado (PPBO)

O polipropileno biaxialmente orientado é um tipo de filme que possui propriedades de barreiras, rigidez e resistência mecânica muito superior as de um filme de polipropileno não orientado com espessura equivalente devido à orientação das cadeias. Utilizado como filmes para embalagens de alimentos, fitas adesivas, rótulos e etiquetas.

Os rótulos PPBO podem ser aplicados em embalagens expostas a ambientes úmidos e sua superfície lisa permite uma impressão de elevada definição. São utilizados em embalagens de requeijão, iogurte, sucos prontos, dentre outras.

Polietileno (PE)

É um filme de elevada maleabilidade e flexibilidade, notavelmente estável ao envelhecimento e não sensível à umidade. Para ser utilizado como rótulo, deve passar por um tratamento de oxidação, para que a tinta de impressão possa aderir convenientemente.

Laminados

Os rótulos laminados podem ser aplicados em embalagens manuseadas constantemente. A aplicação de lâminas plásticas sobre os rótulos protege a impressão e refina o acabamento. São utilizados em embalagens de adoçante, garrafas de bebidas, dentre outras.

Papel

O couché é um papel tratado com uma camada de carbonato de cálcio, além de pigmentos. Os rótulos em papel couché podem ser aplicados em embalagens expostas à baixa umidade. O brilho do papel torna o rótulo mais atraativo e melhora a apresentação do produto, por ser excelente para impressão em várias cores. São utilizados em embalagens de enlatados, conservas, achocolatados, dentre outras.

7.4 TIPOS DE RÓTULOS

Termoencolhíveis ou *sleeve*

Os rótulos termoencolhíveis, também denominados de *sleeves*, são feitos de filmes que encolhem sobre a embalagem quando submetidos à determinada temperatura. Por terem esta característica, moldam-se perfeitamente à embalagem decorando-a em 360°, criando um visual mais atraente e ao mesmo tempo funcional às embalagens. O *sleeve* permite maior superfície de comunicação e imagem, facilidade de colocação, melhor apresentação, inviolabilidade e proteção. Outra grande vantagem é sua compatibilidade com outros materiais como vidro, lata e garrafas plásticas, podendo ser utilizado em embalagens de diversos produtos, como cosméticos, detergentes, sucos, vinagres, iogurtes, refrigerantes, óleos e outros.

Auto-adesivos

Os rótulos auto-adesivos aderem por pressão, sem uso de cola. São muito importantes para a identificação de um produto. Além de identificar, podem também agregar valor, otimizar o uso e facilitar a sua logística, ou seja, podem ser inteligentes.

In-Mold

O rótulo *in-mold*, normalmente produzido com PPBO, é impresso e posteriormente utilizado na fabricação de embalagens. O processo *in-mold* consiste em colocar o rótulo dentro de um molde de injeção ou sopro, obtendo-se uma embalagem já decorada, eliminando a necessidade de decoração posterior do frasco.

Suas vantagens são o aumento da durabilidade, resistência da decoração, fixação da marca, inviolabilidade das embalagens, possibilidade de reciclagem e racionalização dos processos, pois o envasador recebe a embalagem decorada e pronta para uso.

Inteligentes

São rótulos em filme de polipropileno transparente e impresso com tintas que não contêm metais pesados. Assim denominados, pois dependendo da

situação em que se encontra a embalagem, o rótulo se modifica. São utilizados em produtos, como por exemplo, a cerveja que ao se encontrar na temperatura ideal para o consumo, no rótulo aparecerá a palavra *cold* e garrafas que podem ser levadas ao forno de micro-ondas e seus rótulos reagem com a temperatura, mudam de cor, de preta para branca, e estampam a palavra *hot*.

7.5 PROCESSOS DE IMPRESSÃO

Existem vários processos de impressão, cada um adequado ao tipo de aplicação desejada. A utilização de cada processo vai depender de alguns fatores, tais como a qualidade estética final do material impresso, a resistência do material, a tiragem, e principalmente o uso de tintas à base de resinas atóxicas, pigmentos isentos de metais pesados e vernizes à base de água. Algumas diferenças entre os principais processos de impressão estão apresentadas na Tabela 7.3.

Tipografia

Também chamado de relevo, é o método de impressão mais antigo e o que menos tem evoluído nos últimos anos. Este processo utiliza um suporte de base dura, metal ou mais frequentemente de foto polímero, com a zona de imagem em alto relevo. É aplicada uma tinta bastante espessa e pastosa e a imagem é transferida para o papel, através de pressão.

A matriz tipográfica é feita de clichês, que atuam imprimindo diretamente sobre o material de impressão. As principais características deste tipo de impressão são uniformidade na qualidade, desde o início até o fim da impressão; pode-se imprimir a partir da composição manual ou mecânica, bem como a partir de formas originais ou duplicadas; recomenda-se imprimir sobre papel liso.

Apesar de serem relativamente poucas, as aplicações mais comuns são em rótulos de papel autosselante para diversos tipos de embalagens e etiquetas. Alguns países imprimem latas de bebidas por este processo.

Off set

É um processo cuja essência consiste em repulsão entre água e corpos gordurosos, neste caso, a tinta. O nome *off set* vem do fato da impressão ser

indireta. É um processo que flexibiliza desenvolvimentos, pois a matriz de impressão é gravada a cada nova produção, portanto não há custo e necessidade de amortização de matrizes de impressão a cada desenvolvimento.

A área de imagem da matriz de impressão é preparada para possuir afinidade com a tinta, ao passo que as áreas sem imagem são preparadas para receber água e repelir a tinta. As matrizes têm como características serem preparadas eletronicamente em computadores e transferidas para chapas de alumínio ou aço inoxidável. A matriz é umedecida em tinta a cada rotação da máquina, que é transferida para o papel, ou seja, o papel não entra em contato com a matriz. Esta é acoplada em um dos cilindros da máquina impressora e transfere a imagem para outro cilindro revestido de borracha, também conhecido como blanqueta, que por sua vez a transfere para a superfície a ser impressa.

Este método tornou-se o principal na impressão de grandes tiragens, a partir de 1000 cópias e para menores volumes, porém, sua utilização não compensa, já que o custo inicial da produção é alto. Porém, para impressão à cores é um dos métodos mais econômicos. Sua maior vantagem é a precisão na impressão de várias cores em perfeito registro e em uma única impressão. Geralmente trabalha com quatro cores e um verniz, embora já existam impressoras com capacidade para imprimir até doze cores além do verniz simultaneamente.

As principais características são possuírem chapas de impressão baratas quando comparadas com outros tipos de matrizes; necessidade de pouco tempo para a confecção em relação aos demais processos; pode ser usada em papéis de acabamentos mais rústicos, embora a qualidade seja maior nos papéis lisos ou revestidos e para as correções nas matrizes de impressão são necessárias novas chapas.

Rotogravura

A origem da rotogravura data da renascença italiana aproximadamente no ano de 1300. Gravuras foram feitas à mão em placas de cobre mole, onde a imagem gravada na superfície era constituída de canais, cuja imagem transportada consistia em linhas ou pontos gravados. Uma vez pronta, passava-se a tinta na superfície desta placa, em seguida removia-se o excesso e preenchia

as áreas gravadas em baixo relevo. Depois colocava-se um papel na superfície e o pressionava para absorção da tinta presente dentro desta gravação e, assim, o impresso estava pronto.

Ao contrário da tipografia e da flexografia, a rotogravura imprime pelo método de baixo relevo onde a zona de imagem fica perfurada, sob a forma de pequenas células, no cilindro, enquanto que a zona de não imagem fica intocável. O tipo de tinta utilizada neste processo possui alto grau de fluidez. É um dos processos mais utilizados para impressão de rótulos de elevada qualidade e de preferência com várias cores. O seu elevado custo de preparação, na gravação dos cilindros, limita a sua aplicação às grandes tiragens.

Flexografia

Baseia-se no mesmo sistema da tipografia. Este sistema possui uma matriz em alto relevo, porém esta é flexível, sob formas de clichês de fotopolímeros gravados num processo fotoquímico. Este clichê é fixado num cilindro que, quando em impressão, entra em contato com outro cilindro carregado de tinta. Uma vez com tinta, o clichê a transfere para o suporte. Utiliza-se tinta à base de solvente e água, além de pigmentos e aditivos utilizados como aceleradores ou retardadores de secagem. Os aditivos também fazem com que as propriedades da tinta sejam customizadas, como resistência à abrasão, flexibilidade, aplicação, densidade ótica e vigor da tinta.

É um processo de impressão versátil, reproduzindo de uma a dez cores. Sua maior vantagem é a capacidade de produzir materiais em bobinas. É ideal para filmes flexíveis e papéis com baixa gramatura e grandes volumes de impressão, uma vez que suas matrizes possuem custo elevado.

Serigrafia

A impressão serigráfica, também conhecida como *silk screen*, consiste num sistema de impressão direta que utiliza como forma uma tela de seda, náilon ou malha metálica, permeável à tinta nas áreas de grafismo e impermeabilizada nas áreas de contragrafismo. Sobre essa tela, montada numa moldura, a tinta é espalhada e forçada com auxílio de uma lâmina de borracha, para atingir o suporte. Este processo é considerado um dos mais acessíveis e flexíveis, pois

permite a impressão em diversos tipos de superfícies, como vidro, plástico, madeira, metal, etc.

Outros processos

Na indústria de embalagens são utilizados processos especiais quando impostos como uma solução técnica na procura de efeitos especiais. Operações simples com equipamento manual ou automático podem ser introduzidas numa linha de fabricação de embalagens para pequenas ou grandes tiragens de impressões sofisticadas.

Entre eles se destaca o *hot stamping* que é semelhante à tipografia, porém o clichê não recebe tinta, sendo apenas aquecido e pressionado sobre uma fita de material sintético revestida de uma finíssima camada metálica. Quando a camada metálica é pressionada pelo clichê quente, desprende-se da fita e adere à superfície do material a ser impresso. Esse processo só é utilizado para imprimir pequenos detalhes, produzindo efeitos metalizados que enriquecem e valorizam a embalagem. Pode ser utilizado em diversas superfícies, como papel cartão e plástico.

Outro tipo é o *letter set*, também chamado de *off set* seco ou tipografia indireta. A imagem neste processo é feita em uma só peça, em alto relevo. Ela envolve a chapa de impressão e é, em primeiro lugar, transferida para um cilindro de borracha e deste para o papel. A finalidade do *letter set* é combinar a qualidade da tipografia com a comodidade do *off set*.

A impressão digital é outra técnica que está cada vez mais difundida na indústria de embalagens pelo fato de sua produção ser rápida e fácil de adequar a pequenas quantidades. Sua única exigência é a necessidade de um computador que transfere os dados a serem impressos. É muito utilizada para a impressão de datas, lotes e código de barras.

Por fim, a tampografia que é um sistema de impressão derivada da rotogravura, podendo ser caracterizada como rotogravura indireta, com a utilização de um tampão feito de silicone que transfere a tinta existente na matriz para o suporte a ser impresso. Esse sistema vem conquistando cada vez mais mercado e sendo difundido para a produção de embalagens que possuem superfícies irregulares.

Tabela 7.3 Principais diferenças entre os principais processos de impressão

Diferenças	Tipografia	Offset	Rotogravura	Flexografia	Serigrafia
Forma	Alto relevo	Plano	Baixo relevo	Alto relevo	Plano
Tinta	Graxa viscosa	Graxa viscosa	Líquida	Líquida	Líquida
Secagem	Lenta	Lenta	Instantânea	Instantânea	Instantânea
Tipo de impressão	Direta	Indireta	Direta	Direta	Direta
Velocidade de impressão	Lenta (5000/h)	Rápida (10000/h)	Muito rápida (40000/h)	Muito rápida	Baixa
Características de impressão	Uniformidade na qualidade, provas baratas	Muitos formatos, chapas baratas, papel de acabamento rústico	Alta qualidade, diversos tipos de superfícies, para grandes tiragens	Matrizes flexíveis, oferece vasta gama de cores e reprodução com brilho	Uso de cores brilhantes, opacas, fluorescentes, metálicas, com relevo
Forma de imprimir	Plana	Plana	Plana	Plana	Nenhuma
Características do material impresso	Detalhes nítidos, trabalhos de boa qualidade	Nitidez, uniformidade ao longo da impressão	Alta vivacidade de cor e contraste, uniforme	Permite superposição de cores brilhantes	Detalhes nítidos
Materiais impressos	Papelão, alguns tipos de plásticos	Papel, papelão, plástico rígido, metais	Papel, folhas metálicas, alumínio, filmes plásticos, celofane	Papel, náilon, celofane, plásticos	Metal, vidro, madeira, plástico, tecido, papelão

Fonte: Strapazzon (2006).

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13230:2008. **Embalagens e acondicionamento de plásticos recicláveis** - identificação e simbologia. Rio de Janeiro, 2008.

ALVES, R. M. V. et al. **Ensaio para avaliação de embalagens plásticas rígidas**. Campinas: CETEA/ITAL, 1998. 224 p.

ANJOS, V. D. A. Características dos materiais utilizados na fabricação de embalagens metálicas para alimentos. In: **Interação de embalagens metálicas com produtos alimentícios**. Campinas: CETEA/ITAL, 1989. p. 1-22.

ARDITO, E. F. G.; GARCIA, A. E.; GARCIA, E. E. C. **Embalagens de papel, cartão e papelão ondulado para alimentos**. Campinas: CETEA/ITAL, 1988. 201 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 177, de 04 de março de 1999. Diário Oficial da União, Poder Executivo, de 08 de março de 1999. Aprova o **Regulamento técnico sobre disposições gerais para embalagens e equipamentos celulósicos em contato com alimentos** e seus anexos. Brasília, 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 56, de 16 de novembro de 2012. Diário Oficial da União, Poder Executivo, de 21 de novembro de 2012. Estabelece a **Lista positiva de monômeros, outras substâncias iniciadoras e polímeros, autorizados para a elaboração de embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos**. Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007. Diário Oficial da União, Poder Executivo, de 26 de março de 2007. Aprova o **Regulamento técnico sobre disposições para embalagens, revestimentos, utensílios, tampas e equipamentos metálicos em contato com alimentos**. Brasília, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução-RDC Nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Diário Oficial da União, Poder Executivo, de 23 de dezembro de 2003. Aprova o **Regulamento técnico para rotulagem nutricional obrigatória de alimentos e bebidas embalados**. Brasília, 2003.

BUREAU, G.; MULTON, J. L. **Embalaje de los alimentos de gran consumo**. Zaragoza: Acribia, 1995. 748 p.

CERTI. Centro de Referência de Tecnologia Inovadora. **Estudo para implantação de unidades fabris: fábrica de embalagens de vidro**. Florianópolis: ABDI, 2008.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece o **Código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores**. Brasília, 2001.

FERNANDES, M. H. C.; GARCIA, E. E. C.; PADULA, M. **Migração de componentes de embalagens plásticas para alimentos**. Campinas: CETEA/ITAL, 1987. 175 p.

GRIPPI, S. **Lixo, reciclagem e sua história: guia para as prefeituras brasileira**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. 134 p.

JAIME, S. B. M.; DANTAS, F. B. H. **Embalagens de vidro para alimentos e bebidas: propriedades e requisitos de qualidade**. Campinas: CETEA/ITAL, 2009. 223 p.

NOLETTO, A. P. R. et al. **Embalagens de papelão ondulado: propriedades e avaliação da qualidade**. Campinas: CETEA/ITAL, 2010. 187 p.

OLIVEIRA L. M. et al. **Embalagens plásticas rígidas: principais polímeros e avaliação da qualidade**. Campinas: CETEA/ITAL, 2008. 372 p.

POÇAS, M. F.; SELBOURNE, M. C.; DELGADO, T. **A embalagem para produtos alimentares**. Porto: ESB/UCP, [200-?].

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. et al. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. Campinas: CETEA/ITAL, 2002. 267 p.

SILVA, P. **Produção e características metalúrgicas das folhas de aço**. CSN: Volta Redonda, 1981.

SOLER, R. M. et al. **Manual de controle de qualidade de embalagens metálicas para alimentos**. Campinas: CETEA/ITAL, 1985. 131 p.

STRAPAZZON, A. G. G. **A escolha do sistema de decoração para embalagens celulósicas para alimentos pelos gerentes de marketing**. 2006. 134 f. Dissertação (Mestrado em Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, 2006.

TWEDE, D. GODDARD, R. **Materiais para embalagens**, v. 3, São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 204 p.

WENZEL, G. E. **Bioquímica experimental dos alimentos**. 1. ed. São Leopoldo: Unisinos, 2001. 213 p.

XAVIER, R. L.; ORTIZ, S. A. **Controle de qualidade em embalagens de vidro**. Campinas: CETEA/ITAL, 1986. 133 p.

GLOSSÁRIO

Aço base: é um material de baixo teor de carbono, com valores que variam de 0,06 a 0,15%, utilizado na produção de folha de flandres.

Adesivos: substâncias, normalmente poliméricas, capazes de manter materiais unidos por adesão superficial. Podem ser tanto rígidos quanto flexíveis.

Aditivos: trata-se de todo e qualquer material adicionado a um polímero visando uma aplicação específica. Os aditivos são componentes indispensáveis nos materiais poliméricos para embalagens e de fundamental importância, tanto para melhorar suas propriedades físico-químicas e ampliar sua faixa de aplicação, como também o apelo visual e para conferir estabilidade ao material durante o manuseio e o processamento. Todos os materiais plásticos de embalagens comerciais são aditivados, seja quando da síntese e processamento do polímero, ou durante sua transformação. Os aditivos mais utilizados são os auxiliares de polimerização (catalisadores, iniciantes, agentes de reticulação, entre outros), os auxiliares de processamento (lubrificantes, auxiliares de fluxo poliméricos, solventes), os estabilizantes (antioxidantes, estabilizantes térmicos, desativadores de metais, estabilizantes de ultravioleta, preservativos) e os modificadores de propriedades (antiestáticos, retardantes de chama, pigmentos, plastificantes, cargas, agentes de reticulação, agentes de expansão, nucleantes).

Agrafagem: costura lateral do corpo da lata que pode ser feita por meio de solda elétrica ou termoplástica.

Condensação de polialcoóis com poliácidos: é uma reação de monômeros diferentes, ou seja, um polialcool e um poliácido, com liberação de moléculas de água, para a formação de um poliéster.

Decapagem: todo o processo sobre superfícies metálicas que visa à remoção de oxidações e impurezas inorgânicas, como a ferrugem, crostas de fundição e incrustações superficiais.

Degradação: pode ser definida como uma série de reações químicas que envolvem a ruptura das ligações da cadeia principal da macromolécula, normalmente com redução da massa molar e conseqüentemente queda nas propriedades físico-mecânicas; e modificação química destrutiva, com a quebra de ligações covalentes e formação de novas ligações. Como exemplo podem ser citadas a oxidação, a hidrólise e a cisão de cadeia, entre outras.

Elastômero: polímero que à temperatura ambiente pode ser deformado repetidamente a pelo menos duas vezes o seu comprimento original. Retirado o esforço, deve voltar rapidamente ao tamanho original.

Embutimento/estiramento: etapas do processo de estampagem profunda.

Embutimento: é uma operação de estampagem onde uma chapa, inicialmente plana, é transformada em um corpo oco sem que haja aparecimento de rugas e trincas.

Estampagem: compreende todas as operações executadas em prensas, sobre chapas, incluindo operações de corte e de conformação.

Extrusão: é um processo que consiste basicamente em forçar a passagem do material por dentro de um cilindro aquecido de maneira controlada, por meio da ação bomeadora de uma ou duas roscas sem fim, que promovem o cisalhamento e homogeneização do material, bem como sua plastificação.

Flange acogumelada: flange de lata que é curvada em excesso, resultando em um gancho de corpo longo.

Grau de plastificação: consiste em revestir o papel ou cartão impressos com uma película de plástico aplicada sob certa pressão e calor. Essa operação tem como finalidades melhorar a aparência e proteger a folha impressa.

Laminação de encruamento: é uma operação de acabamento para a produção de tiras finas de metais de aço. Também denominada de *skin pass* ou *temper rolling*, é realizada para tornar o revestimento mais liso, ajustar ou adequar às propriedades mecânicas e reduzir a ocorrência do patamar de escoamento.

Mero: unidade de repetição do polímero, ou seja, unidade estrutural que se repete na cadeia macromolecular do polímero.

Metaloides: é designação clássica e genérica de elementos químicos (boro, silício, arsênio, germânio, telúrio, antimônio) que exibem tanto características de metais quanto de ametais, quer nas propriedades físicas, quer nas químicas.

Monômero: molécula simples que dá origem à unidade de repetição (mero) de um polímero. O monômero tem de ser pelo menos bifuncional, pois deve ter a capacidade de reagir em pelo menos dois pontos, dando origem a cada uma das cadeias macromoleculares do polímero; diferente de mero.

Organossóis: é a denominação dada à dispersão de resinas de PVC em meio líquido orgânico, consistindo em uma mistura de plastificantes e solventes.

Polímero: a palavra polímero origina-se do grego poli (muitos) e mero (unidades de repetição). Os polímeros são macromoléculas compostas por muitas unidades de repetição denominadas meros, unidas por ligações primárias fortes, chamadas intramoleculares, do tipo covalente. Essas macromoléculas são formadas a partir de pequenas moléculas, com uma (mono) unidade de repetição, denominada monômero, que se ligam, entre si, para formar a cadeia polimérica. Quanto às propriedades mecânicas, os polímeros podem ser divididos em três grandes classes: plásticos, borrachas e fibras, dependendo do tipo de monômero (estrutura química), do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente. Em relação a estrutura molecular, as cadeias poliméricas podem ser lineares, ramificadas, com ligações cruzadas

e em rede. Quanto ao modo como as cadeias moleculares estão empacotadas, os polímeros podem ser inteiramente amorfos, quando o empacotamento é desordenado, ou semi-cristalinos, quando o empacotamento de segmento de cadeias é ordenado, regular e repetitivo. Nas regiões cristalinas do polímero ocorre o alinhamento dos segmentos de cadeias em um arranjo tridimensional perfeito. A cristalinidade é facilitada quando se tem polímeros quimicamente simples ou possuem estruturas de cadeias regulares e simétricas. A maioria das propriedades físicas, mecânicas e termodinâmicas dos polímeros semi-cristalinos depende do grau de cristalinidade e da morfologia das regiões cristalinas. Quanto maior a cristalinidade, mais elevadas são as propriedades de densidade, rigidez, estabilidade dimensional, resistência química, resistência à abrasão, temperatura de fusão, temperatura de transição vítrea para um dado polímero; e menores são as suas propriedades de resistência ao impacto, alongação na ruptura e claridade ótica, entre outras.

Polímeros atáticos: quando as unidades monoméricas dispõem-se ao longo da cadeia polimérica ao caso, ou seja, de maneira desordenada.

Polímeros isotáticos: os monômeros distribuem-se ao longo da cadeia de tal modo que unidades sucessivas, após rotação e translação, podem ser exatamente superpostas.

Polímeros sindiotáticos: a rotação e translação de uma unidade monomérica, em relação à seguinte, reproduz a imagem especular desta última.

Poliolenfinas: são polímeros originários de monômeros de hidrocarboneto alifático insaturado, contendo uma dupla ligação carbono-carbono reativa. Dentro desta classificação estão o polibuteno, o poli-4-metil-penteno-1, e os dois polímeros mais utilizados, o polietileno (PE) e o polipropileno (PP) que representam pelo menos metade de todo o polímero produzido mundialmente.

Recozimento em caixa: é o tratamento estático da bobina em atmosfera redutora, para obtenção de uma folha com grãos maiores e dureza inferior às folhas

fabricadas a partir do recozimento contínuo. É aplicado ao material laminado a frio para sua recristalização e adequação das propriedades mecânicas.

Recozimento tipo contínuo: é o tratamento térmico da bobina em linhas contínuas e em atmosfera redutora, para obtenção de uma folha homogênea ao longo do comprimento e largura em termos de dureza e tamanho de grãos. É aplicado ao material laminado a frio para sua recristalização e adequação das propriedades mecânicas.

Recravação: é definida como a junção hermética formada pela interligação das extremidades da tampa e do corpo de uma lata, sendo produzida em duas operações, envolvendo o uso de um vedante previamente colocado na tampa.

Resina epoxídica: constitui uma família de materiais poliméricos termoendurecíveis, que não dão origem a produtos de reação durante a sua cura. Estas resinas têm também uma boa adesão a outros materiais, boa resistência química e ao meio ambiente, boas propriedades mecânicas e boas propriedades de isolamento elétrico.

Resina fenólica: também denominada de resinafenol-formaldeído, é um polímero termofixo reticulado resultante da reação entre fenóis e soluções de formaldeídos.

Resinas de base: termo empregado para designar qualquer matéria-prima polimérica no estado termoplástico.

Reticulação: é a formação de ligações intermoleculares na cadeia polimérica. Na reticulação, as moléculas poliméricas se ligam quimicamente, formando uma única molécula, de maior massa molar. A reticulação de termoplásticos pode ser iniciada por radiação ionizante ou por iniciadores químicos (agentes de reticulação) como os peróxidos orgânicos e compostos à base de enxofre, amidas, aminas e silanos, entre outros. Do ponto de vista de materiais de embalagens, esse processo tem como objetivo conferir aos materiais determi-

nadas propriedades, tais como maior resistência química, maior resistência à degradação térmica, melhores propriedades adesivas, melhores propriedades de barreira, maior estabilidade ao calor e menor fluidez.

Sulfuração: é a reação de molécula de hidrocarboneto com enxofre ou sulfito de hidrogênio, com formação de compostos sulfurados, como sulfitos orgânicos e disulfitos.

Termofixo ou termorrígido: são polímeros que amolecem com o aquecimento e sofrem o processo de cura tornando-se rígido. Após a cura não se fundem e nem se solubilizam, assim, aquecimentos posteriores não alteram seu estado físico.

Termoplásticos: são polímeros com a capacidade de amolecer e fluir quando sujeitos a um aumento de temperatura e pressão. Sob pressão e calor passam por uma transformação física, mas não sofrem mudanças em sua estrutura química. Podem ser moldados de diversas formas e por várias vezes, normalmente com o auxílio de calor e pressão.

Vernizes epóxi-fenólicos: são compostos macromoleculares constituídos por uma resina base, resinas modificadoras, aditivos e solventes. Neste caso, especificamente a resina base é epoxifenólica.

Este material, dirigido a estudantes e profissionais da área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, reúne informações básicas a respeito de embalagens para fins alimentícios. A autora aborda sobre alguns conceitos gerais, embalagens metálicas, plásticas, de vidro, de papel/cartão/papelão, flexíveis e rotulagem.

NEUZA JORGE é graduada em Engenharia de Alimentos e mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, doutora em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas com pós-doutorado na Universidad de Chile. Atualmente é Professora Adjunta dos cursos de Graduação e Pós-Graduação do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas/UNESP/São José do Rio Preto. Atua na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ISBN 978-85-7983-394-6

