ISBN: 978-85-94391-02-5

comitê de EPS

plastivida

PS, XPS E EPS
PARA CONTATO COM ALIMENTOS

CETEA
CENTRO DE TECNOLOGIA DE EMBALAGEM

plastivida
Juntos somos mais sustentáveis.

comitê de EPS

plastivida

PS, XPS E EPS PARA CONTATO COM ALIMENTOS

Realização:

CETEA
CENTRO DE TECNOLOGIA DE EMBALAGEM

plastivida
Juntos somos mais sustentáveis.

São Paulo
2017

Relatório CETEA A069-1/16
Concluído em janeiro/2017

Preparado por:
Centro de Tecnologia de Embalagem - CETEA/ITAL

Equipe:
Eloísa Elena Corrêa Garcia
Marisa Padula
Raquel Massulo Souza
Thiago Urtado Karaski

Projeto Gráfico e Diagramação:
Elemento Design

CARTA DE *ELOÍSA GARCIA*

Gerente CETEA
Embalagens Plásticas e Meio Ambiente

Engenheira de Alimentos,
Mestre em Tecnologia de Alimentos na área de concentração de Embalagem e especialista em embalagens plásticas

O presente trabalho tem o objetivo de esclarecer a população, por meio de informações técnicas e científicas, sobre diversos pontos relativos ao uso do EPS (conhecido como Isopor®, marca registrada) em embalagens para contato com alimentos e bebidas.

A partir da reunião de informações técnicas sobre o produto, os processos de fabricação das embalagens, seus possíveis efeitos durante o uso (aquecer, resfriar, transportar) e as legislações vigentes no Brasil e no exterior, além de questões ambientais, o estudo confirma que as embalagens de EPS são seguras para entrar em contato com alimentos, sejam eles frios, quentes, sólidos ou líquidos.

O estudo analisa desde as propriedades e características das embalagens de EPS (leveza, versatilidade, o fato de não serem abrasivas e de apresentarem excelente capacidade de isolamento térmico e resistência ao impacto), até os benefícios que proporciona, como a proteção, a preservação da qualidade e a maior durabilidade dos produtos embalados.

O documento esclarece sobre a segurança da aplicação do EPS para a saúde humana, quando em contato com alimentos e bebidas, uma vez que atende os requisitos das legislações específicas do Brasil, Mercosul, União Europeia e Estados Unidos.

Além disso, o relatório considera questões ambientais. Atesta que o EPS é inerte, extremamente leve, não contém CFC e HCFC, não contamina a água, ar e solo, não causa danos à camada de ozônio nem contribui para formação de gases do efeito estufa na disposição final. E ainda, por ser um plástico, é 100% reciclável, podendo ter uma vida útil além do descarte da embalagem original.

Desta forma o EPS contribui para o bem-estar, para a economia e com a preservação ambiental, o que o qualifica como um produto relevante para a sociedade moderna.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho teve como objetivo elaborar um relatório embasado tecnicamente sobre a aplicação de PS, XPS e EPS para contato com alimentos, envolvendo questões de segurança de aplicações práticas e as legislações vigentes atualmente no Brasil e no exterior, bem como esclarecer sobre a reciclabilidade desses materiais, suas aplicações e demais interfaces com o meio ambiente.

CONTEÚDO

O Relatório Técnico foi elaborado com base em informações técnicas e científicas de fontes reconhecidas, que foram levantadas na primeira fase do trabalho.

Os temas abordados envolveram três áreas do conhecimento, Segurança de Alimentos, Legislação e Meio Ambiente.

9 **Resumo Executivo**

15 **1. PS** - O Poliestireno (PS), sua estrutura química e propriedades

18 **2. XPS e EPS** - Os processos de transformação para fabricação de embalagens e peças à base de XPS (poliestireno extrudado) e de EPS (poliestireno expandido)

23 **3.** Propriedades e vantagens das aplicações de embalagens e peças à base de PS, XPS e EPS

26 **4.** Requisitos para PS, XPS e EPS das legislações do Brasil/Mercosul, União Europeia e Estados Unidos relativos a aplicações de materiais plásticos para contato com alimentos e bebidas

31 **5.** Potencial de migração de substâncias químicas para alimentos e bebidas devido ao contato com PS, XPS e EPS e eventuais riscos associados

36 **6.** Efeito da temperatura no potencial de migração das embalagens de PS, XPS e EPS

41 **7.** Aplicações de XPS e EPS para produtos farmacêuticos, médico-veterinários e vacinas

44 **8.** A reciclabilidade do PS, XPS e EPS

50 **9.** Outras interfaces com o Meio Ambiente

54 **10.** Exemplos de aplicações de XPS e EPS em outros mercados, além dos abordados no Relatório

57 Referências Bibliográficas

RESUMO EXECUTIVO

Aplicações de PS, XPS e EPS para contato com alimentos

APRESENTAÇÃO

Embalagens e acessórios de PS, XPS e EPS estão presentes no quotidiano da sociedade, com aplicações que visam à segurança, proteção, redução de perdas e manutenção da qualidade dos produtos acondicionados. Tais aplicações são justificadas por razões técnicas e econômicas, tendo como objetivos a otimização da função de embalar o produto e o benefício para o consumidor. O uso de embalagens que entram em contato com alimentos e bebidas, por sua vez, é regulamentado por meio de legislações específicas, que têm como princípio a eliminação do risco de contaminação química do produto acondicionado pelo contato com os diferentes materiais, sejam eles plásticos, metálicos, celulósicos ou de vidro ou cerâmica.

Este documento objetiva, portanto, abordar tecnicamente o uso de PS, XPS e EPS para contato com alimentos, envolvendo questões de segurança de aplicações práticas e as legislações vigentes atualmente no Brasil e no exterior. Uma vez que estes materiais, após seu uso, também passam a compor uma parcela do resíduo urbano pós-consumo, contempla-se-se brevemente a reciclabilidade desses materiais e demais interfaces com o meio ambiente.

RESUMO EXECUTIVO

Este estudo apresenta informações técnicas circunstanciadas sobre o emprego de Poliestireno - PS, Poliestireno Extrudado - XPS e Poliestireno Expandido - EPS para contato com alimentos, envolvendo questões de segurança de aplicações práticas e as legislações vigentes atualmente no Brasil e no exterior, bem como esclarece sobre a reciclabilidade desses materiais e demais interfaces com o meio ambiente.

O PS é uma resina termoplástica formada pela polimerização por adição do monômero estireno. É uma resina amorfa, o que determina sua principal característica, que é a facilidade de processamento e versatilidade em tipos de artigos que podem ser com ela produzidos.

Graças à evolução na tecnologia de materiais e de processamento são inúmeras as aplicações do poliestireno, que incluem o poliestireno homopolímero (cristal), o poliestireno de alto impacto e o poliestireno com estrutura alveolar.

O PS com estrutura alveolar difere dos demais pela baixa densidade obtida pela presença de inúmeras células de ar no interior do material, sendo dois os tipos básicos, PS expandido (EPS) e PS extrudado (XPS), em função do processo de produção. Espumas ou materiais expandidos são usados desde a década de 40, devido a propriedades relevantes como alta relação entre resistência e peso, boa capacidade de isolamento térmico e de amortecimento / acolchoamento.

A estrutura alveolar é obtida por meio da evaporação de um agente de expansão previamente incorporado à resina de PS, que gera células de ar no interior da massa do polímero durante o processo de fabricação, as quais são estabilizadas com o resfriamento do material. Como agentes de expansão são utilizados hidrocarbonetos com ponto de fusão abaixo de 110ºC à pressão atmosférica, sendo o pentano e o butano os mais utilizados atualmente no Brasil na confecção de peças e embalagens de EPS e de XPS, respectivamente.

As características intrínsecas do PS e as propriedades conferidas pela estrutura alveolar fazem do EPS e do XPS materiais altamente versáteis em formato e de baixo custo. Suas aplicações na área de embalagens envolvem a fabricação de placas, artigos injetados, peças termoformadas, peças de acolchoamento rígidas pré-moldadas, cantoneiras injetadas ou termoformadas ou granulados para preenchimento livre de espaços vazios no interior de embalagens.

As espumas de PS têm alta resistência à tração, apresentam alta rigidez por seção transversal de parede,

boa resistência à umidade e à gordura. São leves, não abrasivas, têm excelente capacidade de isolamento térmico e boas propriedades de amortecimento de impacto. A combinação dessas propriedades justifica seu amplo espectro de aplicações, desde o acondicionamento de produtos alimentícios até sistemas de acolchoamento, dada sua capacidade de absorver choques e prevenir/evitar danos mecânicos em produtos frágeis.

A estrutura alveolar também confere capacidade de isolamento térmico, o que explica sua ampla aplicação no acondicionamento e transporte de produtos na cadeia de frio, desde pescados até medicamentos termolábeis. O mesmo isolamento térmico permite a manutenção da temperatura do produto e o conforto e conveniência para o consumidor, no caso de copos para bebidas quentes, potes para sopas e embalagens de alimentos prontos de restaurantes e lanchonetes (*box to go*).

Na área de alimentos, são inúmeros os produtos atualmente acondicionados em espumas de PS, a exemplo de ovos, produtos cárneos e frango em pedaços resfriados, queijos e frios fatiados, vegetais in natura (cenoura, tomate, couve-flor, brócolis etc.), hortaliças e vegetais minimamente processados (couve, cheiro-verde, cenouras, berinjela, abobrinha – inteiros, fatiados ou em pedaços), produtos de panificação (bolos, pães e doces), entre outros.

Por suas características físicas e químicas, igualmente importantes, a utilização do XPS e do EPS representa uma vantagem no segmento de produtos farmacêuticos, médico-veterinários e vacinas, por essa razão, são amplamente empregados na fabricação de suportes e embalagens destinadas ao acondicionamento desses produtos, contribuindo para a proteção mecânica e para redução de custos.

APROVAÇÃO PARA CONTATO COM ALIMENTOS

É conhecido que componentes da embalagem quando em contato com os alimentos podem migrar para o produto, em um processo de transferência de massa conhecido como migração. Com intuito de evitar a contaminação química dos produtos alimentícios, são adotadas legislações baseadas na segurança e no princípio de que a embalagem deve ser segura. Para tanto, são estabelecidas Listas Positivas das substâncias que podem ser utilizadas na composição de materiais para contato com alimentos, as quais já foram avaliadas com relação à segurança e ao risco.

O risco, independente da sua origem, é a combinação entre a toxicidade da substância e quanto desta substância poderá vir a ser consumida, se vier a migrar para os alimentos (exposição). As legislações da União Europeia e do Brasil/Mercosul utilizam para todos os materiais plásticos as mesmas Listas Positivas e a avaliação da migração total e de migrações específicas, quando necessário. A legislação americana, por sua vez, descreve especificações individuais para cada tipo de material para contato com alimentos.

As legislações nacionais (Brasil e Mercosul) e internacionais (União Europeia e *Food and Drug Administration* dos Estados Unidos) autorizam o uso do PS, XPS e EPS para contato direto com alimentos, uma vez que o monômero estireno, os aditivos e os agentes de expansão constam das Listas Positivas das legislações, a saber:

• **Brasil/Mercosul:** o monômero estireno faz parte da Lista Positiva de monômeros, outras substâncias iniciadoras e polímeros autorizados para a elaboração de materiais para Embalagens e Equipamentos Plásticos em Contato com Alimentos – Resolução RDC N. 56, de 16 de novembro de 2012, publicada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Os aditivos e os

agentes de expansão constam da Resolução RDC N. 17/2008 - Lista Positiva de Aditivos para materiais plásticos destinados à elaboração de embalagens e equipamentos em contato com alimentos, de 18 de março de 2008, também publicada pela ANVISA.

• **Europa:** o monômero de estireno, os aditivos e agentes de expansão são listados no Regulamento (EU) N. 10/2011, de 14 de janeiro de 2011 da Comissão Europeia e suas atualizações, relativo aos materiais e objetos de matéria plástica destinados a entrar em contato com os alimentos.

• **Estados Unidos:** o monômero de estireno, os aditivos e agentes de expansão constam das seguintes Seções do Título 21 do *Code of federal Regulations*, onde são publicadas as disposições da *Food and Drug Administration – FDA*: Seção 177.1640 – *Polystyrene and rubber-modified polystyrene* (Poliestireno e poliestireno modificado com borracha), Parte 178 – *Indirect food additives: Adjuvants, Production Aids and Sanitizers* (Aditivos indiretos de alimentos: Adjuvantes, auxiliares de processo e saneantes) e Seção 178.3010 - *Adjuvant substances used in the manufacture of foamed plastics* (Sustâncias adjuvantes usadas na fabricação de plásticos expandidos).

No caso dos materiais coloridos, os corantes e pigmentos utilizados devem atender regulamentos específicos, como a Resolução RDC n. 52 de 2010, publicada pela ANVISA, que "Dispõe sobre corantes em embalagens e equipamentos plásticos destinados a estar em contato com alimentos" e a Resolução AP 89 (1) - *On the use of colourants in plastic materials coming into contact with food* (Sobre o uso de corantes e pigmentos em materiais plásticos para contato com alimentos), do Conselho Europeu. Além do atendimento a critérios de pureza, as peças e embalagens coloridas devem ser avaliadas quanto ao potencial de migração específica de metais. A FDA tem um princípio de aprovação de pigmentos e corantes diferente, pois adota uma lista positiva específica para esses componentes no 21CFR 178.3297 *Colorants for polymers* (Corantes para polímeros).

Como mencionado, a aprovação de materiais plásticos para contato com alimentos é feita com base no estudo do risco de exposição do consumidor à ingestão de substâncias presentes na formulação do material e que podem passar para o alimento. A segurança de cada substância que possivelmente venha a passar para o alimento é garantida pela sua presença em Listas Positivas, uma vez que, para estar listada, a substância já foi avaliada e foi considerada segura do ponto de vista toxicológico.

O nível de exposição, por sua vez, é avaliado por meio de ensaios de migração total e específica que determinam, respectivamente, o potencial de migração de todas as substâncias passíveis de migração ou o de uma substância em particular.

Um ponto importante é que apenas podem migrar substâncias presentes no material plástico que tenham mobilidade suficiente, ou seja, não são os polímeros (poliestireno, polipropileno etc.) que podem migrar para os alimentos, mas apenas substâncias de baixa massa molecular que porventura estejam presentes no material, como oligômeros, monômeros residuais, aditivos, corantes e substâncias auxiliares.

A exposição, ou seja, o potencial de migração, depende de vários fatores, como a quantidade e natureza química das substâncias livres capazes de migrar; a interação da(s) substância(s) com o alimento, que é função da natureza química da(s) substância(s) e do alimento; a área de contato embalagem/alimento; a temperatura e o tempo de contato. Ou seja, o potencial de migração depende da composição do EPS ou do XPS e da aplicação pretendida (tipo de alimento e condições de contato).

Como para qualquer outro material plástico, as peças e embalagens de EPS ou XPS para uso em contato com alimentos devem ser avaliadas quanto ao potencial de migração tendo como base a aplicação pretendida, ou seja, cada fabricante deve analisar seus produtos quanto à migração total simulando a situação real de uso. Caso

na formulação do EPS e XPS sejam utilizados aditivos com limite de migração específica, as peças e materiais devem ser avaliados também com relação à migração específica desses componentes, usando o simulante que melhor reproduza a natureza química do alimento que entrará em contato.

Devido às limitações analíticas de se analisar o potencial de migração nos próprios alimentos, as legislações brasileira (do Mercosul) e europeia adotam simulantes de alimentos, que são soluções/substâncias simples capazes de reproduzir o potencial de interação material plástico-alimento.

Desta forma, se o artigo for ser utilizado para contato com produto gorduroso, como por exemplo, um doce cremoso de confeitaria, é necessário avaliar a migração total para o simulante gorduroso. Mas se a aplicação pretendida for para uma lasanha, por exemplo, o artigo deve ser testado tanto com o simulante ácido como com um simulante gorduroso. O que acontece normalmente é que os artigos plásticos são avaliados quanto à migração total para todos os simulantes adotados, visando uma aprovação geral para contato com todo tipo de alimento ou bebida.

O potencial de migração total ou específica aumenta com as condições de contato (tempo e temperatura). A temperatura estimada de contato é muito importante para os ensaios de migração. Aplicações para produtos refrigerados requerem ensaios à baixa temperatura, enquanto o contato previsto com produtos quentes exige ensaios a temperaturas que simulem a situação real de uso. Quanto maior o tempo de contato, maior é o potencial de migração; portanto, materiais especificados para longo tempo de estocagem (p.ex. durante a vida útil de um alimento) devem ser submetidos a ensaios que simulem a migração durante a estocagem prolongada, o que normalmente é obtido em um ensaio com 10 dias de contato entre o artigo e o simulante. Esse potencial de migração é maior do que o estimado para um contato breve (p.ex. de materiais descartáveis para consumo imediato de alimentos e bebidas, ou mesmo embalagens para pratos prontos (*box to go*).

Assim, os artigos de EPS e XPS não oferecem risco para aplicações em contato com alimentos, sendo formulados com aditivos, corantes e pigmentos aprovados nas listas positivas e que cumpram os critérios de pureza definidos na legislação vigente. Adicionalmente, os artigos devem atender aos limites de migração total e específicas, se pertinentes, tendo como base a reprodução das condições da aplicação pretendida.

QUESTÕES AMBIENTAIS

XPS e EPS contribuem significativamente para o meio ambiente ao propiciar a redução de perdas de alimentos, a conservação e o transporte de vacinas e de produtos farmacêuticos e médico hospitalares e a proteção de bens duráveis como eletrodomésticos e eletroeletrônicos. Tal racionalização representa grande economia e minimização dos impactos ambientais associados a essas cadeias produtivas.

Como todo material utilizado pela sociedade, depois do uso (ou após-consumo), este deve ser revalorizado, ou seja, deve retornar a um novo ciclo produtivo para ser (re)aproveitado como material – por reutilização, reciclagem mecânica ou química – ou como energia em substituição a outras fontes energéticas – por digestão anaeróbia e gaseificação, produção de combustíveis derivados de resíduos - CDRs ou incineração com recuperação de energia.

Segundo a Política Nacional de Sólidos (PNRS - Lei nº 12.305/10), a disposição final em aterros deve ser a última alternativa para o Resíduo Sólido Urbano - RSU, só após terem sido esgotadas as opções de revalorização.

O PS, EPS e XPS são materiais biologicamente inertes,

não tóxicos e estáveis inclusive em aterros. Apesar de se acumularem nos aterros sanitários, estes não causam contaminação do solo, água ou ar, sendo o único inconveniente, a ocupação de espaço com consequente diminuição da vida útil dos aterros.

O potencial de revalorização do EPS e XPS é grande, pois podem ser facilmente reciclados e, pelo seu alto valor energético (41,9 MJ/kg), são adequados ao aproveitamento via reciclagem energética.

As opções de revalorização do resíduo pós-consumo requerem a separação do material reciclável do resíduo orgânico e uma logística reversa eficiente, seja ela por meio de coleta seletiva porta a porta, postos ou locais de entrega voluntária – PEVs ou LEVs.

Uma vez que se conte com uma infraestrutura eficiente de coleta e reciclagem, os resíduos pós-consumo de EPS são 100% recicláveis e podem voltar à condição de matéria-prima para novos ciclos produtivos.

A reciclagem mecânica do EPS e do XPS consiste basicamente das seguintes etapas: trituração em uma máquina de compactação, aglutinação, por meio de exposição a calor e atrito em uma máquina redutora, que aumenta a densidade do material; extrusão do material em temperaturas controladas, até sua fusão; homogeneização e produção de filetes; resfriamento, secagem e granulação produzindo uma resina novamente. Após essas etapas, o material está pronto para ser reintroduzido na produção de peças de diversos formatos.

A construção civil é o maior mercado para o EPS reciclado, sendo hoje no Brasil utilizado na produção de concreto leve, lajotas, telhas termo acústicas, rodapés ou misturados em argamassa. Outras aplicações são na indústria de calçados (solados, chinelos), móveis (preenchimento de estofados), decks de piscinas, rodapés, perfis e na fabricação de utilidades domésticas (vasos de flor, floreiras, molduras de quadro), entre outros.

Dentre os principais desafios e dificuldades da reciclagem do EPS e do XPS estão a necessidade da disseminação da informação que o material é reciclável e a baixa relação massa/volume que desestimula a ação dos catadores, a separação na coleta seletiva e o transporte, encarecendo o processo de logística reversa.

Outras dificuldades são comuns à cadeia de reciclagem dos demais materiais de embalagem, como a necessidade de múltiplas unidades de coleta e reciclagem, próximas às áreas de demanda, dadas as dimensões continentais do Brasil; a necessidade de investimentos em equipamentos para reciclagem; a presença de contaminação e sujidades, o que requer lavagem e consumo de água; as variações de demanda e preço, que afetam a atratividade de sua reciclagem; a elevada carga tributária; a carência de programas de financiamentos a taxas mais baixas e a informalidade que acarreta uma concorrência desequilibrada por empresas que não pagam impostos e pressionam preços no mercado.

Outra questão importante de natureza geral é a lamentável poluição dos resíduos jogados no meio ambiente, que aparecem no solo e em rios e oceanos, a qual não é função de características dos materiais plásticos, mas decorre de uma gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos e de falhas de conscientização ambiental do consumidor. Melhorias como universalização da coleta, aumento da atratividade econômica da reciclagem e educação ambiental certamente reduzirão os problemas relativos aos resíduos jogados indistintamente.

Reconhecendo a gravidade da questão, na última década muito esforço tem sido dispensado tanto pelo poder público como pela sociedade, por meio de ONGs, associações de indústrias, mídias etc., para elevar a conscientização da população sobre a importância da gestão adequada e responsável dos resíduos pós-consumo e sobre os benefícios da destinação para reciclagem.

Certamente, este é o caminho, mas ainda há um longo percurso pela frente. O sucesso dependerá da conscientização e união dos esforços de todos os envolvidos - poder público, setor produtivo e população - pois só com a participação de todos e alinhamento dos investimentos será possível reverter esta situação. ■

1. PS

O POLIESTIRENO (PS), SUA ESTRUTURA QUÍMICA E PROPRIEDADES

Poliestireno (PS) é uma resina termoplástica formada pela polimerização por adição do monômero estireno.

O monômero estireno pode ser produzido a partir da dehidrogenação catalítica de etilbenzeno que, por sua vez, é produzido pela reação entre etileno e benzeno, que são produtos derivados do petróleo e gás natural (Figura 1).

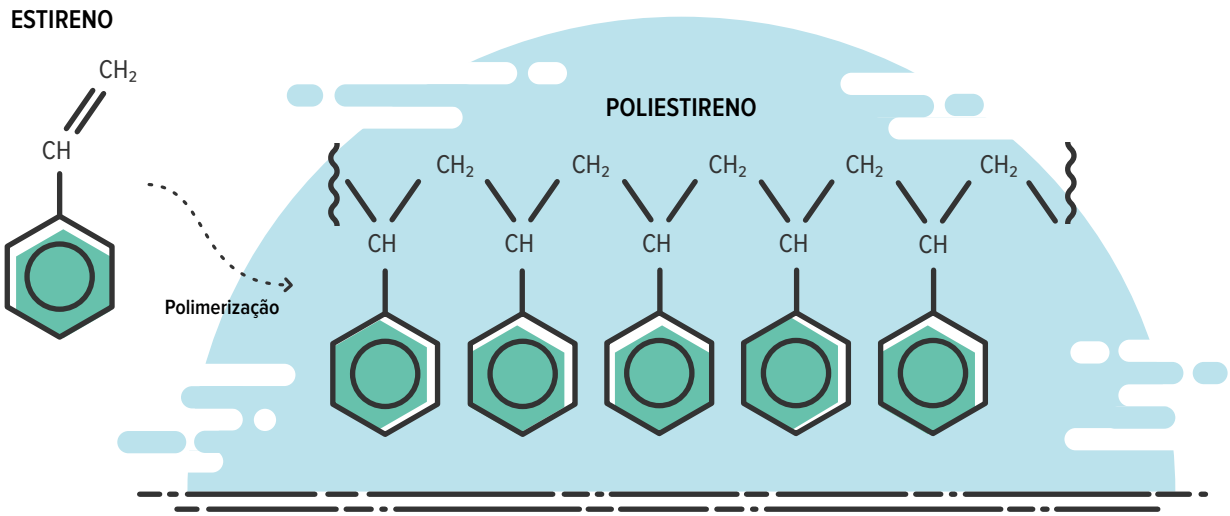


FIGURA 1.
Polimerização de estireno.

O PS é uma resina amorfa, devido ao efeito da natureza volumosa do anel benzênico lateral, que inibe a aproximação entre as cadeias poliméricas. Este fato determina a principal característica do PS, que é sua facilidade de processamento e versatilidade em tipos de artigos que podem ser com ele produzidos.

O Poliestireno foi a primeira resina plástica transparente e moldável a chegar ao mercado no final da década de 40. Ele pode ser rapidamente moldável em diferentes formatos pela sua facilidade de escoamento na fase fundida e rápida conformação quando resfriado. Além disso, a evolução na tecnologia de materiais e de processamento permitiu ampliar as aplicações do poliestireno, que vão desde o poliestireno homopolímero (cristal), o poliestireno de alto impacto e o poliestireno com estrutura alveolar.

O PS homopolímero, conhecido pelo mercado como PS cristal, é transparente e rígido, porém frágil e quebradiço, dada sua natureza amorfa e temperatura de transição vítrea da ordem de 90 – 100ºC. Resistente a ácidos e álcalis, no entanto, é solúvel em álcoois, cetonas, ésteres, hidrocarbonetos aromáticos e clorados e alguns óleos. Atualmente, tem aplicações como filme biorientado e peças injetadas (Figura 2a), ambos aproveitando sua elevada transparência e rigidez, mas a aplicação como embalagem é restrita, devido à sua baixa resistência mecânica.

Para contornar sua fragilidade, borrachas sintéticas (normalmente à base de 1,3 butadieno) são adicionadas durante a polimerização dando origem ao PS de alto impacto (PSAI), resina com propriedades adequadas para aplicações para embalagens termoformadas (copos, potes e bandejas) (Figura 2b). A copolimerização aumenta significativamente a resistência e flexibilidade do material, porém a transparência e a resistência à tração são em parte reduzidas. As propriedades químicas do PSAI são muito semelhantes às do homopolímero.

(A) (B)

FIGURA 2.
Exemplos de artigos em (a) PS cristal e (b) PSAI.

O PS com estrutura alveolar difere dos demais pela baixa densidade obtida pela presença de células de ar no interior do material, entretanto existem diferentes opções, em função do processo de produção, conhecidos como PS expandido (EPS) e PS extrudado (XPS). As aplicações na área de embalagem são diversas, desde bandejas e berços para acondicionamento de ovos, legumes, produtos cárneos etc., até materiais de acolchoamento em placas, peças ou granulados (Figura 3) (ROBERTSON, 2013).

(A) (B)

FIGURA 3.
Exemplos de artigos em (a) EPS e (b) XPS.

Espumas ou materiais expandidos são plásticos cuja densidade aparente é também reduzida substancialmente pela presença de inúmeras células de ar dispersas na massa. São materiais usados desde a década de 40, devido a propriedades relevantes como alta relação entre resistência e peso, boa capacidade isolante e de amortecimento / acolchoamento.

Peças de XPS podem ser flexíveis ou rígidas e podem conter células abertas (interconectadas), com elevada capacidade de absorção de líquidos, ou células fechadas (separadas), com baixíssima densidade e impermeabilidade a líquidos. O EPS, por sua vez, pode apresentar variações de densidade para suas mais diferentes aplicações, sendo mais ou menos resistente, dependendo do tamanho e da quantidade de células de ar geradas durante os processos de expansão e moldagem dos produtos. ■

2. XPS E EPS

OS PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO PARA FABRICAÇÃO DE EMBALAGENS E PEÇAS À BASE DE XPS (POLIESTIRENO EXTRUDADO) E DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO)

FABRICAÇÃO DE ARTIGOS DE EPS

Para fabricação do PS expandido, a incorporação do agente de expansão normalmente ocorre durante a polimerização quando são produzidas partículas de resina de PS contendo o hidrocarboneto em seus interstícios.

A moldagem do EPS consiste de 3 etapas: pré-expansão, maturação e moldagem (Figura 4). A pré-expansão é obtida por meio do aquecimento dos grãos com vapor que crescem formando partículas com até 50 vezes o tamanho original. Este processo pode ser contínuo ou em batelada. As partículas podem ser de diferentes tamanhos, pequeno, médio ou grande, em função da espessura de parede e da densidade da peça a ser fabricada.

Após a pré-expansão, as partículas são resfriadas e o residual do agente de expansão, ao se volatilizar, causa um vácuo parcial no seu interior. Neste estágio as partículas são extremamente frágeis. Assim, durante o processo de maturação, ar permeia a estrutura multicelular e o equilíbrio com a atmosfera é atingido. Ao final, as partículas já são resistentes e não colapsam mais.

Segue a moldagem, quando as partículas são injetadas em um molde, onde são novamente aquecidas com injeção de vapor, o que promove uma nova expansão em função do residual de agente de expansão existente. Como estão confinadas em um molde fechado, as partículas sofrem distorção, preenchendo o espaço entre elas e se fundem umas com as outras. Com isso, forma-se uma massa contínua de uma estrutura alveolar de células fechadas (não comunicáveis). Os moldes são normalmente de alumínio e apresentam perfurações para a circulação de vapor. O artigo em seguida é resfriado e a peça é retirada quando estiver dimensionalmente estável. O tempo de resfriamento depende da espessura da peça. O molde pode formar o artigo projetado ou produzir um bloco que então é cortado para atingir o formato final desejado (Figura 5).

Tanto para o EPS como para o XPS, a estrutura alveolar é obtida por meio da evaporação de um agente de expansão previamente incorporado à resina de PS, que gera células de ar no interior da massa do polímero, as quais são estabilizadas com o resfriamento do material. Como agentes de expansão são utilizados hidrocarbonetos com ponto de fusão abaixo de 110ºC à pressão atmosférica, sendo o pentano e o butano os mais utilizados atualmente no Brasil na confecção de peças e embalagens de EPS e de XPS, respectivamente.

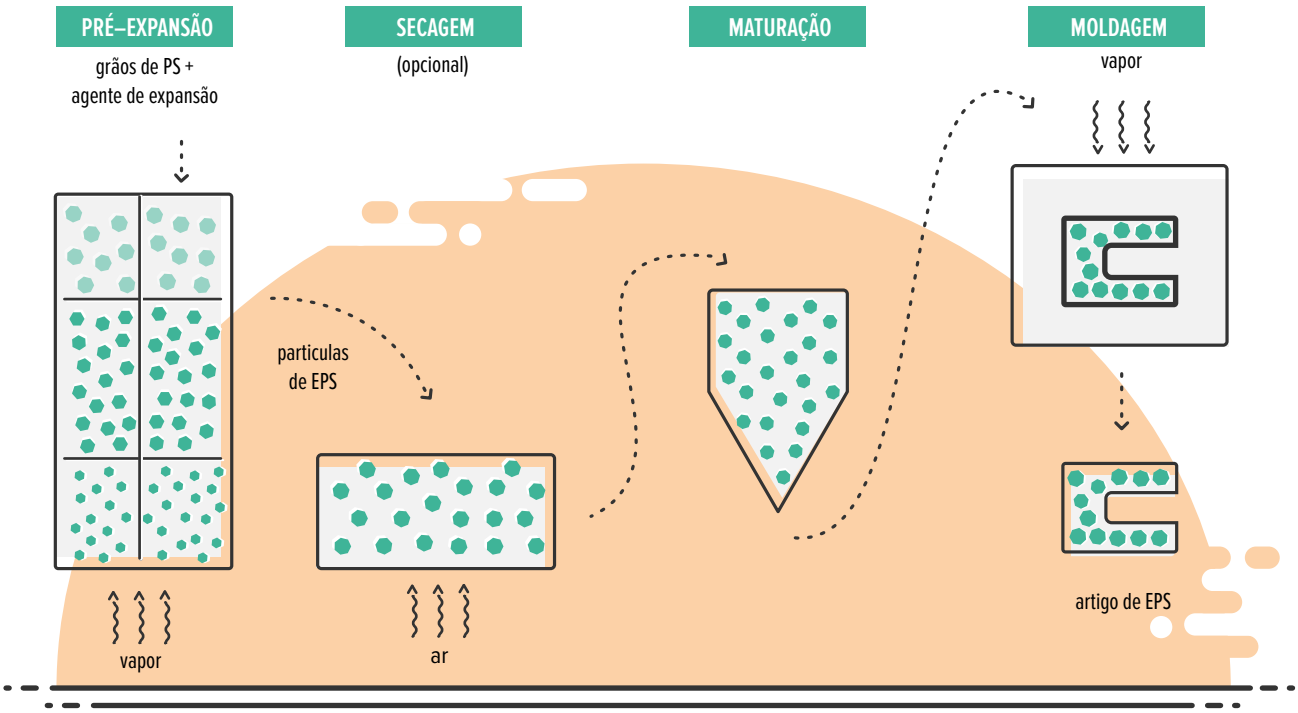


FIGURA 4.
Representação esquemática da produção de artigos em EPS.

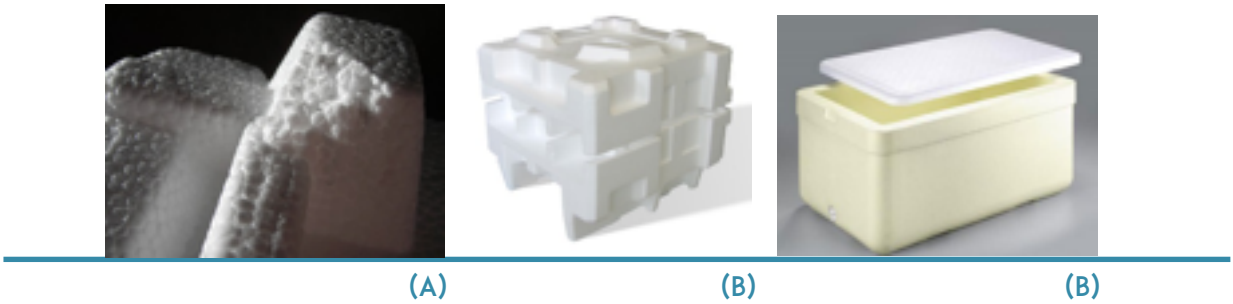


FIGURA 5.
(a) Detalhe da massa com estrutura alveolar, (b) exemplos de peças e artigos de EPS.

FABRICAÇÃO DE ARTIGOS DE XPS

No caso do XPS, também conhecido como espuma de PS, a expansão da resina fundida é livre, à pressão ambiente. A incorporação do agente de expansão normalmente é feita durante a extrusão que, na melhor formatação, é realizada por uma linha com duas extrusoras consecutivas e conectadas (*foam extrusion line / tandem extrusion process*), como ilustrado na Figura 6.

A primeira extrusora promove a fusão dos grãos de PS e a homogeneização do agente de expansão (butano) e demais aditivos na massa da resina. A rosca desta extrusora tem um papel importante na dispersão do agente de expansão em gotículas extremamente pequenas. Estas gotículas devem ser dispersas de maneira que a área interfacial seja maximizada, permitindo que uma fase

homogênea de agente de expansão e polímero seja obtida o mais rapidamente possível.

A massa fundida de polímero/agente de expansão passa então para a segunda extrusora, normalmente chamada de extrusora de resfriamento, uma vez que esta é sua única função no processo. A massa fundida é resfriada ainda sob pressão até atingir a temperatura ótima para garantir na fase de expansão, uma resistência do fundido e uma estabilização da estrutura alveolar adequadas. A temperatura ótima na saída da matriz varia em função do conteúdo de agente de expansão dissolvido na massa fundida e da temperatura necessária para o início da solidificação do material.

Quando a massa fundida sai da matriz, a pressão é aliviada e o agente de expansão imediatamente vaporiza, expandindo a massa fundida (Figura 6). Se a resistência do fundido do polímero não for grande o suficiente, essa expansão abrupta pode causar a fratura do material. Ele precisa resistir e formar uma rede celular uniforme.

A quantidade e tipo do agente de expansão controlam a densidade da espuma formada, bem como as condições de resfriamento da chapa.

O tamanho e a distribuição das células podem ser controlados pela adição de um agente de nucleação, como a mistura de ácido cítrico / bicarbonato de sódio ou silicato de magnésio. Na extrusora a mistura reage produzindo CO2 que atuará como sítios de crescimento das bolhas. Desta forma obtém-se um número maior de células menores, uniformemente distribuídas na massa.

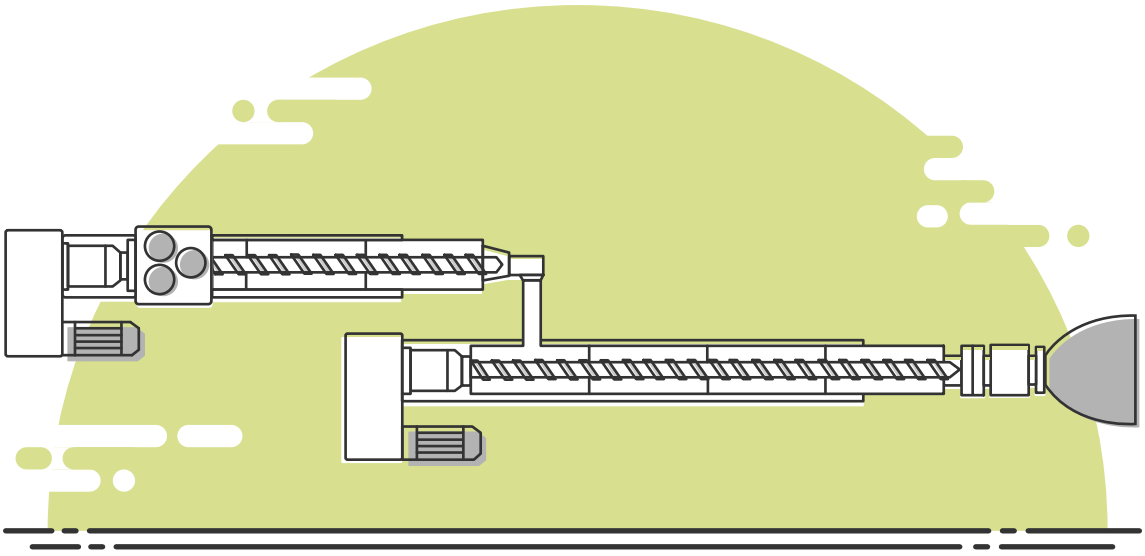


FIGURA 6.

Representação esquemática das extrusoras sequenciais para produção de XPS (LEE, 2015).

As chapas de Espuma de PS são de células fechadas (Figura 7), espessura de 0,13 a 6,4 mm e com densidades variando de 32 a 160 kg m-3, dependendo do artigo a ser fabricado. Podem ser fabricadas chapas de XPS por matriz plana ou anular.

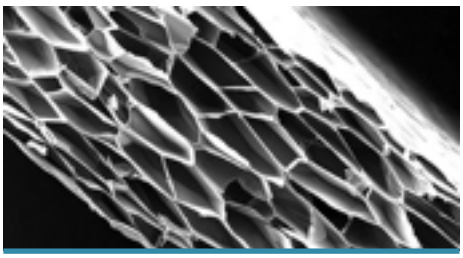


FIGURA 7.

Microfotografia da seção transversal de uma chapa de XPS (LEE, 2015).

No caso da matriz anular, normalmente utilizada para fabricação de chapas mais finas, o resfriamento se dá no balão com o auxílio de um anel de ar comprimido colocado ao redor da circunferência da matriz. Observa-se a formação de uma fina pele na superfície da espuma (*skin*) que sai da matriz e começa a expandir. Na sequência, o tubo é colapsado e aparado nas laterais obtendo-se duas chapas planas (Figura 8).

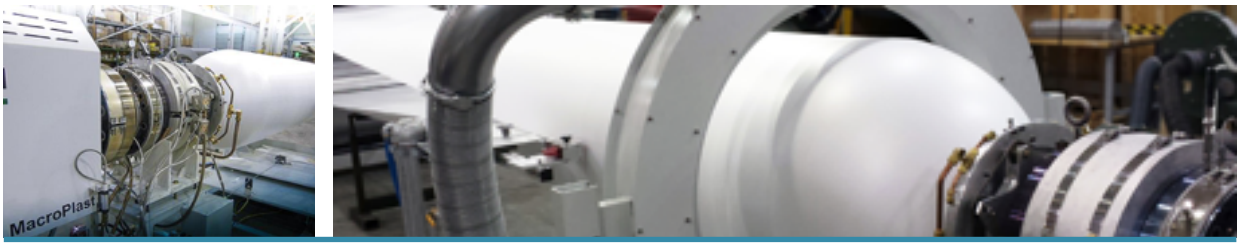


FIGURA 8.
Detalhes da formação de chapas, com expansão, resfriamento e corte das chapas (LEE, 2015).

As chapas são normalmente transformadas por moldagem combinada (*matched die forming*) (Figura 9), para fabricação de embalagens como bandejas, potes etc. (Figura 10). ■

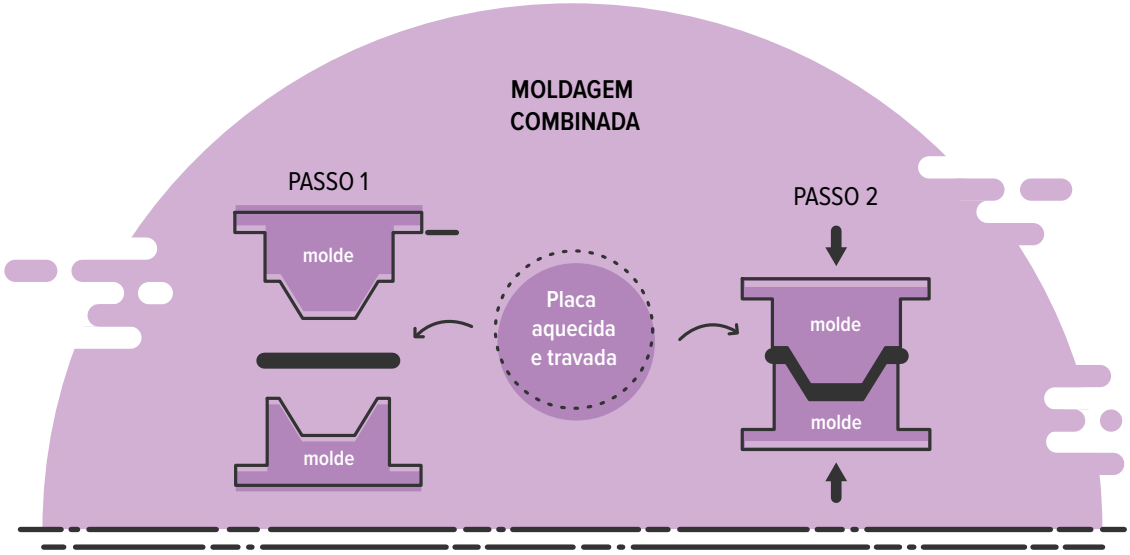


FIGURA 9.
Representação esquemática de moldagem combinada (matched die forming).

FIGURA 10.
Exemplos de embalagens obtidas a partir da termoformação de chapas de XPS.

3.

PROPRIEDADES E VANTAGENS DAS APLICAÇÕES DE EMBALAGENS E PEÇAS À BASE DE PS, XPS E EPS

As características intrínsecas do PS e as propriedades conferidas pela estrutura alveolar fazem do EPS e do XPS materiais altamente versáteis em formato e de baixo custo. Suas aplicações na área de embalagens envolvem a fabricação de placas, artigos injetados, peças termoformadas, peças de acolchoamento rígidas pré-moldadas, cantoneiras injetadas ou termoformadas ou granulados para preenchimento livre de espaços vazios no interior de embalagens.

As espumas de PS têm alta resistência à tração, apresentam alta rigidez por seção transversal de parede, boa resistência à umidade e à gordura. São leves, não abrasivas, têm excelente capacidade de isolamento térmico e boas propriedades de amortecimento de impacto. A combinação dessas propriedades justifica seu amplo espectro de aplicações, desde o acondicionamento de produtos alimentícios até sistemas de acolchoamento, dada sua capacidade de absorver choques e prevenir/evitar danos mecânicos em produtos frágeis.

A expansão modifica as propriedades do material em muitos sentidos. Ela aumenta a rigidez, por exemplo, porque seções transversais maiores são obtidas usando a mesma quantidade de material. A rigidez justifica sua aplicação em artigos como caixas, copos e bandejas.

A estrutura celular também confere capacidade de isolamento térmico, o que explica sua ampla aplicação no acondicionamento e transporte de produtos na cadeia de frio, desde pescados até farmacêuticos. O mesmo isolamento térmico permite a manutenção da temperatura do produto e o conforto e conveniência para o consumidor, no caso de copos para bebidas quentes, potes para sopas e embalagens de alimentos prontos de restaurantes e lanchonetes (*box to go*).

Na área de alimentos, são inúmeros os produtos atualmente acondicionados em espumas de PS, a exemplo de ovos, produtos cárneos e frango em pedaços resfriados, queijos e frios fatiados, vegetais in natura (cenoura, tomate, couve-flor, brócolis etc.), hortaliças e vegetais minimamente processados (couve, cheiro-verde, cenouras, berinjela, abobrinha – inteiros, fatiados ou em pedaços), produtos de panificação (bolos, pães e doces), entre outros.

Os artigos de EPS também são muito utilizados pelo setor de alimentação, tanto para consumo no local, como copos e pratos para bebidas e alimentos quentes ou frios, como para a opção de fornecimento de alimentos prontos "para viagem". ■

4. REQUISITOS

PARA PS, XPS E EPS DAS LEGISLAÇÕES DO BRASIL/MERCOSUL, UNIÃO EUROPEIA E ESTADOS UNIDOS RELATIVOS A APLICAÇÕES DE MATERIAIS PLÁSTICOS PARA CONTATO COM ALIMENTOS E BEBIDAS

As legislações de materiais e embalagens para contato com alimentos em vigor seja no Brasil, nos Estados Unidos ou na Europa estabelecem que os materiais de embalagem *"não devem ceder, nas condições previsíveis de uso, substâncias indesejáveis, tóxicas ou contaminantes, que representem um risco para a saúde do consumidor ou que possam modificar a composição dos alimentos ou suas características sensoriais"* (BRASIL, 2001; PARLAMENTO EUROPEU, 2004; CODE OF FEDERAL REGULATIONS 21CFR 174. 50). Tendo como princípio que as embalagens devem ser seguras e inertes, são estabelecidos nas legislações critérios a serem seguidos pelos materiais para contato com alimentos e bebidas.

É conhecido que componentes de diversos tipos de embalagem, quando em contato com os alimentos, podem migrar para o produto, em um processo de transferência de massa conhecido como migração. Com intuito de evitar a contaminação química dos produtos alimentícios, foram elaboradas legislações baseadas na segurança e no princípio de que a embalagem deve ser segura. Desta forma, são estabelecidas Listas Positivas das substâncias que podem ser utilizadas na composição de materiais para contato com alimentos. A autorização para que estas substâncias possam fazer parte destas Listas Positivas tem como princípio a avaliação e o gerenciamento do risco. O risco, independente da sua origem, é a combinação entre a toxicidade da substância (perigo) e quanto desta substância poderá vir a ser consumida se migrar para os alimentos (exposição). As legislações da União Europeia e do Brasil/Mercosul utilizam para todos os materiais plásticos as mesmas Listas Positivas e a avaliação da migração total e de migrações específicas, quando necessário. A legislação americana, por sua vez, descreve especificações individuais para cada tipo de material para contato com alimentos.

Poliestireno (PS, XPS, EPS) tem sido extensamente utilizado para embalagem de alimentos. As legislações nacionais (Brasil e Mercosul) e internacionais (União Europeia e *Food and Drug Administration* dos Estados Unidos) permitem o uso do poliestireno para contato com alimentos.

A seguir, são comentadas as aprovações do uso de PS, EPS e XPS em embalagens para contato com alimentos no Brasil/Mercosul, União Europeia e FDA:

- **Brasil/Mercosul.** O monômero estireno faz parte da lista positiva de monômeros, outras substâncias iniciadoras e polímeros autorizados para a elaboração de materiais

para Embalagens e Equipamentos Plásticos em Contato com Alimentos – **Resolução RDC N. 56 de 16 de novembro de 2012** publicada pela ANVISA (BRASIL, 2012). Esta resolução corresponde à Resolução GMC N. 02/2012 do Mercosul. O poliestireno não apresenta restrição de uso para contato com alimentos, ou seja, não há limite de composição estabelecido para a resina ou mesmo limite de migração específica do monômero. Sendo assim, o limite de migração para o estireno é o mesmo estabelecido para a migração total na legislação: 50 mg/kg de simulante ou alimento.

• **União Europeia.** Assim como a legislação brasileira, o monômero estireno é listado na Lista de monômeros, outras substâncias iniciadoras, macromoléculas obtidas por fermentação microbiana, aditivos e adjuvantes de polimerização autorizados na União Europeia pelo **Regulamento (EU) N. 10/2011 de 14 de janeiro de 2011**, publicado pela Comissão Europeia em 15 de janeiro de 2011 (COMISSÃO..., 2011). Também não apresenta restrição de uso para contato com alimentos. Desta forma, o limite de migração do monômero estireno é igual ao limite de migração total estabelecido pela União Europeia, que é de 60 mg/ kg de simulante ou alimento.

• ***Food and Drug Administration* - Estados Unidos.** As especificações para o poliestireno estão publicadas no Code of Federal Regulations – CFR – Title 21 – Food and Drugs, Part 177 - *Indirect Food Additives: Polymers - Subpart B--Substances for Use as Basic Components of Single and Repeated Use Food Contact Surfaces*, Seção 177.1640 – *Polystyrene and rubber-modified polystyrene* (CODE OF.., 2016).

Este Parágrafo define o poliestireno como um polímero base obtido pela polimerização do estireno e que adjuvantes de polimerização podem ser utilizados, desde que atendam aos requisitos descritos nas partes de 170 a 189 do 21CFR.

O item 1 (c) da Seção 177.1640 – Especificação - estabelece que o residual de estireno no polímero não pode ser superior a 1% em peso, determinado pelo método descrito neste mesmo parágrafo, para todos os tipos de alimentos, com exceção dos alimentos que contenham gordura (emulsões óleo-água e água-óleo, leite e produtos de leite, gorduras e óleos, produtos de panificação com gordura na superfície e produtos secos com gordura) para os quais o residual de estireno não deve ultrapassar 0,5% em peso.

Para o PSAI, o limite para o monômero de estireno é de 0,5%, independente da aplicação.

O poliestireno de alto impacto (PSAI) também utiliza o monômero 1,3-butadieno, o qual consta da Lista Positiva de monômeros, outras substâncias iniciadoras e polímeros autorizados para a elaboração de materiais para Embalagens e Equipamentos Plásticos em Contato com Alimentos – **Resolução RDC N. 56 de 16 de novembro de 2012** (BRASIL, 2012) e tem a seguinte restrição: Limite de Composição (LC) de 1mg/kg de

Produto final (PT) ou Limite de migração específica (LME) não detectável por um método com limite de detecção de 0,01mg/kg. O monômero 1,3-butadieno consta também do **Regulamento (EU) N. 10/2011 de 14 de janeiro de 2011** da Europa com as mesmas restrições descritas na legislação brasileira (COMISSÃO..., 2011). Com relação à FDA, o 1,3-butadieno consta da Seção 177.1640 – *Polystyrene and rubber-modified polystyrene*, sem restrição (CODE OF..., 2016).

É importante também ressaltar que aditivos utilizados na formulação da resina de poliestireno e aqueles adicionados na resina para transformação do material também devem constar de listas positivas de acordo com a legislação do Brasil/Mercosul e União Europeia. No Brasil deve-se obedecer à Lista Positiva de aditivos publicada pela ANVISA em 17 de março de 2008 como Resolução RDC N. 17/2008 - Lista Positiva de Aditivos para materiais plásticos destinados à elaboração de embalagens e equipamentos em contato com alimentos (BRASIL, 2008). Na União Europeia é necessário respeitar o Regulamento (EU) N. 10/2011 já mencionado. Nos Estados Unidos os aditivos para materiais plásticos devem constar das Partes 170 a 188, em especial da *Part 178 – Indirect food additives: Adjuvants, Production Aids and Sanitizers* e as Partes 170 a 189, se pertinente (CODE OF..., 2016). Aditivos como bicarbonato de sódio e o silicato de magnésio são autorizados por todas as legislações citadas, sem restrições.

Com relação ao agente de expansão, tanto o pentano como o butano constam das Listas Positivas de Aditivos do Brasil/Mercosul e da União Europeia sem restrição de uso, ou seja, não têm limite de composição ou limite de migração específica na Resolução RDC N. 17/2008 e no Regulamento (EU) N. 10/2011.

Para a FDA, o uso de n-pentano ou de isopentano como agente de expansão é seguro, segundo a *Part 178 – Indirect food additives: Adjuvants, Production Aids and Sanitizers, Subpart D – Certain Adjuvants and Production Aids*, Seção 178.3010 *Adjuvant substances used in the manufacture of foamed plastics* (Sustâncias adjuvantes usadas na fabricação de plásticos expandidos) (CODE OF..., 2016).

N-butano e isobutano são listados na Part 184, Seção 184.1165 - *Direct food substances affirmed as generally recognized as safe* (Substâncias para uso direto em alimentos afirmadas como seguras), a FDA estabelece que o butano pode ser utilizado como ingrediente de alimentos, desde que tenha a pureza adequada para a aplicação pretendida e de acordo com as boas práticas de fabricação, ou seja, não tem limite para aplicação. Esta seção também descreve que estes gases são utilizados como propelentes, agentes de aeração e como gases (CODE OF..., 2016).

Assim, do ponto de vista das legislações consultadas, o PS, XPS e EPS estão autorizados para uso em contato direto com alimentos, desde que os aditivos adicionados também constem das listas positivas, como foi demonstrado para o monômero de estireno, bicarbonato de sódio, silicato de magnésio e para os agentes de expansão n-pentano e n-butano.

No caso dos materiais coloridos, os corantes e pigmentos utilizados devem atender regulamentos específicos, como a Resolução RDC n. 52 de 2010, publicada pela ANVISA, que "Dispõe sobre corantes em embalagens e equipamentos plásticos destinados a estar em contato com alimentos" (BRASIL, 2010b) e a Resolução AP 89 (1) *"On the use of colourants in plastic materials coming into contact with food"*, do Conselho Europeu (COUNCIL OF EUROPE, 1989). Além do atendimento a critérios de pureza, as peças e embalagens coloridas devem ser avaliadas quanto ao potencial de migração específica de metais. A FDA tem um princípio de aprovação de pigmentos e corantes diferente, pois adota uma lista positiva específica para esses componentes no 21CFR 178.3297 *Colorants for polymers* (Corantes para polímeros) (CODE OF..., 2016).

QUESTÕES SOBRE A TOXICIDADE DO ESTIRENO

A Organização Mundial de Saúde (*World Health Organization*) estabelece uma a ingestão diária tolerável (TDI) de estireno é de 7,7 µg/kg de massa corpórea.

Este valor foi definido após dois anos de estudo em água potável e foi derivado de um NOAEL (Nível de Efeito Adverso Não Observado) de 7,7mg/kg de massa corpórea/dia e da aplicação de um fator de incerteza de 1000 (WHO, 1984).

O Relatório da União Europeia sobre Avaliação de Risco (RAR) do estireno concluiu que não há evidência convincente de atividade mutagênica ou carcinogênica relevante do estireno para humanos (DANISH MINISTRY OF ENVIRONMENT, 2014).

A Agência Internacional para Pesquisa sobre Câncer (*International Agency to Research on Cancer – IARC*) concluiu com base em estudos que há limitada evidência em humanos de que o monômero de estireno seja carcinogênico e, portanto, o classificou como "possível carcinogênico para humanos", Grupo 2B. (IARC, 2016).

Da mesma forma, o RAR concluiu que não há evidência de que o estireno possui atividade significante como disruptor endócrino no sistema reprodutivo. No entanto, o estireno está na categoria 1 na lista de prioridades da União Europeia para estudo de disruptores endócrinos. Critérios para estabelecimento de quais substâncias são disruptores endócrinos ainda estão em desenvolvimento pela União Europeia e uma revisão desta avaliação só será possível após estes critérios tornarem-se disponíveis (DANISH MINISTRY OF ENVIRONMENT, 2014).

A discussão sobre a toxicidade do estireno despertou novamente a atenção após a publicação, em 2011, pelo *National Institutes of Health's National Toxicology Program* (NTP), (Institutos Nacionais de Saúde do Programa Nacional de Toxicologia dos Estados Unidos), que o monômero de estireno é "razoavelmente previsto ser um carcinógeno humano" (r*easonably anticipated to be a human carcinogen*) e de publicações controversas sobre oligômeros de estireno imitarem os efeitos fisiológicos do estrogênio. Frente a estas publicações, a FDA conduziu um estudo sobre o residual de estireno em artigos de poliestireno para contato com alimentos e a quantificação de dímeros e trímeros de estireno nestes mesmos materiais. Os resultados mostraram que os teores de estireno estavam abaixo dos limites estabelecidos pela FDA (1% em peso, para todos os tipos de alimentos e 0,5% para alimentos que contenham gordura). Com relação aos dímeros e trímeros o estudo mostrou que, embora as quantidades destas substâncias no poliestireno fossem altas, a migração para alimentos é muito baixa devido ao menor coeficiente de difusão aparente dos dímeros e trímeros no polímero e maiores coeficientes de partição entre o polímero e o alimento. Estudos para estimar a ingestão diária de dímeros e trímeros de estireno ainda devem ser realizados (GENUALDI et al., 2014).

Baseados nestes dados, as legislações de materiais para contato com alimentos permitem o uso do estireno como monômero base de polímeros usados em contato direto com alimentos. Inclusive, como descrito anteriormente, o residual do monômero no poliestireno é baixo e mantido sob controle em níveis seguros nos processos de polimerização. ■

5.

POTENCIAL DE MIGRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS PARA ALIMENTOS E BEBIDAS DEVIDO AO CONTATO COM PS, XPS E EPS E EVENTUAIS RISCOS ASSOCIADOS

Como mencionado, a aprovação de materiais plásticos para contato com alimentos é feita com base no estudo do risco de exposição do consumidor à ingestão de substâncias presentes na formulação do material e que podem passar para o alimento. A segurança de cada substância que possivelmente venha a passar para o alimento é garantida pela sua presença em Listas Positivas, uma vez que, para estar listada, a substância já foi avaliada e foi considerada segura do ponto de vista toxicológico.

O nível de exposição, por sua vez, é avaliado por meio de ensaios de migração total e específica que determinam, respectivamente, o potencial de migração de todas as substâncias passíveis de migração ou o de uma substância em particular.

A migração também pode levar a alterações sensoriais indesejáveis no alimento, causando o aparecimento de odores e sabores estranhos, que, mesmo sem risco toxicológico, podem causar a rejeição do produto alimentício.

Um ponto importante é que apenas podem migrar substâncias presentes no material plástico que tenham mobilidade suficiente, ou seja, não são os polímeros (poliestireno, polipropileno etc.) que podem migrar para os alimentos, mas apenas substâncias de baixa massa molecular que porventura estejam presentes no material, como oligômeros, monômeros residuais, aditivos, corantes e substâncias auxiliares.

A exposição, ou seja, o potencial de migração, depende de vários fatores, como:

a) Quantidade e natureza química das substâncias livres capazes de migrar;
b) A interação da(s) substância(s) com o alimento, o que é função da natureza química tanto da(s) substância(s) e como do alimento;
c) Da área de contato embalagem/alimento;
d) Da temperatura de contato;
e) Do tempo de contato.

Ou seja, o potencial de migração depende da composição do EPS ou do XPS e da aplicação pretendida (tipo de alimento e condições de contato).

Assim, como para qualquer outro material plástico, as peças e embalagens de EPS ou XPS para uso em contato com alimentos devem ser avaliadas quanto ao potencial de migração tendo como base a aplicação pretendida, ou seja, cada fabricante deve analisar seus produtos quanto à migração total simulando a situação real de uso.

Devido às limitações analíticas de se analisar o potencial de migração nos próprios alimentos, as legislações brasileira (do Mercosul) e europeia adotam simulantes de alimentos, que são soluções/substâncias simples capazes de reproduzir o potencial de interação material plástico-alimento. Na **Tabela 1** são apresentados os simulantes de alimentos hoje adotados pelas legislações citadas.

Assim, se o artigo for ser utilizado para contato com produto gorduroso, como por exemplo, um doce cremoso de confeitaria, é necessário avaliar a migração total para um dos simulantes gordurosos apresentados na Tabela 1. Mas se a aplicação pretendida for para uma lasanha, por exemplo, o artigo deve ser testado tanto com o simulante ácido como com um dos simulantes gordurosos. O que acontece normalmente é que os artigos plásticos são avaliados quanto à migração total para todos os simulantes adotados, visando uma aprovação geral para contato com todo tipo de alimento ou bebida.

Caso na formulação do EPS e XPS venham a ser utilizados aditivos com limite de migração específica, as peças e materiais devem ser avaliados também com relação à migração específica desses componentes, usando o simulante que melhor reproduza a natureza química do alimento que entrará em contato.

TABELA 1.
Simulantes de alimentos adotados em ensaios de migração (BRASIL, 2010a; COMISSÃO..., 2011).

Tipo de Alimento	Simulante	
	Brasil / Mercosul	EUROPA
Aquoso não ácido (pH>4,5)	Água destilada ou desionizada	Solução de etanol a 10 % (v/v) em água destilada ou desionizada
Aquoso ácido (pH<4,5)	Solução de ácido acético a 3% (m/v) em água destilada ou desionizada	Solução de ácido acético a 3% (m/v) em água destilada ou desionizada
Gorduroso	Azeites/ óleos comestíveis (azeite de oliva, óleo de girassol, óleo de milho) ou misturas sintéticas de triglicerídios	Azeites/ óleos comestíveis (azeite de oliva, óleo de girassol, óleo de milho) (alimentos com gordura em sua superfície)
Gorduroso	solução de etanol a 95% (v/v) em água destilada ou desionizada, ou isooctano ou MPPO (óxido de polifenileno modificado) (simulantes gordurosos alternativos)	Solução de etanol a 20% (v/v) em água destilada ou desionizada (para simular emulsões de óleo em água)
Alcoólico com teor de álcool até 10%	Solução de etanol a 10 % (v/v) em água destilada ou desionizada,	Solução de etanol a 20 % (v/v) em água destilada ou desionizada,
Alcoólico com teor de álcool até 20%	Solução de etanol em água destilada ou desionizada na concentração equivalente à aplicação real (v/v)	Solução de etanol a 20 % (v/v) em água destilada ou desionizada,

Tipo de Alimento	Simulante	
	Brasil / Mercosul	EUROPA
Alcoólico com teor de álcool superior a 20%	Solução de etanol em água destilada ou desionizada na concentração equivalente à aplicação real (v/v)	Solução de etanol a 50 % (v/v) em água destilada ou desionizada,
Orgânicos lipofílicos	----	Solução de etanol a 20 % (v/v) em água destilada ou desionizada,
Leite integral, leite condensado, leite desnatado ou parcialmente desnatado, leites fermentados como iogurte e produtos similares, creme de leite, creme de leite ácido e sobremesas lácteas refrigeradas	Solução de etanol a 50% (v/v) em água destilada ou desionizada	Solução de etanol a 50% (v/v) em água destilada ou desionizada
Seco não gorduroso	----	MPPO (óxido de polifenileno modificado)

A título de ilustração, a **Tabela 2** apresenta os simulantes recomendados no Brasil / Mercosul e na Europa para avaliar o potencial de migração total de diversos tipos de alimentos que utilizam EPS ou XPS como embalagem.

A FDA, por sua vez, não adota ensaios de migração e sim o teor residual de estireno na resina para os materiais fabricados com poliestireno, como já comentado no item 4.

Assim, os artigos de EPS e XPS não oferecem risco para aplicações em contato com alimentos, desde que sejam formulados com aditivos, corantes e pigmentos aprovados nas listas positivas e que cumpram os critérios de pureza definidos na legislação vigente. Adicionalmente, os artigos devem atender ao limite de migração total, tendo como base a aplicação pretendida.

TABELA 2.
Simulantes de alimentos recomendados para aplicações tradicionais de EPS e de XPS.

Alimento/Bebida	Tipo de simulante
Frutas in natura	Aquoso
Vegetais in natura	Aquoso
Frutas ácidas in natura	Ácido
Hortaliças e vegetais minimamente processados	Aquoso ou ácido (depende do pH)
Ovos sem casca	Aquoso
Produtos cárneos resfriados	Aquoso e gorduroso
Pescados resfriados	Aquoso e gorduroso
Queijos	Aquoso, gorduroso e ácido (depende do pH)
Frios fatiados	Aquoso e gorduroso
Produtos de panificação (bolos, pães e doces) com gordura na superfície	Gorduroso
Refrigerantes	Ácido
Água	Aquoso
Sucos	Ácido
Cerveja	Alcoólico
Café quente	Aquoso
Chá quente	Aquoso
Achocolatado	Gorduroso
Quentão	Alcoólico
Bebidas alcoólicas em geral	Alcoólico
Alimento pronto “para viagem” (gorduroso)	Gorduroso e ácido (depende do pH)

Alimento/Bebida	Tipo de simulante
Sopas “para viagem” (gorduroso)	Gorduroso
Sanduiche com gordura na superfície	Gorduroso
Massa fresca com gordura na superfície	Aquoso e gorduroso

6.

EFEITO DA TEMPERATURA NO POTENCIAL DE MIGRAÇÃO DAS EMBALAGENS DE PS, XPS E EPS

Da mesma maneira, a temperatura estimada de contato é muito importante para os ensaios de migração. Como ilustração, a **Tabela 3** apresenta as condições de contato adotadas para os ensaios de migração recomendadas no Brasil / Mercosul e pela União Europeia para avaliar a o potencial de migração total de materiais plásticos para alimentos.

Para um material ou artigo destinado a diferentes aplicações, que abranjam combinações distintas de tempo de contato e temperatura, o ensaio deve ser realizado em condições que são reconhecidas como mais desfavoráveis, com base em evidências científicas.

O potencial de migração total ou específica aumenta com as condições de contato (tempo e temperatura).

Quanto maior o tempo de contato, maior é o potencial de migração; assim materiais especificados para longo tempo de estocagem (p.ex. durante a vida útil de um alimento) devem ser submetidos a ensaios que simulem a migração durante a estocagem prolongada, o que normalmente é obtido em um ensaio com 10 dias de contato entre o artigo e o simulante. Esse potencial de migração é maior do que o estimado para um contato breve (p.ex. de materiais descartáveis para consumo imediato de alimentos e bebidas, ou mesmo embalagens para pratos prontos (*box to go*).

Caso o material ou objeto se destine a uma aplicação em contato com alimentos em que é submetido a uma sequência de duas ou mais combinações tempo/temperatura, os ensaios de migração devem ser efetuados com a exposição da amostra, sucessivamente, a todas as condições previsíveis mais desfavoráveis que lhe sejam aplicáveis, utilizando a mesma porção do simulante alimentar.

Caso um material seja submetido a um ensaio de migração, por exemplo, a 60ºC a 10 dias, é desnecessária sua avaliação a temperaturas e tempos inferiores, para um mesmo simulante de alimentos. Assim, quando se deseja uma aprovação genérica para contato com alimentos, é recomendada a avaliação do material em condições que simulem a situação mais crítica do uso real.

Então, para comprovar que artigos e embalagens de EPS e XPS são adequados para as aplicações pretendidas, basta avaliá-los com relação à migração total para o(s) simulante(s) de alimentos nas condições previsíveis de uso, por exemplo:

- **Acondicionamento de produtos congelados por longo tempo:** 5ºC por 10 dias

- **Acondicionamento de produtos refrigerados por longo tempo:** 5ºC por 10 dias

- **Estocagem prolongada à temperatura ambiente:** 40ºC por 10 dias

• **Copos para bebida gelada:** 5ºC por 30min

• **Copos para bebidas quentes:** 70 ou 100ºC por 30min

• **Embalagens para produtos prontos quentes:** depende da situação, mas poderia ser 70 ou 100ºC por 30min (a condição real mais crítica deve ser estabelecida).

Como pode ser observado, a aplicação de materiais plásticos para produtos congelados é uma das mais brandas, com menor potencial de migração, uma vez que a mobilidade das substâncias é restringida pela baixa temperatura. Assim, um material seguro para contato com alimentos à temperatura ambiente certamente não apresenta qualquer risco na sua aplicação à temperatura de congelamento.

Por outro lado, é de se esperar que aplicações a temperaturas mais altas acelerem o potencial de migração, o que requer que o material / artigo seja avaliado nas condições mais críticas de aplicação. Se nesse caso, o limite de migração total é atendido, 50 ou 60mg/kg de simulante no Brasil / Mercosul e na Europa, respectivamente, não há restrição para a aplicação pretendida quanto à migração total.

TABELA 3.
Condições de contato para o ensaio de migração em função das condições previsíveis de uso (BRASIL, 2010a; COMISSÃO..., 2011).

Condição de Contato Real	Condição de contato no ensaio [3, 4]	
	Brasil / Mercosul	Europa
Tempo	Tempo	Tempo
t ≤ 5 min	Até 5 min [1]	Até 5 min (1)
5 min < t ≤ 30 min	30 min	30 min
30 min < t ≤ 1 h	1 h	1 h
1 h < t ≤ 2 h	2 h	2 h
2 h< t ≤ 4 h	4h	----
2 h< t ≤ 6 h	---	6h
4 h < t ≤ 24 h	24h	---
6 h < t ≤ 24 h	---	24h
t > 24 h	10 dias	
1 dia < t ≤ 3 dias	---	3 dias
3 dias < t ≤ 30 dias	---	10 dias
Mais de 30 dias	10 dias	Ver condições específicas no Regulamento 10/2011

[1] Naqueles casos em que as condições reais de contato do material plástico e o alimento não estiverem adequadamente contempladas pelas condições de ensaio da presente tabela (por exemplo, tempos de contato menores que 5 minutos ou temperaturas de contato maiores que 175 ºC), poderão ser usadas outras condições de contato mais apropriadas a cada caso em questão, sempre que as condições escolhidas representem as condições de contato previsíveis mais críticas.

[2] Esta temperatura corresponde somente no caso de utilizar o simulante gorduroso "azeites/ óleos comestíveis".

[3] Para os simulantes aquosos, a temperatura do ensaio de migração será de 100 ºC (ou temperatura de refluxo) durante um tempo igual a 4 (quatro) vezes o tempo da tabela

[4] Um requisito para o uso do simulante gorduroso alternativo, em vez de azeite ou óleos, é que o material, embalagem ou equipamento plástico em contato suporte as condições do ensaio. Um corpo de prova da amostra é submerso no simulante azeite ou óleos nas condições selecionadas da Tabela 3, e se as propriedades físicas dela se alterarem (por exemplo, se for observado abrandamento ou fusão, ou deformação etc.), então o material é considerado inadequado para usar em tal temperatura. Se as propriedades físicas não se alterarem, então se procede à realização do ensaio de migração com o simulante gorduroso alternativo.

Condição de Contato Real	Condição de contato no ensaio [3, 4]	
	Brasil / Mercosul	Europa
Tempo	Tempo	Tempo
Temperatura	Temperatura	Temperatura
T ≤ 5 °C	5 °C	5 °C
5 °C < T ≤ 20 °C	20 °C	20 °C
20 °C < T ≤ 40 °C	40 °C	40 °C
40 °C < T ≤ 70 °C	70 °C	70 °C
70 °C < T ≤ 100 °C	100 °C	100 °C ou T de refluxo
100 °C < T ≤ 121 °C	121 °C [2]	121 °C [2]
121 °C < T ≤ 130 °C	130 °C [2]	130 °C [2]
130 °C < T ≤ 150 °C	150 °C [2]	150 °C [2]
T > 150 °C	175 °C [1] [2]	175 °C [1] [2]
T > 150 °C	---	Ajustar a T à T real na interface com o alimento

Um caso interessante é o emprego de materiais para contato com alimentos em fornos de micro-ondas. Há dois objetivos do uso de um micro-ondas: cozer alimentos e descongelar/aquecer alimentos. O ensaio de migração deve simular a condição real de aplicação.

Micro-ondas são ondas eletromagnéticas de alta frequência, como as de rádio. O magnetron do forno recebe, de um transformador, uma tensão fixa de cerca de 400 volts e gera dentro do aparelho ondas eletromagnéticas de 2450 GHz, a mesma frequência de ressonância das moléculas de água. A radiação excita as moléculas assimétricas, como a da água, óleos e açúcar. Quando o forno é utilizado, as ondas são refletidas várias vezes nas paredes metálicas sobre o alimento, fazendo com que apenas estas moléculas assimétricas aumentem sua energia interna. Para evitar o vazamento das micro-ondas, o aparelho possui uma grade de metal colada junto ao vidro da porta: os espaços entre as malhas dessa grade são menores que as micro-ondas. A fricção entre as moléculas produz calor, aquecendo/cozinhando o alimento.

A distribuição irregular de água no alimento faz com que certas partes do produto fiquem mais ou menos quentes que outras. Mas, com o aumento do calor, a água tende a evaporar. Assim, a temperatura média de um produto no forno de micro-ondas tende ao limite da temperatura de evaporação da água (100°C), a menos de produtos com alto teor de açúcar e/ou gordura.

A penetração das ondas nos alimentos difere em função do tipo, de sua concentração e composição. Quando um alimento é sujeito a uma radiação de micro-ondas, ele tende a rejeitar uma parte das ondas e absorver a outra parcela. A parte absorvida é chamada de energia calorífica e é graças a ela que o alimento aquece. A parte rejeitada é chamada de onda refletida. Para evitar que certas partes do alimento sejam queimadas ou outras fiquem frias é necessário que a distribuição das ondas seja a mesma em todas as zonas do alimento. Para este efeito as paredes da cavidade fazem refletir as ondas e o prato em rotação permite a distribuição mais homogênea das ondas ao alimento.

As micro-ondas têm alta capacidade de penetração no alimento, o que possibilita o cozimento por dentro e não a partir da superfície, como ocorre nos fornos convencionais. Além disso, não fazem vibrar as moléculas de vidro ou plástico, que não se aquecem com o funcionamento do forno.

O recipiente de plástico ou de vidro aquece no forno de micro-ondas apenas por condução, ou seja, pelo contato com o alimento. Desta forma, não ocorre nenhuma transformação significativa no material plástico submetido ao forno de micro-ondas, além daquela decorrente do seu aquecimento pelo contato com o alimento. A temperatura máxima que atingirá o material plástico é função do tempo de aquecimento e do teor de açúcares e gordura em contato direto com a parede da embalagem/

utensílio. Consequentemente, o estudo do potencial de migração de um material plástico para contato com alimentos em forno de micro-ondas, por exemplo, EPS ou XPS, deve considerar a aplicação (cozimento ou aquecimento) e a composição do alimento.

Dada a temperatura de transição vítrea – Tg do PS, (~100ºC), é esperado que a estrutura alveolar seja deformada se o artigo for exposto a temperaturas acima desta, então as aplicações de EPS ou XPS em forno de micro-ondas devem se restringir ao descongelamento/aquecimento de alimentos e não ao cozimento/preparação de produtos. Mais uma vez, é preciso ressaltar que a limitação é física (Tg) e não devido a qualquer perigo de contaminação química indesejável do alimento nessa aplicação. ■

7.

APLICAÇÕES DE XPS E EPS PARA PRODUTOS FARMACÊUTICOS, MÉDICO-VETERINÁRIOS E VACINAS

O setor dedicado a artigos para saúde está cada vez mais exigente para selecionar mecanismos que mantenham a qualidade e integridade dos produtos até serem entregues ao consumidor final. As etapas de manuseio, transporte e distribuição são, em grande parte, as responsáveis por essa garantia e devem ser realizadas com base nos padrões estabelecidos pelos órgãos fiscalizadores. Desta forma, são utilizadas embalagens com características adequadas para atender as necessidades especiais de proteção dessa classe de produtos.

Medicamentos termolábeis, por exemplo, exigem condições de armazenagem e transporte específicas, pois são fármacos sensíveis aos efeitos da temperatura. Assim, necessitam de embalagens capazes de manter em seu interior as condições adequadas à sua conservação durante o seu deslocamento. Vacinas acondicionadas em ampolas de vidro exigem condições de acondicionamento ideais para evitar ocorrência de quebra ou fissuras em virtude de possíveis choques mecânicos. Portanto, necessitam de embalagens com alta resistência mecânica para fornecer suporte e proteção.

Por suas características físicas e químicas, igualmente importantes, a utilização do poliestireno extrudado (XPS) e o poliestireno expandido (EPS) representa uma vantagem nesse segmento e, por essa razão, são amplamente empregados na fabricação de suportes e embalagens destinadas ao acondicionamento de produtos farmacêuticos, médico-veterinários e vacinas, contribuindo para a proteção dos produtos, pela redução de custos e pelo aumento da produtividade deste setor.

Por serem compostos por uma estrutura celular fechada e homogênea e que possui até 90% de ar, o XPS e o EPS possuem excelentes características de isolamento térmico, baixa absorção de água ou vapor, rigidez e capacidade de acolchoamento permitindo diversas aplicações na área farmacêutica, como embalagens secundárias, a exemplo de caixas para medicamentos, ampolas e seringas, revestimentos e suportes (Figura 11). Além disso, o baixo custo desses materiais, o baixo peso das embalagens e sua reciclabilidade têm feito com que a sua utilização seja cada vez mais vantajosa.

FIGURA 11.
Exemplos de aplicações de EPS para produtos farmacêuticos e vacinas.
Fonte: http://www.epspackaging.org

O isolamento térmico é a característica mais explorada desses materiais nesse segmento. Sabe-se que um dos requisitos mais importantes a serem cumpridos durante as etapas de transporte de produtos farmacêuticos termolábeis ou termosensíveis é a manutenção da temperatura na faixa ideal (de 2°C a 15°C, na maioria dos casos), ou seja, a manutenção da cadeia fria para que não ocorra a degradação de princípios ativos e para que as propriedades farmacológicas não sejam alteradas (CARDOSO; MILÃO, 2016).

A estrutura física rígida do XPS e do EPS os torna materiais de alta resistência mecânica, conferindo aos produtos acondicionados em embalagens desses materiais, alta proteção contra impactos, quedas, choques e vibrações ocasionados pelas diversas condições de transporte aos quais são submetidos. Devido à alta resistência à compressão, esses materiais, também suportam condições de empilhamento facilitando as etapas de estocagem e armazenamento por longos períodos de tempo e variações de temperatura.

A versatilidade de formas, dimensões e cores das embalagens de XPS e EPS faz com que elas se adequem a todas as necessidades apresentadas pelo setor de produtos para saúde. Além disso, estes materiais são passíveis de personalização como, por exemplo, aplicação de serigrafia, *transfer*, adição de etiqueta autoadesiva e relevo moldado. Estas são formas de facilitar a comunicação entre fabricantes/distribuidores e consumidores finais, trazendo informações sobre os produtos acondicionados e agregando valor.

Por fim, vale ressaltar que as Farmacopeias Brasileira, Americana e Europeia estabelecem requisitos específicos para materiais plásticos destinadas ao acondicionamento de produtos farmacêuticos. No entanto, estes requisitos referem-se aos materiais utilizados na confecção das embalagens primárias (que entram em contato direto com os produtos), desta forma, não se aplicam às embalagens de XPS e EPS. ■

8.

A RECICLABILIDADE DO PS, XPS E EPS

Embora muito evidentes no ambiente urbano, os plásticos representam 13,5% da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos, 8,9% são filmes e 4,6% são plásticos rígidos. O material orgânico ainda compõe, em peso, mais da metade (51,4%) do que se descarta diariamente nos domicílios do ambiente urbano (BRASIL, 2012b).

O PS, EPS e XPS são materiais biologicamente inertes, não tóxicos e estáveis inclusive em aterros. Apesar de se acumularem nos aterros sanitários, estes não causam contaminação do solo, água ou ar, sendo o único inconveniente a utilização do espaço e a consequente diminuição da vida útil dos aterros.

O aterro é a solução menos desejável dentre todas as alternativas de manejo de resíduos apresentadas pela PNRS. Representa não considerar a reciclagem e a recuperação de energia, possibilidades de revalorização mais interessantes, e que exploram mais eficientemente os recursos naturais intrínsecos ao produto (ABRAPEX, 2008).

A gestão de resíduos é uma das grandes preocupações da sociedade com implicações legais, por exemplo, a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS - Lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010c) e desdobramentos empresariais, como, compromissos firmados em Acordos Setoriais e ações que visam o estabelecimento de cadeias de logística reversa. A questão de reciclabilidade dos materiais ganha destaque em um ambiente empresarial pressionado pela gestão pós-consumo de seus produtos e por clientes que, exercendo sua parcela na responsabilidade compartilhada, buscam canais para destinar adequadamente seus resíduos.

As opções de revalorização do resíduo pós-consumo requerem a separação do material reciclável do resíduo orgânico e uma logística reversa eficiente, seja ela por meio de coleta seletiva porta a porta, postos ou locais de entrega voluntária – PEVs ou LEVs.

Segundo a pesquisa Ciclosoft de 2016, realizada pelo CEMPRE, os plásticos representam 11%, em peso, da composição gravimétrica das coletas seletivas municipais no Brasil (Figura 12). Dentre os plásticos o poli(tereftalato de etileno) - PET figura como o mais representativo com 42% e o PS com o menor percentual, com apenas 1% em peso **(Figura 12**).

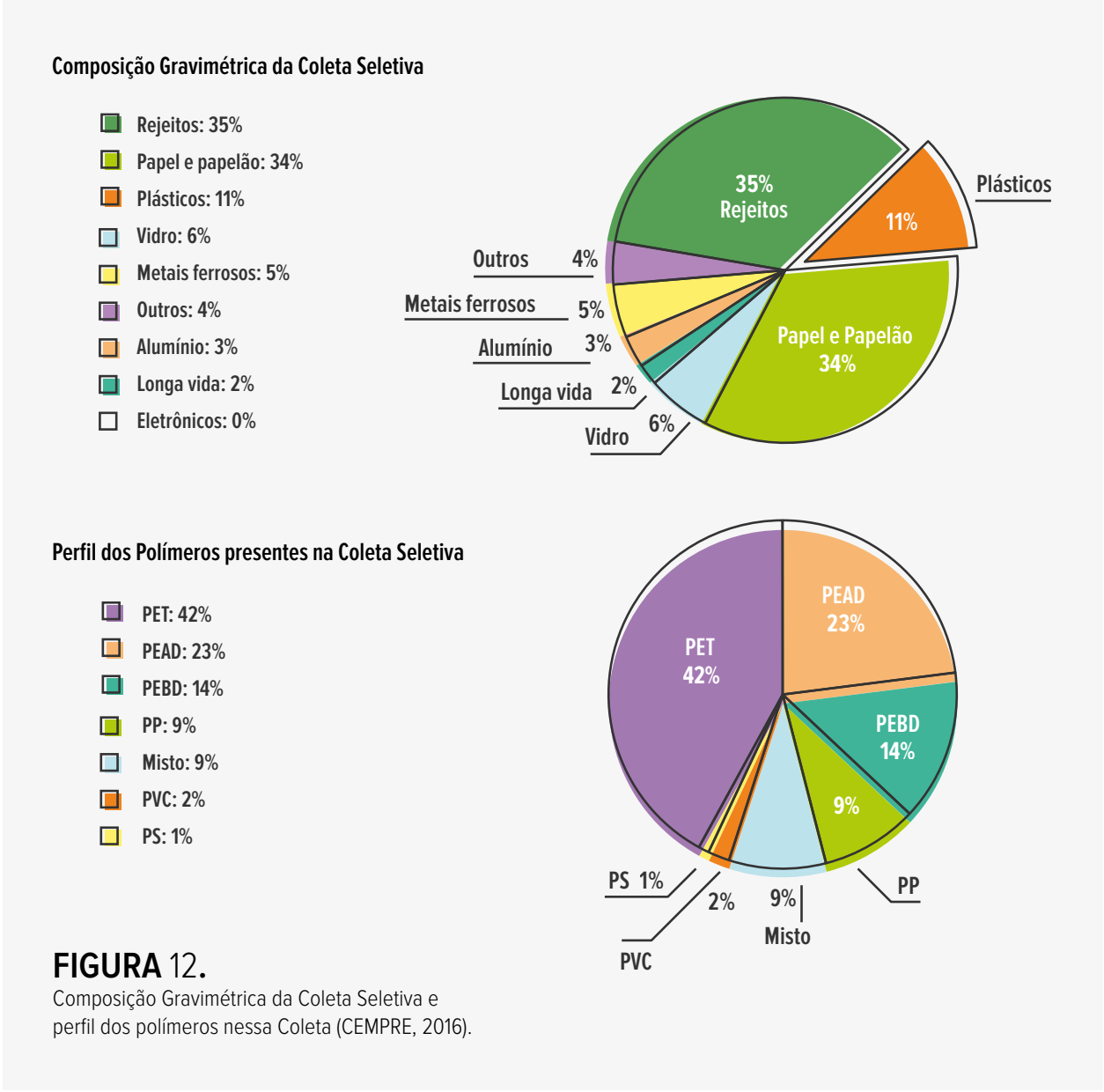


FIGURA 12.
Composição Gravimétrica da Coleta Seletiva e perfil dos polímeros nessa Coleta (CEMPRE, 2016).

No contexto nacional, a reciclagem mecânica representa atualmente a solução mais relevante para a reciclagem de plásticos (ROMÃO et al., 2009 apud Jorge 2015).

Dentre as vantagens da reciclagem mecânica de polímeros como o PS, EPS e XPS, pode-se citar:

- Diminuição de resíduos sólidos a serem coletados para disposição final, aumentando a vida útil dos aterros sanitários;

- Redução do consumo de matéria-prima virgem, insumos e energia nos processos produtivos, por meio da reintrodução do polímero reciclado na cadeia produtiva;

- Geração de emprego e renda em atividades relacionadas à logística reversa e reciclagem;

- Maior disponibilidade de matéria prima reciclada no mercado, reduzindo sua volatilidade de disponibilidade e preço.

A reciclagem enfrenta alguns desafios como: o custo associado a uma coleta diferenciada (a coleta seletiva municipal, por exemplo, é 4,1 vezes maior que o custo da coleta convencional (CICLOSOFT, 2016)); há necessidade da participação ativa da população; a presença de contaminações e sujidades aderidas ao material reduz a qualidade do material reciclado e ainda são necessários avanços tecnológicos para viabilizar os processos de

triagem e reciclagem. Além disso, é muito importante agregar valor ao produto feito com material reciclado, a fim de dar autonomia à cadeia de reciclagem.

Para ajudar a separação dos plásticos por tipo de resina, foi elaborada a norma ABNT NBR 13.230, revisada em 2008, com o título embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis – Identificação e Simbologia (ABNT, 2008). Esta norma estabelece os símbolos para a identificação das resinas termoplásticas utilizadas na fabricação de embalagens, visando auxiliar na separação e posterior reciclagem dos materiais de acordo com sua composição. O símbolo de reciclagem do EPS e do XPS é o mesmo do poliestireno (PS), que utiliza o número seis envolto pelo triangulo da reciclagem, apresentado na **Figura 13**.

FIGURA 13.
Simbologia da identificação do PS, EPS, XPS (ABRE, 2016).

Dentre os principais desafios e dificuldades da reciclagem do EPS e do XPS pode-se citar:

- Falta de informação, necessidade da disseminação da informação que o material é reciclável (INDÚSTRIA SANTA LUZIA, 2016);

- A baixa relação massa/volume desestimula a ação dos catadores, a separação na coleta seletiva e o transporte, encarecendo o processo de logística reversa (SARKIS, 2009);

- O volume torna a logística reversa onerosa, exigindo que: ou grandes quantidades sejam triadas, armazenadas, transportadas e encaminhadas para reciclagem para viabilizar todo o processo (SILVA et al., 2014), ou que

- O resíduo seja segregado na fonte e acumulado em PEVs ou entrepostos, para otimizar a logística reversa (MORGADO, 2016);

- As dimensões continentais do Brasil exigem múltiplas unidades de coleta e de reciclagem próximas às áreas de demanda (TERMOTÉCNICA, 2012);

- Há necessidade de investimentos em equipamentos para reciclagem (TERMOTÉCNICA, 2012);

- Aplicações como copos e embalagens para carnes congeladas sujeitam o EPS à contaminação, requerendo lavagem e consumo de água (MORGADO, 2016);

- As variações de demanda e preço afetam a atratividade de sua reciclagem (TERMOTÉCNICA, 2012);

- Falta de apoio do poder público, com elevada carga tributária e financiamentos a taxas altas (INDÚSTRIA SANTA LUZIA, 2016);

- Informalidade, a concorrência desequilibrada por empresas que não pagam impostos e pressionam preços no mercado (INDÚSTRIA SANTA LUZIA, 2016).

Mesmo o EPS sendo um material muito comum no cotidiano, muitos consumidores não têm conhecimento que ele é um material reciclável.

Para fomentar a reciclagem do EPS e do XPS no Brasil o setor produtivo, desde 2007, desenvolve diversos projetos de coleta e de reciclagem com o intuito de esclarecer a sociedade sobre a reciclabilidade desses produtos, sobre a importância da coleta seletiva para favorecer a logística reversa e para ampliação da infraestrutura disponível no país para a revalorização de peças e embalagens de EPS e XPS no pós-consumo.

O Índice de Reciclagem Mecânica de Plástico Pós-Consumo foi de 20,9% em 2012 (PLASTIVIDA, 2013b).

O Brasil reciclou, no ano de 2012, 34,5% do EPS que consumiu, ou seja, reciclou 13.570 toneladas das 39.340 toneladas de EPS pós-consumo. As 22 plantas que atuam com a reciclagem mecânica de EPS possuíam capacidade instalada de 30.473 toneladas e operaram, em 2012, com 60% de sua capacidade instalada, ou seja, há muito espaço para crescimento (PLASTIVIDA, 2013b).

A construção civil é o maior mercado para o EPS reciclado, com cerca de 80% utilizado na produção de concreto leve, lajotas, telhas termoacústicas, rodapés e misturados em argamassa. Outras aplicações são na indústria de calçados (solados, chinelos), móveis (preenchimento de estofados) e na fabricação de utilidades domésticas (vasos de flor, floreiras, molduras de quadro), entre outros (PLASTIVIDA, 2013b).

O material triturado pós-consumo pode ser adicionado à matéria prima virgem para a fabricação de blocos de construção civil. O material extrudado e moído pode ser matéria prima para decks de piscinas, rodapés e perfis, vasos, gabinetes de PCs e solados de tênis.

Uma vez que se conte com uma infraestrutura eficiente de coleta e reciclagem, os resíduos pós-uso de EPS são 100% reaproveitáveis e recicláveis e podem voltar à condição de matéria-prima (AMARAL et al., 2011).

Amaral et al. (2011) descrevem genericamente a reciclagem do EPS e do XPS nas etapas listadas a seguir:

1. Trituração em uma máquina de compactação, facilitando a reciclagem e reduzindo o volume;

2. Aglutinação do material, por meio de exposição a calor e atrito em uma máquina redutora, que aumenta a densidade do material;

3. Já bastante adensado, o material é colocado na extrusora, onde é submetido a novo aquecimento, em temperaturas controladas, até sua fusão;

4. Nesse estado, é homogeneizado e transformado em filetes, na forma de espaguete;

5. Depois de resfriados e secos, os filetes passam por uma máquina de granulação para produção de grânulos de PS.

Após essas etapas, o material está pronto para ser reintroduzido na produção de peças de diversos formatos. Este processo de reciclagem é ilustrado na **Figura 14**.

Segundo a Associação Brasileira do Poliestireno Expandido, o EPS conta com as seguintes opções de reciclagem mecânica (ABRAPEX, 2008):

- **Fabricação de novas peças de poliestireno expandido:** com a moagem de resíduos de EPS, adicionando-o a processos de produção e misturando uma porcentagem estabelecida de material novo. Dependendo da aplicação dos novos produtos, estes podem conter mais de 40% de material reciclado.

- **Melhoria de solo:** uma vez moídos, os resíduos podem ser misturados à terra para melhorar a drenagem e

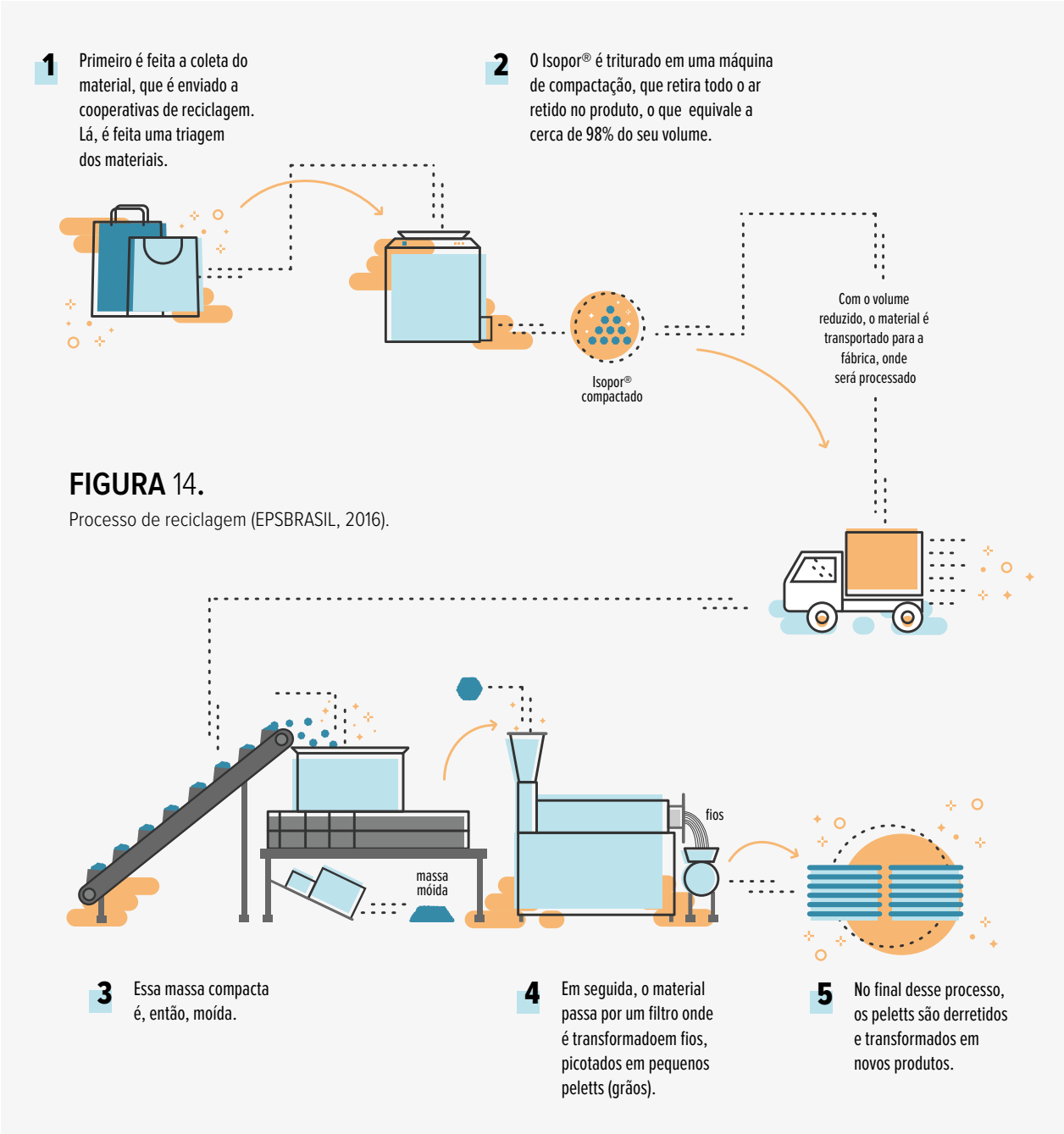


FIGURA 14.
Processo de reciclagem (EPSBRASIL, 2016).

aeração, contribuindo para a melhoria do crescimento das plantas. Muitos viveiros que usam sementeiras e bandeiras de transporte de mudas utilizam estes produtos desta forma.

• **Material auxiliar para compostagem:** produtos de EPS moídos são usados para a aeração dos detritos orgânicos, constituindo um aditivo importante para a preparação de composto.

• **Adição a outros materiais de construção:** mistura-se EPS, após moagem em granulometrias diferentes, com outros materiais de construção para fabricar tijolos leves porosos, argamassas, camadas de estuque isolante, concreto leve etc.

• **Fusão e granulação:** resíduos de produtos de EPS são facilmente transformados por fusão simples para obter o material original - grãos de poliestireno compactos. Por injeção, estes grãos podem ser usados na fabricação de objetos simples, tais como cabides, canetas, material de escritório etc. ■

9.

OUTRAS INTERFACES COM O MEIO AMBIENTE

Como todo material utilizado pela sociedade, depois do uso (ou após-consumo), este deve ser revalorizado, ou seja, deve retornar a um novo ciclo produtivo para ser (re)aproveitado como material – por reutilização, reciclagem mecânica ou química – ou como energia em substituição a outras fontes energéticas – por digestão anaeróbia e gaseificação, produção de combustíveis derivados de resíduos - CDRs ou incineração com recuperação de energia.

Todas essas opções requerem uma logística reversa otimizada e estão perfeitamente alinhadas com as diretrizes de promoção de uma Economia Verde e Circular.

Segundo URTADO et al. (2016), a revalorização material ou energética dos resíduos sólidos tem contribuição direta na conservação de recursos naturais, sejam eles renováveis ou não, na preservação de ecossistemas e na eficiência dos processos produtivos, uma vez que conduz à redução dos custos ambientais e econômicos associados ao ciclo de vida dos produtos. Dentro dos princípios da economia circular é uma das formas mais diretas de promover sistemas de produção e consumo mais regenerativos e restaurativos.

XPS e EPS contribuem significativamente para o meio ambiente ao propiciar a redução de perdas de alimentos, a conservação e o transporte de vacinas e de produtos farmacêuticos e médico hospitalares e a proteção de bens duráveis como eletrodomésticos e eletroeletrônicos. Tal racionalização representa grande economia e minimização dos impactos ambientais associados a essas cadeias produtivas.

Assim, todo esforço para revalorização de resíduos tem grandes benefícios como preservação de recursos naturais (petróleo, água), e de energia ao longo do ciclo de vida dos materiais, além de reduzir a necessidade de utilização de aterros para disposição final.

Segundo a Política Nacional de Sólidos (PNRS - Lei nº 12.305/10), a disposição final em aterros deve ser a última alternativa para o Resíduo Sólido Urbano - RSU, só após terem sido esgotadas as opções de revalorização (BRASIL, 2010).

Como apresentado no item anterior, EPS e XPS podem ser facilmente reciclados, além disso, pelo seu alto valor energético (41,9 MJ/kg), têm bom potencial de aproveitamento via reciclagem energética.

Materiais plásticos como o PS, em suas várias formas, pela sua inércia, ao serem descartados em aterros, não contribuem para os impactos ambientais característicos

de aterros, como geração de metano devido à biodegradação anaeróbica de materiais biodegradáveis – gás com potencial de efeito estufa significativo – e geração de chorume. A única questão que pode ser apontada é o volume que tais resíduos ocupam, que pode ser associado à expectativa de utilização do aterro. Por outro lado, o residual de ar no EPS e XPS poderia contribuir para a biodegradação aeróbica dos resíduos orgânicos, reduzindo a proporção de metano/CO_2 emitida.

Outra questão relevante que afeta principalmente os países em desenvolvimento, é a falta de coleta de resíduo sólido urbano em muitas regiões. Apesar de o Brasil ter evoluído muito nas últimas décadas, a universalização da coleta ainda não é uma realidade no país. Segundo o IBGE, em 2008, a coleta já chegava a quase 90% do total de domicílios, atingindo 98% na área urbana, porém 33% dos domicílios localizados em áreas rurais (IBGE, 2010). Este resíduo, não coletado, acaba sendo enterrado em alguns locais, mas em outros, é jogado diretamente no meio ambiente podendo ser carregados para os rios e por fim para o mar.

Mais lamentável é a parcela do RSU jogada indistintamente (littering), a despeito de inúmeras campanhas de conscientização para "jogar o lixo no lixo" e para a "destinação para reciclagem". Apesar de este problema ser mais significativo nos países em desenvolvimento, este comportamento descuidado e irresponsável dos consumidores também afeta países desenvolvidos, porém em menor escala. Mais uma vez, os resíduos jogados indistintamente no meio ambiente também podem acabar sendo arrastados pela chuva para os rios e para o mar. Pelo peso leve, os materiais plásticos são mais facilmente arrastados e pela baixa densidade, os materiais e artigos plásticos boiam na superfície da água, aparecendo mais aos olhos da sociedade, mas são apenas a ponta do iceberg da poluição dos continentes que atinge os oceanos.

Mais uma vez, esse fato não é uma característica do Brasil, mas sim um padrão mundial, mais evidente em regiões menos desenvolvidas do globo. É estimado que 82% do resíduo plástico nos oceanos têm sua origem na Ásia, 2% na Europa e EUA e 15% no resto do mundo (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016).

Se por um lado, os resíduos plásticos são inertes, não degradam, o depósito de plástico nos oceanos se acumula com o tempo. Entretanto, também por serem inertes sua interação com o meio aquático é reduzida.

Propostas de criar plásticos que se degradariam em ambiente marinho não representam de fato uma solução para a questão, uma vez que não favoreceria a conscientização, pois o consumidor assumiria que poderia continuar a descartar seus resíduos irresponsavelmente. Adicionalmente, produtos da degradação – partículas plásticas fragmentadas e compostos de baixo peso molecular, das mais variadas naturezas químicas - estes sim poderiam potencializar o impacto ao ambiente marinho, sendo absorvidos por animais e plantas, e o impacto ambiental seria imensamente maior e complexo. Outros problemas da presença física dos resíduos nos oceanos, como emaranhamento, bloqueio da digestão e sufocação dos animais marinhos não seriam evitados, dado o tempo e condições necessárias ao processo de degradação.

Alguns autores levantam a possibilidade dos materiais plásticos agirem como uma "esponja", atraindo substâncias hidrofóbicas de interesse toxicológico presentes no ambiente marinho circundante, tais como bifenilas policloradas (PCB) e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), que poderiam posteriormente entrar na cadeia alimentar ao serem ingeridos por animais marinhos. No entanto, esta contaminação não deveria ser atribuída aos resíduos, uma vez que tais poluentes, se presentes na água seriam diretamente absorvidos pelas espécies marinhas mais fácil e rapidamente.

É importante enfatizar que a lamentável poluição dos resíduos jogados no meio ambiente, que aparecem no solo e em rios e oceanos, não é função de características dos materiais plásticos, mas decorre de uma gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos e de falhas de conscientização ambiental do consumidor. Melhorias como universalização da coleta, aumento da atratividade econômica da reciclagem e educação ambiental certamente reduzirão os problemas relativos aos resíduos jogados indistintamente.

Reconhecendo a gravidade da questão, na última década muito esforço tem sido dispensado tanto pelo poder público como pela sociedade, por meio de ONGs, associações de indústrias, mídias etc., para elevar a conscientização da população sobre a importância da gestão adequada e responsável dos resíduos pós-consumo e dos benefícios da destinação para reciclagem.

Certamente, este é o caminho, mas ainda há um longo percurso pela frente. O sucesso dependerá da conscientização e união dos esforços de todos os envolvidos - poder público, setor produtivo e população - pois só com a participação de todos e alinhamento dos investimentos será possível reverter esta situação. ■

10.

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE XPS E EPS EM OUTROS MERCADOS, ALÉM DOS ABORDADOS NO RELATÓRIO

Propriedades do EPS e XPS como baixa densidade, isolamento térmico e acústico, inércia, resistência à umidade, rigidez e flexibilidade no formato das peças justificam a sua ampla aplicação em mercados que vão desde a construção civil até a publicidade e decoração. Alguns exemplos dessas aplicações são destacados na **Tabela 4**.

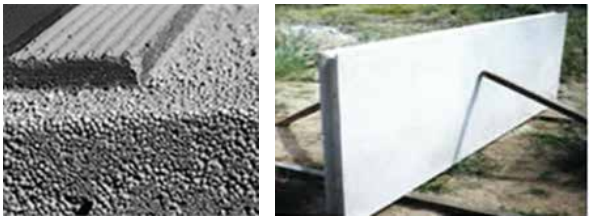
TABELA 4.

Flutuadores, boias e pranchas esportivas (baixa densidade)

Material de acolchoamento para eletrodomésticos e eletro eletrônicos (rigidez, diversidade em formatos, leveza)

http://www.styroplast.com.br/eletronico/protecao-linha-comercial

Concreto leve – substituição da brita por pérolas de EPS – uso na construção civil em funções não estruturais (leveza, baixa densidade, redução de peso de elementos de edificações)

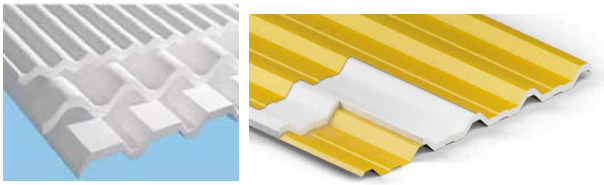


http://www.construpor.com/index.php?p=item4-1

Molduras para fachadas, acabamento de tetos, sancas e cantoneiras (facilidade e flexibilidade na transformação)

http://www.knauf-isopor.com.br/produtos/construcao-civil/aplicacoes-especiais

Telhas térmicas (placas de EPS para isolamento térmico)



http://vamondes.com.br/?portfolio=telhas-termicas-com-eps

Blocos de EPS para estabilização de solos na execução de aterros na construção de estradas (rigidez, inércia, resistência à umidade)

http://www.knauf-isopor.com.br/produtos/construcao-civil/geofoam

Elemento de enchimento de lajes, para redução do peso de estruturas e impermeabilização (baixa densidade, leveza, resistência à umidade, inércia)

http://www.knauf-isopor.com.br/produtos/construcao-civil/geofoam

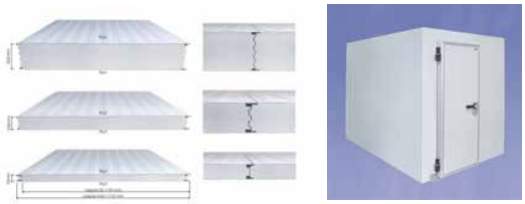
Calhas para revestimento de tubulações para isolamento térmico e acústico, por ex: dutos de ar condicionado (isolante térmico, facilidade e flexibilidade na transformação)

https://www.wbdg.org/images/midg_materials_10.jpg

Forros (isolante térmico, facilidade e flexibilidade na transformação)

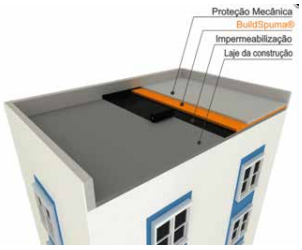
http://www.isolider.com.br/forros-de-isopor/

Painéis isolantes para câmaras, containers e baús refrigerados (isolante térmico)



http://idearnet.webnode.com.br/products/paineis%20isolantes%20e%20c%C3%A2maras%20frigorificas%20moduladas%20eos/

Placas para paredes internas e externas (isolante térmico, isolante acústico, leveza)



http://www.celprom.com.br/category/produtos/xps-placas-de-poliestireno-extrudado/

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. O EPS e o meio Ambiente: informações sobre o comportamento ambiental do poliestireno expandido. 2008. Disponível em: http://www.termoeps.com.br/imagens/meioambiente/oepseomeioambiente.pdf. Acesso em: 07 jul. 2016.

ABRE – Associação Brasileira de Embalagem. Simbologia técnica brasileira de identificação de materiais. Disponível em: www.abre.org.br. Acesso em: 06 jul. 2016.

AMARAL, G.; KUMAGAI Junior, A.O.; FRAGA, S.C.L. Guia ambiental da indústria de transformação e reciclagem de materiais plásticos. 1a edição, São Paulo, 2011. Disponível em: http://consumosustentavel.cetesb.sp.gov.br/documentos. Acesso em: 06 jul. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Comissão Setorial de EPS. EPS: aplicações: embalagens farmacêuticas. São Paulo: ABIQUIM, 2014. Disponível em: http://www.epsbrasil.eco.br/aplicacoes.html. Acesso em: 06 jul. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 13230: Embalagem e acondicionamento plásticos recicláveis — Identificação e simbologia. Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 51, de 26 de novembro de 2010. Dispõe sobre migração em materiais, embalagens e equipamentos plásticos destinados a entrar em contato com alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 244, Seção 1, pág. 75, 22 dez. 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Resolução RDC nº 91, de 11 de maio de 2001. Aprova o Regulamento Técnico - critérios gerais e classificação de materiais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos constante do Anexo desta Resolução. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, de 15 de maio de 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n. 105, de 19 de maio de 1999. Aprova os regulamentos técnicos: disposições gerais para embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 de maio de 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Resolução RDC n. 17, de 17 de março de 2008. Dispõe sobre regulamento técnico sobre lista positiva de aditivos para materiais plásticos destinados à elaboração de embalagens e equipamentos em contato com alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 de março de 2008. Seção 1, p. 43-51.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 56, de 16 de novembro de 2012. Dispõe sobre a lista positiva de monômeros, outras substâncias iniciadoras e polímeros autorizados para a elaboração de embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 21 nov. 2012a. Seção 1, p. 66 - 77.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 52, de 26 de novembro de 2010. Dispõe sobre corantes em embalagens e equipamentos plásticos destinados a estar em contato com alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 244, Seção 1, pág. 79-80, 22 dez. 2010b. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/cdc282004d8b6ee0aa87ebc116238c3b/ALIMENTOS+RESOLU%C3%87%C3%83O+RDC+N%C2%BA+52%2C+DE+26+DE+NOVEMBRO+DE+2010+-+Corantes.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: 16 out. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), 2012b. Disponível em http://www.sinir.gov.br/web/guest/plano-nacional-de-residuos-solidos. Acesso em: 6 jul. 2016.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a lei no 9605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, de 3 de ago. 2010 c. 22p. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 01 dez. 2016.

CARDOSO, G. C.; MILÃO, D. Logística farmacêutica e o transporte de medicamentos termolábeis. 2016. 21 p. Disponível em: http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/download/23952/14359

CEMPRE, 2016. Ciclosoft 2016. Disponível em: http://cempre.org.br/ciclosoft/id/8. Acesso em: 6 jul. 2016.

CODE OF FEDERAL REGULATIONS. Title 21. Part 174. Sec 174.5 General provisions applicable to indirect food additives. Disponível em: http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=174.5. Acesso em: 15 out. 2016.

CODE OF FEDERAL REGULATIONS. Title 21. Part 178. Sec. 178.3010 Adjuvant substances used in the manufacture of foamed plastics. Disponível em: http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=178.3010 Acesso em 15 out. 2016.

CODE OF FEDERAL REGULATIONS. Title 21 – Food and Drugs – Part 170 to 199. Disponível em: http://www.fda.gov.br. Acesso em 16 dez 2016

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. Regulamento (UE) Nº 10/2011, de 14 de Janeiro de 2011. Relativo aos materiais e objetos de matéria plástica destinados a entrar em contacto com os alimentos. Jornal Oficial da União Europeia, Bruxelas, L 12, 15 Jan. 2011. 89 p.

COUNCIL OF EUROPE. Committee of Ministers. Resolution AP (89). On use of colourants in plastic materials coming into contact with food. 6 p. Disponível em: http://www.coe.int/t/e/social_cohesion/soc-pp/public_health/food_contact/RESOLUTION%20AP%20-%2089%201%20ON%20COLOURANTS.pdf. Acesso em: dez 2016.

DANISH MINISTRY OF ENVIRONMENT. Survey of Styrene. Environmental project Nº 1612, 2014. Disponível em: http://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2014/11/978-87-93283-17-6.pdf. Acesso em: dez. 2016

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. The New Plastics Economy – Rethinking the future of Plastics. 2016, 61p.

EPSBRASIL. Processos Produtivos: Processo de Reciclagem. S.d. Disponível em: http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html. Acesso em: 07 jul. 2016.

GENUALDI, S.; NYMAN, P.; BEGLEY, T. Updated evaluation on the migration of styrene monomer and oligomers from polystyrene food contact material to foods and food simulants. Food Additives & Contaminants. Part A Vol.31, nº 4, p. 723-733, 2014.

INDÚSTRIA SANTA LUZIA. Como e por que reciclar o EPS - a experiência da Santa Luzia. Em 2º Workshop de EPS: Sustentabilidade e Tendência. 2016. ABIQUIM. Disponível em: http://www.epsbrasil.eco.br/biblioteca.html. Acesso em 07 jul. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 219 p.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Disponível em: http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification. Acesso em: nov. 2016.

JORGE, L. M. A cadeia de reciclagem do plástico pós-consumo na Região Metropolitana de Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015. 175p.

LEE, R. Know Your Options for Foaming Sheet. Plastics Technology, Maio 2015. 3p. Disponível em: http://www.ptonline.com/articles/know-your-options-for-foaming-sheet. Acesso em 5 jul. 2016.

MORGADO, M. Fomentando a reciclagem do EPS através de ação legislativa. Em 2º Workshop de EPS: Sustentabilidade e Tendência. 2016. ABIQUIM. Disponível em: http://www.epsbrasil.eco.br/biblioteca.html. Acesso em 07 jul. 2016.

PARLAMENTO EUROPEU. Conselho da União Européia. Regulamento (CE) N.o 1935/2004, de 27 de Outubro de 2004, relativo aos materiais e objectos destinados a entrar em contacto com os alimentos e que revoga as Directivas 80/590/CEE e 89/109/CEE. Jornal Oficial da União Europeia, L 338/4, 13 out. 2004. Disponível em: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:338:0004:0017:pt:PDF.

PLASTIVIDA. Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. Brasil recicla 34,5% do EPS pós-consumo. Pesquisa realizada pela MaxiQuim. 2013a. Disponível em: http://www.plastivida.org.br/images/releases/Release_092_Indice_Reciclagem.pdf. Acesso em 07 jul. 2016.

PLASTIVIDA. Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. Monitoramento dos índices de reciclagem mecânica de plásticos no Brasil – 2013 (Ano base 2012). 2013b. Disponível em: http://www.plastivida.org.br/images/temas/Apresentacao_IRMP_2012.pdf . Acesso em 01 ago. 2016.

ROBERTSON, G.L. Food Packaging: Principles and practice. 3th edition, CRC Press, 2013, 703p.

SARKIS, C. E. Reciclagem de poliestireno expandido (EPS) para uso na fabricação de perfilados de poliestireno (PS). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009. 78p.

SILVA, L. B.; CANELHAS, P. N.; DIAS, S. L. G. Processos, limites e desafios da reciclagem de Isopor: um estudo de caso da cooperativa Cora. Em VIII Encontro Nacional de Pesquisadores em Gestão Social. Cachoeira. Bahia, 2014

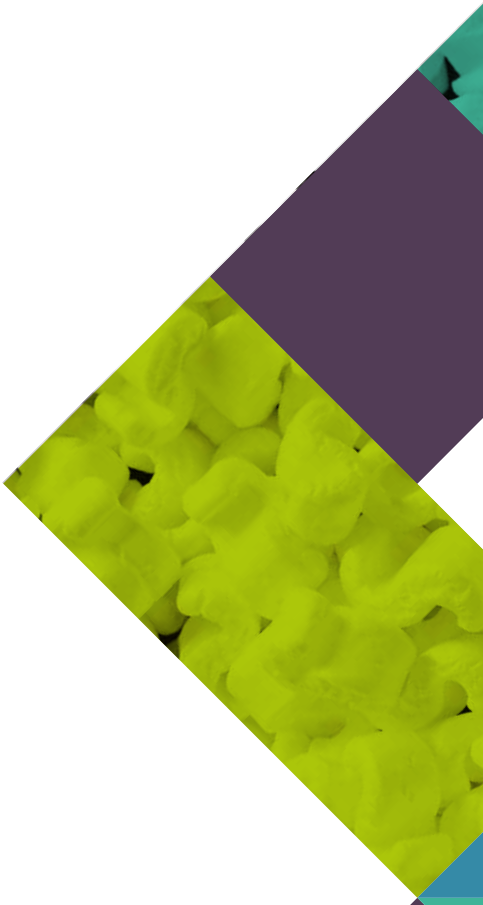
TERMOTÉCNICA. Reciclagem de EPS em países com dimensões continentais. 2012. Disponível em: www.termotecnica.ind.br/wp-content/uploads/2012/08/reciclagem.pps. Acesso em: 06 jul. 2016.

TERMOTÉCNICA. Relatório de Sustentabilidade 2014. Disponível em: http://www.termotecnica.ind.br/wp-content/uploads/2015/07/Relatorio_Termotecnica.pdf. Acesso em: 07 jul. 2016.

URTADO, T. K.; RIBEIRO, F.M., et al. (2016), PEREIRA, B. R., ARTEAGA, L. P. S. Embalagem e Sustentabilidade: desafios e orientações no contexto da economia circular. São Paulo: CETESB, 2016. 52p.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Food Additives Series 19. 588. Styrene, 1984. Disponível em: http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v19je15.htm. Acesso em: dez.2016.

e-Book
Utilize o QRCode para
acessar a versão eletrônica
deste estudo.



PLASTIVIDA - Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos

Av. Chedid Jafet, 222, Bloco C - 4° Andar
Vila Olímpia - São Paulo - SP
CEP: 04551-065
www.plastivida.org.br

ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos

Av. Brasil, 2880
Jardim Chapadão - Campinas, SP
CEP: 13070-178
www.ital.sp.gov.br

CETEA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DE EMBALAGEM

plastivida
Juntos somos mais sustentáveis.