

Relatório de 2010 do Comitê de Opções Técnicas para Espumas Rígidas e Flexíveis (FTOC)

Avaliação de 2010

Protocolo de Montreal sobre substâncias
que destroem a camada de ozônio

Celebrando 25 anos de sucesso em 2012





PNUMA

**RELATÓRIO DE 2010 DO
COMITÊ DE OPÇÕES TÉCNICAS PARA ESPUMAS
RÍGIDAS E FLEXÍVEIS**

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE 2010

PNUMA
RELATÓRIO DO
COMITÊ DE OPÇÕES TÉCNICAS PARA ESPUMAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE 2010

**Protocolo de Montreal
sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio**

Relatório do
Comitê de Opções Técnicas para Espumas Rígidas e flexíveis do PNUMA

Avaliação de 2010

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO

O texto deste relatório foi composto em Times New Roman.

Coordenação: **Comitê de Opções Técnicas para Espumas Rígidas e Flexíveis**

Reprodução: Secretariado do Ozônio

Data: Maio de 2011

Em determinadas condições, cópias impressas deste relatório estão disponíveis em:

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE
Secretariado em Ozônio, Caixa Postal 30552, Nairobi, Quênia

Este documento também está disponível em formato de documento portátil no site do
Secretariado do Ozônio:

http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/TEAP/Reports/FTOC/

Sem direitos autorais envolvidos. Esta publicação pode ser copiada, resumida e citada
livremente, com reconhecimento da fonte do material.

ISBN: 978-9966-20-003-7

EXONERAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), os codiretores e membros do Painel de Avaliação Econômica e Técnica (TEAP), os diretores, codiretores e membros do Comitê de Opções Técnicas, os codiretores e membros das Forças-tarefa do TEAP e as empresas e organizações que os empregam não endossam o desempenho, a segurança de trabalho ou a aceitabilidade ambiental das opções técnicas discutidas. Cada operação industrial exige consideração sobre a segurança dos trabalhadores e a eliminação de produtos contaminantes e resíduos. Além disso, conforme o trabalho evolui – incluindo avaliações de toxicidade adicionais – mais informações sobre efeitos sobre a saúde, o meio-ambiente e a segurança dos substitutos e alternativas serão disponibilizadas para uso na escolha entre as opções discutidas neste documento.

O PNUMA, os codiretores e membros do TEAP, os diretores, codiretores e membros do Comitê de Opções Técnicas e os codiretores e membros das Forças-tarefa do Painel de Avaliação Econômica e Técnica, ao fornecer ou distribuir estas informações, não fazem qualquer garantia ou representação, seja expressa ou implícita, a respeito da precisão, da completude ou da utilidade, nem assumem qualquer responsabilidade de qualquer tipo resultante do uso ou confiança em qualquer informação, material ou procedimento contido neste documento, incluindo, mas não limitado a, quaisquer afirmações a respeito de saúde, segurança, efeito ambiental ou destino, eficácia ou desempenho feitas pela fonte das informações.

A referência a qualquer empresa, associação ou produto neste documento é somente para fins de informação e não constitui uma recomendação de qualquer empresa, associação ou produto, seja expressa ou implícita, pelo PNUMA, pelos codiretores e membros do Painel de Avaliação Econômica e Técnica, pelos diretores e codiretores ou membros do Comitê de Opções Técnicas, pelos codiretores membros das Forças-Tarefa do TEAP ou pelas empresas ou organizações que os empregam.

RELATÓRIO DE 2010 SOBRE ESPUMAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS

SUMÁRIO

Página

1) RESUMO EXECUTIVO

2) PREFÁCIO

3) CAPÍTULO 1 – STATUS DE TRANSIÇÃO

4) CAPÍTULO 2 – OPÇÕES TÉCNICAS

5) CAPÍTULO 3 – BANCOS E OPÇÕES DE RECUPERAÇÃO

Apêndices

APÊNDICE 1 – REVISÃO DE AGENTES DE EXPANSÃO ALTERNATIVOS

APÊNDICE 2 – ALOCAÇÃO DE PAÍSES A REGIÕES

APÊNDICE 3 – COMITÊ DE OPÇÕES TÉCNICAS PARA ESPUMAS DO PNUMA

RELATÓRIO SOBRE ESPUMAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS DE 2010

RESUMO EXECUTIVO

Resumo executivo

E.1 Introdução

Desde a decisão inicial de eliminar CFCs, no início da década de 1990, o setor de espumas não enfrentava um período de tamanha incerteza. Embora uma grande proporção da indústria tenha anteriormente eleito os hidrocarbonetos ou CO₂ (água) como agente de expansão, há uma crescente pressão pela melhoria do desempenho térmico das espumas – especialmente no setor de eletrodomésticos, mas também em algumas aplicações para a construção e o transporte. Além disso, há pressões para limitar o uso futuro de hidrofluorcarbonetos (s-HFCs) devido a seu alto potencial de aquecimento global e para reduzir seu uso sempre que possível. Por fim, há o cronograma determinado para a eliminação do uso de HCFC nos países do Artigo 5, mas ainda há grandes incertezas a respeito das alternativas ideais. Essas três tendências colocam enorme pressão sobre o setor e há divergências de opinião consideráveis a respeito da maneira mais apropriada de prosseguir, especialmente devido ao número crescente de novas alternativas a serem consideradas. As seções a seguir fornecem mais informações sobre os problemas enfrentados.

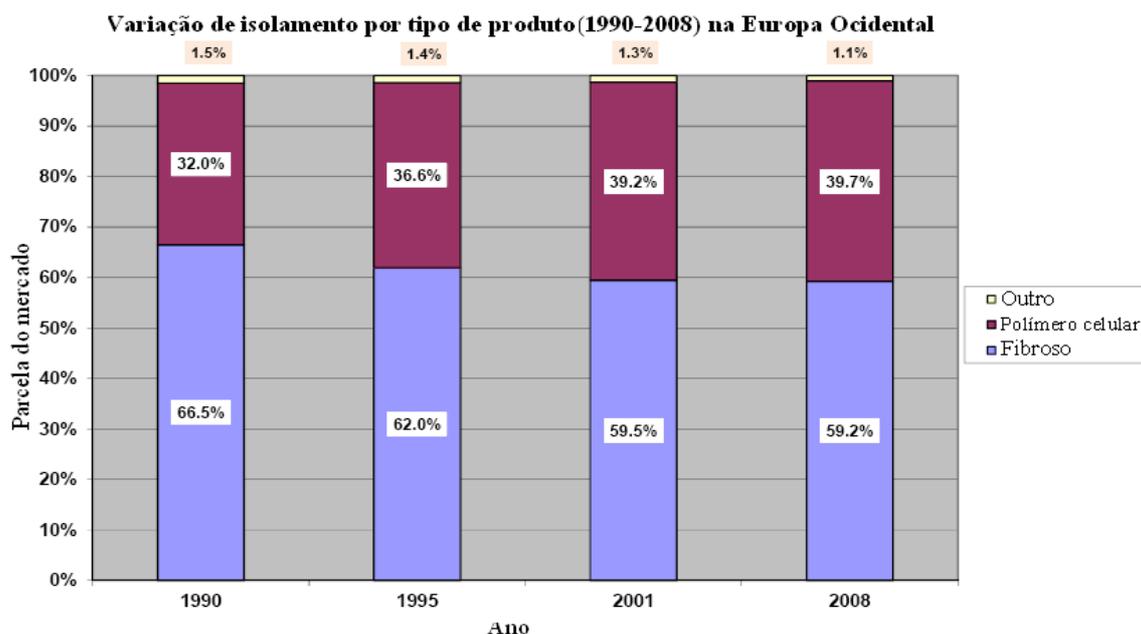
E. 2 Dinâmica do mercado de espumas

O crescimento em espumas de isolamento térmico ainda é orientado por requisitos de eficiência energética cada vez mais rígidos em eletrodomésticos, transporte e construções.

Limitações de espaço no ambiente construído (por exemplo, dimensões de cavidades) causaram transições dramáticas de produtos fibrosos para produtos de espuma em alguns mercados localizados, a fim de cumprir com os requisitos de desempenho térmico. Entretanto, em grande medida, a fibra manteve sua parcela no mercado em função do crescimento no setor de reformas residenciais em que o custo é uma questão premente. Outra tendência de diminuição no uso de espumas em países que não estão incluídos no Artigo 5 se deve à mudança que está ocorrendo da fabricação de eletrodomésticos e equipamentos de refrigeração para outras regiões onde os custos de fabricação são mais baixos. A extensão mais recente de um gráfico para a Europa Ocidental apresentado em relatórios anteriores (ver no verso) indica que essa combinação de fatores levou apenas a uma pequena alteração líquida no equilíbrio geral entre espuma e fibra apesar da turbulência de setores individuais.

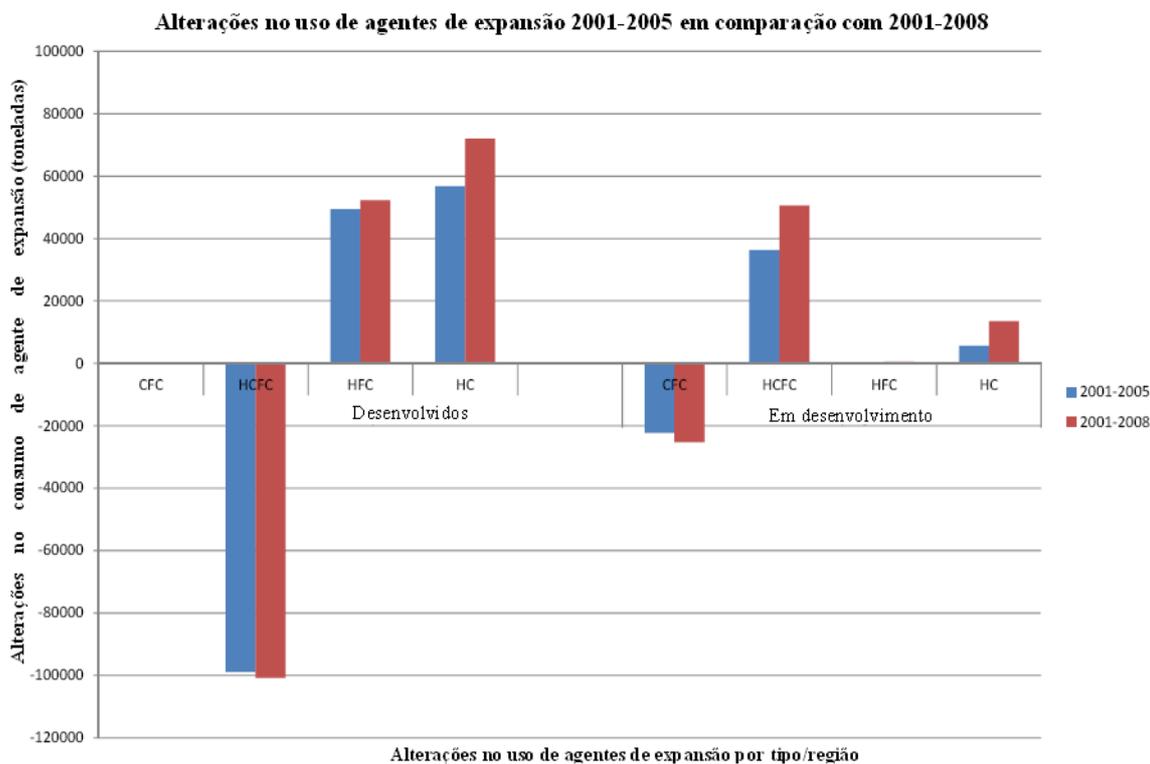
No entanto, a mesma região viu um crescimento geral em vendas de isolamento térmico para o setor de construção doméstica e comercial de mais de 20% no período entre 2001 e 2008, apesar do impacto da crise global em 2008, assim orientando a demanda para agentes de expansão apropriados. Isso provavelmente é representativo de outras regiões que não estão incluídas no Artigo 5 e que respondem aos indutores paralelos da política sobre mudanças climáticas e segurança energética.

Nos países do Artigo 5, o crescimento da demanda por isolamento térmico ficou ainda mais claro que nos países não incluídos no Artigo 5 devido à crescente base de manufatura para equipamentos globais e ao reconhecimento de que construções com eficiência energética podem fazer uma grande contribuição para o combate ao aquecimento global em países do Artigo 5. Como exemplo, acredita-se que o uso da Espuma de PU spray na China cresceu para 70.000-80.000 toneladas, tornando-a o segundo maior mercado do mundo para a espuma de PU spray, depois apenas do mercado dos Estados Unidos.



E.3 Status de transição

No ano de 2010, a eliminação de HCFCs estava virtualmente concluída em todos os países não incluídos no Artigo 5, sendo o setor de XPS na América do Norte o último grande setor a fazer a transição. Nesse caso, a escolha tecnológica foram os HFCs saturados, refletindo os exigentes requisitos de processo e variedade de produtos da indústria de XPS na região. A experiência dessa transição fez com que a indústria se tornasse cautelosa em relação a compromissos com quaisquer outras transições a médio prazo, uma vez que a comprovação de novas alternativas nessas aplicações envolve uma dose de esforço extra substancial. Como mostra o gráfico abaixo, o principal crescimento em agentes de expansão entre 2005 e 2008 ocorreu com os hidrocarbonetos, embora também tenha havido uso adicional de HFCs. Por outro lado, apenas um declínio adicional muito pequeno no uso de HCFCs ocorreria, chamando atenção para o fato de que o setor de XPS na América do Norte não era capaz de tratar de seu uso de HCFCs no período até 2008, mas que era capaz de fazê-lo antes do prazo de eliminação em 2010.



Nos países do Artigo 5, a eliminação do uso de CFC remanescente foi realizada, sendo os HCFCs o principal substituto dessas aplicações residuais. O crescimento também continuou no uso de hidrocarbonetos, em grande medida em função de um maior aumento na base de produção de eletrodomésticos nessas regiões.

De modo geral, a comparação entre os períodos 2001-2005 e 2001-2008 ilustra que as alterações nos últimos quatro anos foram relativamente moderadas quando comparadas àquelas dos quatro anos anteriores.

Embora os hidrocarbonetos ainda sejam a principal solução nos países não incluídos no Artigo 5, há pressão em alguns setores para otimizar ainda mais essas soluções por meio de misturas. Embora o ciclopentano continue desempenhando um importante papel na otimização do desempenho das misturas, outros componentes como HFCs não saturados (u-HFCs ou HFOs) e metanoato de metila também estão em avaliação no momento. Trabalhos preliminares sobre HFCs não saturados sugerem que eles proporcionam melhor desempenho térmico que suas contrapartidas saturadas, embora ainda seja necessário realizar trabalho toxicológico para que essas substâncias sejam comercializadas. Nesse meio tempo, há indícios de que algumas empresas que fabricam eletrodomésticos em países em desenvolvimento já misturam HFCs saturados com hidrocarbonetos para cumprir com requisitos energéticos.

No âmbito dos Planos de Gestão de Eliminação de HCFC (HPMPs), decisões devem ser tomadas em curto prazo a respeito da escolha de alternativas para HCFCs nos países do Artigo 5. A priorização do “pior primeiro” incorporada na Decisão XIX/6 dá grande ênfase a lidar com aplicações de HCFC-141b nas primeiras fases da

implementação. No entanto, alguns países acham mais fácil gerenciar seus problemas de conformidade por meio da implementação de transições do setor de espumas de acordo com a facilidade de implementação de cada projeto e a magnitude de seu impacto. O que falta é então compensado por outros setores.

E.4 Cenários futuros prováveis

Em termos gerais, as escolhas técnicas futuras, tanto em países do Artigo 5 como em países que não estão no Artigo 5, continuam incertas. Isso torna especialmente difícil prever qual será exatamente o conjunto de agentes de expansão no período até 2020 e o impacto que pode ter na composição de bancos nesse ano.

Como observado acima, a eliminação de HCFC nos países do Artigo 5 ainda é uma grande fonte de desconforto. Em diversos setores, especialmente no de espumas de poliuretano rígidas, alternativas identificadas anteriormente com baixo Potencial de Aquecimento Global (PAG) ainda precisam passar em testes de campo mais completos ou exigem investimentos muito altos. Isso é especialmente importante porque muitas das empresas que se espera que adotem essas tecnologias são pequenas e médias empresas (PME) e têm pouca, se alguma, capacidade interna de otimizar as formulações. Há indícios de que medidas para a gestão da inflamabilidade do metanoato de metila possam exigir uma reformulação por parte das casas de sistema com polióis mais compatíveis a fim de reduzir o risco. Entretanto, em um número de casos limitado, pode ser mais produtivo misturar metanoato de metila no componente de isocianato para obter as propriedades de espuma necessárias ao mesmo tempo em que se evitam misturas inflamáveis.

Ainda é necessário caracterizar o desempenho de espumas feitas de alternativas com baixo PAG no campo de aplicações pretendido. Esse é um exercício contínuo, mas é especialmente importante para tecnologias que não têm histórico significativo de uso em países não incluídos no Artigo 5. O papel dos Projetos-piloto promovidos sob o quadro do Fundo Multilateral são especialmente relevantes aqui e o trabalho do PNUD a respeito do metanoato de metila, por exemplo, já abriu caminho para um uso mais amplo nos setores de espumas flexíveis moldadas e de pele integral com potencial para que outros sigam o exemplo.

Em países não incluídos no Artigo 5, o principal interesse futuro é o de melhorar a eficiência energética. No entanto, pode surgir pressão adicional de propostas para que ocorra a redução do uso de HFCs saturados. Além das iniciativas assinaladas no próprio Protocolo de Montreal, há crescente interesse em incorporar essa medida como parte da nova versão do Regulamento de F-Gases na Europa. Isso pode servir para fortalecer esforços de pesquisa em países não incluídos no Artigo 5 a respeito de soluções com baixo PAG e, especialmente, na busca do uso inteligente de misturas. Esse trabalho pode trazer outros benefícios para países do Artigo 5, mas é improvável que eles surjam a tempo para incorporação nos HPMPs relevantes.

Para o desafio imediato de eliminar o uso de HCFC em países do Artigo 5, há uma série de obstáculos. A urgência para ultrapassá-los serve apenas para tornar a situação ainda mais complexa e é possível que várias soluções não testadas completamente tenham de ser adotadas a curto prazo, com o risco de efeitos negativos para empresas e investidores. Outra consequência poderia ser que as empresas escolhessem minimizar os riscos com a escolha de soluções técnicas comprovadas, mas não ideais, como soluções

com alto PAG ou menor eficiência energética, com o objetivo de fazer uma segunda conversão quando soluções mais adequadas estiverem estabelecidas.

E.5 Bancos, Emissões e Destruição

O gerenciamento de bancos de SDO em espumas para eletrodomésticos atualmente é tratado por várias estruturas reguladoras e voluntárias e usa diversas tecnologias totalmente automáticas, semiautomáticas e manuais. Embora haja indícios de que abordagens totalmente automatizadas fornecem o potencial de recuperação mais abrangente, as curvas de redução de custo relevantes sugerem que alguns processos semiautomáticos terão um papel na gestão contínua de bancos de SDO, especialmente em áreas onde as densidades populacionais são baixas ou o investimento é restrito.

Foram realizados esforços para complementar a caracterização de inventários de espumas em várias regiões. O fluxo de espumas que contêm SDO no fluxo de resíduos de demolição de construções atualmente é baixo e é provável que continue assim por ao menos mais uma década para a maioria dos tipos de produto. Embora a economia da recuperação varie de acordo com a região e seja influenciada por quadros mais amplos de gestão de resíduos de demolição, mesmo as circunstâncias mais favoráveis levam a custos superiores a, em média, US\$ 100 por tonelada de CO₂ economizada. Será necessário que haja outras inovações a longo prazo para que a recuperação a partir dessa fonte se torne economicamente viável.

Continuará havendo considerações a respeito das estratégias mais apropriadas para a gestão de bancos de SDO em espumas, com especial atenção à garantia de que a captura de CFC de bancos existentes baseados em eletrodomésticos seja otimizada antes que essas oportunidades sejam perdidas. Isso pode envolver a necessidade de analisar maneiras eficientes de transferir as tecnologias existentes em países não incluídos no Artigo 5 para ambientes do Artigo 5. Os mecanismos de financiamento mais adequados a tal ação ainda estão em discussão, mas é necessário chegar a uma conclusão em breve para aproveitar as oportunidades.

Embora gere menos emissões que os setores de refrigeração e ar condicionado, o setor de espumas ainda representa um banco substancial de SDO de vida longa, fornecendo oportunidades para a gestão futura. A urgência de iniciativas de gestão varia de acordo com o setor, mas decisões finais a respeito de políticas dependerão das curvas de redução de custo geradas em uma ampla gama de outras medidas de proteção à camada de ozônio e ao clima. Ainda deve ser estabelecido se a recuperação de SDO de construções se tornará uma opção viável em função da natureza dispersa das fontes envolvidas e dos esforços necessários para a recuperação.

E.6 Mensagens regionais específicas

Países desenvolvidos

- O crescimento no uso de espumas para eletrodomésticos e agentes de expansão continuará amplamente com condutores econômicos gerais, uma vez que os mercados estão amplamente saturados. Entretanto, pode haver novas mudanças em local de manufatura e estas podem influenciar as tendências regionais de consumo de agentes de expansão.

- Os hidrocarbonetos agora estão quase completamente otimizados para eletrodomésticos, mas o impulso incessante para a eficiência energética estimula maior foco no ciclopentano como componente de misturas e também promove interesse em HFCs não saturados (HFPs), que estão demonstrando melhor potencial de desempenho térmico que os HFCs líquidos atuais. Pode ser que haja alguma transição de hidrocarbonetos para misturas de HC/u-HFC no futuro, além de uma possível transição, na América do Norte, dos HFCs líquidos diretamente para HFCs não saturados ao longo do tempo, dependendo da futura política de HFCs nos Estados Unidos.
- O crescimento na demanda por agentes de expansão para aplicações em construção é impulsionado pela eficiência energética em construções novas e existentes; houve uma desaceleração na construção de novos prédios devido à recessão global, mas a modificação (*retrofit*) continua com espuma em spray e outros produtos de espuma (placas, etc.). No entanto, o crescimento na demanda por espumas de isolamento foi acentuado nos últimos dez anos, com mudanças nas cotas de mercado entre isolamento por espuma e fibras ao longo do período em função da demanda por espumas com maiores espessuras e de um mercado de construção relativamente dinâmico.
- Os hidrocarbonetos são o agente de expansão dominante no setor de construção, com a exceção da espuma em spray em que os s-HFCs continuam dominando por motivos de segurança, embora seja provável que haja uma maior proliferação de misturas – possivelmente com u-HFCs (HFPs) e/ou metanoato de metila – especialmente quando se acredita que os requisitos de espessura para isolamento estão se tornando insustentáveis.
- Em poliestireno extrudido, o futuro de longo prazo para a escolha de agente de expansão ainda não está claro, com uma variedade significativa de tecnologias em uso no momento. O surgimento de u-HFCs (HFOs) pode se mostrar interessante como substituto para HFCs gasosos, especialmente como componente de misturas. É provável que a pressão em prol da transição seja maior na Europa, onde o Regulamento de F-Gases encontra-se atualmente em revisão. Entretanto, na América do Norte não há planos de transição para os próximos 10 anos, pois a transferência para HFCs gasosos acaba de ser implementada em 2010.

Países em desenvolvimento

- As taxas de crescimento econômico em diversos países em desenvolvimento importantes provavelmente impulsionarão a demanda por eletrodomésticos e outros bens de consumo nos próximos anos, refletindo-se no crescimento esperado para a demanda por agentes de expansão.
- Uma vez que o mercado de eletrodomésticos está se tornando muito globalizado, acredita-se que a escolha de agente de expansão para o futuro deva seguir os mesmos padrões dos países desenvolvidos.
- Alguns fabricantes de eletrodomésticos consideram mudar do ciclopentano para misturas de ciclopentano e HFCs a fim de cumprir com novos padrões de eficiência energética e para melhor cumprir com os padrões energéticos para produtos

exportados para países desenvolvidos.

- O foco nos materiais de isolamento para o mercado da construção e, especialmente, para produtos de espuma varia substancialmente de acordo com a região em desenvolvimento, sendo influenciado principalmente por aspectos climáticos e pela capacidade de investir em infraestrutura.
- Há evidências de um esforço considerável para isolar tanto construções novas quanto já existentes na China, e isso impulsionou a demanda por espuma de poliuretano spray como uma das opções com maior eficiência energética.
- Foi observado também um crescimento substancial em EPS/XPS. No entanto, nos últimos anos, alguns incêndios de grande porte em cidades como Beijing e Xangai resultaram em regulamentos mais severos que podem limitar o uso futuro de materiais de isolamento orgânico para edifícios residenciais.
- Há muito menor clareza a respeito da escolha de agente de expansão para empresas de pequeno e médio porte no setor de construção e diversas opções de tecnologia, incluindo hidrocarbonetos, metanoato de metila, CO₂ (água), s-HFCs líquidos e u-HFCs pré-misturados, podem ser usadas em alguma medida.
- Embora o metanoato de metila tenha aprovação SNAP da EPA dos Estados Unidos para aplicações de espuma de PU spray, ainda não está claro se o mercado verá os problemas de inflamabilidade como suficientemente distintos dos hidrocarbonetos para justificar a adoção. É provável que haja algum uso de metanoato de metila nas aplicações de pele integral em que o uso de CO₂ (água) ainda não esteja estabelecido.
- Embora a comercialização dos vários u-HFCs (HFPs) em consideração provavelmente venha a ocorrer um pouco antes do que se esperava anteriormente (talvez em 2013-2015), essas tecnologias provavelmente chegarão tarde demais para a maioria das transições de HCFC-141b. Portanto, podem ser necessárias transições em duas etapas para tirar proveito de suas propriedades. Uma vez que os custos de investimento provavelmente serão mínimos para tais tecnologias, uma estratégia em duas etapas pode ser apropriada quando fatores econômicos permitirem.
- O trabalho em tecnologias de “três vias” para espuma spray (por exemplo, CO₂ supercrítico e u-HFCs gasosos) pode permitir uma transição antecipada em alguns casos, embora as implicações quanto ao investimento ainda se encontrem em avaliação.

DISPONIBILIDADE DOS DADOS

Não há uma única fonte de referência para o consumo de agentes de expansão em nível mundial. Isso ocorre porque a maioria das avaliações quantitativas “bottom-up” é realizada em nível nacional ou regional. Porém, as informações por parte do fornecedor estão disponíveis para alguns tipos de agente de expansão em nível mundial. Por exemplo, a indústria do fluorcarbono publicou esses dados sobre fluorcarbonos relevantes em nível hemisférico através do projeto AFEAS. No entanto, essa atividade foi descontinuada recentemente. Há uma relutância compreensível por parte de fabricantes de agentes de expansão em fornecer informações do lado do fornecedor em níveis de desagregação mais amplos, pois isso acarretaria em divulgar informações confidenciais valiosas e terminaria por gerar um risco de desobediência à lei da concorrência.

Sem uma fonte de dados confiável e abrangente, o FTOC (Comitê de Opções Técnicas para espumas) desenvolveu o próprio conjunto de dados com base em informações obtidas de diversas das fontes citadas acima ao longo de anos. A partir desses dados, foi criado um modelo para caracterizar o consumo passado, presente e futuro. Durante cada período de Avaliação, os membros do FTOC são encorajados a pesquisar informações em nível regional. No entanto, não se espera que isso resulte em um retrato abrangente dos padrões de uso em qualquer conjuntura específica, mas que as informações obtidas forneçam uma possibilidade de verificação cruzada das projeções que compõem o modelo existente do FTOC. Assim, ajustes poderão ser feitos com base na solidez das informações obtidas.

Nesta Avaliação, os resultados desse processo são relatados para 2008, que é o ano mais recente cujos dados o Comitê pode acessar. No entanto, informações qualitativas episódicas são fornecidas para o período subsequente até 2010, quando são conhecidas.

Os dados são fornecidos por tipo de agente de expansão e por região, com países desenvolvidos divididos em quatro regiões e países em desenvolvimento divididos em sete regiões. A alocação de países é fornecida no Apêndice 3. Deve-se observar que "Rússia e países da antiga União Soviética" é uma designação nova, que substitui "Países com Economias em Transição (CEIT)". Apesar do fato de que nem todos esses países hoje seriam classificados como “em desenvolvimento”, a alocação é mantida para fins de continuidade com Avaliações anteriores.

NÍVEIS DE CONSENSO

A Avaliação foi, até hoje, a mais desafiadora para a obtenção de consenso no FTOC. Isso se deve em parte ao alto nível de incerteza em relação ao provável sucesso dos candidatos a agentes de expansão alternativos. Isso, por sua vez, se deve ao fato de haver pouca experiência anterior com muitas dessas alternativas em países desenvolvidos. Com o futuro de algumas opções de agentes de expansão incerto e pressões para que sejam feitas escolhas em diversos países em desenvolvimento, há uma compreensível cultura de dito e contradito. O FTOC não está imune a esses conflitos de opinião e, na ausência de provas científicas confiáveis ou de experiência prática, foi impossível resolver algumas diferenças de posicionamento. No entanto, uma grande maioria foi atingida na maioria dos casos. Um

dos pontos centrais dessas diferenças foi a tecnologia de metanoato de metila, que está se tornando uma espécie de “*cause célèbre*”, uma vez que sua promoção em algumas regiões influenciou a base de financiamento para muitos projetos do MLF. O FTOC continua cético a respeito de algumas afirmações feitas em favor da tecnologia, mas uma minoria acredita que essas afirmações ou foram ou podem vir a ser corroboradas. Ao tratar dessa situação, concordou-se que a seguinte afirmação expressava adequadamente o status:

Embora a visão majoritária do Comitê seja a de que o uso do metanoato de metila em espumas rígidas não é comprovado, uma minoria dos membros, especialmente os protagonistas da tecnologia, contestam essa opinião e argumentam que o uso já ocorre ou já foi sancionado. Outro aspecto a respeito do qual há discrepância de opiniões é a significância do problema da inflamabilidade, estando a maioria de acordo com o texto deste relatório. Áreas fulcrais de divergência são complementadas por notas de rodapé.

Os codiretores do FTOC aconselham os leitores a abordar as seções relevantes do relatório com esta advertência em mente.

CAPÍTULO 1: STATUS DE TRANSIÇÃO

ESPUMAS DE POLIURETANO

ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO

APLICAÇÕES NÃO PARA CONSTRUÇÃO

Este setor inclui refrigeradores e freezers domésticos, unidades de refrigeração comercial, aquecedores de água e aplicações para transporte refrigerado. Não inclui aplicações variadas que não sejam para isolamento.

EQUIPAMENTOS DE REFRIGERAÇÃO E ELETRODOMÉSTICOS

Países desenvolvidos

Refrigeradores e freezers domésticos

- Tendências de mercado atuais

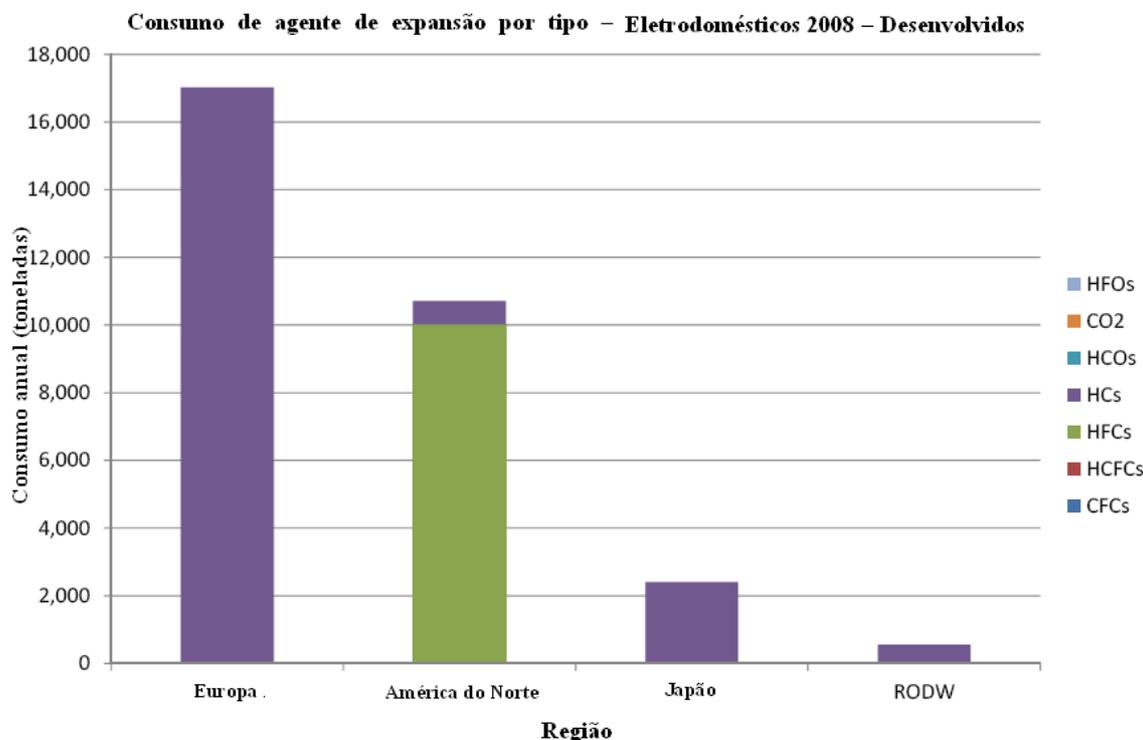
A produção de refrigeradores e freezers domésticos continua na maior parte do mundo desenvolvido, embora haja crescente migração da produção de países desenvolvidos para países em desenvolvimento. As estimativas atuais sugerem que a divisão é de 45%:55% no momento.

A espuma de poliuretano ainda domina o mercado para isolamento de refrigeradores e freezers, com tecnologias mais sofisticadas, como painéis a vácuo, ainda limitadas a aplicações muito especializadas. No entanto, observa-se que um fabricante [Panasonic] recentemente reintroduziu um modelo que contém esses painéis na Europa e também há algum uso contínuo de painéis a vácuo (com base em espumas de células abertas) no Japão para as paredes de alguns modelos. Um dos problemas observados com painéis a vácuo é que eles têm baixa inércia térmica quando comparados à espuma, o que leva a um aquecimento mais rápido em caso de falta de energia.

Espera-se que ocorram outros aumentos no desempenho térmico de refrigeradores domésticos na Europa, mas ainda não está claro se isso levará a um maior uso de espumas, tendo em vista que o espaço tem um preço. Porém, tendências contínuas em direção a estilos norte-americanos de refrigeradores embutidos permitirão maior uso de espuma por unidade. No Japão, o mercado está relativamente estático, embora demonstre poucos sinais de declínio, em parte porque o país continua sendo um importador líquido de produtos da linha branca (1,9 milhões produzidos X 4,5 milhões vendidos). Como na Europa, a América do Norte verá um aumento nos requisitos de eficiência energética ao longo dos próximos cinco anos. Nos Estados Unidos da América, o Departamento de Energia já estabeleceu uma nova regra para eletrodomésticos produzidos a partir de 2014. Esses requisitos provavelmente serão cumpridos por meio da combinação de eficiências de compressor, maior uso de espumas e possíveis mudanças na escolha de agente de expansão.

- Escolha atual agentes de expansão

A escolha de agente de expansão em países desenvolvidos como um todo é ilustrada no gráfico abaixo.



A divisão entre o mercado norte-americano e o restante do mundo desenvolvido continua, na medida em que a indústria de eletrodomésticos continua seu uso de HFC-245fa e, em menor escala, de HFC-134a em refrigeradores e freezers. Uma vez que o Departamento de Energia exige padrões mínimos de energia cada vez mais rígidos em toda a indústria, parece improvável que a maior parte da indústria considere deixar de usar HFCs saturados até que HFCs não saturados (HFOs) como 1234ze(Z) e 1336mzz e outras moléculas ainda não divulgadas estejam comercialmente disponíveis. Porém, há alguns fabricantes americanos que ganharam experiência em fabricação com hidrocarbonetos no México e que podem ainda considerar uma mudança para HCs nos Estados Unidos como a solução final. De fato, já há relatos de que um fabricante passou a usar hidrocarbonetos em uma de suas fábricas.

Enquanto isso, na Europa e em outros locais, a experiência com hidrocarbonetos está bem estabelecida e crescentes exigências de eficiência energética continuam sendo cumpridas, em parte como resultado de melhorias que estão em andamento nas tecnologias de hidrocarbonetos. Portanto, é provável que os fabricantes europeus mantenham sua escolha no futuro previsível, embora haja algum interesse em avaliar HFCs não saturados, especialmente nos casos em que estes apresentam desempenho térmico superior. No Japão, o mercado está completamente estabelecido com o uso de hidrocarbonetos com ciclopentano e com as misturas de ciclo/iso entre os agentes de expansão escolhidos.

Outros equipamentos

- Tendências de mercado atuais

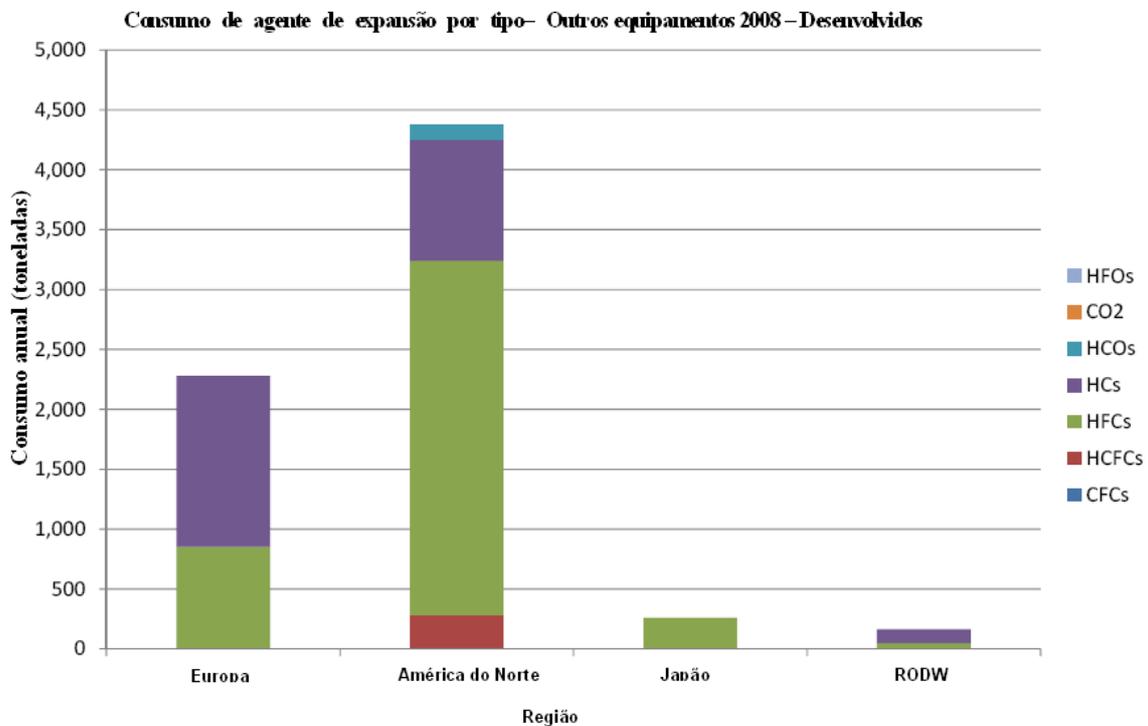
Este setor engloba diversos tipos de produtos, incluindo aquecedores de água, máquinas automáticas de venda, prateleiras de exposição e freezers comerciais. O uso generalizado de máquinas automáticas de venda na indústria hoteleira dos Estados Unidos e seu tamanho relativo tornam o mercado norte-americano de espumas mais significativo que o de outras regiões.

Apesar do impulso por maior eficiência energética, o mercado é visto como relativamente estático do ponto de vista tecnológico, sendo o tamanho um fator menos significativo e limitador do que no setor doméstico. Isso permitiu o uso de tipos de isolamento menos eficientes e tornou a escolha do agente de expansão menos significativa.

A situação é bastante diferente para expositores de supermercados, onde a área de piso ocupada é um fator importante. Todavia, a eficiência energética desses sistemas de supermercado é muitas vezes ditada pela escolha do sistema de entrega de refrigerante (distribuído X independente). Apenas nos casos independentes a escolha de tecnologia de espuma tende a ser crucial.

- Escolha atual de agente de expansão

O gráfico abaixo ilustra a divisão da escolha de agente de expansão no ano de 2008:



Naquele ano, havia uso residual de HCFCs neste setor na América do Norte. Isso se deve em parte ao fato de que os requisitos de regulamentação estavam apenas começando a

vigorar nos Estados Unidos. No entanto, também houve algum uso continuado no Canadá, uma vez que a eliminação continua no país por meio de um sistema de cotas comerciáveis.

No setor de máquinas automáticas de vendas da América do Norte, também houve algum uso de sistemas de CO₂ (água) além de uma incipiente aceitação do metanoato de metila na aplicação. Em 2008, o uso de metanoato de metila era nominal (talvez 125 toneladas [3-4%]), mas acredita-se que pode ter crescido mais cerca de 5% desde então.

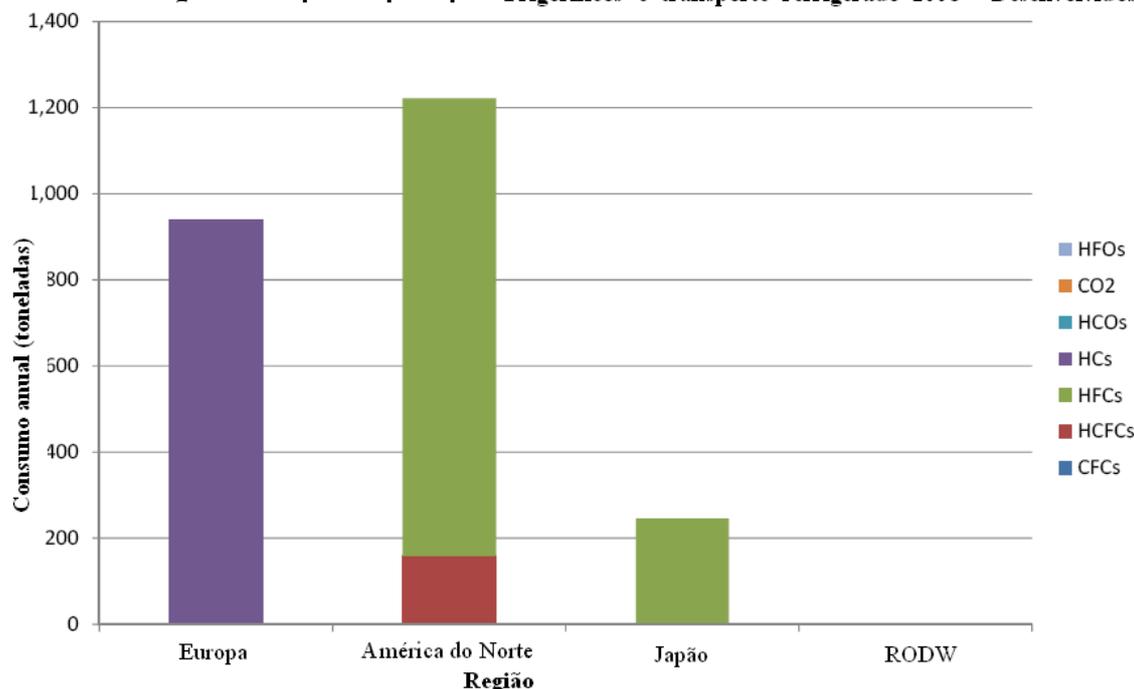
Frigoríficos e transporte refrigerado

- Tendências de mercado atuais

Este setor engloba tanto a fabricação de frigoríficos (recipientes refrigerados) quanto a fabricação de outros corpos de transporte refrigerados, como tanques isolados e carrocerias de caminhões. O setor se distingue de outros pelo fato de o sistema de espuma de poliuretano ser injetado em uma cavidade em vez de construído a partir de peças pré-fabricadas (por exemplo, painéis descontínuos revestidos de aço). Mais de 50% de toda a espuma nesse setor é produzida em países em desenvolvimento, indicando a posição dominante que a China possui na fabricação mundial de frigoríficos.

- Escolha atual de agente de expansão

Consumo de agente de expansão por tipo – Frigoríficos e transporte refrigerado 2008 – Desenvolvidos



O gráfico de consumo em países desenvolvidos mostra que há variações expressivas na escolha de agente de expansão entre as regiões, com a região da Europa dando ênfase ao uso de hidrocarbonetos, enquanto o Japão e a América do Norte usam HFCs em grande medida. Assim como com outros equipamentos, havia uso residual de

HCFCs em 2008 na América do Norte, especialmente no Canadá.

Países em desenvolvimento

Refrigeradores e freezers domésticos

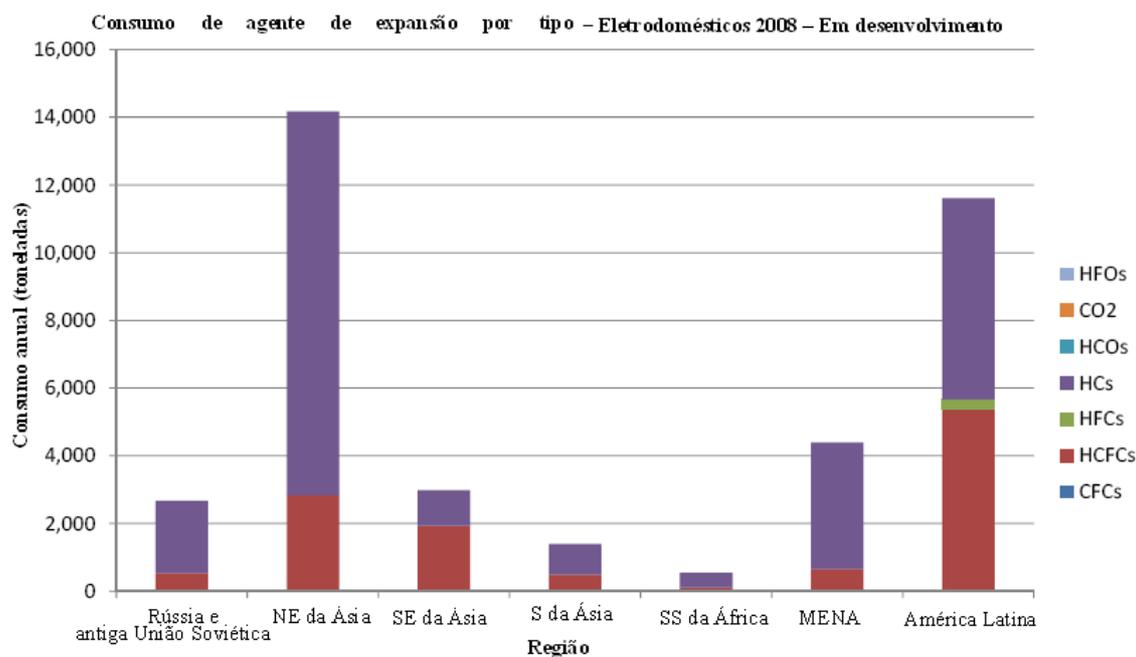
- Tendências de mercado atuais

A fabricação de refrigeradores e freezers domésticos em países em desenvolvimento é dominada pela produção do Nordeste da Ásia (incluindo a China e a Coreia do Sul) e da América Latina. Somente na China, há uma estimativa de que mais de 300.000 toneladas de PU tenham sido consumidas em 2008 apenas no mercado de refrigeradores e freezers domésticos. As taxas de crescimento estão em torno de 8% por ano, com base tanto no crescimento doméstico quanto na migração da capacidade de produção de outros países.

Na América Latina, o mercado está crescendo 5-7% ao ano, mas foi influenciado no período após 2008 por intervenções do Governo para incentivar aumento na propriedade de refrigeradores e para catalisar a substituição de unidades antigas e ineficientes. O mercado, especialmente no México e em países próximos, também continua sendo influenciado pela relocação da produção dos Estados Unidos e pela demanda de exportação que ela gera.

- Escolha atual de agente de expansão

A escolha de agente de expansão em países desenvolvidos como um todo é ilustrada no gráfico abaixo.



O mercado em países em desenvolvimento está dividido entre o uso de hidrocarbonetos e de HCFCs. Também há uma pequena quantidade de uso de HFC para o mercado de exportação para a América do Norte e para a América Latina.

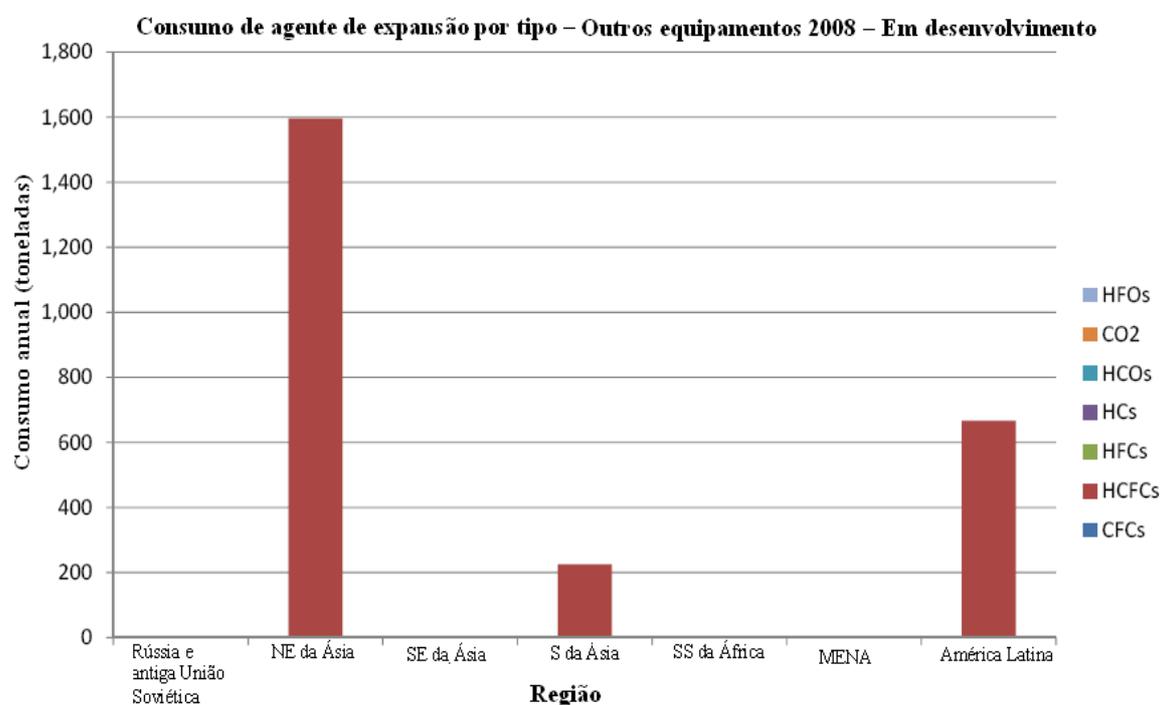
A decisão original de investir em tecnologia de hidrocarbonetos foi orientada, em parte, pela provável demanda oriunda de grandes populações, que por sua vez levou às economias de escala percebidas. Um fator adicional na transição direta de CFCs para hidrocarbonetos na fase anterior foi a promoção ativa e o encorajamento fornecido no quadro do Fundo Multilateral, que ofereceu suporte adicional ao progresso dos HCFCs neste setor.

Outros equipamentos

- Tendências de mercado atuais

Ao contrário dos eletrodomésticos, apenas um pouco mais de 25% dos “outros equipamentos” fabricados mundialmente são feitos em países em desenvolvimento, sendo a maioria deles produzida na China. Como observado a respeito de países desenvolvidos, a variedade de tipos de produtos é muito grande. No entanto, há uma demanda tipicamente maior por expositores de pequena escala em países em desenvolvimento, orientada pelo tamanho das lojas de varejo.

- Escolha atual de agente de expansão



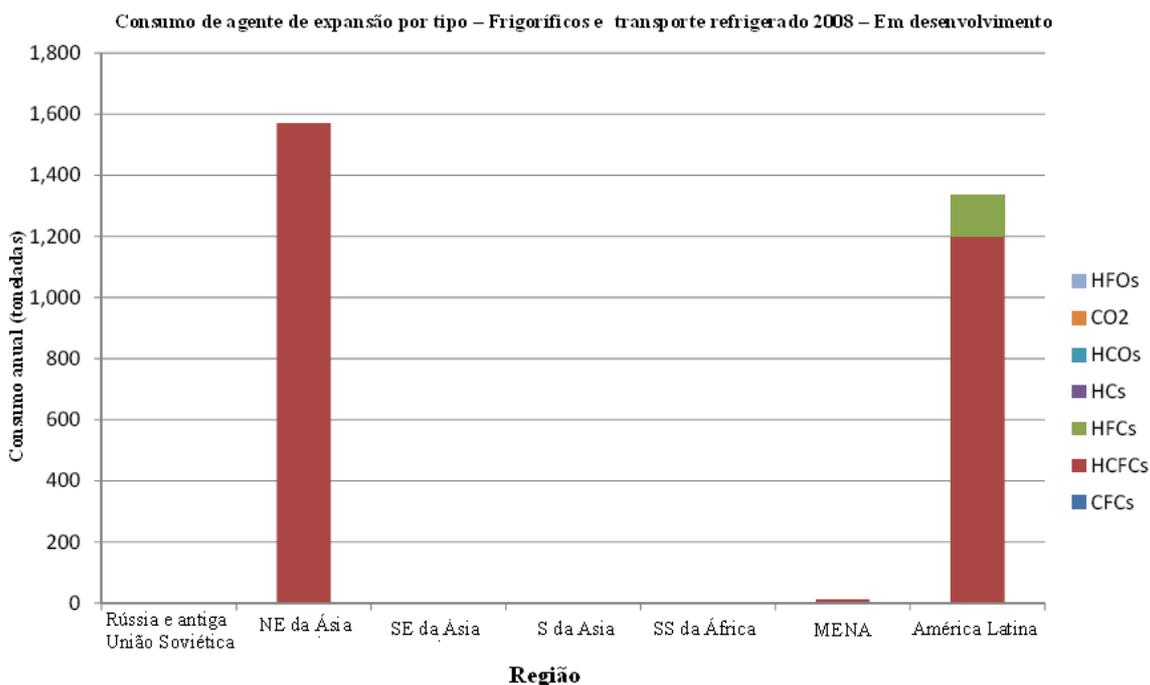
Como pode ser observado no gráfico acima, praticamente toda a demanda por agentes de expansão neste setor em 2008 foi por HCFCs. Atualmente, há interesse em hidrocarbonetos e metanoato de metila. Assim, este setor depende da oferta de alternativas ao HCFC de acordo com iniciativas da Decisão XIX/6. As opções são discutidas em maiores detalhes no Capítulo 2.

Frigoríficos e transporte refrigerado

- Tendências de mercado atuais

Embora unidades refrigeradas de transporte, como caminhões-tanque isolados e carrocerias de caminhão refrigeradas, sejam fabricadas em todo o mundo desenvolvido para uso local, a maior parte da fabricação mundial de contêineres refrigerados migrou para a China com base no preço por unidade, em parte derivado de economias de escala. Esse mercado cresceu com relativa rapidez e, como um processo *in situ*, precisou ser baseado principalmente em tecnologias comprovadas.

- Escolha atual de agente de expansão



Como pode ser visto no gráfico acima, os principais agentes de expansão em uso no momento são HCFCs e estes são quase exclusivamente HCFC-141b. Também há relatos de uso de HFC-134a na América Latina, embora a aplicação precisa seja desconhecida. Acredita-se que um processo de formação de espuma seja realizado nesse caso.

APLICAÇÕES PARA A CONSTRUÇÃO

Este setor engloba todas as aplicações de espumas rígidas de poliuretano na construção, incluindo o uso de painéis espumados em instalações de câmaras frias de larga escala, que são tipicamente consideradas como construções temporárias.

Países desenvolvidos

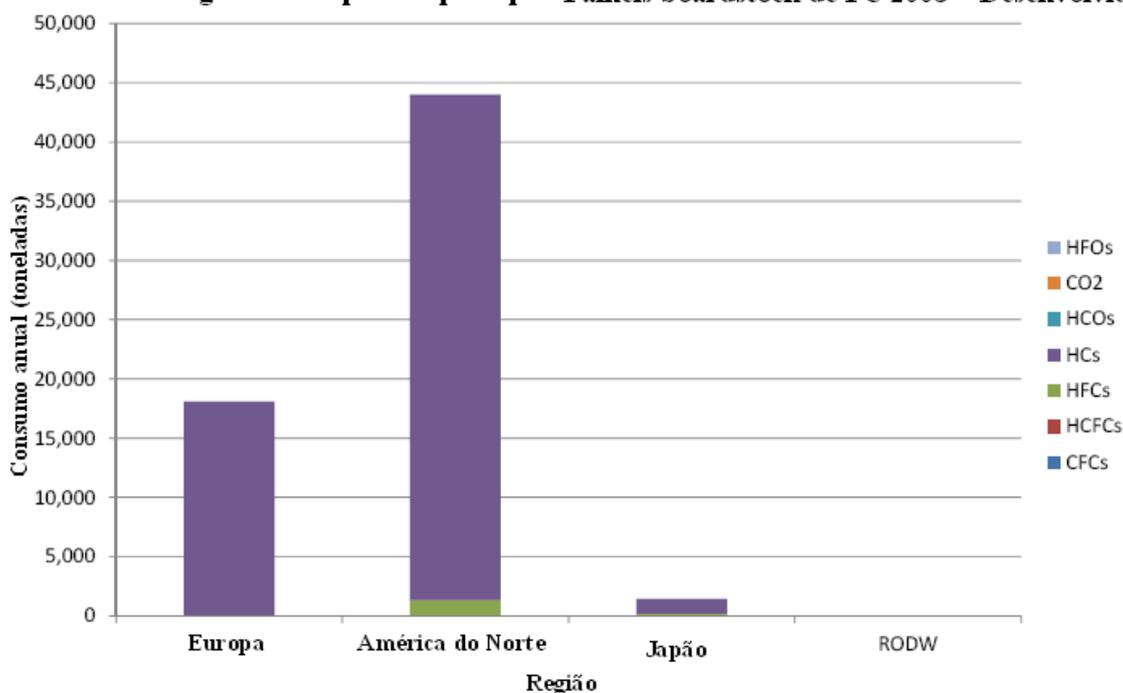
Painel boardstock de poliuretano

- Tendências de mercado atuais

O crescimento no uso de produtos de painel boardstock de poliuretano (incluindo PIR) foi dramático em alguns mercados, especialmente quando construções com parede duplas com cavidade interna são comuns e os requisitos mínimos de eficiência energética não podem ser cumpridos com tipos de isolamento menos eficientes, como fibra mineral. Há uma tendência a incorporar produtos de painel boardstock em sistemas de construção de isolamento térmico externo (ETICS) para a renovação de paredes sólidas. Embora tipicamente tenham retorno em seu tempo de vida útil (ou seja, custo negativo em toda sua vida útil), estão entre as opções de renovação mais caras. Da mesma forma, o isolamento por fibra ganhou espaço em reformas para isolamento de lofts, pois constitui uma estratégia de renovação com melhor relação custo-benefício, quando pode ser aplicada.

- Escolha atual de agente de expansão

Consumo de agente de expansão por tipo - Painéis boardstock de PU 2008 – Desenvolvido



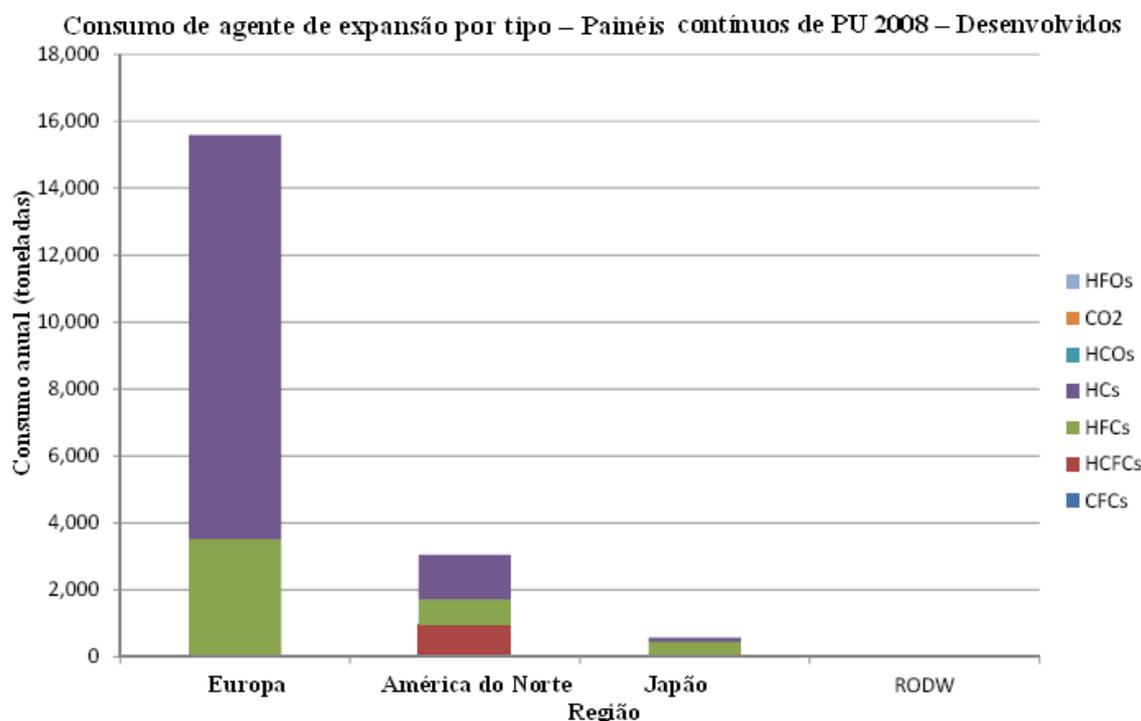
A maior parte do mercado de painéis boardstock de poliuretano migrou para hidrocarbonetos (inicialmente, ciclopentano, mas agora mais tipicamente n- ou isopentano), com apenas um uso muito pequeno de HFCs na América do Norte. Como pode ser percebido, os níveis de consumo no Japão são relativamente baixos, uma vez que sistemas de PU spray são um modo de isolamento mais difundido do que os painéis boardstock de poliuretano nessa região. Não são esperadas outras transições nas regiões desenvolvidas no futuro próximo.

Painéis contínuos de PU

- Tendências de mercado atuais

O crescimento do mercado de painéis de composto de poliuretano (sanduíche) continuou acelerado no período desde a última Avaliação. Esses painéis podem tipicamente ser revestidos com aço, alumínio ou outras superfícies metálicas e são cada vez mais comercializados como painéis para arquitetura. Em alguns casos, estão sendo projetados para incorporar painéis solares PV e para oferecer potencial de contribuir significativamente para as soluções de construção com zero carbono que atualmente estão sendo requisitadas em alguns países.

- Escolha atual de agente de expansão



Há uma manutenção do uso de HFCs em alguns países da Europa em função de requisitos para cumprir com determinados critérios de regulamentos e seguros a respeito de incêndios. No entanto, cada vez mais, os hidrocarbonetos são vistos como a solução de

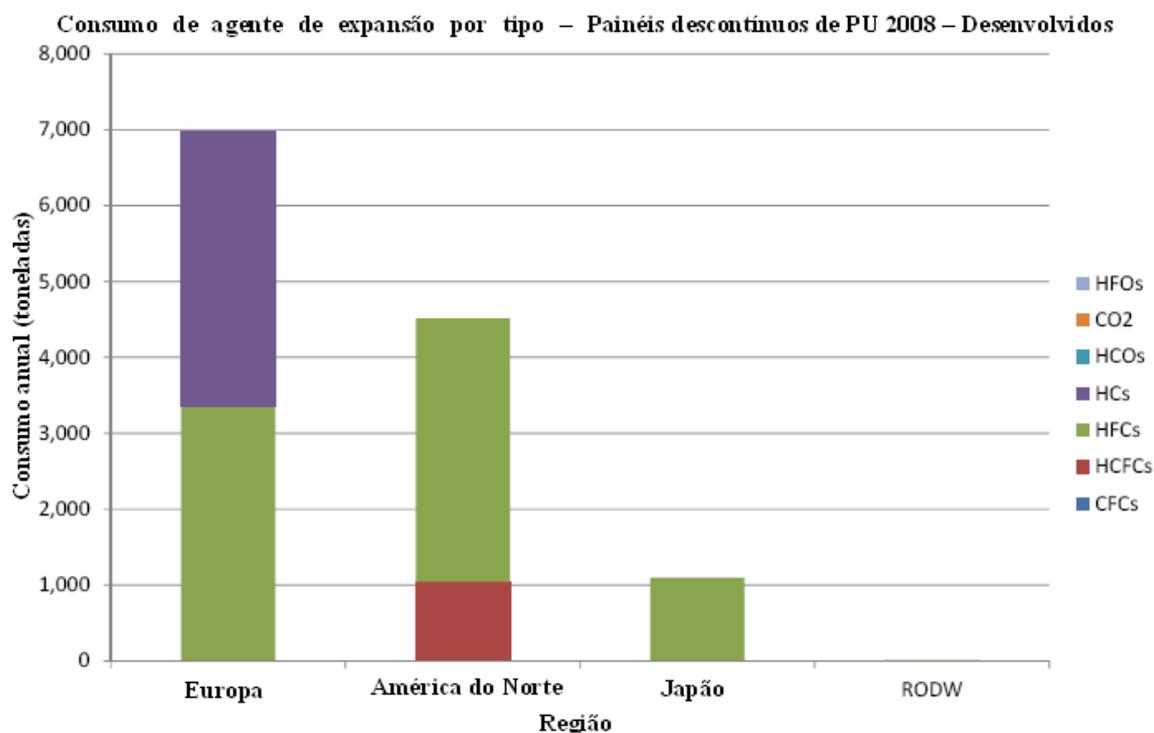
longo prazo no setor, uma vez que os requisitos de espessura da espuma são orientados mais pelos requisitos de força do painel do que por seu desempenho térmico em si. As espessuras de painel típicas para novas construções podem estar no intervalo entre 80 e 100 mm. Como pode ser visto no gráfico, essa tecnologia está muito mais estabelecida na Europa do que em outros lugares. Todavia, as taxas de crescimento são rápidas em partes da América do Norte e no Resto do Mundo Desenvolvido (RODW). Havia, em 2008, uso residual de tecnologia de HCFCs no Canadá.

Painéis descontínuos de PU

- Tendências de mercado atuais

Há algumas conjecturas sobre o tamanho relativo do setor do mercado de painéis descontínuos como uma proporção de toda a indústria de painéis revestidos de metal. Algumas projeções indicam que o tamanho absoluto do mercado de painéis descontínuos permanece relativamente estático, argumentando que uma maior demanda será suprida exclusivamente pelo setor contínuo conforme os investimentos respondam a economias de escala. Outros, incluindo esta Avaliação, argumentam que, quando a penetração do mercado se espalha geograficamente, novas instalações de produção sempre começam de maneira descontínua. Em última instância, os custos de transporte de produtos finais provavelmente ditam o resultado final, fato que será revisado em mais detalhes nas próximas avaliações.

- Escolha atual de agente de expansão



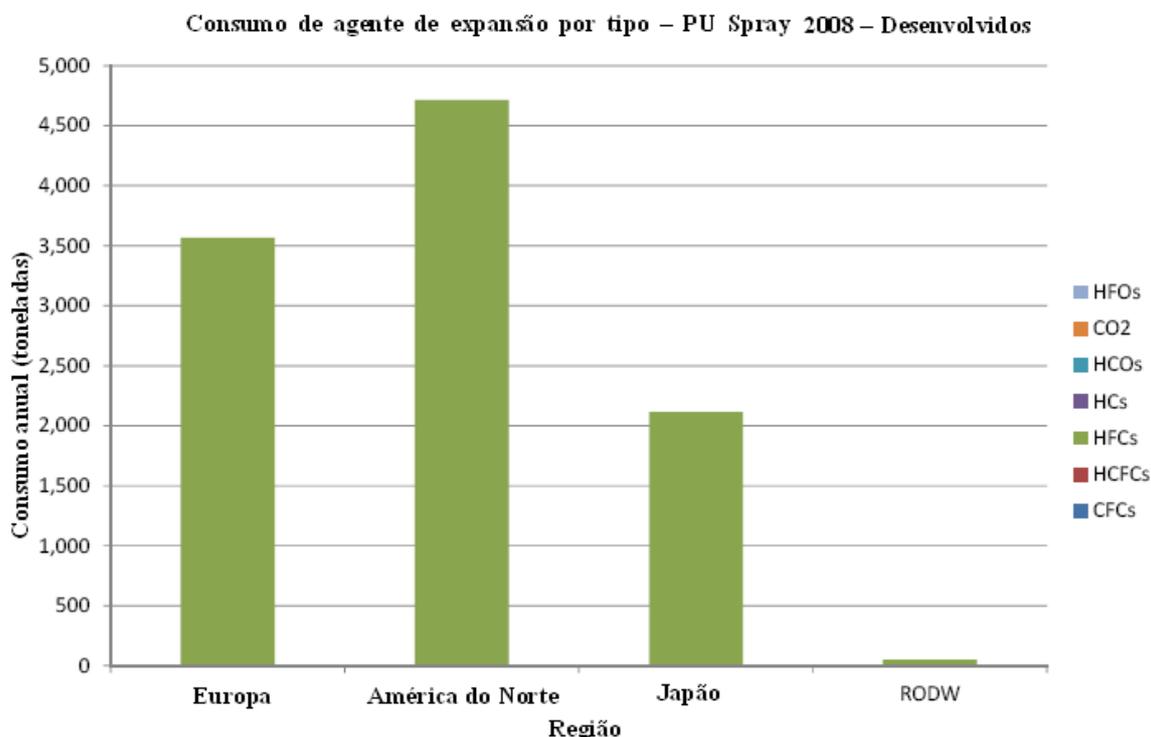
Novamente, a Europa tem a maior parcela desse mercado, com a escolha de agente de expansão dividida entre HFCs e hidrocarbonetos, dependendo da resposta prevalecente ao risco de lidar com hidrocarbonetos em processos descontínuos. Em relação ao cenário para painéis contínuos, havia algum uso residual de HCFCs na América do Norte em 2008.

Espuma de poliuretano (PU) spray

- *Tendências de mercado atuais*

Como observado na seção a respeito de painéis boardstock de poliuretano, esta tecnologia é um importante componente do setor de isolamento japonês e a espuma spray ainda é o mais significativo mercado per capita. Na América do Norte, há dois tipos de produto distintos: - um produto de preenchimento de baixa densidade para preencher espaços entre pedaços de madeira (especialmente para evitar infiltração) e um material de isolamento térmico de maior densidade para aplicações com maior exigência técnica, como tetos planos comerciais. Na Europa, o produto é usado tipicamente em construções residenciais de teto plano do sul da Europa, por exemplo na Espanha e na Itália. Acredita-se que a tecnologia tenha um papel específico em reformas com boa relação custo-benefício nessas regiões.

- *Escolha atual de agente de expansão*



As principais escolhas de agente de expansão para essa tecnologia em países desenvolvidos são HFCs. Estes podem ser HFC-245fa (principalmente nos Estados

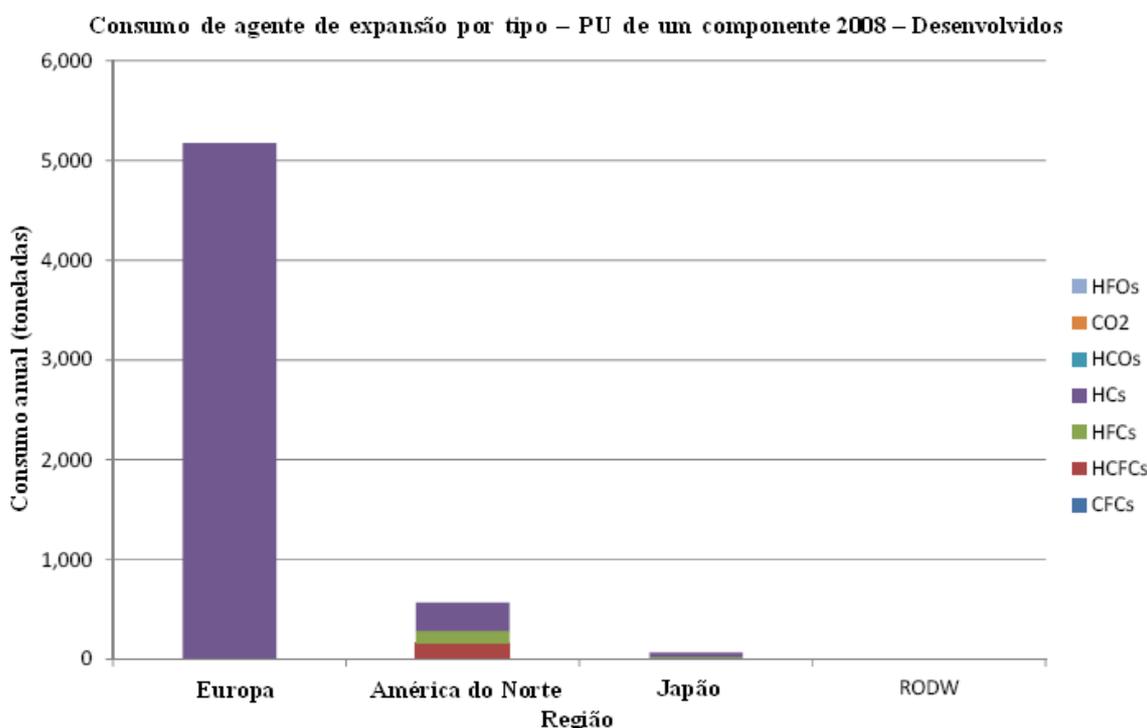
Unidos) ou misturas de HFC-365mfc/227ea (mais comuns na Europa). As espumas de preenchimento de baixa densidade usadas na América do Norte geralmente são expandidas com CO₂(água). Também há uso significativo de CO₂ supercrítico no Japão, embora não tenha sido elaborado um gráfico separado neste estágio, uma vez que os dados para o consumo de CO₂ são mais difíceis de confirmar. No entanto, estima-se que as tecnologias baseadas em CO₂ representem, como um todo, a maior parte do consumo no mercado japonês.

Espuma de poliuretano de um componente

- Tendências de mercado atuais

Este é um mercado preponderantemente europeu, gerado pelos métodos de construção usados com construções de tijolos e blocos. O produto é baseado em um sistema de cura em umidade (por isso o termo "um componente") e é usado principalmente no local. O mercado é altamente sensível à atividade de construção, especialmente no setor residencial, mas é provável que se beneficie também de atividades de reforma.

- Escolha atual de agente de expansão



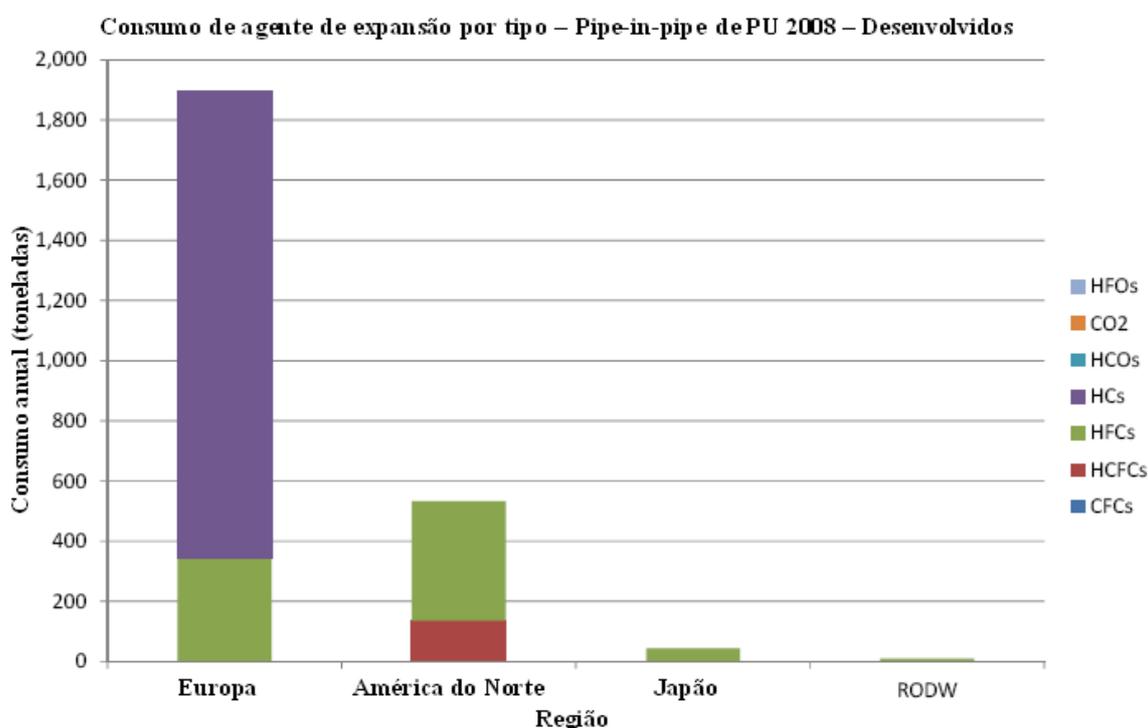
Embora os hidrocarbonetos sejam observados como principal agente de expansão na Europa, esta análise precisa ser aprimorada em Avaliações futuras pois, embora muitas formulações sejam baseadas em misturas, acredita-se que alguns dos principais componentes sejam o éter etílico e outros produtos similares. Os éteres tipicamente seriam qualificados como hidrocarbonetos oxigenados (HCOs) e deverão ser tratados dessa forma em análises futuras.

Pipe-in-Pipe de poliuretano (incluindo a moldagem de seções de tubo)

- Tendências de mercado atuais

Este mercado é historicamente forte em economias centralizadas nas quais o fornecimento de aquecimento para grandes complexos residenciais é entregue a partir de uma fonte de calor central. Esses sistemas de aquecimento de distrito se tornaram mais significativos recentemente em outras regiões nas quais o advento de sistemas combinados de aquecimento e energia (CHP) estimularam soluções de tubulação subterrânea semelhantes. Alguns desses sistemas agora podem ocorrer em escala relativamente pequena (os chamados micro-CHPs).

- Escolha atual de agente de expansão



O principal mercado para essa abordagem encontra-se na Europa, onde as tecnologias de hidrocarbonetos se provaram totalmente operacionais para os tubos pré-isolados exigidos. Também há uso reduzido de HFCs.

Bloco de poliuretano – Seção de tubo

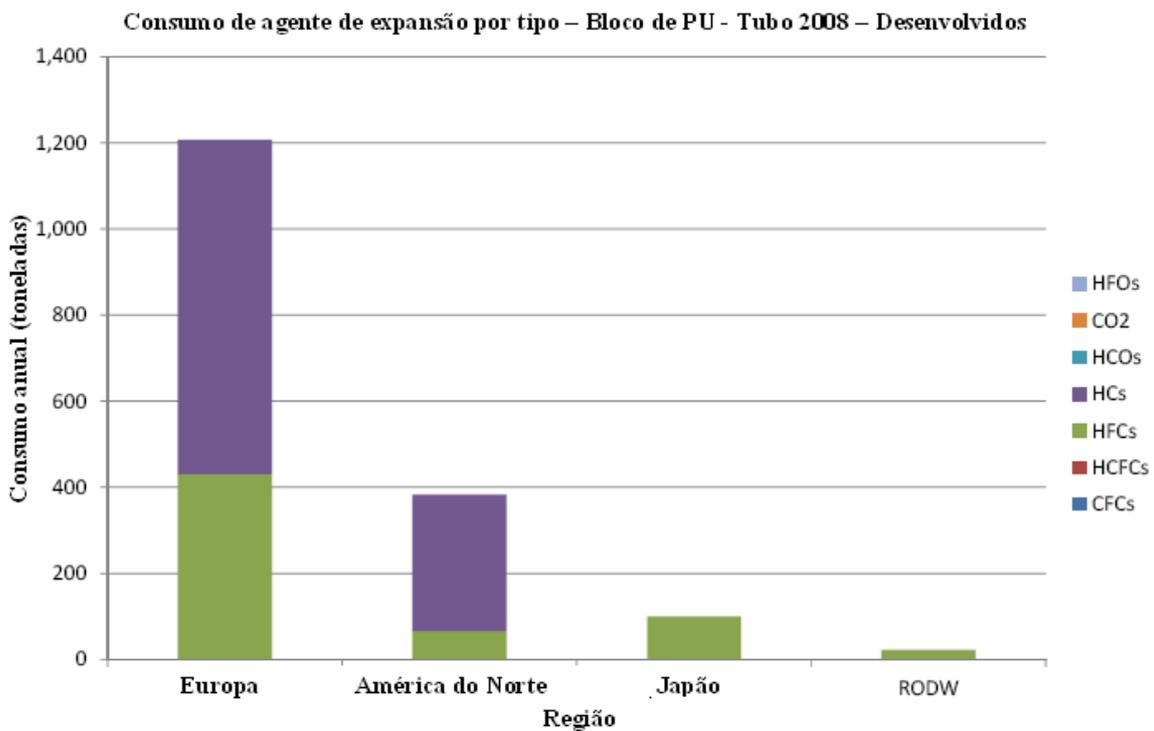
- Tendências de mercado atuais

Quando comparado a outros mercados de poliuretano, este setor permanece relativamente maduro e tende a flutuar principalmente com investimentos baseados em processo. As seções de tubos de poliuretano (especialmente PIR) têm um nicho em aplicações criogênicas, nas quais sua resiliência a essas temperaturas é importante. Em

outras partes do mercado, estão sob maior pressão de outros produtos que oferecem melhor desempenho ao fogo (por exemplo, espuma fenólica e fibra mineral).

- Escolha atual de agente de expansão

Os blocos de PU podem ser feitos de maneira contínua ou descontínua. Quando a demanda de mercado sustenta a escolha, o bloco contínuo oferece menor desperdício. No entanto, cortar seções de tubo de blocos é sempre um processo pouco eficiente e a escolha do agente de expansão deve refletir isso, tanto econômica quanto ambientalmente. Da mesma forma, há pressão crescente sobre o uso de hidrocarbonetos neste setor apesar das preocupações iniciais com a segurança do processo. Para os produtores maiores, o gerenciamento da tecnologia de hidrocarboneto se provou tanto possível quanto economicamente viável uma vez que o investimento inicial foi feito. Para fabricantes menores, os HFCs foram uma escolha mais lógica.



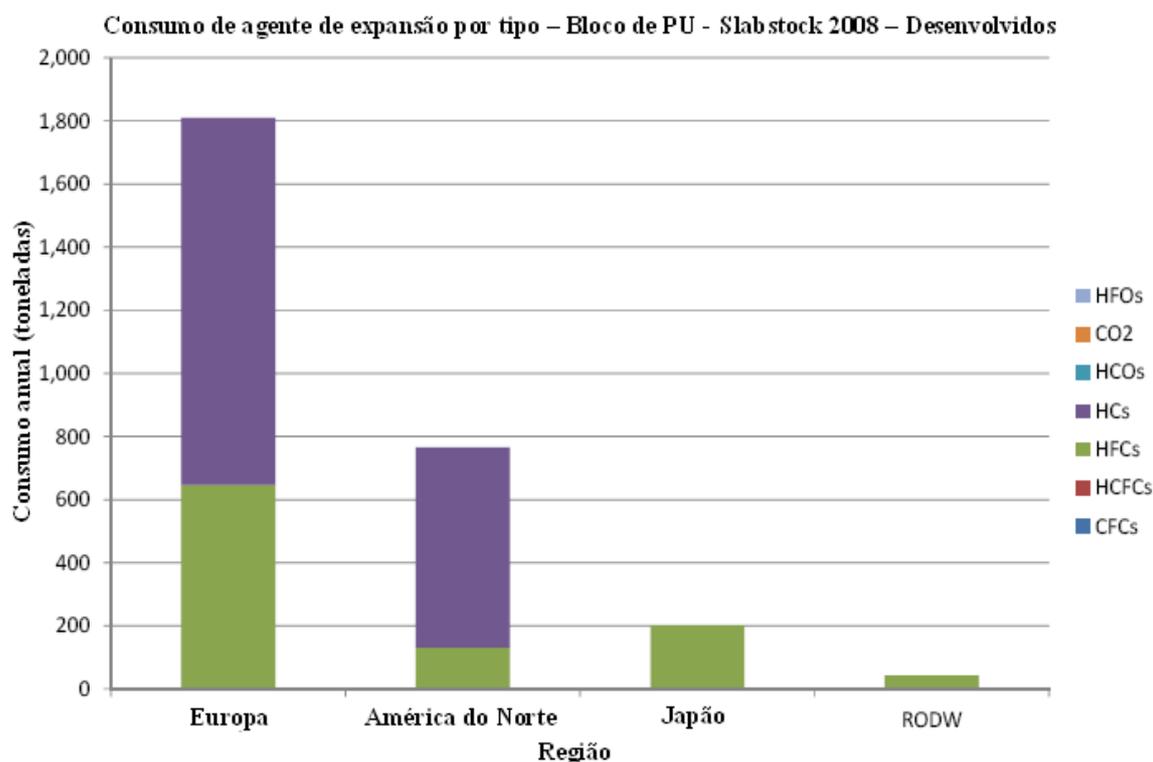
Bloco de poliuretano - Slabstock

- Tendências de mercado atuais

Novamente, esse tipo de produto é relativamente maduro e é utilizado tipicamente para aplicações não rotineiras para espumas de poliuretano nas quais é necessário um grau de fabricação. O mercado para produtos de slabstock é tipicamente maior para seções de tubos, em parte devido às menores perdas resultantes da etapa de fabricação. Esse fato pode ser repassado em um preço mais competitivo.

Escolha atual de agente de expansão

O processamento é precisamente igual ao descrito para Blocos de PU – Tubo e a escolha de agente de expansão é consequentemente idêntica. Há poucas aplicações para slabstock em que a escolha de um hidrocarboneto como agente de expansão não basta. Portanto, a escolha final de agente de expansão é amplamente guiada por considerações de processo.



Países em desenvolvimento

Painel boardstock de poliuretano

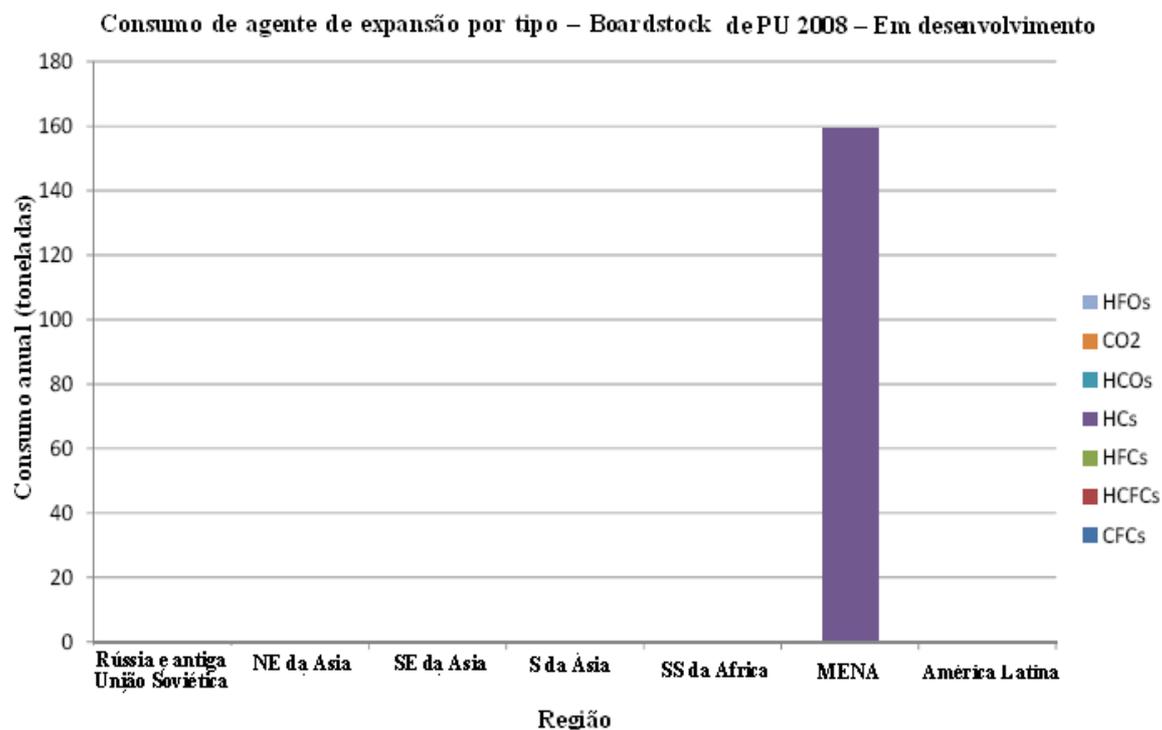
- Tendências de mercado atuais

Historicamente, o painel boardstock de poliuretano não faz parte do conjunto de produtos utilizado em países em desenvolvimento e a única fábrica conhecida encontra-se na Turquia (incluída na MENA). Essa instalação é fornecedora principalmente do mercado europeu e não reflete de fato a demanda interna. Dito isso, há um crescente interesse em todas as opções de isolamento térmico para novas construções, especialmente em climas mais frios, conforme aumenta a demanda por eficiência energética, impulsionada por considerações de segurança energética e mudanças climáticas. O FTOC observou que a transferência de tecnologia de países desenvolvidos para países em desenvolvimento em relação a soluções relacionadas a eficiência energética e padrões foi aumentando durante o

período da Avaliação e pode levar à adaptação de mais estratégias de isolamento de países desenvolvidos para construções com estrutura de madeira e de tijolos e blocos.

- Escolha atual de agente de expansão

Em uma instalação conhecida, a escolha de agente de expansão foi consistente com o mercado servido (Europa) e nenhum desafio tecnológico específico foi observado.



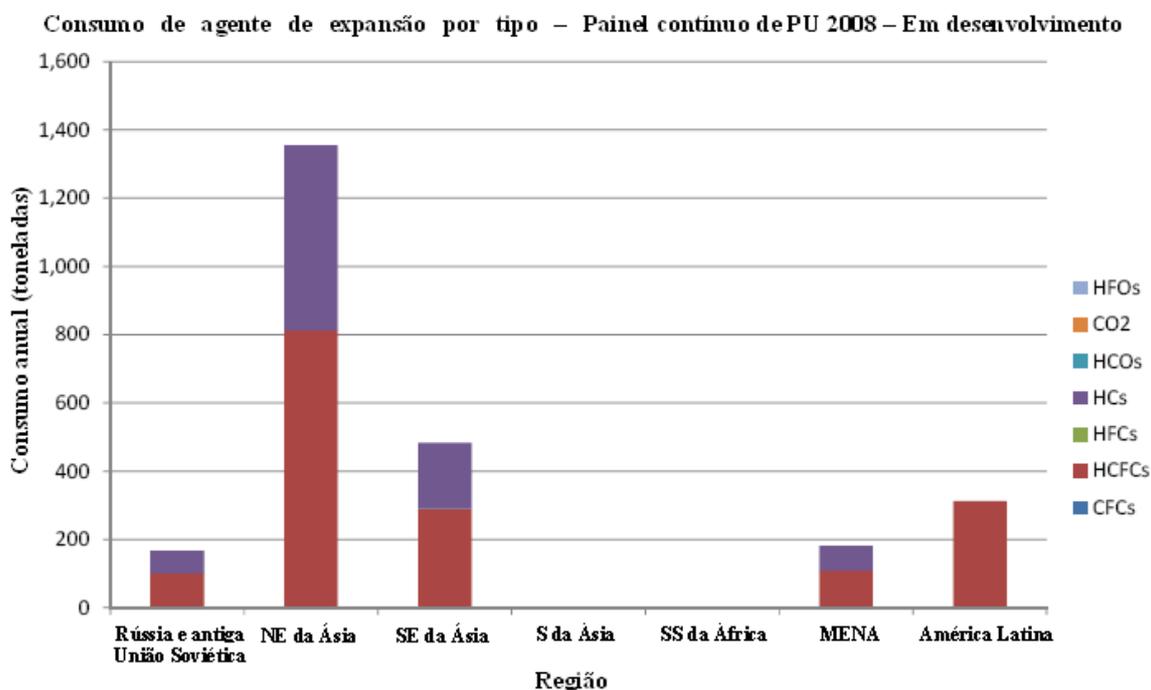
Painéis contínuos de PU

- Tendências de mercado atuais

Tendo em vista a natureza pré-fabricada desses produtos e a reprodutibilidade decorrente desse fato, esta tecnologia se transferiu melhor que outras e empresas multinacionais não hesitaram em investir diretamente em fábricas contínuas nas quais o tamanho geral da população e o potencial de crescimento econômico pareciam justificá-lo. Uma das vantagens desse tipo de construção é a velocidade com a qual novas construções podem ser erguidas em torno de uma estrutura de aço. A tecnologia também tem a vantagem de possuir características de isolamento térmico integradas, evitando o risco de isolamento inadequado que pode ser associado a sistemas construídos no local.

Escolha atual de agente de expansão

A escolha de agente de expansão foi em grande parte resultado da ocasião do investimento. Depois que países desenvolvidos ficaram confortáveis com o uso de hidrocarbonetos, foi inevitável que estes fossem adotados para novos investimentos em países em desenvolvimento. No entanto, fábricas anteriores eram baseadas em HCFCs (tipicamente HCFC-141b) será necessária uma conversão como parte da implementação da Decisão XIX/6. A escolha da alternativa está em aberto, sendo opções os hidrocarbonetos e os HFCs.



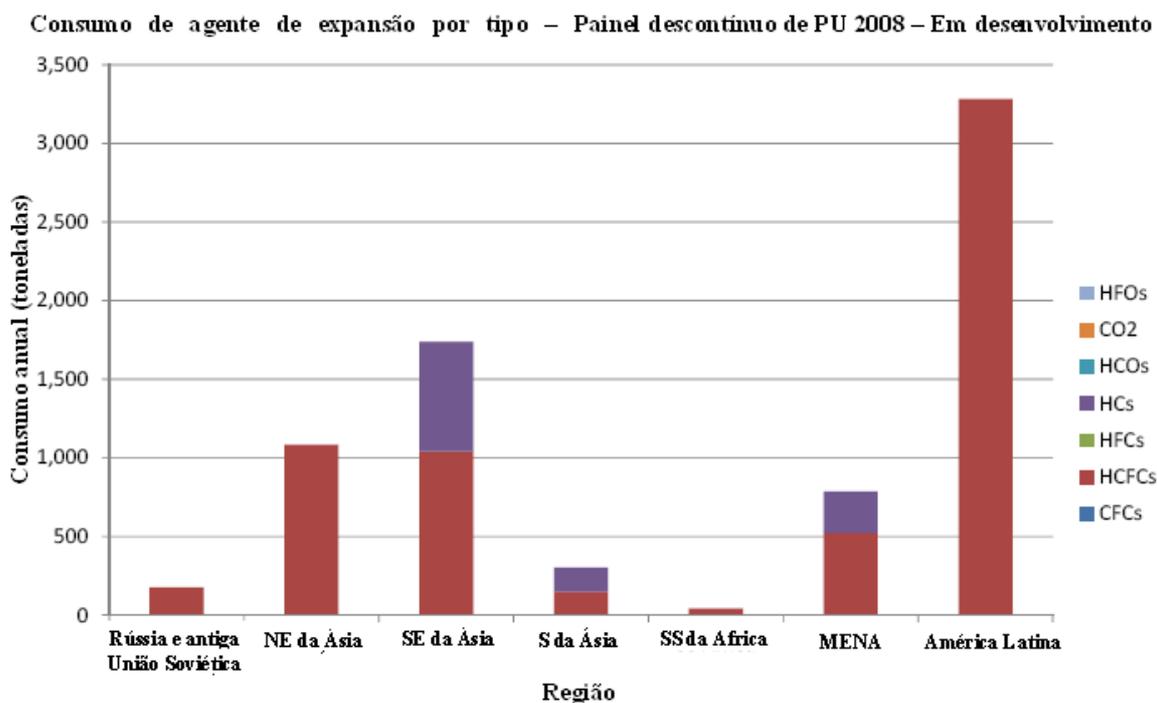
Painéis descontínuos de PU

- Tendências de mercado atuais

Existe uma discussão semelhante à de países desenvolvidos sobre a proporção do setor de painéis de PU que permanecerá descontínua com o crescimento do mercado. No entanto, um fator adicional está em jogo no cenário dos países em desenvolvimento. Este fator é simplesmente que o custo do investimento para o equipamento de processamento contínuo provavelmente será impraticável para muitos fabricantes locais. Como mostra o gráfico abaixo, a fabricação de painéis descontínuos revestidos de aço é bastante difundida no mundo em desenvolvimento e provavelmente permanecerá assim por um período significativo. Novamente, o valor da pré-fabricação em um ambiente de fábrica tem um valor adicional no cenário de um país em desenvolvimento.

Escolha atual de agente de expansão

Como ocorre com os painéis contínuos, os principais agentes de expansão eram HCFCs em 2008. No entanto, a proporção do mercado baseada nessa tecnologia era maior, em função da falta de influência multinacional a respeito das estratégias de investimento escolhidas.



Há relatos na América Latina (especialmente no Brasil) de que o metanoato de metila pode ter um papel nessa área em função de seu desempenho básico. Ocorreu algum nível de comercialização desde 2008, embora as perspectivas para o longo prazo ainda precisem ser avaliadas. Os hidrocarbonetos e HFCs saturados serão as outras opções provavelmente consideradas a curto prazo. Os HFCs não saturados (HFOs) provavelmente não ganharão espaço até que a comercialização ocorra e as implicações de custo sejam avaliadas completamente.

Espuma de poliuretano (PU) spray

- Tendências de mercado atuais

A demanda para a reforma de propriedades residenciais na China levou a um crescimento sem precedentes no mercado de espumas de poliuretano spray no país. A natureza centralizada de partes da economia na região indica que essa tendência pode não ser replicada na mesma medida em outras partes do mundo em desenvolvimento. Todavia, o valor óbvio da espuma de poliuretano spray na melhoria do desempenho térmico de construções existentes com uma boa relação custo-benefício certamente garantirá que

tenha um papel importante nas estratégias de isolamento térmico por todo o mundo.

- Escolha atual de agente de expansão

A estimativa atual apenas para o mercado chinês é de 70.000-80.000 toneladas por ano.

No entanto, em 2008, esse número era consideravelmente mais baixo (provavelmente em torno de 25.000 toneladas), levando a uma demanda por agente de expansão de 2.500 a 3.000 toneladas naquele ano.

No presente momento, o setor depende inteiramente de HCFCs (mais tipicamente HCFC-141b) e busca resistir à transição para HFCs saturados com seus prejuízos climáticos. No entanto, o desafio para países em desenvolvimento é identificar tecnologias que, em grande medida, ainda não estão comprovadas (pelo menos em grande escala) em países desenvolvidos. O metanoato de metila, o metilal e o CO₂ supercrítico também foram mencionados nesse contexto e projetos-piloto foram implementados com o objetivo de avaliar cada um deles no ambiente da espuma spray. No México, por exemplo, o mercado da espuma de poliuretano spray representa 30% do consumo total de HCFCs no país e o HPMP atualmente propõe o metanoato de metila como substituto escolhido. Porém, o FTOC teme que a base de evidências atualmente seja pequena demais para comprovar que o metanoato de metila pode ser usado com segurança e eficiência em aplicações de espuma de poliuretano¹.

Espuma de poliuretano de um componente

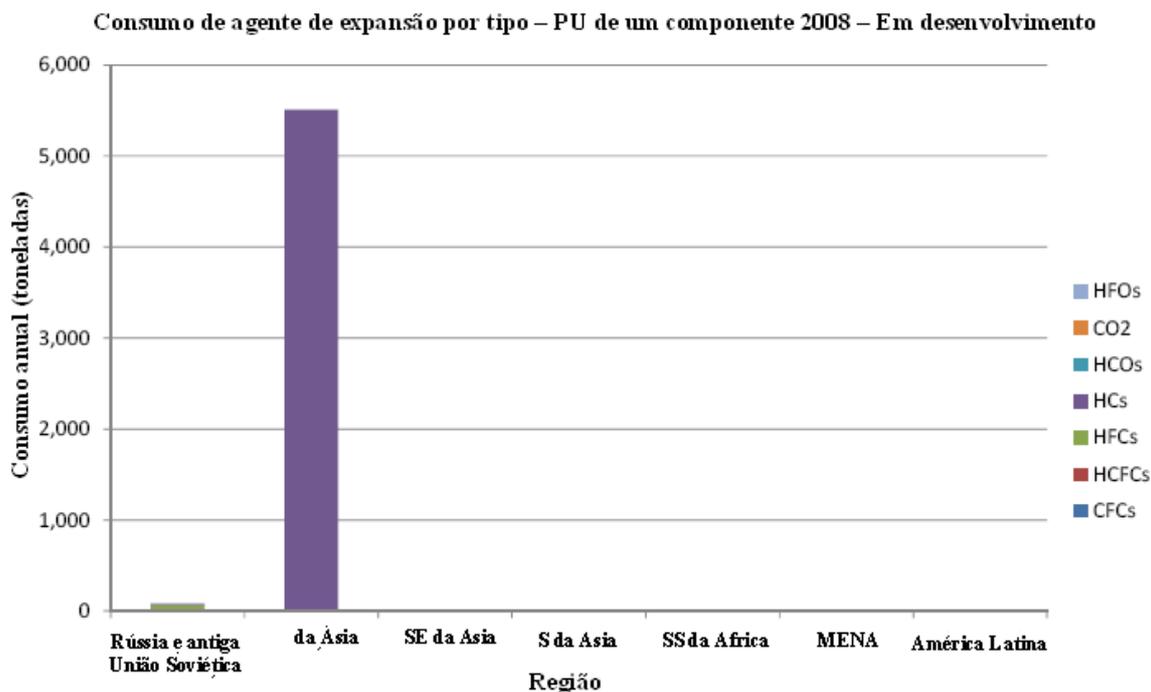
- Tendências de mercado atuais

O mercado da espuma de poliuretano de um componente prevalece em duas regiões de países em desenvolvimento. A primeira delas é "Rússia e países da antiga União Soviética", refletindo principalmente a extensão das práticas de construção europeias para essas regiões. O segundo, e mais significativo mercado é o da China, onde aproximadamente 150 milhões de latas são produzidas por ano. Isso representa aproximadamente 100 quilotoneladas de químico de poliuretano e até 6.000 toneladas de agente de expansão, dando-lhe um tamanho semelhante ao do mercado europeu.

- Escolha atual de agente de expansão

Embora os HFCs sejam vistos como principal escolha nos países da antiga União Soviética, o mercado chinês seguiu a tecnologia europeia ao mudar para hidrocarbonetos. O gráfico a seguir mostra essa tendência.

¹ A "visão minoritária" discorda dessa afirmação e cita o número de envios de projetos feito para o Secretariado do MLF para sustentar essa posição. No entanto, o FTOC está ciente de que a decisão de enviar ou aprovar esses produtos não pode ser usado como um "substituto" para endosso tecnológico.



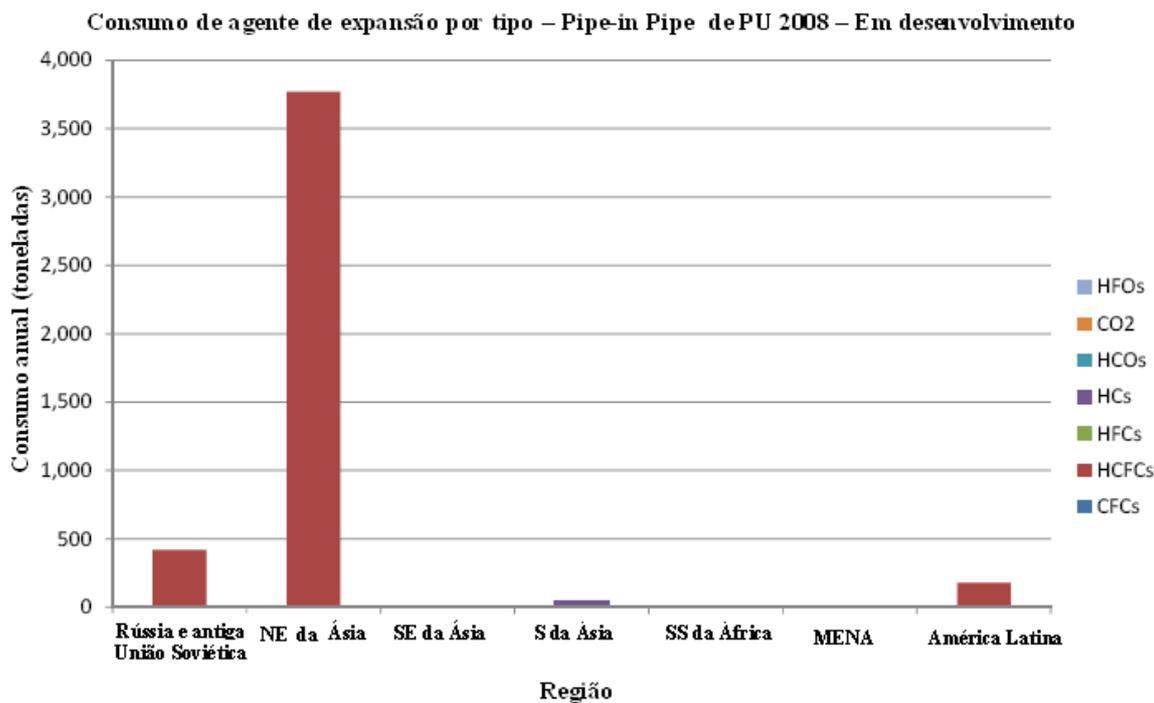
Pipe-in-Pipe de poliuretano (incluindo a moldagem de seções de tubo)

- Tendências de mercado atuais

Como observado na seção sobre países desenvolvidos para esta aplicação, as economias mais centralizadas tendem a adotar sistemas de aquecimento distritais como meio de distribuição e, com eles, têm feito bom uso de tubulações de poliuretano pré-isolado. Assim como para as espumas de poliuretano de um componente, a China é o mercado dominante para estes, embora também haja uso considerável na Rússia e nos países da antiga União Soviética.

- Escolha atual de agente de expansão

Os sistemas de espuma atuais são baseados em tecnologia de HCFC, mas há uma opção clara pela mudança para hidrocarbonetos, com base na experiência substancial obtida na Europa com o uso dessa tecnologia. Esse será o caso especialmente na China, onde as economias de escala devem tornar o investimento uma proposta racional. A situação não é tão clara na Rússia e nos países da antiga União Soviética, onde também é possível que haja algum uso de tecnologias baseadas em HFC, especialmente em fabricantes menores.



Bloco de poliuretano – Seção de tubo

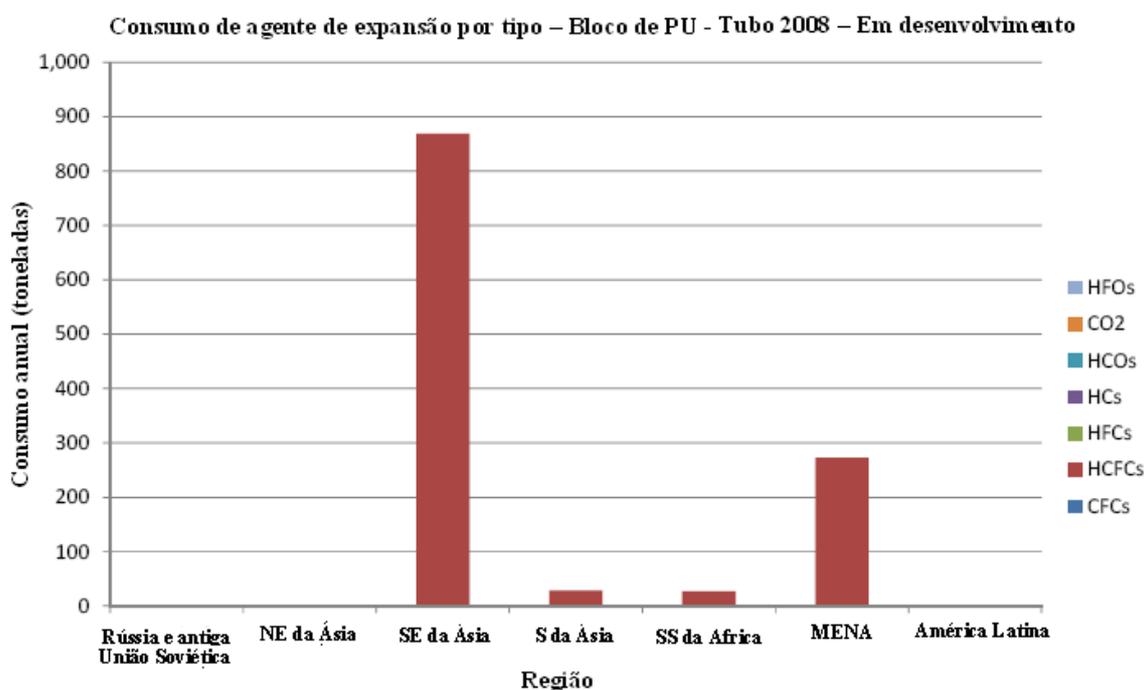
- Tendências de mercado atuais

Estes mercados (tanto para tubos quanto para slabstock) são relativamente maduros em sua natureza. Em países em desenvolvimento, os processos de Bloco de PU são quase exclusivamente descontínuos. Isso reflete o fato de que os custos de investimento são mais baixos e de que pequenas operações podem estar espalhadas em regiões onde investimentos de escala maior não seriam economicamente eficientes. No entanto, pelos mesmos motivos, é especialmente difícil acompanhar a divisão entre a demanda por seções de tubo e por slabstock, uma vez que a única distinção ocorre na etapa de fabricação do bloco.

Para efeitos deste relatório, presume-se que a divisão entre os dois setores é de 50/50. Essa divisão é em grande parte arbitrária no momento e outras pesquisas *bottom-up* certamente ajudariam a validar o pressuposto. O principal significado da separação entre os dois tipos de produto está nos níveis residuais de cada um, com a fabricação de seções de tubo resultando em até 50% de resíduo em alguns casos.

Escolha atual de agente de expansão

O principal agente de expansão escolhido no momento é o HCFC. Este setor, portanto, é um dos que devem ser abordados nos termos da Decisão XIX/6. Representa também um grande número de empresas de consumo muito pequeno. As escolhas técnicas são, portanto, s-HFCs ou os agentes de expansão potencialmente inflamáveis que demonstrem poder ser gerenciados nessa escala. Estes podem incluir hidrocarbonetos pré-misturados, metanoato de metila e outros, mas ainda são necessários projetos-piloto para que se tenha mensagens conclusivas a respeito dessas tecnologias.



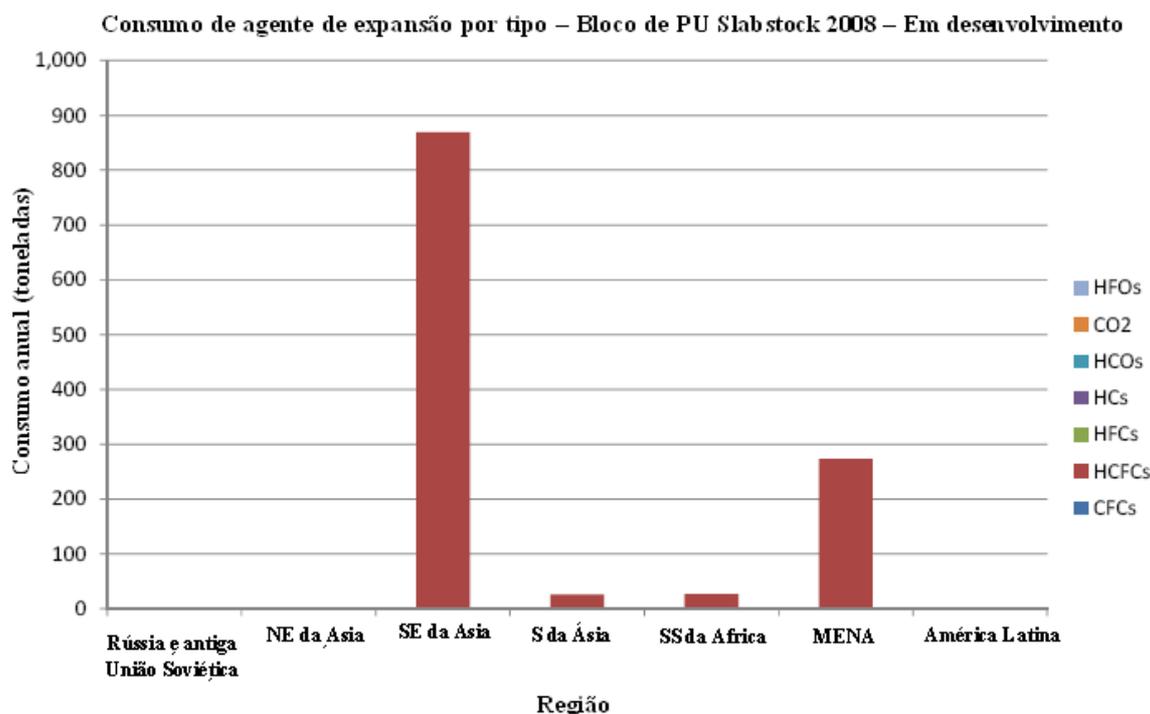
Bloco de poliuretano - Slabstock

- Tendências de mercado atuais

Os comentários para este setor são iguais aos apresentados para Bloco de poliuretano - Tubo.

- Escolha atual de agente de expansão

Os comentários para este setor são iguais aos apresentados para Bloco de poliuretano - Tubo.



ESPUMA DE POLIURETANO FLEXÍVEL

PU - Slabstock flexível

O uso de CFCs em slabstock flexível foi eliminado completamente durante este período de Avaliação, se não antes. Havia pouca, se alguma, substituição por HCFCs como agente de expansão auxiliar e, portanto, as questões relativas a substâncias que destroem a camada de ozônio (SDO) estão praticamente totalmente resolvidas.

No entanto, o Protocolo de Montreal, por meio de seus Comitês de Opções Técnicas, tem o dever de manter uma visão geral das tecnologias de substituição – particularmente nos casos em que pode haver questões relacionadas a saúde, segurança ou meio-ambiente. Portanto, os próximos parágrafos apresentam uma breve revisão do status atual.

As principais tecnologias atualmente em uso são o cloreto de metileno e o dióxido de carbono (CO₂ (LCD)). Outras tecnologias menores também existem e, juntas, abrangem todas as aplicações. No entanto, o processamento por vezes é mais desafiador e, em alguns casos, mais caro. Esse é o caso especificamente para espumas de baixa densidade/“alta dureza”, cuja alta temperatura de processo (“exotérmico”) limita a eficácia de algumas tecnologias de substituição atuais.

O cloreto de metileno continua sob escrutínio do ponto de vista da saúde e da segurança. No entanto, a pressão por sua substituição não cresce consideravelmente desde 2001.

O dióxido de carbono líquido, embora bem-sucedido em países desenvolvidos, especialmente quando o uso de cloreto de metileno é restrito ou proibido, provou ser um desafio sério na maioria dos países do Artigo 5(1). A combinação de uma tecnologia complicada com o uso praticamente incontestado do cloreto de metileno de fácil processamento mostrou-se bastante prejudicial para uma aceitação inicialmente entusiasmada da opção por LCD, ambientalmente preferível. Nos EUA há também uso considerável de acetona e na Europa algum uso de tecnologia de pressão variável. Em menor escala, aditivos especiais são usados, frequentemente como cotecnologia para limitar a quantidade de cloreto de metileno necessária. Há também uso muito limitado de n-pentano, ácido fórmico e espumas baseadas em MDI,—estas geralmente para produtos especializados. A refrigeração forçada, uma tecnologia que já foi popular nos EUA, praticamente desapareceu por causa da constatação de um aumento nas emissões de TDI e no risco de incêndio. A adoção adicional de Tecnologias de Gestão Exotérmica (EMT) continua a ser monitorada, embora pouco tenha sido publicado sobre o assunto recentemente. Há também algumas informações recentes, mas não fundamentadas, de que o metanoato de metila possa estar funcionando como substituto para o pentano, para a acetona e para o cloreto de metileno.

PU – Moldado flexível

A tecnologia totalmente baseada em água é predominante em espumas curadas a frio. Em aplicações curadas a quente há também a utilização de cloreto de metileno. Em espumas de densidade muito baixa/ macias, como almofadas, há algum uso de LCD ou GCD, mas, de maneira geral, essa tecnologia não recebeu a mesma atenção que em aplicações de slabstock. Isso provavelmente ocorre porque não há problemas de exotermia e porque a tecnologia à base de água tem um bom desempenho na maioria dos casos. O HCFC-141b é utilizado em circunstâncias excepcionais, como espumas acústicas altamente preenchidas, mas não é essencial como substituto nesta indústria. O uso de HCFCs nesta indústria não é permitido na maioria dos países desenvolvidos. O metanoato de metila surgiu como substituto legítimo para o HCFC-141b, nos casos em que este ainda é usado, e pode também fornecer vantagens em relação ao CO₂ (água), nos casos em que essa tecnologia já foi adotada.

Poliuretano - Pele integral e miscelânea

Este setor inclui aplicações de pele integral tanto rígidas quanto flexíveis e também aplicações de espuma rígida não isolante para embalagens, lazer (pranchas de surf, por exemplo), flutuação e espumas florais.

Diversos agentes de expansão foram identificados como alternativas ao HCFC neste setor. Estes incluem CO₂ (água), vários s-HFCs, n-pentano e metanoato de metila. Com alguns inconvenientes associados à formação de pele usando tecnologias de CO₂ (água), o metanoato de metila pode oferecer uma alternativa particularmente atraente e já houve adoção considerável na América Latina (principalmente no Brasil).

ESPUMAS DE POLIOLEFINAS

Existem três tipos de produtos principais no setor de espumas de polietileno não reticuladas: folha, placa e tubular. Todos utilizaram CFCs no passado. Isso contrasta com espumas de polietileno reticulado, que são produzidas para aplicações especializadas e tipicamente são expandidas com gases inertes como o nitrogênio. Os problemas de transição enfrentados por produtos de folha, placa e tubulares são muito semelhantes e, portanto, são considerados em conjunto nesta revisão.

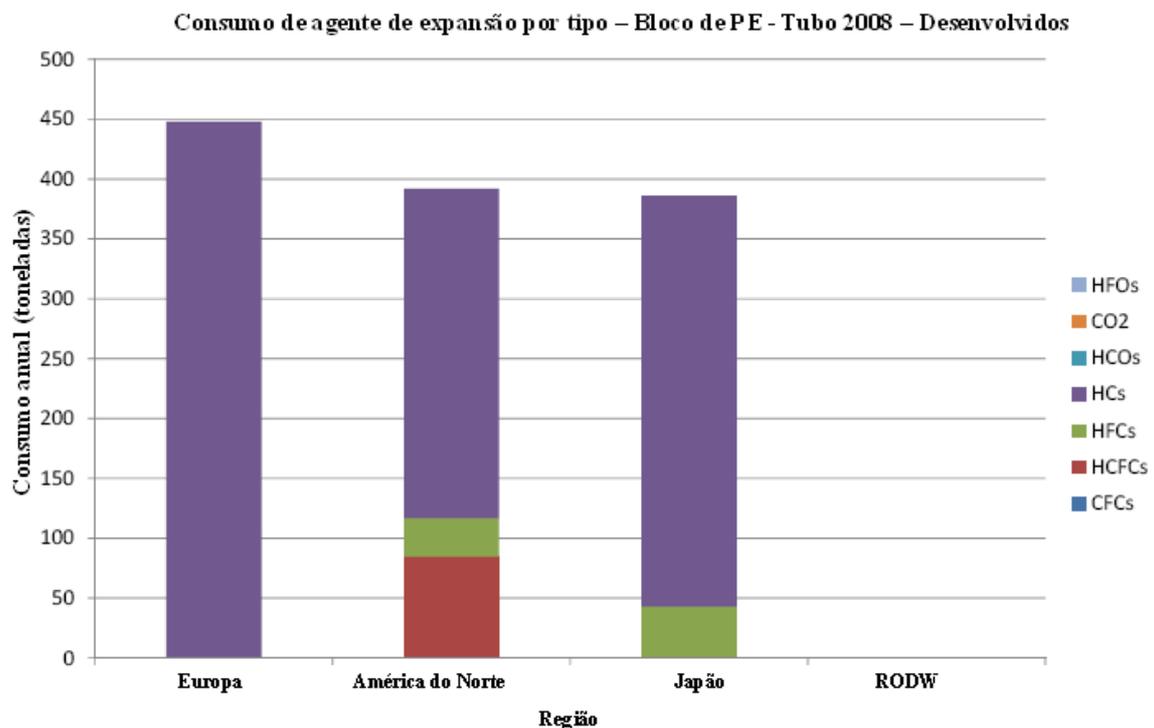
Países desenvolvidos

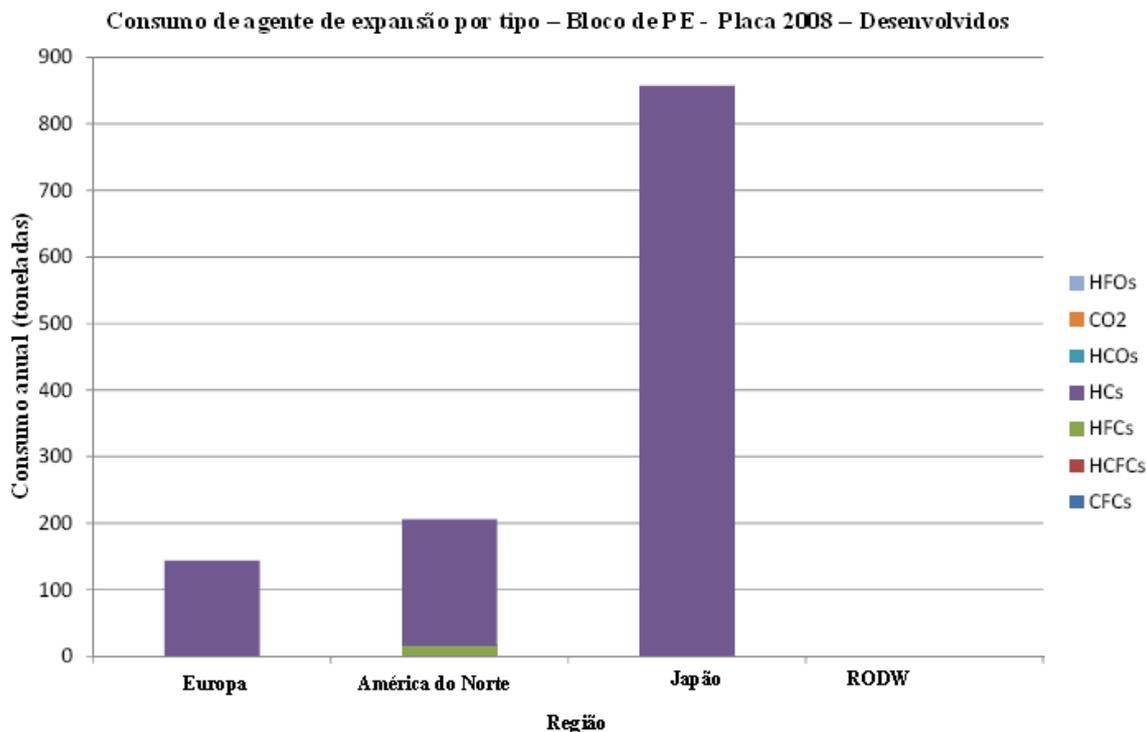
- Tendências de mercado atuais

O mercado de seção de tubo de polietileno continua dinâmico em função da demanda por isolamento de tubo de baixo custo e fácil instalação no setor residencial, no qual o desempenho ao fogo é menos regulamentado em muitas regiões. O produto é particularmente adequado para atividades de “faça você mesmo”, uma vez que é fácil de manusear e manipular. No entanto, o desempenho térmico real pode variar de acordo com a qualidade da instalação.

- Escolha atual de agente de expansão

Hidrocarbonetos (normalmente isobutano) são os agentes de expansão dominantes na Europa e predominam também em outras regiões (ver gráfico abaixo)





No que diz respeito às placas de PE, o mercado está dividido entre as aplicações de lazer, construção e embalagens, com o setor de embalagens dominando em algumas regiões, como o Japão.

Países em desenvolvimento

- Tendências de mercado atuais

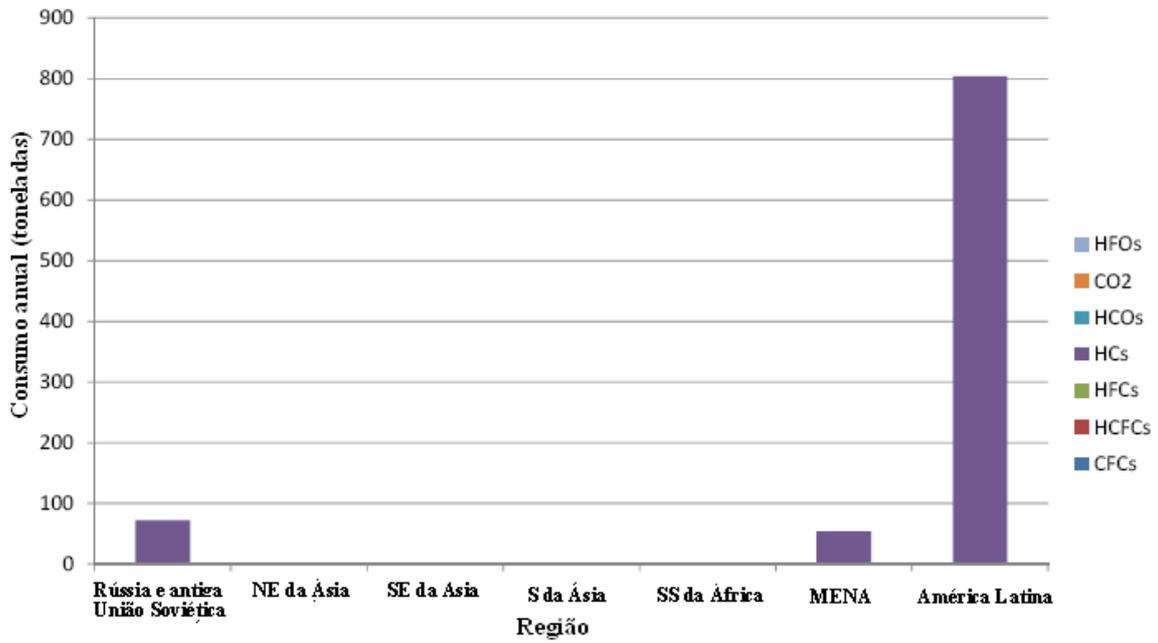
Embora os mercados de países em desenvolvimento tenham características semelhantes aos de países desenvolvidos, a distribuição geográfica é bastante mais limitada neste caso pelo histórico de transferência de tecnologia, com a América Latina adotando seções de tubo de PE de maneira mais significativa do que outras regiões.

A América Latina também tem envolvimento significativo com a produção de placas de PE, também com um portfólio de aplicações semelhante ao de países desenvolvidos. No entanto, o maior mercado para placas nos países em desenvolvimento é encontrado no Sudeste da Ásia. Assim como no Japão, acredita-se que este é sustentado por uma maior utilização no setor de embalagens.

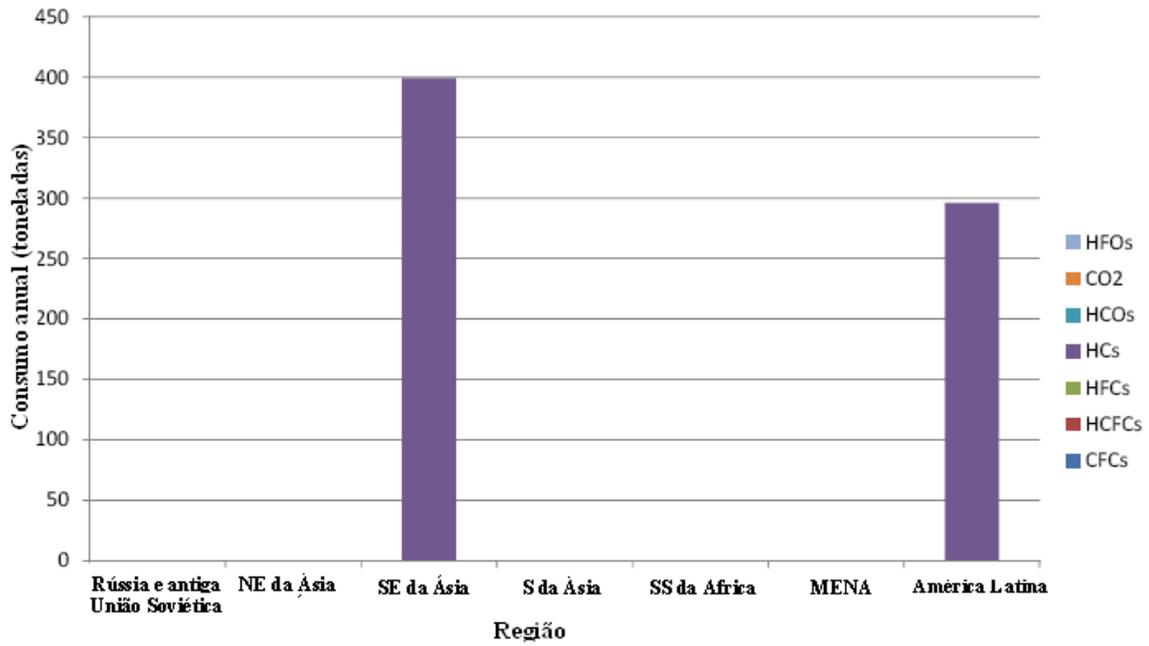
- Escolha atual de agente de expansão

Em todas as regiões de países em desenvolvimento, o agente de expansão dominante é atualmente o hidrocarboneto.

Consumo de agente de expansão por tipo – Bloco de PE - Tubo 2008 – Em desenvolvimento



Consumo de agente de expansão por tipo – Bloco de PE - Placa 2008 – Em desenvolvimento



ESPUMAS DE POLIESTIRENO EXTRUDIDO

Países desenvolvidos

Folha

- Tendências de mercado atuais

O mercado de folhas de XPS tem uma série de semelhanças com o mercado de placas de poliestireno no sentido de que uma grande percentagem é usada para o lazer e para embalagens. Em alguns casos, as embalagens devem ter algum grau de desempenho térmico (por exemplo, alimentos de *fast food* e bebidas quentes), mas as propriedades térmicas não precisam ser persistentes, como no caso das aplicações de isolamento térmico em construção, transportes e eletrodomésticos. O mercado tem sido menos estudado quantitativamente pelo FTOC desde a eliminação de CFCs e a transição quase universal para os hidrocarbonetos.

- Escolha atual de agente de expansão

Como observado acima, os hidrocarbonetos (isobutano, butano, pentano, isopentano), HFCs (HFC-134a, HFC-152a) e misturas de hidrocarboneto/CO₂ (LCD) têm encontrado uma variedade de usos comerciais, sendo os hidrocarbonetos a principal escolha na maioria das regiões. O HFC-152a também foi usado de forma significativa nos Estados Unidos para cumprir com os regulamentos locais sobre emissões de COV.

Poucos desenvolvimentos futuros são esperados. No entanto, o investimento de capital necessário para tratar de questões de inflamabilidade e de preocupações atuais com emissões de COV deverão ser fatores limitantes na expansão dos sistemas contendo hidrocarbonetos.

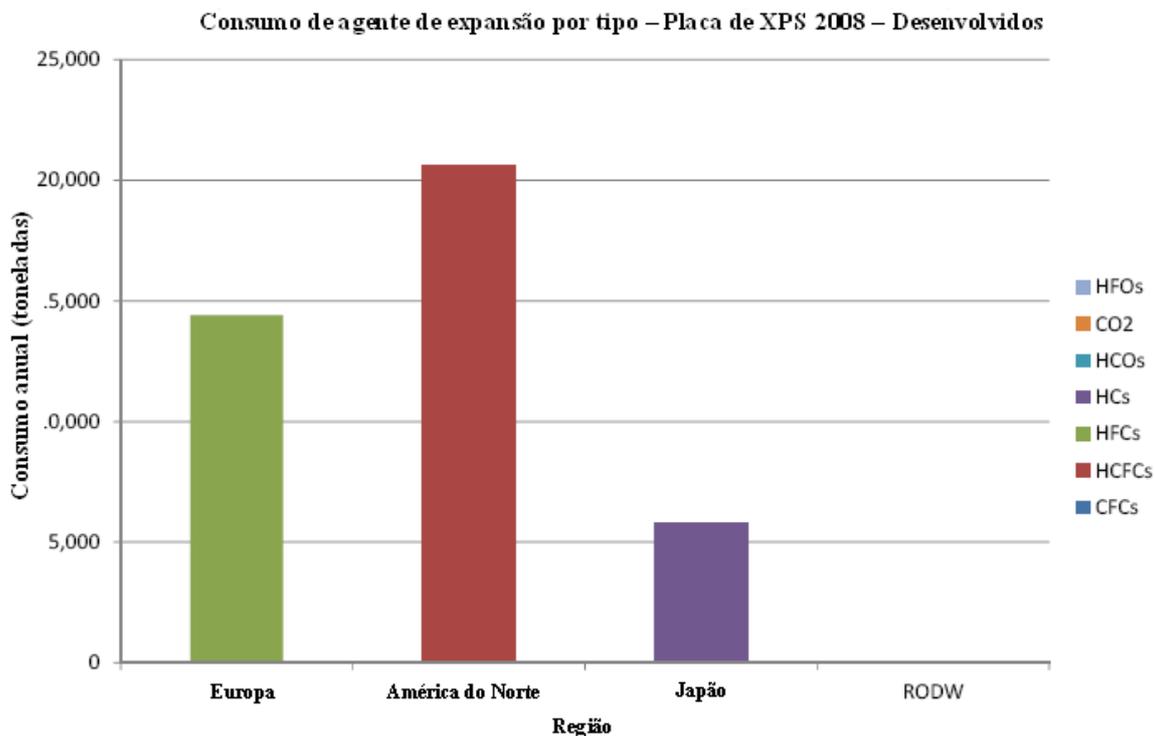
Placa

- Tendências de mercado atuais

A placa de poliestireno extrudido vem reproduzindo o crescimento de produtos de PU/PIR no setor de isolamento térmico conforme os mercados são estimulados pela exigência de maior eficiência energética em edifícios. A posição competitiva do produto é sustentada por sua resistência à umidade especialmente boa, responsável pela ampla utilização como material de isolamento de pisos na Europa. Na América do Norte, o produto normalmente concorre com produtos de PIR ("poliiso") no mercado residencial de revestimentos, bem como em uma série de aplicações na construção comercial e industrial.

- Escolha atual de agente de expansão

O gráfico a seguir ilustra a situação bastante peculiar em termos de seleção de agente de expansão por região, referente ao ano de 2008.



Na Europa, as principais tecnologias de substituição foram HFC-134a, HFC-152a e CO₂ (ou CO₂/álcool), enquanto no Japão também houve utilização significativa de hidrocarbonetos (principalmente isobuteno). Na América do Norte, a transição dos HCFCs para outras substâncias foi mais difícil em função de requisitos específicos de produtos, especialmente no setor residencial. O HCFC-142b, portanto, ainda era o agente de expansão dominante em 2008. No entanto, desde então, vem ocorrendo uma transição para s-HFCs, conforme as empresas passam a adotar a tecnologia de HFC para produtos de revestimento e cumprir com os requisitos de código de construção relevantes.

Crerios de investimento continuam a ser uma barreira para a maior utilização de tecnologias baseadas em CO₂ na Europa, embora as pressões tendam a aumentar em relação ao uso corrente de HFCs. Uma revisão do regulamento para F-Gases está em curso na UE e será concluída antes do fim de 2011. Pode haver algum interesse futuro no uso de HFOs para esta aplicação, mas considerações de custo podem exigir a utilização destas substâncias como misturas com HCs e possivelmente com HCOs (por exemplo, éter dimetílico).

Países em desenvolvimento

Folha

- Tendências de mercado atuais

Os impulsionadores de mercado são muito semelhantes aos descritos para países desenvolvidos.

Escolha atual de agente de expansão

As tecnologias também passaram por uma transição quase total para hidrocarbonetos, apesar das preocupações anteriores sobre a inflamabilidade do agente de expansão e dos substratos em linhas de extrusão de alta temperatura. Não há expectativa imediata para que este setor realize outras transições de agente de expansão.

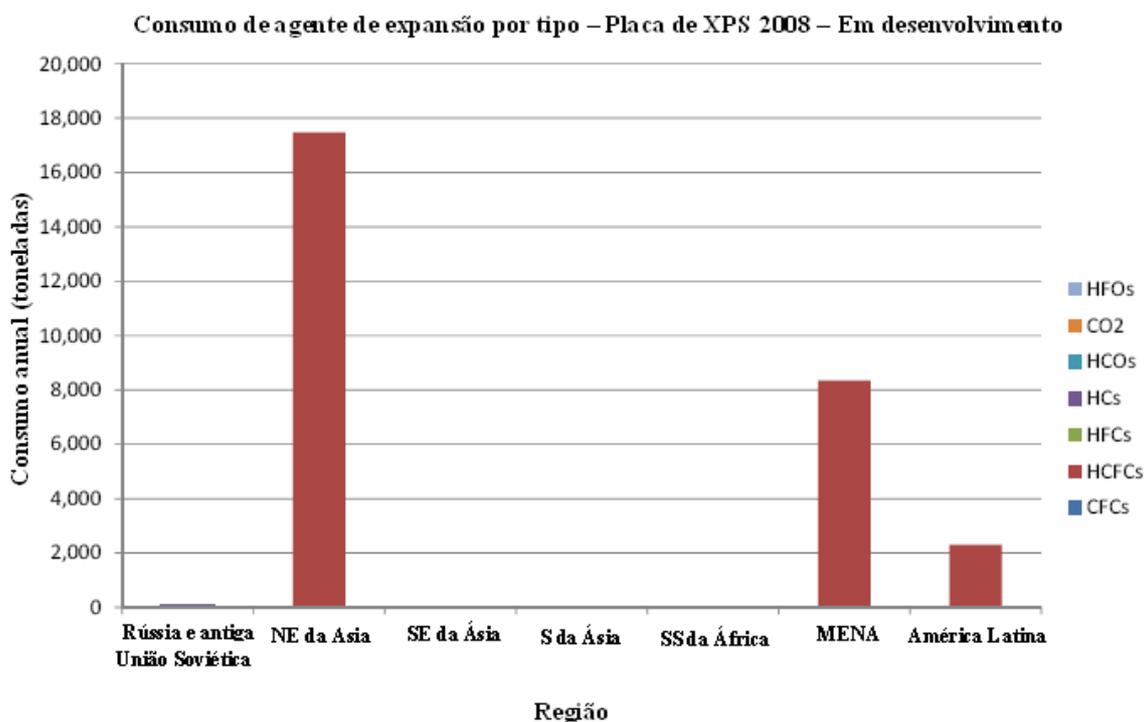
Placa

- Tendências de mercado atuais

Houve um crescimento substancial nos mercados de placas de XPS em vários países do Artigo 5, especialmente na China e em alguns países do Oriente Médio. Isso aumentou a demanda por HCFCs em um adicional de 15.000 toneladas por ano desde 2001. No entanto, as informações mais atuais sugerem que alguns incêndios recentes nas principais cidades chinesas podem resultar em alguma redução em construções novas e existentes, estimulada por novos padrões anti-incêndio. **Embora EPS e alguns EPS** possam ser os principais culpados, o impacto pode ser observado sobre todos os produtos de espuma orgânica.

- Escolha atual de agente de expansão

A indústria era totalmente baseada em HCFCs em 2008, embora a divisão entre o HCFC-142b e HCFC-22 continue incerta.



Para outros países do Artigo 5, em função do custo relativamente baixo de investimento em fábricas para produção local e da alta demanda por melhor desempenho térmico em edifícios, espera-se que haja rápido crescimento adicional na produção de placas de XPS. Acredita-se que, até 2015, os agentes de expansão predominantes continuarão sendo HCFCs. Em última instância, os hidrocarbonetos podem se revelar os principais agentes de expansão nesses territórios.

Países desenvolvidos

Painel boardstock de PF

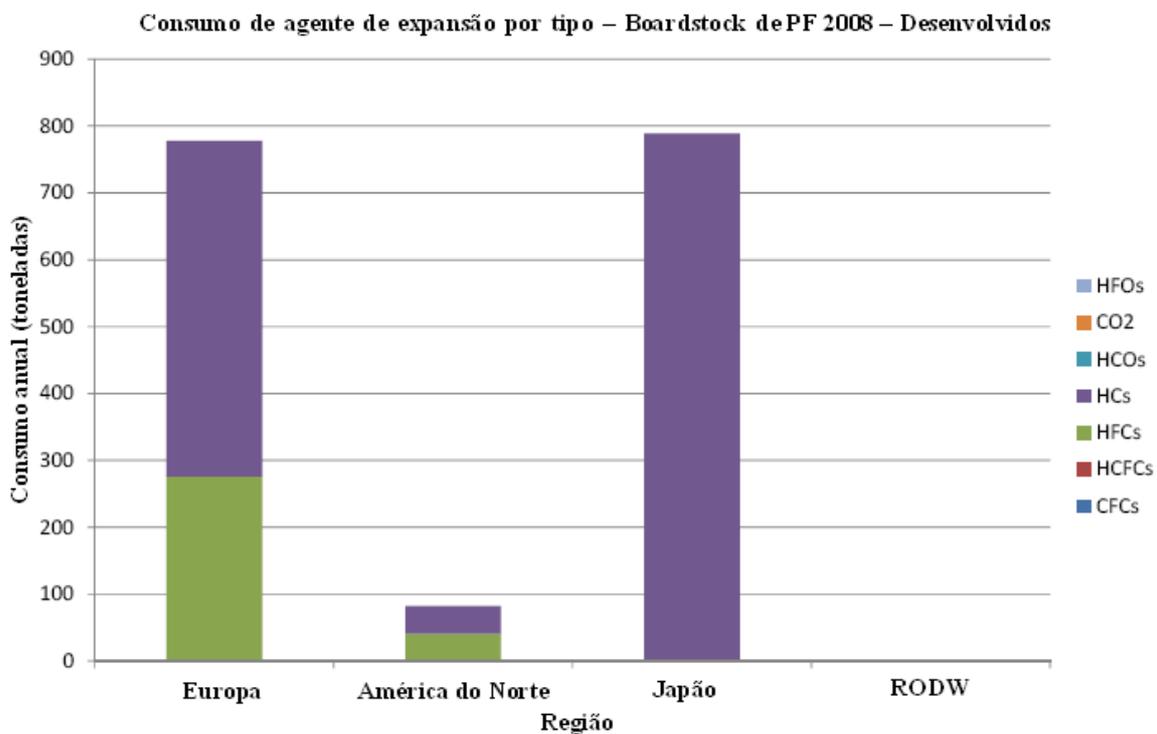
- Tendências de mercado atuais

Os painéis boardstock de espuma fenólica continuam a progredir livremente no dinâmico mercado europeu, podendo os principais fabricantes alternar entre produtos de boardstock de PU e de boardstock de PF, cumprindo com as mesmas especificações do mercado. Isso significa que as capacidades podem ser melhor utilizadas e que a escassez de matéria-prima de PU pode ser compensada.

No Japão, o mercado ainda dá preferência aos painéis boardstock fenólicos, tendo em vista seu desempenho ao fogo superior e custos de isolamento altamente competitivos. No entanto, os recentes terremoto e tsunami ocasionaram interrupções na produção que podem ter algum impacto de curto prazo sobre o fornecimento.

- Escolha atual de agente de expansão

A maior parte do setor já mudou completamente para tecnologias de hidrocarbonetos, embora esse não fosse exatamente o caso em 2008 (ver gráfico abaixo):



Ainda há algum uso de 2-cloro-propano em uma instalação na Europa, mas, à exceção desta, a indústria deverá ampliar a adoção da opção de hidrocarbonetos como norma.

Tubos e blocos de PF

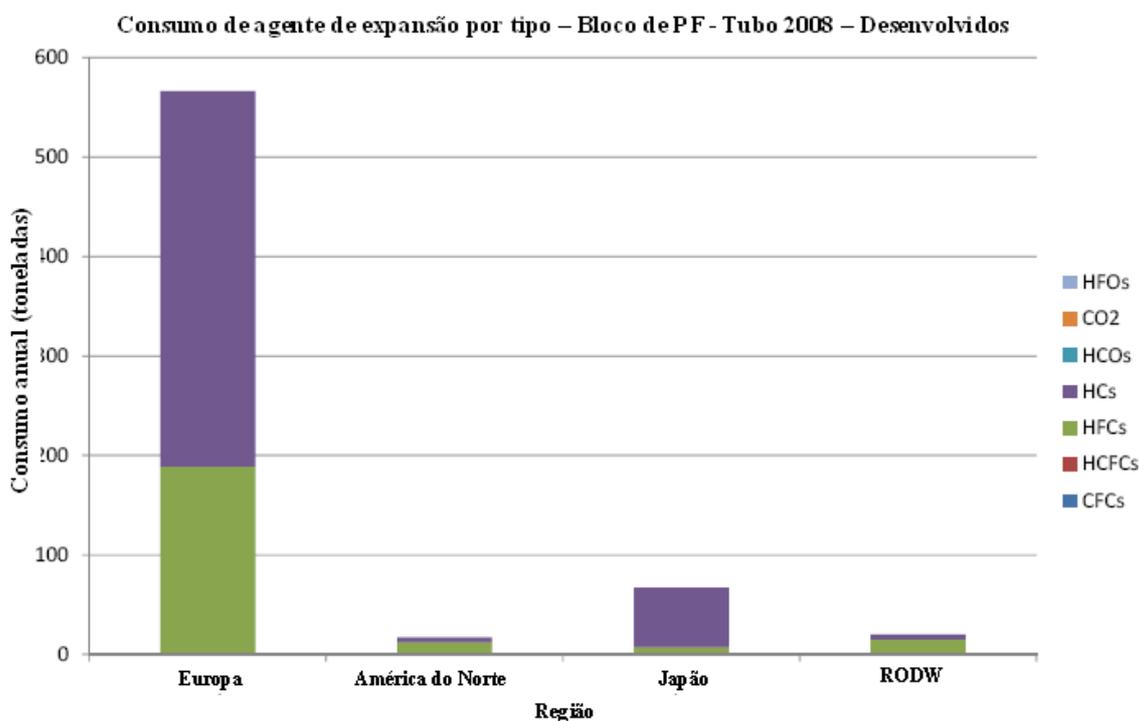
- Tendências de mercado atuais

O mercado de isolamento de tubos fenólicos ainda é altamente regionalizado, sendo o Reino Unido o principal mercado na Europa e, talvez, no mundo. Isto resulta de uma combinação específica de requisitos de "reação ao fogo" que exclui materiais concorrentes, como PU/PIR. A direção futura de outros mercados na Europa dependerá do grau em que cada país adotar requisitos de fumaça máxima, que agora podem ser especificados por meio do sistema europeu de classificação.

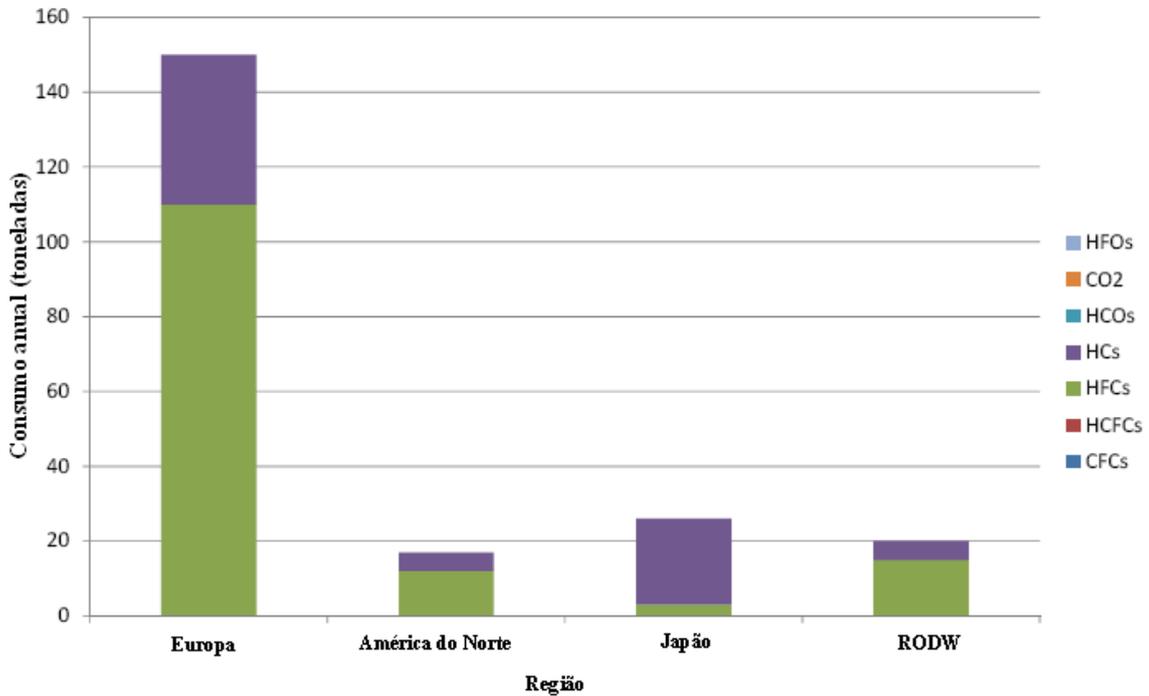
A economia da produção também foi melhorada com a introdução de tecnologias de processo contínuo para os tamanhos de tubo mais comuns.

- Escolha atual de agente de expansão

O agente de expansão selecionado para o processo contínuo foi o hidrocarboneto. Isso teve pouco efeito sobre o desempenho geral do produto ao fogo ou sobre sua aceitação no mercado. Para processos de bloco descontínuo, os s-HFCs ainda são escolhidos, especialmente pelos pequenos fabricantes. Isso se reflete no gráfico abaixo:



Consumo de agente de expansão por tipo – Placa de PF - Blockslab 2008 – Desenvolvidos



As escolhas técnicas são iguais às de espuma em Bloco de PF-Placa, embora os hidrocarbonetos tenham menor prevalência devido à inexistência de processo contínuo para este grupo de produtos. Assim, os s-HFCs são os agentes de expansão mais significativos em uso, exceto no Japão, onde soluções de hidrocarboneto foram produzidas com eficácia.

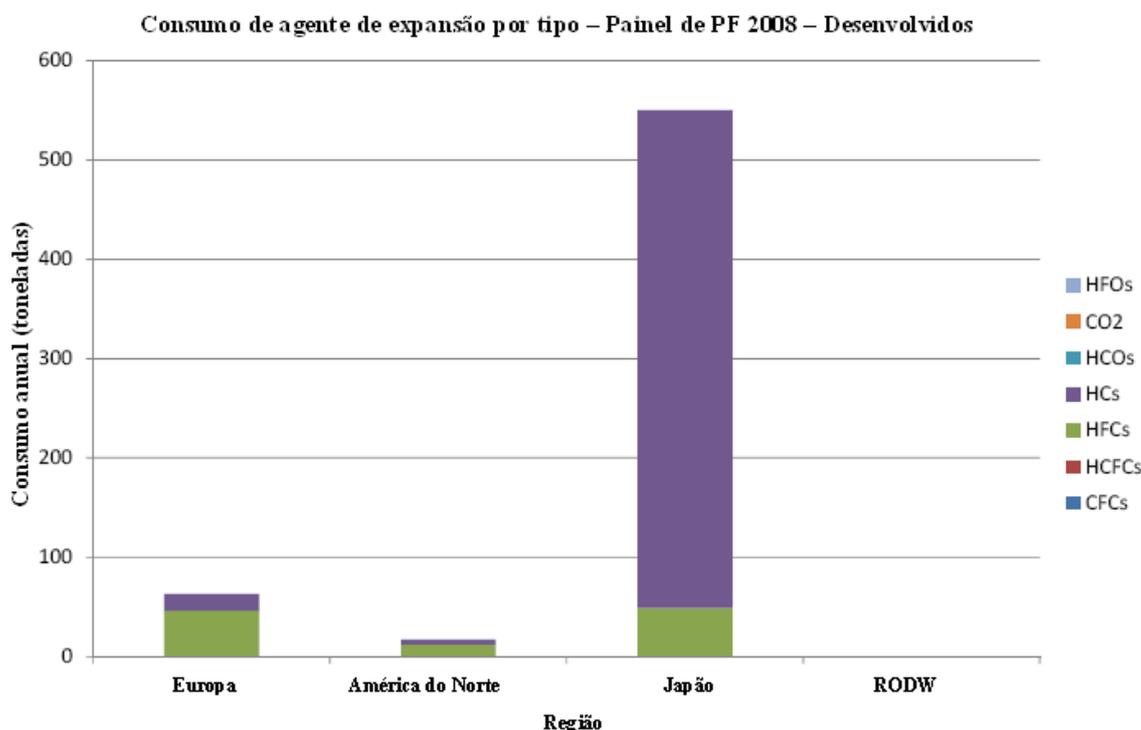
Painéis de PF

- Tendências de mercado atuais

O mercado para o painéis de espuma fenólica com revestimento de metal é relativamente maduro no Japão. Os principais produtos são para tapumes residenciais e divisórias de escritório. Sua produção é geralmente descontínua. O mercado na Europa ainda está em um estado incipiente e é destinado a aplicações de painel de nicho, como salas limpas, câmaras frigoríficas e salas de segurança para computadores.

- Escolha atual de agente de expansão

Refletindo a dimensão e a maturidade do mercado japonês, a tecnologia pode ser adaptada para agentes de expansão de hidrocarbonetos. Na Europa, (mais notavelmente no Reino Unido), o tamanho das operações de produção é insuficiente para sustentar investimentos em hidrocarbonetos no momento e s-HFCs são normalmente utilizados.



Países em desenvolvimento

Painel boardstock de PF

- Tendências de mercado atuais

Atualmente, não há fabricantes conhecidos de painéis de PF nos países em desenvolvimento.

- Escolha atual de agente de expansão

Atualmente, não há consumo de agentes de expansão.

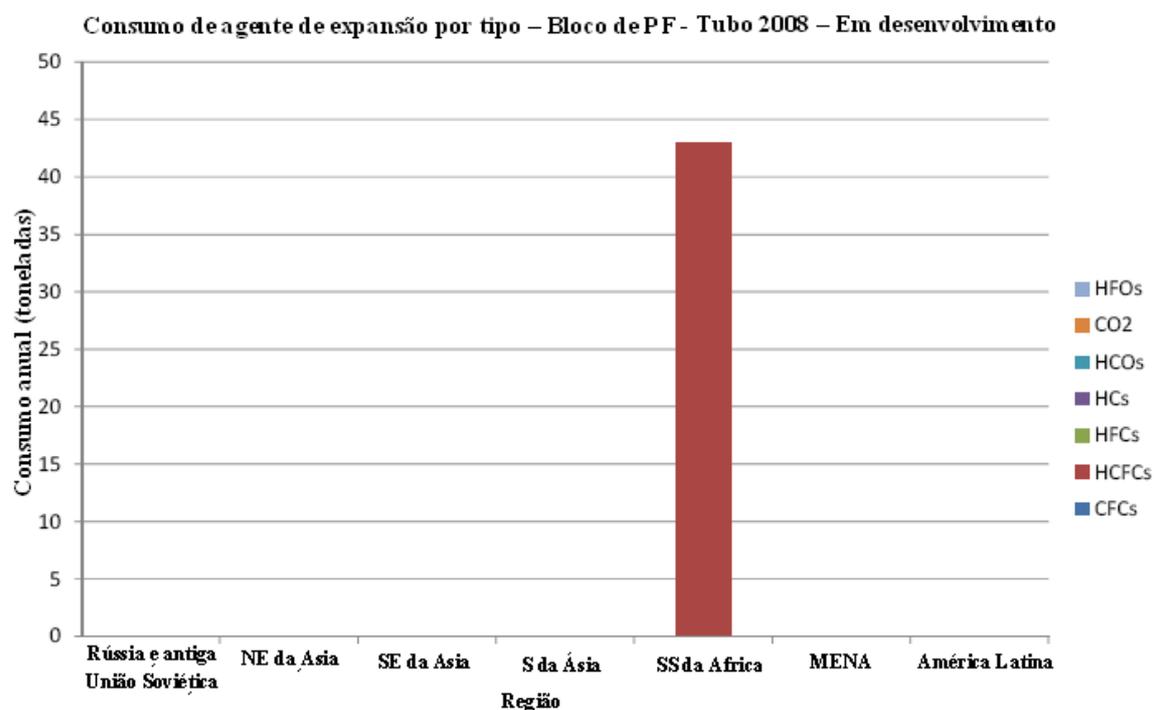
Tubos e blocos de PF

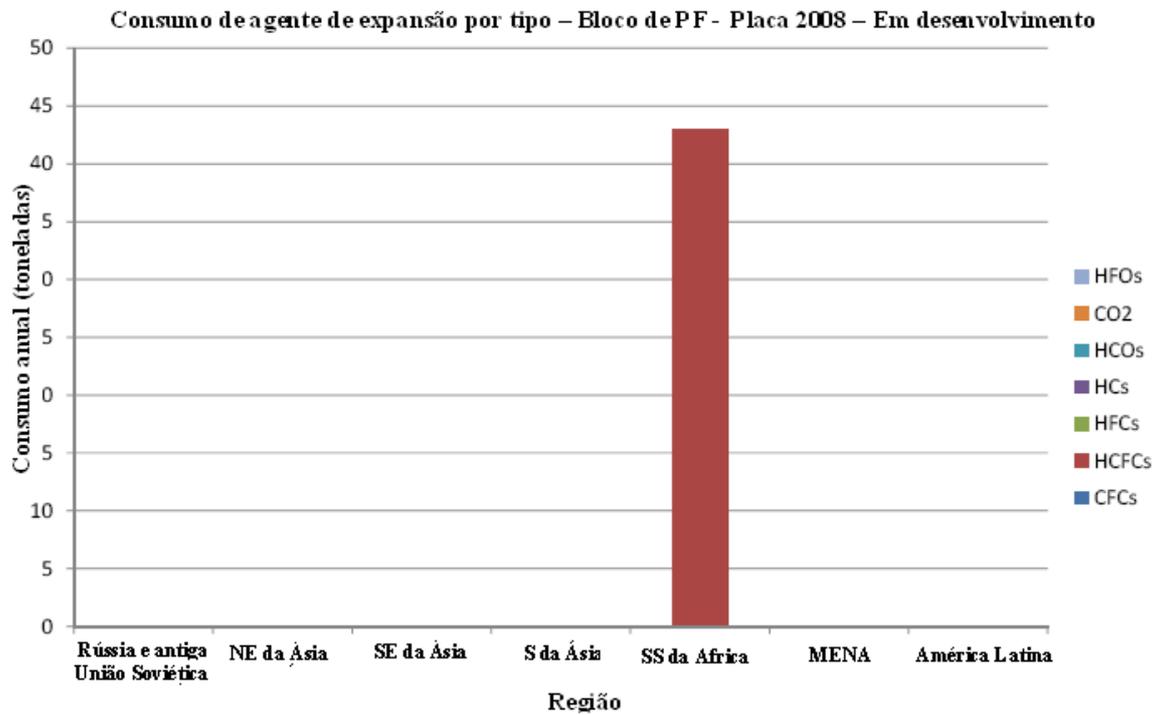
- Tendências de mercado atuais

Historicamente, houve alguma fabricação de espumas de bloco de PF na Índia, mas acredita-se que esta foi descontinuada em consequência de penetração limitada no mercado e dos custos de conversão para abandonar substâncias que destroem a camada de ozônio. O único consumo em países em desenvolvimento ocorre agora na África do Sul, onde a tecnologia europeia de espuma em bloco continua a ser operada, fornecendo parte dos produtos para o setor de mineração.

- Escolha atual de agente de expansão

Acredita-se que o HCFC-141b ainda é o agente de expansão escolhido na África do Sul no momento, a transição para alternativas que não destroem a camada de ozônio estejam em consideração. Outras investigações estão em andamento a respeito de possíveis escolhas, mas a escala da operação pode fazer com que os s-HFCs sejam a única alternativa viável a curto prazo.





- Tendências de mercado atuais

Atualmente, não há fabricantes conhecidos de painéis de PF descontínuos nos países em desenvolvimento.

- Escolha atual de agente de expansão

Atualmente, não há consumo de agentes de expansão.

CAPÍTULO 2: OPÇÕES TÉCNICAS

ESPUMAS DE POLIURETANO

Desenvolvimentos sobre agentes de expansão no setor de espumas de poliuretano

O principal desafio para o setor de espumas ainda é a eliminação dos HCFCs em países em desenvolvimento nos termos da Decisão XIX/6. HPMPs estão sendo desenvolvidos para cumprir com o congelamento para 2013 e com a redução de 10% no uso em 2015. Nos países desenvolvidos, os HCFCs foram completamente eliminados em meados da última década no setor de espumas de poliuretano (PU) e as tecnologias de substituição e os padrões de uso chegaram a um status relativamente maduro. A análise dessa experiência, juntamente com as considerações adequadas associadas às diferenças dos mercados e ao escopo da Decisão XIX/6 com foco em alternativas que minimizem o impacto das mudanças climáticas, fornece informações valiosas para a eliminação de HCFCs nos países em desenvolvimento.

Países desenvolvidos

A seção descreve os agentes de expansão usados atualmente em países desenvolvidos:

Tabela 1. Agentes de expansão usados atualmente nos países desenvolvidos	
ESPUMA RÍGIDA DE PU	
Refrigeradores e freezers domésticos	c-pentano, misturas de ciclo/iso pentano, HFC-245fa, HFC-134a
Outros equipamentos	c-pentano, misturas de ciclo/iso pentano, HFC-245fa, misturas de HFC-365mfc/227ea, HFC-134a, metanoato de metila, CO ₂ (água)
Transporte e veículos frigoríficos	c-pentano, misturas de ciclo/iso pentano, HFC-245fa, misturas de HFC-365mfc/227ea, HFC-134a
Painéis boardstock	c-pentano, n-pentano, isopentano, misturas de ciclo/iso pentano, misturas de n-pentano/isopentano, HFC-245fa, misturas de HFC-365mfc/227ea
Painéis contínuos	c-pentano, n-pentano, isopentano, misturas de ciclo/isopentano, misturas de ciclo/n-pentano, misturas de n-pentano/isopentano, HFC-245fa, misturas de HFC-365mfc/227ea
Painéis descontínuos	HFC-245fa, misturas de HFC-365mfc/227ea, HFC-134a, c-pentano, n-pentano, isopentano, misturas de ciclo/iso pentano, misturas de n-pentano/iso pentano, CO ₂ (água), ácido fórmico, metanoato de metila
Spray	HFC-245fa, HFC-365mfc/227ea, CO ₂ supercrítico, CO ₂ (água)
Bloco	c-pentano, n-pentano, isopentano, misturas de ciclo/iso pentano, misturas de n-pentano/isopentano, HFC-245fa, misturas de HFC-365mfc/227ea, metanoato de metila
Pipe-in-pipe	c-pentano, n-pentano, HFC-245fa, misturas de HFC-365mfc/227ea, CO ₂ (água), metanoato de metila
Espuma de um componente	Misturas de propano, butano e éter dimetílico, HFC-134a, HFO-1234ze
ESPUMA FLEXÍVEL DE PU	
Pele integral	CO ₂ (água), HFC-134a, HFC-245fa, misturas de HFC-365mfc/227ea, n-pentano, metanoato de metila
Solas de sapato	CO ₂ (água), HFC-134a
Moldado flexível	CO ₂ (água), metanoato de metila

É importante notar os diferentes papéis do agente de expansão em espumas de PU rígidas e flexíveis. Embora em ambos ele tenha a função principal de expandir fisicamente a mistura para produzir a espuma, no caso de espumas rígidas, ele deve permanecer dentro das células fechadas e contribuir para o desempenho de isolamento. Para cumprir com esta última função, o agente de expansão deve ter uma condutividade térmica gasosa baixa, além de uma baixa taxa de difusão de gás através da espuma (matriz) para que as boas propriedades de isolamento sejam mantidas por muitos anos. A baixa solubilidade do agente de expansão na matriz de PU também é necessária para garantir que ele seja mantido como um gás na célula de espuma, evitando a plasticização sólida e a perda de isolamento térmico. No caso da refrigeração doméstica, a alta solubilidade do agente de expansão no material termoplástico do revestimento interno pode resultar em uma deterioração grave da resistência mecânica.

No caso de espumas flexíveis, particularmente em pele integral e solas de sapato, o agente de expansão tem papel fundamental na formação de uma pele robusta/estética como resultado de sua condensação durante o processo de injeção de alta pressão. Para esta aplicação, um ponto de ebulição relativamente baixo do agente de expansão é desejável. Durante a eliminação de CFCs, a maior parte do mercado de solados migrou para formulações expandidas apenas com água associadas ao uso de polióis de poliéster para atender aos requisitos de resistência à abrasão. De acordo com a tabela 1, há ampla utilização de hidrocarbonetos em espumas de PU, juntamente com HFCs em algumas aplicações específicas, tais como HFC 245fa na maioria dos refrigeradores e freezers norte-americanos e misturas de HFC-365mfc/227ea para passar nos mais rigorosos testes de fogo em painéis. Formulações à base de hidrocarbonetos foram aperfeiçoadas ao longo dos anos e seu desempenho de isolamento, conforme expresso pela condutividade térmica da espuma, é agora semelhante ao de espumas baseadas em HCFC-141b. Agora elas também podem atender aos requisitos de testes de fogo muito rigorosos como painéis ou placas.

Há uma clara exceção à tendência de utilizar hidrocarbonetos para espumas de PU. Apesar dos testes, os HCs não são usados em espumas spray por razões de segurança. Em vez disso, o HCFC-141b foi substituído pelo HFC-245fa ou por misturas de HFC-365mfc/227ea, muitas vezes em combinação com quantidades significativas da tecnologia de “HFC reduzido” com CO₂ (água). O CO₂ (água) pode ser usado quando o aumento da espessura da espuma é capaz de compensar a maior condutividade térmica da espuma. No Japão, a tecnologia de CO₂ supercrítico foi desenvolvida e é utilizada. Os pontos fortes e fracos das tecnologias de HC e HFC são descritos na tabela 2.

Tabela 2. Pontos Fortes e Fracos das tecnologias de HC e HFC			
SETOR / OPÇÃO	PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS	COMENTÁRIOS
Espuma rígida			
Hidrocarbonetos (c-pentano, n-pentano e misturas de ciclo/iso)	Baixo PAG	Altamente inflamável	Elevados custos de conversão, não rentável para PMEs. Não adequados para spray
	Baixos custos por unidade		Baixos custos operacionais

	Propriedades de espuma aceitáveis		Padrão global da indústria
HFC-245fa, HFC-365mfc/HFC-227ea	Não inflamável	Alto PAG	Baixos custos de conversão. Padrão da indústria para spray
		Altos custos por unidade	Altos custos operacionais, pode ser melhorado usando formulações com "HFC reduzido" com HFC/CO ₂ (água)
	Boas propriedades de espuma		Melhor isolamento (em comparação com HC)
Espuma flexível (pele integral e solas de sapato)			
n-pentano	Baixo PAG	Altamente inflamável	Elevados custos de conversão, não rentável para PMEs
	Baixos custos por unidade		Baixos custos operacionais
	Boa qualidade da pele		
HFC-134a, HFC-245fa, HFC-365mfc/HFC-227ea	Não inflamável	Alto PAG	Baixos custos de conversão
		Altos custos por unidade	Altos custos operacionais
	Boa qualidade da pele		

A principal desvantagem da família dos hidrocarbonetos é sua inflamabilidade. Isso tem forte impacto sobre os custos de capital para o processamento, para garantir que a segurança esteja devidamente projetada e sobre a manipulação do produto, que é particularmente problemática para as empresas menores. Estão sendo realizados esforços para reduzir os custos na fabricação de espumas por meio da pré-mistura dos hidrocarbonetos a polióis em casas de sistemas. O desafio é desenvolver uma formulação estável a longo prazo, sem separação de fases. Um caso de sucesso industrial foi relatado no norte da Europa, onde uma casa de sistemas, há alguns anos, fornece polióis formulados contendo c-pentano em recipientes de uma tonelada e 2001 tambores para diferentes indústrias no leste e no nordeste da Europa (PROKLIMA, 2009). Essa abordagem permite investimentos reduzidos por parte do usuário sem comprometer a eficiência de isolamento e o desempenho de estabilidade dimensional a longo prazo. A experiência mostra que o investimento em uma unidade de mistura pode tornar possível a redução de investimentos em usinas de fabricação. Embora o custo de tanques de armazenamento de HC, bombas e estações de pré-mistura possa ser evitado, ainda são necessárias alterações de segurança para o armazenamento da mistura de poliól e na linha de fabricação da espuma, além da instalação de sistemas de monitoramento e ventilação adequados. Estima-se que a economia nos custos do capital aumentado (ICC) para o usuário final estejam na ordem de 25 a 35%.

A tecnologia baseada em CO₂, derivado da reação isocianato-água, tem sido usada com sucesso limitado para a refrigeração comercial (expositores, máquinas automáticas de venda), na qual o desempenho de isolamento não é crucial. Suas principais limitações são o fraco desempenho de isolamento relativo resultante do valor lambda relativamente alto

do CO₂, o aumento necessário na densidade da espuma moldada em decorrência dos altos valores de permeabilidade do CO₂ através da matriz de poliuretano e a "adesão" reduzida aos substratos onde é aplicada (metal, termoplásticos), consequência da grande quantidade de poliureia presente no polímero. No mercado japonês de sprays, o uso de espuma expandida com água em associação com a tecnologia patenteada de CO₂ supercrítico foi desenvolvido e comercializado. No entanto, pode haver limitações em algumas aplicações que exigem melhor desempenho de isolamento.

Há também uma pequena utilização em países desenvolvidos do metanoato de metila (Estados Unidos, Austrália), especialmente para refrigeração comercial, aplicação para a qual o desempenho de isolamento não é crucial. Além disso, alguns fabricantes de bebidas de porte mundial (isto é, a Coca-Cola) estão solicitando espumas não baseadas em HFCs e com PDO 0. A seguir, encontra-se uma discussão mais aprofundada sobre essa tecnologia.

Embora uma grande proporção da indústria nos países desenvolvidos tenha escolhido hidrocarbonetos ou HFCs como agentes de expansão, existem crescentes pressões, no caso dos HCs, para melhorar o desempenho térmico das espumas, particularmente no setor de eletrodomésticos, e para limitar o uso futuro dos hidrofluorcarbonos saturados (s-HFCs) e reduzir sua aplicação sempre que possível.

Nesse contexto, há crescente interesse no papel que os HFCs não saturados (HFOs) desenvolvidos recentemente podem ter no setor de refrigeração doméstica e em outras aplicações de espuma rígida, especialmente na América do Norte, onde HFCs saturados têm um mercado significativo, e em no setor de espumas de PU spray, tanto na Europa quanto na América do Norte. Um deles (HFC-1234ze) encontrou algum uso inicial na Europa como substituto para o HFC-134a em espumas de PU de um componente.

Esses compostos representam um grupo emergente de agentes de expansão que apresentam diversas características também apresentadas pelos HFCs saturados, mas têm PAGs consideravelmente mais baixos (<15). A principal razão para esses valores mais baixos diz respeito à diminuição da vida útil das moléculas na atmosfera, causada pela presença de uma dupla ligação entre átomos de carbono adjacentes. Trabalhos preliminares sobre HFCs não saturados sugerem que eles proporcionam melhor desempenho térmico que suas contrapartidas saturadas, embora ainda seja necessário realizar trabalho toxicológico para que sejam comercializados. As previsões de custos são semelhantes às de HFCs saturados. Suas principais características são apresentadas na tabela 3.

	HFO-1234ze	FEA-1100	HBA-2	AFA-L1
Fórmula química	Trans- CF ₃ CH=CHF	Cis-CF ₃ -CH=CH- CF ₃	Não divulgada	Não divulgada
Peso molecular	114	164	Não divulgado	Não divulgado
Ponto de ebulição (°C)	-19	32	15,3<T<32,1	10,0<T<30,0
Condutividade de gás (mW/mK @ 10°C)	13,0	10,7	Não informada	15,9
Limites inflamáveis no ar (vol.%)	Nenhum a 28°C^ N	Nenhum	Nenhum	Nenhum

TLV ou OEL (ppm) (EUA)	Não publicado	9,7	Não divulgado	Não divulgado
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	6	9,4	<15	<15

^ Limites de chama de 7,0-9,5 a 30 C são citados

Países em desenvolvimento

Um dos grandes desafios da indústria de espumas é a eliminação de HCFCs dos países em desenvolvimento em conformidade com a Decisão XIX/6. Essa decisão exige uma eliminação progressiva acelerada do uso de HCFCs levando a sua substituição, no setor de espumas, por agentes de expansão com PDO 0. Ao mesmo tempo, solicita-se que o Comitê Executivo (ExCom) do Protocolo de Montreal, ao aplicar os critérios de financiamento, dê prioridade a projetos com boa relação custo-benefício com foco em substitutos que minimizem outros impactos ambientais, inclusive sobre o clima, tendo em conta potencial de aquecimento global, consumo de energia e outros fatores relevantes.

Atualmente, dois tipos de espumas poliméricas usam HCFCs como agentes de expansão: espumas de poliuretano (PU) (principalmente HCFC-141b e alguma quantidade de HCFC-22) e espumas de placa de poliestireno extrudido (XPS) (HCFC-142b e HCFC-22). Eles competem com outros materiais, como fibras minerais, EPS em isolamento térmico e outras aplicações. Os setores de espuma de PU que utilizam HCFCs são os de espumas isolantes, espumas com pele integral e espumas microcelulares (solas de sapato). Nos últimos dois setores o uso é muito menor do que no mercado de isolamento devido ao menor mercado global e à maior densidade da espuma. As espumas de placa de XPS são utilizadas principalmente para fins de isolamento.

A principal via para espumas de PU é a utilização de hidrocarbonetos (HC), principalmente pentanos (n-pentano, c-pentano e misturas de ciclo/iso-pentano). Isso é especialmente verdadeiro para os setores em que o grande porte das empresas (uso de HCFC > 50 toneladas/ano) traz benefícios econômicos apesar do alto custo de conversão: refrigeração doméstica, painéis contínuos e alguns fabricantes dos setores de refrigeração comercial e de painéis descontínuos. No caso de empresas de médio porte (50 toneladas/ano > uso de HCFC > 10 toneladas/ano) a opção de pré-misturar hidrocarbonetos em polióis, descrita acima, pode representar uma abordagem sustentável a longo prazo. O Fundo Multilateral e as Agências de Implementação assumiram o tema e dois projetos-piloto foram patrocinados e estão em desenvolvimento (China e Egito), um deles junto com a introdução de um terceiro fluxo de HC no ponto de mistura. Os resultados estarão prontos em 2011.

Embora o uso da tecnologia de HCs ofereça custos operacionais mais baixos do que alternativas como HFCs, os significativos custos do capital para fazer conversões tornam sua aplicação inviável para empresas de pequeno porte (uso de HCFC < 10 toneladas/ano). Estima-se que os Custos do Capital Incremental (ICC) mínimos para a conversão para HC estejam na faixa de US\$ 300.000 a US\$ 500.000.

Por outro lado, para além de seu alto PAG, o uso de tecnologias baseadas em HFCs saturados (HFC 245fa, HFC-365mfc/HFC-227ea) pode resultar em aumentos significativos nos custos operacionais em função de seus preços unitários e pesos moleculares mais elevados. Também está claro que, apesar dos resultados promissores,

seus homólogos insaturados (HFOs) provavelmente não estarão disponíveis a tempo de cumprir as etapas iniciais (pré-2015) da eliminação de HCFCs, conforme previsto na Decisão XIX/6. Por outro lado, há evidências de que algumas empresas fabricantes de eletrodomésticos em países em desenvolvimento já estão misturando HFCs saturados com hidrocarbonetos para atender a requisitos energéticos.

A partir das considerações acima, a eliminação de HCFCs em setores que incluem um grande número de PMEs (característica típica da indústria nos países do Artigo 5) representa o desafio mais significativo. Muitas das empresas têm capacidade interna pequena, se alguma, para otimizar formulações e sua capacidade para lidar com compostos inflamáveis é limitada. Ainda é necessário caracterizar o desempenho de espumas feitas de alternativas com baixo PAG no campo de aplicações pretendido. Este é um exercício contínuo, mas é especialmente importante para tecnologias que não têm histórico significativo de uso em países não incluídos no Artigo 5. O papel dos Projetos-piloto promovidos sob o quadro do Fundo Multilateral é especialmente relevante neste caso e o trabalho do PNUD a respeito do metanoato de metila, por exemplo, já abriu caminho para um uso mais amplo nos setores de espumas flexíveis moldadas e de pele integral com potencial para que outros sigam o exemplo.

No caso das aplicações de espumas rígidas, talvez o caso mais importante, um programa de testes convencionais para um novo agente de expansão inclui²:

- Testes de toxicologia e ecotoxicologia (PDO, PAG, toxicologia)
- Características de processamento:
 - ✓ Estabilidade na mistura com polióis
 - ✓ Miscibilidade com polióis
 - ✓ Propriedades de fluxo (índice de fluxo, densidade de preenchimento mínima)
 - ✓ Tempos de reação Jig Dwell Times (JDT)
 - ✓ Concentrações atmosféricas durante processamento e comparação com limites inflamáveis no ar
 - ✓ Efeitos sobre equipamentos - selos e peças de metal
- Propriedades físicas e de fogo:
 - ✓ Conteúdo de célula fechada
 - ✓ Relações densidade/força (resistência à compressão)
 - ✓ Estabilidade dimensional X temperatura e envelhecimento utilizando métodos acelerados aceitos
 - ✓ Condutividade térmica X temperatura e envelhecimento utilizando métodos acelerados aceitos
 - ✓ Friabilidade da espuma
 - ✓ Adesão a diferentes substratos
 - ✓ Teste de código de incêndio para componentes baseados em espuma da indústria

² Para uma abordagem mais fundamental que tenda a fornecer uma explicação sobre o desempenho, são desejáveis testes como análise de gás na célula com tempo, transmissão de vapor de água, temperatura de transição do vidro ao longo do tempo a diferentes temperaturas, etc.

- Ensaios em condições de produção comercial e testes de longa duração de artigos

Para pele integral e solas de sapato, aplicações com células abertas nas quais o agente de expansão não permanece no produto, o programa de testes sobre as propriedades físicas deve incluir a aparência da pele e propriedades relacionadas, como resistência à abrasão.

Além da opção de HCs pré-misturados nos polióis, novas alternativas de tecnologia para PMEs estão surgindo ou surgiram recentemente: metilal, metanoato de metila e formulações modificadas expandidas com água.

O metilal, também chamado de dimetoximetano, é um líquido inflamável com PAG insignificante e ponto de ebulição de 42°C. Até hoje, tem sido comercializado principalmente no setor de espumas termoplásticas (poliestireno extrudido e poliolefinas) como coagente de expansão junto ao HFC-134a.

O uso do metilal como coagente de expansão em conjunto com hidrocarbonetos e HFCs para aplicações de espuma rígida de PU (refrigeração doméstica, painéis, isolamento de tubos e spray) já foi descrito na literatura. Afirma-se (Lambiotte, 2006) que em painéis contínuos promove mistura na cabeça de mistura e melhora a miscibilidade do pentano, o fluxo e a uniformidade da espuma, a adesão a superfícies de metal e as propriedades de isolamento por meio da redução do tamanho da célula. Em painéis descontínuos, a adição de um percentual baixo de metilal a HFCs (245fa, 365mfc ou 134a), possibilitaria a preparação de pré-misturas com polióis de baixa inflamabilidade sem efeitos prejudiciais sobre o desempenho ao fogo da espuma. Como no caso dos hidrocarbonetos, o metilal reduziria o custo e melhoraria a miscibilidade, o fluxo, a uniformidade da espuma e a aderência a superfícies metálicas.

Não há nenhum uso conhecido de metilal como único agente de expansão auxiliar em espumas de PU. Por meio da decisão 58/30, o ExCom aprovou um projeto de demonstração para avaliar seu uso como possível substituto de HCFCs em países em desenvolvimento. O relatório final será publicado em 2011, mas resultados parciais para espumas com pele integral/microcelulares já divulgados mostram uma formação de pele excelente em comparação com HCFC-141b.

No entanto, a inflamabilidade das misturas de metilal/polióis é um ponto importante de preocupação. Dados recentemente divulgados mostram que a adição de mais de 3 partes de metilal baixa o ponto de inflamação da mistura para valores inferiores a 35° C, semelhantes aos obtidos com hidrocarbonetos (InterTox, 2010). De acordo com o Sistema Global Harmonizado, esse tipo de mistura é classificado como um líquido inflamável de categoria 3. O impacto do custo do capital aumentado necessário para manipular uma mistura com essas características para o usuário final pode tornar o uso do metilal impossível para PMEs.

O metanoato de metila (MF), também chamado de formiato de metila, é um líquido inflamável com PAG insignificante e ponto de ebulição de 31,5° C. A Foam Supplies, Inc. (FSI) promove seu uso como agente de expansão em espumas de PU desde o ano 2000. A empresa fez uma solicitação de patente em 18 de dezembro de 2001 nos EUA, a qual foi emitida em 22 de junho de 2004. O uso da tecnologia cresceu significativamente

nos últimos quatro anos, embora ainda seja muito pequeno em tamanho. Para todas as aplicações de espuma, 365 toneladas foram consumidas em todo o mundo em 2009 e cerca de 1.000 em 2010, substituindo mais de 2.000 toneladas de HCFC-141b³.

É relatado que o MF encontra maior utilização nas aplicações de espuma moldada flexível e com pele integral. O consumo na Austrália, na África do Sul e no Brasil foi estabelecido. A Tabela 4 descreve os pontos fortes e fracos das alternativas com baixo PAG para essas aplicações.

O uso de MF ocorre atualmente também em aplicações de espuma rígida, especialmente em refrigeração comercial e em painéis descontínuos revestidos de aço. Trabalhos adicionais estão em curso nos EUA, no Reino Unido e em outros países para ampliar a abrangência do uso, mas com níveis de sucesso variados.

Tabela 4. Tecnologias alternativas para espuma de pele integral e solas de sapato			
SETOR / OPÇÃO	PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS	COMENTÁRIOS
Metanoato de metila (MF)	Baixo PAG	Inflamável	Custo de conversão a ser determinado
	Custos moderados por unidade		A inflamabilidade das misturas de poliol/MF devem ser verificadas
	Boa qualidade da pele		Custos operacionais moderados
			Tecnologia patenteada. Restrição comercial
CO ₂ (água)	Baixo PAG	Baixa qualidade da pele	Uma pele apropriada pode exigir revestimento na moldagem – custo adicional
	Baixos custos de conversão		Bastante comprovado em solas de sapato – usado com polióis de poliéster
n-pentano	Baixo PAG	Altamente inflamável	Elevados custos de conversão, não rentável para PMEs
	Baixos custos por unidade		Baixos custos operacionais
	Boa qualidade da pele		Bastante comprovado na aplicação

Existem algumas questões técnicas que parecem agir como barreiras para o uso, em espumas rígidas de poliuretano isolante, de MF como único agente de expansão e que também inibiriam sua utilização como coagente de expansão em sistemas como os que são expandidos principalmente com CO₂ (água). Essas questões podem ser documentadas assim:

- Há preocupações de que essas medidas para a gestão da inflamabilidade do MF possam exigir uma reformulação por parte das casas de sistema com polióis mais compatíveis com aplicações em espumas rígidas a fim de reduzir o risco. Em

³ Em seu relatório de avaliação de 2006, o FTOC estimou que o mercado global de agentes de expansão para as aplicações de espuma no ano de 2005 era de cerca de 360.000 toneladas.

alguns casos, pode ser mais produtivo misturar metanoato de metila no componente de isocianato para obter as propriedades de espuma necessárias ao mesmo tempo em que se evitam misturas inflamáveis. O risco adicional para a saúde associado à manipulação de isocianato precisa ser gerenciado.

De acordo com o Sistema Global Harmonizado da Organização das Nações Unidas, uma mistura líquida é classificada como inflamável na categoria número 3 quando apresenta um ponto de inflamação entre 23 e 60°C. Além disso, afirma-se que "os líquidos com um ponto de inflamação superior a 35°C podem ser considerados como líquidos não inflamáveis para alguns fins de regulamentação (por exemplo, transporte) se os resultados negativos forem obtidos no teste de combustibilidade sustentada (é o caso do MF)..." Os polióis totalmente formulados usado atualmente em países em desenvolvimento têm concentrações de HCFC-141b em torno de 18%, o que, quando se aplica a lei dos gases ideais, corresponde a uma concentração de MF de 10,1%⁴. A essa concentração, de acordo com dados do fornecedor, virtualmente todos os tipos de polióis resultariam em misturas de MF/poliol com pontos de inflamação inferiores a 35°C (Foam Supplies, Apresentação para o FTOC, Salt Lake City, 2006). Para evitar o risco de segurança envolvido, é necessário um trabalho de reformulação significativo. Isso é particularmente importante para a espuma spray, uma aplicação em que o processo de injeção de espuma não é controlado.

- A condutividade térmica gasosa do MF é intermediária entre as do HCFC-141b e do c-pentano, sugerindo o potencial de espumas com bom desempenho térmico. No entanto, o MF é um solvente poderoso para a matriz de poliuretano e a adição de MF, seja sozinho ou como coagente de expansão com CO₂ (água), resulta, como relatado recentemente, em uma redução significativa na resistência à compressão (encolhimento). Tais efeitos podem ser combatidos pela redução do nível de componente de MF presente ou pelo aumento da densidade da espuma. A primeira opção reduz, ou mesmo anula, qualquer benefício adicional no desempenho térmico, enquanto a segunda aumenta o peso e custo e, ao fazê-lo, pode não ser técnica ou economicamente viável. Se coexpandida com CO₂ (água), também é provável que fique evidente a rápida deterioração da condutividade térmica, característica de sistemas de CO₂ (água). Quando ocorre o encolhimento, a adesão insuficiente a substratos de metal é normalmente observada no âmbito de ensaios com painéis sanduíche descontínuos. Da mesma forma, o efeito de plastificação pode ser combatido com o aumento da densidade, quando esta for uma opção comercialmente viável.

- Há necessidade de mais dados antigos para avaliar as tendências de desempenho de isolamento térmico e estabilidade dimensional com o passar do tempo. Como já foi observado, a análise atual sugere que haverá um equilíbrio muito tênue entre essas duas características, mesmo no curto prazo. Portanto, os padrões de comportamento a longo prazo são uma área de foco específico neste momento. Há possibilidade de que a janela operacional possa ser demasiado estreita para a viabilidade comercial em algumas aplicações. A elucidação do desempenho a longo prazo é extremamente importante em

⁴ A "visão minoritária" afirma que aplicar a "lei de gases ideais" não é correto na prática. No entanto, é reconhecido que os pontos de inflamação associados a essas misturas de poliol podem estar abaixo de 35°C, gerando a necessidade de dividir o componente de metanoato de metila entre os fluxos de poliol e isocianato.

aplicações nas quais o desempenho térmico deve ser mantido por períodos de até 50 anos.

- Quando o MF é usado como coagente de expansão com outros agentes de expansão (por exemplo, hidrocarbonetos), ele tem o potencial de melhorar o desempenho térmico por afetar favoravelmente a morfologia das células – geralmente tornando o tamanho médio das células menor e o tamanho de célula mais uniforme. Este é um efeito para além da condutividade térmica gasosa em si e pode resultar em aumento do uso de MF como componente de misturas, especialmente no lugar do c-pentano, se este continuar escasso.
- Ainda não parece haver evidências disponíveis relacionadas com os níveis de MF na atmosfera para vários processos de produção. Em particular, há pouca experiência de uso de sistemas baseados em MF para espuma spray.
- Há uma preocupação adicional sobre a estabilidade do MF devido à hidrólise observada (por análise de gás celular) para ácido fórmico, CO₂ e CO. Isso serviria para reduzir a concentração de MF nas células de espuma e poderia contribuir para uma maior deterioração no desempenho térmico.
- A presença de ácido fórmico, seja da quebra do metanoato de metila ou pela adição deliberada, pode levar à corrosão de componentes de máquinas de vendas (Cannon, Brasil, 2010)⁵. Fornecedores de máquinas investigaram o efeito e identificaram uma série de componentes que precisam ser monitorados e substituídos em intervalos regulares.

Formulações expandidas com água. Como mencionado anteriormente, historicamente o desenvolvimento de espumas expandidas com água se mostrou um verdadeiro desafio devido a seus obstáculos físicos intrínsecos, tais como maior condutividade térmica, menor estabilidade dimensional da espuma, exigindo aumento da densidade moldada, e maior fragilidade da superfície, resultando em possível adesão mais fraca a revestimentos de metal. Como resultado, o uso de todas as espumas expandidas com água ainda é limitado hoje em dia.

No entanto, as casas de sistema globais relataram recentemente o desenvolvimento de nova tecnologia expandida com água, caracterizada por um melhor desempenho que já pode ser considerado semelhante ao de tecnologias de baixo nível de HCFC, caracterizadas por altos valores lambda relativos da espuma (3^a. Exposição de poliuretano e Conferência na Índia – PU TECH 2011). Esta solução, centrada em tratar de aplicações de painéis descontínuos e refrigeração comercial, abre a possibilidade de mais tarde ser convertida em coagente com agentes de expansão físicos quando novas soluções não inflamáveis comprovadas com baixo PDO e baixo PAG estiverem disponíveis.

Alega-se que, como resultado de um melhor fluxo e distribuição da densidade otimizada, as densidades aplicadas estão agora no mesmo intervalo que a tecnologia com baixo nível de HCFC, com impacto mínimo sobre a estabilidade dimensional e as propriedades mecânicas da espuma. Os sistemas permitiriam um fácil preenchimento das cavidades e poderiam ser processados com temperatura de moldagem de 40°C. A condutividade térmica inicial típica está na faixa de 22-23mW/mK (medida a 10°C),

⁵ A visão minoritária ainda discorda desta afirmação embora, como o texto explica, os fornecedores das máquinas já estejam tomando medidas.

relativamente mais alta em comparação com pentano e/ou alguns sistemas expandidos com HFCs, mas ainda aceitável para refrigeração comercial e painéis descontínuos.

Também é relatado que a adição de ácido fórmico como agente de expansão químico a estes sistemas pode resultar em melhorias quantificadas na estética, no fluxo, na distribuição da densidade e na aderência da espuma, mesmo a baixas temperaturas de moldagem. No entanto, alguns inconvenientes já foram identificados e devem ser levados em consideração. Eles estão ligados ao potencial de corrosão, o que requer o envolvimento de fornecedores de equipamentos para verificar a adequação de equipamentos e a eventual liberação de monóxido de carbono que torna necessária a verificação das concentrações atmosféricas e da ventilação adequada. Apesar desses inconvenientes, esta tecnologia está sendo utilizada em países desenvolvidos nos casos em que um fluxo aprimorado, menor densidade e melhor estética são requisitos fundamentais, ou seja, na produção de painéis sanduíche para aplicações de câmaras frias.

ESPUMAS FENÓLICAS

Mercados de espumas fenólicas historicamente significativos foram desenvolvidos na Europa e no Japão com base em uma combinação de produtos de painel e bloco/tubo. O desenvolvimento de mercados similares na América do Norte foi frustrado pela má experiência com uma tecnologia específica para tábuas de telhado (Koppers) que criou problemas de corrosão em deques de aço.

Outra aplicação tradicional da espuma fenólica é como espuma floral. A principal marca a nível mundial é conhecida como "Oasis". No entanto, este material nunca foi significativamente expandido com substâncias destruidoras da camada de ozônio, exceto no caso de pequenos produtores "eu também". Portanto, não é o foco de atenção principal neste relatório.

Painel boardstock de PF

O agente de expansão tradicional para painéis boardstock fenólicos foi o CFC-11, embora este tenha sido rapidamente substituído pelo HCFC-141b. O uso de HCFC-141b apresentou um desafio especial para a química de emulsão fenólica devido a sua solubilidade e os principais detentores da tecnologia acharam necessário modificar o agente de expansão com aditivos para torná-lo menos solúvel na mistura da espuma.

Na transição que ocorreu do HCFC-141b para outras substâncias na Europa, tornou-se evidente que o produto fenólico em si era suficientemente robusto em seu desempenho ao fogo para acomodar hidrocarbonetos como agentes de expansão para a maioria dos usos finais. Portanto, a maior parte dos processos contínuos são agora baseados em n-pentano, seja puro ou em misturas com outros hidrocarbonetos. Uma tecnologia na Europa havia passado diretamente do CFC-11 para o 2-cloro-propano e continua a usar esse agente de expansão como base para seus produtos.

Há uso limitado para HFCs saturados nesses processos contínuos, uma vez que o desempenho térmico com base em formulações de hidrocarbonetos otimizadas é visto como suficiente para a maioria dos usos finais. Embora ainda não esteja claro como o surgimento de HFCs insaturados pode afetar as escolhas de agente de expansão para formulações fenólicas para painéis boardstock no futuro, o desempenho global das diversas tecnologias baseadas em hidrocarbonetos torna improvável que haja novas transições de tecnologia a curto prazo.

Houve pouca, se alguma, implementação de instalações de produção de painéis boardstock de espuma fenólica nos países em desenvolvimento até o momento. Assim, investimentos futuros provavelmente serão baseados apenas em transferência de tecnologia da Europa ou de outros lugares.

Blocos de PF & Seções de tubo

Da mesma forma que outros tipos de produto/processo de fabricação de espumas, com a exceção da indústria de espuma floral, o CFC-11 era o agente de expansão básico preferido. Em alguns casos, o ponto de ebulição do agente de expansão foi modificado

usando misturas de CFC-11/CFC-113, a fim de garantir o perfil de crescimento/cura apropriado. Isso era particularmente importante para a química de fenólicos, na qual a sensibilidade entre temperatura e taxa de cura é alta. A redução do calor latente de evaporação nas etapas iniciais da reação ajudava a garantir o tempo de processamento adequado.

De maneira similar ao setor de painéis boardstock fenólicos, primeiramente ocorreu uma transição para o HCFC-141b, com o mesmo uso de aditivos para reduzir a solubilidade do agente de expansão. Ao trocar o HCFC-141b devido a pressões de regulamento na Europa e na América do Norte, a indústria inicialmente passou a usar HFCs saturados. A escolha era tipicamente HFC-365mfc/227ea por razões de ponto de ebulição (como para misturas de CFC-11/CFC-113). Ainda não há uso generalizado de hidrocarbonetos em processos de blocos fenólicos para fins de isolamento, embora seu uso persista para espumas florais. A introdução de um processo contínuo de seções de tubo permitiu a redução das perdas de espuma, mas também permitiu uma mudança de agente de expansão para hidrocarbonetos, em função do ambiente mais controlável. A maior parte do fornecimento de seções de tubos fenólicos no Reino Unido agora é baseada nessa tecnologia.

Deve-se observar que a espuma fenólica ainda é uma espécie de produto de nicho na maioria dos mercados globais e que esta teve pouco sucesso até hoje nos países em desenvolvimento. No entanto, seu potencial inato continua a ser reconhecido em vários mercados importantes e em crescimento. Em termos gerais, acredita-se que novos desenvolvimentos de uma base de produção nos países em desenvolvimento serão apoiados por transferência de tecnologia abrangente de um dos atuais detentores da tecnologia.

Como consequência, parece haver pouca exigência de apoio à transição de instalações existentes de espuma fenólica em países em desenvolvimento.

ESPUMAS TERMOPLÁSTICAS (POLIOLEFINAS & XPS)

Historicamente, as espumas termoplásticas extrudidas são as únicas que usam substâncias que destroem a camada de ozônio. No caso do poliestireno extrudido, os produtos se dividem em duas categorias: “placa” e “folha”, sendo a “placa” usada para uma variedade de atividades de isolamento, flutuação e recreação, enquanto a “folha” é mais utilizada para embalagem de alimentos e outros produtos. As espumas de poliolefinas (tanto de polietileno quanto de polipropileno) também foram utilizadas nesses setores, mas o uso de espumas de poliolefinas em aplicações de isolamento é mais limitado.

Os equipamentos para a fabricação de produtos termoplásticos extrudidos variam substancialmente de acordo com a região e a aplicação. Na América do Norte, as linhas de produção tendem a ser longas, para atingir a velocidade ideal, e também são capazes de produzir placas largas (tipicamente, com 1,2 metros) em espessuras pequenas, de até 25 mm. Este requisito exige uma solução de engenharia substancial e torna a transferência de um agente de expansão para outro um grande desafio. Na Europa, os requisitos são mais modestos, e muitas linhas geram produtos com largura máxima de 0,6 metros e com maior espessura. No Sudeste da Ásia (principalmente na China), onde a demanda por espuma de poliestireno extrudido mais cresce, os requisitos técnicos e de processamento são ainda mais limitados. Em muitos casos, o poliestireno usado para a extrusão tem alto conteúdo reciclado, tornando-se menos fácil de processar. Produtos gerados nesse cenário tendem a ser de menor qualidade que os produzidos na América do Norte e na Europa e normalmente são processados em linhas de 0,6 metros.

A maioria das espumas termoplásticas que ainda dependem de HCFCs usam uma combinação de HCFC-142b e HCFC-22. As proporções de cada um variam consideravelmente, dependendo da aplicação e, em alguns casos, cada agente de expansão é utilizado de forma isolada. Alternativas para o HCFC-142b/22 incluem HFCs saturados e insaturados, hidrocarbonetos, CO₂ e CO₂/etanol. Descobriu-se que, isoladamente, o CO₂ é particularmente difícil de processar. Essa é uma das razões pelas quais combinações com hidrocarbonetos oxigenados têm sido exploradas. Mesmo assim, há alguns problemas na tecnologia que limitam a velocidade de processamento e a variedade de produtos.

Os HFCs insaturados têm o potencial de fornecer a melhor solução do ponto de vista puramente técnico e ambiental. Os hidrocarbonetos também oferecem uma solução significativa, desde que os problemas de inflamabilidade possam ser geridos tanto a nível de produto quanto de processo. A indústria de espuma extrudida tem experiência significativa com a gestão de hidrocarbonetos no setor de “folhas”, que seguiu a tendência de ignorar HCFCs e mudar diretamente para os hidrocarbonetos durante a eliminação dos CFCs. No entanto, a experiência de incêndios era comum e levou algumas pessoas a concluir que esta não era realmente uma solução sustentável. Contudo, poucos fabricantes de “folha” recuaram em sua escolha e, presumivelmente, eles encontraram estratégias para lidar com o problema.

No entanto, há um desafio adicional para produtos de “painel”. Esses produtos são relativamente espessos para aplicações dos setores da construção e de embalagens. Em países desenvolvidos, onde os hidrocarbonetos foram adotados (particularmente em espumas de poliolefinas), isso levou a um problema particular com o armazenamento e o transporte de placas. Em essência, a taxa de difusão de hidrocarbonetos dos produtos não

foi suficientemente rápida após a produção para evitar o acúmulo de gases inflamáveis nas áreas de pós-produção. Isso levou a alguns incidentes. A questão foi finalmente resolvida pela maioria dos fabricantes com o uso de equipamentos de perfuração para liberar o agente de expansão de hidrocarboneto fisicamente.

Outro grande desafio para o setor de espumas termoplásticas está em lidar com custos de investimento e/ou disponibilidade do agente de expansão. A tabela a seguir ilustra o fato de que provavelmente será necessário enfrentar acréscimos no contexto do custo de investimento (por exemplo, hidrocarbonetos ou CO₂) ou em custos operacionais e disponibilidade (HFCs saturados e insaturados). No entanto, deve-se notar que o HFC-134a é relativamente difundido em função de seu uso atual como refrigerante.

Critério de agente de expansão	HCFC-142b/22	Hidrocarbonetos	HFCs saturados	HFCs insaturados (HFOs)	CO₂	CO₂ /etanol
Custos do investimento	+	++/+++	+	+	+++	++/+++
Custos operacionais	++	+	++/+++	+++	+ /+++	+ /+++
Disponibilidade generalizada	++	++	+ /+++	+	+ /+++	+ /+++
Potencial de mistura	++	++/+++	+++	++	++/+++	++/+++

+++ Alto; ++ Médio; + Baixo;

Um fator adicional a ser considerado é o tempo de espera que seria necessário para uma maior conversão, especialmente em países não incluídos no Artigo 5, tendo em conta os testes necessários para cumprir com códigos de construção rigorosos.

Placa de poliestireno extrudido (XPS)

O uso de poliestireno extrudido ocorre principalmente no setor da construção, onde é usado para uma variedade de fins de isolamento em paredes, telhados e, principalmente, pisos, onde o produto tem vantagens competitivas específicas. O produto vem obtendo bons resultados na concorrência com espumas rígidas de poliuretano e fibra mineral em todas as principais regiões do mundo, embora seu modo de sucesso varie de acordo com os padrões de demanda regional. Isso indica a versatilidade do poliestireno extrudido em sua aplicação.

Todo o setor de espumas termoplásticas extrudidas foi estabelecido com base na facilidade de utilização do CFC-12 como agente de expansão. Foi somente quando a eliminação de CFCs passou a ser exigida que a divisão entre escolhas para materiais de “placa” e “folha” ocorreu. Os produtos de folha migraram predominantemente para os hidrocarbonetos, enquanto os produtos de placa optaram, em sua maioria, por utilizar misturas de HCFC-142b/22 a fim de manter o desempenho térmico exigido.

Quando a mistura foi escolhida, sabia-se que a permeabilidade da parede celular do HCFC-142b era significativamente menor do que a do HCFC-22. Portanto, o desempenho térmico de longo prazo dos produtos em grande medida seria determinado pela proporção de HCFC-142b na mistura e sua retenção subsequente. Uma vez que o HCFC-22 é um importante refrigerante, sua disponibilidade foi maior, e seu preço mais baixo, durante todo o período de uso. Isso é particularmente importante em algumas regiões de países em

desenvolvimento onde o acesso à HCFC-142b é mais difícil e seu custo é significativamente maior. Uma vez que alguns códigos dos produtos e construção serão redigidos em torno do uso exclusivo de HCFC-22, o obstáculo da transição pode se tornar um pouco mais fácil de transpor quando a eliminação de HCFCs for finalmente adotada.

O setor de poliestireno extrudido continua a crescer rapidamente na China e em outros lugares na Ásia e soluções práticas de transição serão essenciais. Parece improvável que os HFCs saturados ou insaturados ganhem grande espaço nos mercados por razões de custo e disponibilidade. Portanto, a solução mais provável será baseada em hidrocarbonetos, puros ou em misturas. O nível de investimento necessário para dar suporte a eles não está claro, mas, uma vez que as fábricas são relativamente pequenas e não há experiências paralelas com a folha de poliestireno extrudido, pode ser que a transição seja menos desafiadora do que o previsto. O CO₂ parece improvável como solução de forma isolada.

O processo de extrusão ainda é altamente emissivo, e isso gera uma carga especial sobre a prevenção de soluções com alto PAG, como HFCs saturados. O único caso em que essa abordagem pode ser justificada é em aplicações e jurisdições em que o desempenho térmico é absolutamente fundamental. Nesses casos, pode ser possível fazer outras transições de HFCs saturados para insaturados quando for a ocasião.

Espumas de poliolefinas

As espumas de poliolefinas tiveram menor penetração nos mercados de construção que formaram a base da indústria de poliestireno extrudido. A única exceção a isso ocorreu no setor de isolamento de tubulações, no qual a maior resiliência oferecida pelo produto revelou ter valor substancial. O uso principal para espumas de poliolefinas tem sido como material de embalagem de alto desempenho, especialmente quando usadas para a embalagem de equipamentos de alto valor.

A escolha de agente de expansão no setor de espumas de poliolefinas seguiu um padrão muito semelhante ao da espuma de poliestireno extrudido. No entanto, devido à falta de uma grande demanda por propriedades isolantes, a indústria passou mais plenamente aos hidrocarbonetos, quando fez a transição de CFCs para outras substâncias. O uso remanescente de HCFCs neste setor de produtos é muito mais limitado do que no setor de poliestireno extrudido. No entanto, quando o uso não existe, possivelmente em bens relacionados com aplicações recreativas, pode ser necessária assistência técnica para assegurar que as devidas precauções sejam tomadas em qualquer mudança final para hidrocarbonetos.

Acredita-se que o setor de espumas de poliolefinas apresente apenas um desafio limitado nos esforços para a eliminação de HCFCs nos termos da Decisão XIX/6. Parece que soluções relevantes positivas para o clima estão disponíveis e que há ampla experiência em relação a seu uso. Pode haver algumas aplicações de nicho ainda não identificadas que possam apresentar um maior desafio, mas ainda não surgiu nenhuma aplicação evidente para esse efeito.

CAPÍTULO 3: BANCOS E OPÇÕES DE RECUPERAÇÃO

TRABALHOS RECENTES DO TEAP SOBRE O TEMA

O Painel de Avaliação Técnica e Econômica (TEAP) do Protocolo de Montreal tem trabalhado ativamente para quantificar e localizar bancos de SDO em uma série de estudos em resposta a decisões das Partes. O mais recente desses trabalhos foi a Decisão XX/7, que iniciou a mais abrangente revisão dos bancos e de possíveis opções de mitigação até o momento.

A Força-tarefa convocada pelo TEAP para realizar o trabalho apresentou dois relatórios separados: Fase 1, em junho de 2009, e Fase 2, em outubro de 2009. O segundo desses relatórios tratou especialmente da quantificação da economia que poderia ser realizada, do momento em que a recuperação e destruição seriam exigidas e do custo de fazê-lo. Como em estudos anteriores, a Força-tarefa do TEAP dividiu os Bancos de SDO em três categorias principais de “esforço”: baixo, médio e alto. Embora "esforço" seja em parte um sinônimo para "custo", esse não é completamente o caso, uma vez que existe algum ajuste para o fato de que os custos relativos de alguns setores, tais como espumas, serão sempre maiores do que os de outros setores, como refrigeração. Em vez de colocar toda a recuperação de refrigerantes na categoria "baixo" e todas as espumas na categoria “alto”, há uma compensação para permitir um nível de diferenciação dentro de cada setor. Embora a ênfase da pesquisa tenha sido na redução das emissões de SDO, a maioria das conclusões também podem ser aplicadas para a redução de emissões de HFCs.

A análise do TEAP também reconheceu que a recuperação em áreas com alta densidade populacional (urbanas) seria mais fácil que em áreas pouco povoadas (rurais). A análise completa está resumida na tabela a seguir:

<i>Setor</i>	<i>Esforço baixo</i>	<i>Esforço médio</i>	<i>Esforço alto</i>
Refrigeração doméstica – refrigerante	PD	PE	
Refrigeração doméstica – agente de expansão	PD	PE	
Refrigeração comercial – refrigerante	PD	PE	
Refrigeração comercial – agente de expansão	PD	PE	
Refrigeração de transporte – refrigerante	PD/PE		
Refrigeração de transporte – agente de expansão	PD/PE		
Refrigeração industrial – refrigerante	PD/PE		
Condicionadores de ar fixos – refrigerante	PD	PE	
Outros condicionadores de ar fixos – refrigerante	PD	PE	
Condicionadores de ar móveis – refrigerante	PD	PE	
Painéis revestidos de aço – agente de expansão		PD	PE
Espumas de XPS – agente de expansão			PD/PE*
Painel boardstock de PU – agente de expansão			PD/PE*
Spray de PU – agente de expansão			PD*/PE*
Bloco de PU – tubo		PD	PE
Bloco de PU – placa		PD	PE
Outras espumas de PU – agente de expansão			PD/PE*
Halon – supressão de incêndios	PD	PE	

PD = Áreas com população densa;

PE = Áreas com população esparsa

* Ainda não comprovado tecnicamente

Essa tabela destacou o fato de que, antes mesmo de elementos de custo serem explicitamente abordados, a gestão dos bancos de SDO existentes, em espumas, era vista como o desafio mais significativo (esforço muito alto). De fato, em alguns casos (por exemplo, espumas de PU spray) reconheceu-se que a recuperação e a destruição de agentes de expansão dessas fontes ainda não era comprovada tecnicamente a nível mundial. Isso reflete o fato de que os fluxos de SDO na construção de fluxos de resíduos de demolição ainda são incipientes e há pouca experiência global na gestão de tais materiais. Mesmo no Japão, onde a regulamentação dos processos de demolição atrai altos níveis de conformidade, um estudo sobre Gestão de Bancos de SDO no ambiente construído conduzido pelo Comitê Técnico do Japão sobre Materiais de Construção (JTCCM, na sigla em inglês) no período de 2002 a 2005 concluiu que não era possível determinar a recuperação e a destruição de SDO em construções em função de incertezas persistentes sobre a viabilidade técnica e o impacto econômico. É claro que isso não significa descartar a probabilidade de que a experiência gere inovação e desenvolvimento tecnológico nesta área. No entanto, o ponto de vista japonês era de que isso é melhor alcançado por uma ação voluntária, muitas vezes apoiada por incentivos em vez de legislações inaplicáveis.

As principais conclusões desse trabalho foram que os bancos de refrigerantes representavam as opções de gestão de banco de SDO com melhor relação custo-benefício (medida em dólares por tonelada de CO₂ economizada), em parte devido a sua fácil acessibilidade e em parte porque as emissões de linha de base para refrigerantes são maiores do que para espumas, que tendem a apresentar emissões relativamente baixas durante a maior parte de seus ciclos de vida.

Para eletrodomésticos, ficou claro que medidas para gerenciar bancos de SDO deveriam ser implementadas nos próximos cinco anos, mesmo nos países em desenvolvimento, a fim de obter os principais benefícios climáticos e para a camada de ozônio decorrentes da recuperação e destruição de CFCs. Esse fato é enfatizado na próxima seção, na qual a localização dos bancos de SDO em espumas é analisada para o ano de 2008.

Para espumas, as principais áreas em que a recuperação no fim da vida poderia ser legitimamente esperada com esforço baixo/médio, foram identificadas como:

- Eletrodomésticos
- Refrigeração comercial
- Painéis revestidos de aço
- Seções de tubo & placas de bloco

O progresso na recuperação e na destruição dessas áreas de produtos é analisado em mais detalhes nas próximas seções deste capítulo.

ESTIMATIVAS DE BANCO EM 2008

No período que antecedeu a elaboração do presente relatório, havia sido previsto que o Comitê forneceria estimativas de linha de base dos bancos para 2020. No entanto, tendo em vista as grandes incertezas ainda associadas à seleção de alternativas e as nuances envolvidas em fazer previsões quantitativas sobre o consumo futuro, decidiu-se

limitar este capítulo à avaliação dos bancos como se encontravam em 2008.

As tabelas a seguir fornecem um resumo dos bancos de agentes de expansão contidos em espumas em países desenvolvidos e em desenvolvimento para 2008.

Bancos de espumas – Países desenvolvidos – 2008

Bancos de espumas – Países desenvolvidos – 2008										
			CFCs	HCFCs	HFCs	HCs	Outros	Total	% CFC* disponível	% HCFC* disponível
PU – Eletrodomésticos			283528	144834	55607	224807	0	708776	21,59%	99,80%
PU – Outros equipamentos			27324	68954	22953	17789	255	137275	46,30%	99,88%
PU – transporte refrigerado			12342	18639	6816	6970	0	44767	28,33%	98,83%
<i>Total de eletrodomésticos</i>			323194	232427	85376	249566	255	890818	23,94%	99,75%
			36,28%	26,09%	9,58%	28,02%	0,03%			
PU – Painei boardstock			616683	297973	7560	383219	0	1305435	100,00%	100,00%
PU – Painei contínuo			147619	56633	21552	116124	0	341928	100,00%	100,00%
PU – Painei descontínuo			123785	85377	38707	20801	0	268670	100,00%	100,00%
PU – Spray			97608	102470	40733	0	523	241334	100,00%	100,00%
PU – Bloco – Tubo			10220	4660	1631	3379	0	19890	18,74%	98,15%
PU – Bloco – Placa			26168	12192	4110	8573	0	51043	27,11%	98,64%
PU – Pipe-in-Pipe			38950	15506	3531	10767	0	68754	100,00%	100,00%
XPS – Placa			250016	369145	26339	28113	0	673613	100,00%	100,00%
PE – Bloco – Tubo			8033	5183	516	8055	0	21787	18,74%	98,15%
PE – Bloco – Placa			8057	3317	643	9234	0	21251	27,11%	98,64%
PF – Painei boardstock			10699	6724	1772	13741	0	32936	100,00%	100,00%
PF – Painei descontínuo			4364	3640	559	3399	0	11962	100,00%	100,00%
PF – Bloco – Tubo			3865	3153	1038	2849	0	10905	18,74%	98,15%
PF – Bloco – Placa			1185	987	626	606	0	3404	27,11%	98,64%
Total – Constr./Outros			1347252	966960	149317	608860	523	3072912	96,75%	99,95%
			43,84%	31,47%	4,86%	19,81%	0,02%			
Total Geral			1670446	1199387	234693	858426	778	3963730	82,66%	99,91%
			42,14%	30,26%	5,92%	21,66%	0,02%			
			* Disponibilidade baseada na correção para bancos que já se encontram no fluxo de resíduos							

ATIVIDADES DE RECUPERAÇÃO NO SETOR DE ELETRODOMÉSTICOS

Experiências até o momento – Países desenvolvidos

Em contraste com os desafios do setor de construção, há experiência consideravelmente maior na gestão de espumas de eletrodomésticos e equipamentos de refrigeração comercial. Em várias regiões do mundo, incluindo Europa e Japão, a recuperação de agentes de expansão de refrigeradores e freezers domésticos vem sendo exigida. Esta foi estendida com o passar do tempo a fim de abranger outros tipos de eletrodomésticos. No caso da Europa, ela foi impulsionada por legislações relativas ao ciclo de vida útil de produtos, como o regulamento REEE, e não pelos regulamentos de ozônio em si, embora tenham sido realizados esforços para garantir que ambas as vertentes reguladoras sejam complementares.

Dito isto, há preocupações na Europa a respeito do percentual de eletrodomésticos no fim de suas vidas úteis que são desmanufaturados em conformidade com os requisitos legislativos, bem como a respeito da manutenção de padrões adequados para recuperação e destruição dentro das operações designadas para gerenciar o processo. Mesmo na Alemanha, um estudo recente descobriu uma série de falhas em cumprir com os padrões existentes. Investigações posteriores revelaram que a causa mais provável dessas irregularidades é o excesso de capacidade no setor, com preços para a desmanufatura de refrigeradores domésticos caindo de seus níveis iniciais de US\$ 25/unidade para valores de até US\$ 8/unidade.

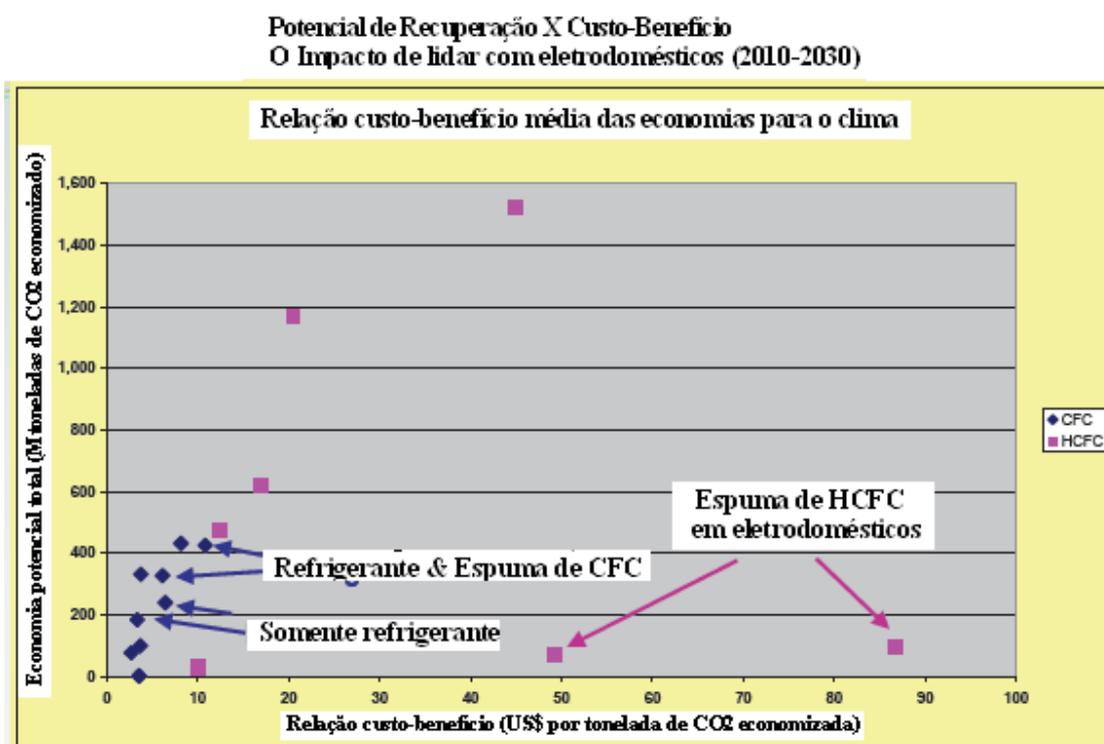
Outro fator a considerar é que o financiamento voluntário de carbono não pode ser alavancado na região, embora as metodologias relevantes (Voluntary Carbon Standard (VCS) e Climate Action Reserve (CAR)) se apliquem a essas operações de recuperação e destruição. Isso ocorre porque o mercado não vê "adicionalidade" da recuperação e destruição de SDO em regiões onde a medida já foi implementada. Mesmo que esse financiamento estivesse disponível, sua contribuição seria menos substancial para a recuperação e destruição de HCFCs do que para a recuperação e destruição de CFCs. Essa observação advém do menor PAG dos HCFCs em comparação com CFCs. A questão é tratada em maiores detalhes na discussão sobre países em desenvolvimento a seguir, na qual uma análise mais aprofundada realizada pelo TEAP é apresentada.

Na América do Norte, ainda não há exigência federal para a recuperação de agentes de expansão de espumas em eletrodomésticos. No entanto, há uma série de iniciativas estaduais que incentivam a recuperação e a destruição. A Califórnia está analisando a opção de usar seus mecanismos mais amplos de *cap-and-trade* para a inclusão da recuperação de SDO, usando a metodologia do Climate Action Reserve como base. No entanto, essa metodologia deve necessariamente ter uma visão conservadora sobre as economias. Além disso, as incertezas em torno de degradação anaeróbia das SDO em aterros levaram a estimativas de linha de base de emissões mais baixas e a uma redução nas economias realizáveis a partir de medidas de fim de vida. Com a baixa valorização atual do carbono, mesmo em intercâmbios com elevada reputação como a CAR, os incentivos financeiros podem ser insuficientes para estimular a recuperação e destruição de agentes de expansão de espumas, apesar da adoção de processos semiautomatizados com menores custos de investimento.

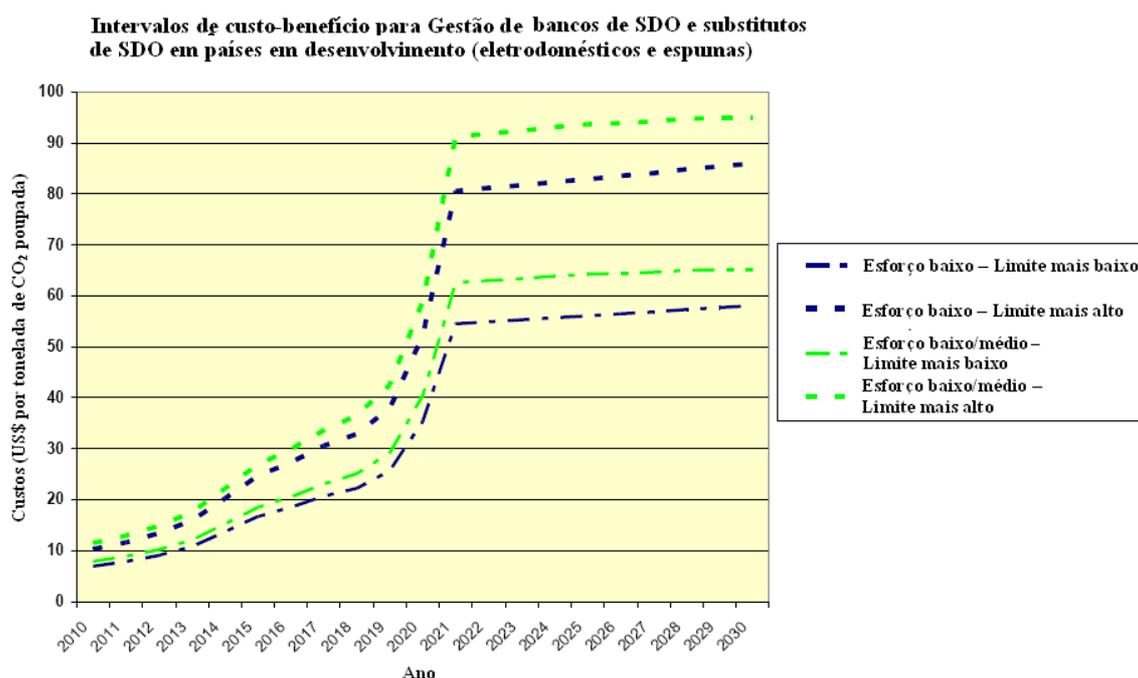
Outro fator de incentivo para a recuperação de SDO em eletrodomésticos na América do Norte foi a introdução de sistemas de eficiência energética, promovidos pelas empresas de fornecimento de energia para reduzir a demanda em regiões vulneráveis do território. No entanto, esses sistemas não são obrigados a recuperar SDO e muitas vezes a escolha de influenciar as decisões de incluir a recuperação de unidades é deixada a cargo da consciência ambiental de empresas individuais. Isso é ainda mais verdadeiro para agentes de expansão do que para refrigerantes, uma vez que os agentes de expansão estão mais adiante na curva de redução de custos.

Experiências até o momento – Países em desenvolvimento

Uma análise adicional dos dados do TEAP para países em desenvolvimento, como a apresentada em julho de 2010, no Workshop de Genebra sobre Gestão de Bancos de SDO, ilustrou a diferença significativa entre a recuperação de CFCs e HCFCs em termos de custo-benefício. Dependendo do local (urbano ou rural), o custo de recuperação e destruição de HCFCs em espumas de eletrodomésticos pode variar de US\$ 60 a US\$ 90 por tCO₂-eq. economizada ou ainda mais em países desenvolvidos onde o transporte e os custos trabalhistas são mais altos. Isso se compara a um valor de US\$ 10 por tCO₂-eq. economizada para CFCs, onde existe a oportunidade para que ambos o refrigerante e o agente de expansão da espuma sejam recuperados ao mesmo tempo. A análise não leva em conta a recuperação do refrigerante HFC-134a no aparelho, que pode, é claro, proporcionar benefícios adicionais para o clima por determinado investimento nas circunstâncias adequadas.



Um dos fatores adicionais a considerar é que não é provável que os fluxos de resíduos sejam segregados por tipo de agente de expansão e que a relação custo-benefício irá variar de acordo com o conjunto de produtos que chegam ao fim da vida útil anualmente. O gráfico a seguir ilustra como isso pode mudar com o tempo para eletrodomésticos nos países em desenvolvimento. Pode ser visto que o período de melhor relação custo-benefício é entre agora e 2020. Após esse tempo, preços mais altos de carbono seriam necessários para sustentar a viabilidade econômica da recuperação de HCFCs predominantemente.



ATIVIDADES DE RECUPERAÇÃO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Experiências realizadas até o momento por região (incl. logística)

Conforme observado nas seções anteriores do presente Capítulo, as opções de recuperação com esforço baixo/médio para espumas no setor da construção encontram-se nos serviços de construção (por exemplo, tubos e isolamento de dutos) e em determinadas formas de construção pré-fabricada (por exemplo, painéis revestidos de aço).

Na prática, a quantidade de blocos fabricados e utilizados mundialmente para isolamento de tubulações e outros produtos dos serviços de construção (isolamento de dutos, por exemplo) é relativamente pequena como proporção do total. Nos casos em que a seção de tubo é produzida a partir de um bloco (ou, na verdade, extrudida a partir de espumas termoplásticas), há potencial de recuperação durante a desativação. Esse também pode ser o caso para a espuma de bloco pré-fabricada para uso em painéis compostos.

Para painéis revestidos de aço, há também alguma experiência relevante, uma vez que esses produtos tendem a ser utilizados em construções na Europa com menor tempo de

vida útil médio do que construções tradicionais (geralmente 30 anos). Embora estes só agora estejam atingindo o fluxo de resíduos em qualquer quantidade, há potencial para a utilização de equipamentos de desmanufatura de refrigeradores ou mesmo para a incineração direta. Na maioria dos casos, a presença dos revestimentos de aço também contribui para o argumento econômico, uma vez que estes podem ser recuperados e reciclados. No entanto, em todos os 27 Estados-membros da União Europeia (UE-27), há uma grande variedade de práticas para resíduos de demolição. Somente onde a segregação dos resíduos já está altamente avançada (por exemplo, na Áustria) a economia de recuperação e destruição está associada. Isso é demonstrado na tabela a seguir, embora deva ser notado que o custo-benefício relativo final (em custo por tonelada de CO₂ economizada) entre eletrodomésticos e painéis dependerá da combinação de agentes de expansão que atinge o fluxo de resíduos:

Relação custo-benefício – Painéis X Eletrodomésticos

Faixa de tonelage	Eletrodomésticos	JTCCM (Japão)	Painéis Kigspan (projetos de teste)	Estudo da Áustria
Desmantelamento	-----	€ 55 – 65	€ 65 – 90	Descontado!
Classificação	-----	€ 3 – 4	€ 4 – 6	Descontado!
Transporte	€ 25 – 35	€ 20 – 25	€ 5 – 10	€ 20 – 30 (baseado em painéis revestidos de aço @ € 200/te)
Destruição	€ 40 – 50	€ 20 – 25	€ 25 – 25	
Total	€ 65 – 85	€ 98 – 119	€ 99 – 141	€ 20 – 30

Por quilo de agente de expansão

Há, portanto, alguma reticência dentro de alguns Estados-membros em realizar qualquer ação no sentido de exigir a recuperação e destruição de SDO em painéis revestidos de aço. No entanto, o potencial de uma abordagem de incentivo, possivelmente baseada na avaliação de carbono, pode revelar-se uma forma mais aceitável para ambas as partes no futuro.

Passando para bancos de SDO mais gerais em espuma de construção, o mais recente estudo realizado pela Building Research Establishment (BRE), no Reino Unido, a avaliação do custo associado à gestão de SDO em construções foi da ordem de £ 200 (US\$ 300) por tCO₂-eq. economizada (BRE, 2010). Deve-se ressaltar que o objetivo principal desse estudo não foi o de revisar custos em detalhe, mas é interessante notar que a avaliação apoia a visão de que os custos médios de recuperação do setor mais amplo da construção seriam proporcionalmente maiores do que aqueles associados a painéis revestidos de aço.

TENDÊNCIAS FUTURAS E FATORES DE INCENTIVO

Financiamento

As tendências futuras no financiamento de carbono estão longe de estarem estabelecidas neste momento após o fracasso da Conferência de Copenhague das Partes para cumprir com um acordo vinculativo sobre o caminho a seguir. Embora a reunião de Cancún tenha endossado opções alternativas de financiamento bilateral e multilateral por meio de Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (NAMAs), ainda não está claro se estas funcionarão em paralelo com mecanismos existentes ou se virão a substituí-los de fato. De qualquer maneira, espera-se que haja uma ampla reforma do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) atual. Por sua vez, isso está levando a uma incerteza considerável sobre a avaliação das economias de carbono a curto e médio prazo. Com isso em mente, a avaliação de carbono no curto prazo depende de avaliações intrínsecas determinadas para a mitigação de carbono a nível nacional, em vez de um preço de carbono baseado apenas no mercado. A única região na qual isso não é rigorosamente verdade é a Europa, onde o Regime Comunitário de Comércio de Emissões (EU ETS) continua a oferecer uma base monetária direta (cerca de € 17 por tonelada de CO₂ em maio de 2011). No entanto, como observado anteriormente neste capítulo, não há alavancagem específica para a recuperação de SDO de eletrodomésticos, uma vez que a medida não seria adicional à base regulamentar (REEE e a reformulação do Regulamento de Ozônio).

Outros fatores de incentivo para a regulamentação

Com incertezas que persistem a respeito da relação custo-benefício da recuperação de agentes de expansão de espumas em vários setores-chave, é improvável que a regulamentação se estenda significativamente nos próximos cinco anos, especialmente porque o acesso ao financiamento público ou privado provavelmente será limitado devido às restrições econômicas atuais. A ligação entre o regulamento proposto e o custo foi aumentada consideravelmente nos últimos anos em função da necessidade de Análises de Impacto Regulatório em diversas jurisdições. Há preocupação em alguns setores da indústria de que penalizar a base de produtos de baixo/médio esforço com o estigma do controle regulatório, enquanto outros produtos de alto esforço provavelmente irão permanecer sem regulamentação poderia conduzir a um comportamento do mercado contraproducente.

APÊNDICE 1: REVISÃO DOS AGENTES DE EXPANSÃO ALTERNATIVOS

Os principais agentes de expansão usados comercialmente como substitutos para HCFCs no setor de espumas, ou considerados para introdução comercial no curto prazo, são apresentados nas seções a seguir, cada um deles com uma tabela de propriedades básicas e informações sobre fornecimento. Essas tabelas são complementadas por parágrafos descritivos que fornecem informações técnicas sobre os agentes de expansão em si e algumas informações sobre padrões de uso e disponibilidade comercial. Note-se que não há referências a restrições regulamentares nesta Seção. Embora o impacto dos regulamentos de SDO seja provavelmente bem conhecido pelo público leitor e não precise ser repetido novamente aqui, ele pode ser útil para observar, por exemplo, que outros fatores ambientais, como a classificação como compostos orgânicos voláteis (COVs) pode ter influência sobre a aceitação local. O leitor é, portanto, encorajado a fazer uma avaliação completa das circunstâncias nacionais e locais na escolha de opções de agente de expansão.

Essas tabelas e os parágrafos descritivos subsequentes fornecem informações técnicas sobre os agentes de expansão em si e algumas informações sobre padrões de uso e disponibilidade comercial. Note-se que não há referências a restrições regulamentares neste Apêndice. Embora o impacto dos Regulamentos de SDO seja provavelmente bem conhecido pelo público leitor e não precise ser repetido novamente aqui, ele pode ser útil para observar, por exemplo, que nem todos os fluorcarbonos nos Estados Unidos são tratados como Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) para fins regulamentares.

As opções de agente de expansão foram divididas em sete famílias diferentes:

- 1.1 HCFCs
- 1.2 Hidrocarbonetos
- 1.3 Dióxido de Carbono
- 1.4 Hidrocarbonetos Oxigenados (Metanoato de Metila, Metilal e Éter Dimetílico)
- 1.5 Hidrocarbonetos Clorados (Cloro de Metileno, Trans-1,2-dicloroetileno e 2-cloropropano)
- 1.6 HFCs Saturados
- 1.7 HFCs Insaturados (HFOs)

1.1 HCFCs

	HCFC-141b	HCFC-142b	HCFC-22
Fórmula química	CH ₃ CFCl ₂	CH ₃ CF ₂ Cl	CHClF ₂
Peso molecular	116,95	100,50	86,47
Ponto de ebulição (°C)	31,9	-9,2	-40,8
Condutividade de gás (mW/mK @ 10°C)	8,8	8,4	9,9
Limites inflamáveis no ar (vol.%)	7,6 - 17,7	6,2 - 17,9	-
TLV ou OEL (ppm) (USA)	500	1000	1000
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	725	2310	1810
Principais produtores	Arkema, Cgangsú 3f, Daikin, Hangzhou Fist, Kangtai Fluorine Chemical, Quzhou Rongqiang, Shandong Dongda, Solvay, Zhejiang Lantian, Zhejiang Sanmei	Arkema, Cgangsú 3f, Daikin, Hangzhou Fist, Kangtai Fluorine Chemical, Shandong Dongda, Solvay, Zhejiang Sanmei	Arkema, Cgangsú 3f, Daikin, DuPont, Honeywell, Produven, Quimobasicos, Quzhou Rongqiang, Shandong Dongyue, Solvay, Zhejiang Sammei, Zhejiang Quhua.

HCFC-141b

Descrição e uso

O HCFC-141b é um líquido à temperatura ambiente e não tem um ponto de inflamação. O HCFC-141b tem sido usado como agente de expansão de espuma em quase todos os setores de espumas rígidas e de pele integral.

Propriedades físicas e químicas⁶

Nome químico:	1,1-dicloro-1-fluoretano
Fórmula:	CH ₃ CFCl ₂
Peso molecular:	116,95
Número EC (EINECS):	605-613-2
Número CAS:	1717-00-6
Densidade (g/cm ³):	1,25 (10 °C)
Ponto de ebulição (°C)	31,9
Pressão de vapor (mmHg)	525 (25 °C)
Condutividade de gás (mW/m.K)	8,8 (10 °C), 9,7 (25 °C)
Densidade de vapor (ar=1)	4,1
Solubilidade na água	1,7 g/L

Propriedades de HSE

Dados toxicológicos:	
WEEL, 8 hr. TWA, ppm	500
Temperatura de autoignição	550 °C
Limites inflamáveis no ar (vol.%)	7,6-17,7
COV	Não
PAG ⁷ (horizonte de tempo de 100 anos)	725
PDO	0,11

Status comercial

Produtores:

Arkema, Changshu 3f, Daikin, Hangzhou Fist, Kangtai Fluorine Chemical, Quzhou Rongqiang, Shandong Dongda, Solvay, Zhejiang Lantian, Zhejiang Sanmei.

⁶ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/2000/247.html>. Consultado em abril de 2011.

⁷ Quarto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudanças Climáticas 2007.

HCFC-142b

Descrição e uso

O HFC-142b é um gás a temperatura ambiente, altamente inflamável. Ele é utilizado como agente de expansão de espumas para espumas de poliestireno extrudido. Pode ser usado isoladamente ou como uma mistura com HCFC-22. Uma mistura de 60/40 HCFC-142b/HCFC-22 (60/40) não é inflamável.

Propriedades físicas e químicas⁸

Nome químico:	1-cloro-1,1-difluoreto
Fórmula:	CH ₃ CF ₂ Cl
Peso molecular:	100,50
Número EC (EINECS):	200-891-8
Número CAS:	75-68-3
Densidade/Gravidade específica	1,107 (25 °C)
Ponto de ebulição (°C)	-9,2
Pressão de vapor (mmHg)	7786 (25 °C)
Condutividade de gás (mW/m.K)	8,4 (10 °C), 11,5 (25 °C)
Densidade de vapor (ar=1)	3,49
Solubilidade na água	Levemente solúvel

Propriedades de HSE

Dados toxicológicos:	
TLV ou OEL (EUA, ppm)	1000
WEEL, 8 hr. TWA, ppm	1000
Temperatura de autoignição	632 °C
Limites inflamáveis no ar (vol.%)	6,2-17,9
Ponto de ignição	-65°C
COV	Não
PAG ⁹ (horizonte de tempo de 100 anos)	2310
PDO	0,066

Status comercial

Produtores:

Arkema, Changshu 3f, Daikin, Hangzhou Fist, Kangtai Fluorine Chemical, Shandong Dongda, Zhejiang Lantian, Zhejiang Sanmei.

⁸ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/2000/131.html>. Consultado em abril de 2011.

⁹ Quarto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudanças Climáticas 2007.

HCFC-22

Descrição e uso

O HCFC-22 é um gás sem cor não inflamável liquefeito sob pressão. Uma de suas principais aplicações é como mistura não inflamável com HCFC-142b para espumas de PU e XPS. Nas espumas rígidas de PU, tem sido utilizado em combinação com o HCFC-141b.

Propriedades físicas e químicas¹⁰

Nome químico:	clorodifluormetano
Fórmula:	CHClF ₂
Peso molecular:	86,47
Número EC (EINECS):	200-871-9
Número CAS:	75-45-6
Densidade (g/cm ³)	1,41 (20 °C)
Ponto de ebulição (°C)	-40,8
Pressão de vapor (mmHg)	6290 (25 °C)
Condutividade de gás (mW/m.K)	9,9 (10°C), 11,0 (30°C)
Densidade de vapor (ar=1)	2,98
Solubilidade na água	3 g/L Solúvel na maioria dos solventes orgânicos

Propriedades de HSE

Dados toxicológicos ¹¹ :	
TLV (como TWA)	1000 ppm, 3540 mg/m ³ (ACGIH 1992-1993)
TWA (NIOSH REL)	1000 ppm (3500 mg/m ³)
Temperatura de decomposição	480 °C
COV	Não
PAG ¹² (horizonte de tempo de 100 anos)	1810
PDO	0,055

Status comercial

Produtores:

Arkema, Changshu 3f, Daikin, DuPont, Honeywell, Produven, Quimobasicos, Quzhou Rongqiang, Shandong Dongyue, Solvay, Zhejiang Sammei, Zhejiang Quhua.

¹⁰ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/2000/83.html>. Consultado em abril de 2011.

¹¹ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/2000/83.html>. Consultado em abril de 2011.

¹² Quarto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudanças Climáticas 2007.

1.2 Hidrocarbonetos

	Ciclopentano	N-pentano	Iso-pentano	Iso-Butano	N-butano
Fórmula química	(CH ₂) ₅	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₃	CH ₃ CH(CH ₃)CHC H ₃	CH ₃ CH(CH ₃)CH	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃
Peso molecular	70,1	72,1	72,1	58,1	58,1
Ponto de ebulição (°C)	49	36,1	28	-11,7	-0,45
Condutividade de gás (mW/mK @ 10 °C)	11,0	14,0	13,0	15,9	13,6
Limites inflamáveis no ar (vol.%)	1,5-8,7	1,4-8,0	1,4-8,3	1,8-8,4	1,8-8,5
TLV ou OEL (ppm) (USA)	600	610	1000	800	800
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	<25	<25	<25	<25	<25
Principais produtores	Chevron Phillips, Haltermann Products, ExxonMobil, Haldia Petrochemical Ltd., Maruzen Petrochemical, Puyang Zhongwei Fine Chemical	Beijing Yanshan Petrochemical Co. Ltd., Chevron Phillips, Haltermann Products, ExxonMobil, Maruzen Petrochemical, Shell	Chevron Phillips, Haltermann Products, ExxonMobil, Jilin Jinlong Industrial Co	Bayer, Chevron Phillips, ExxonMobil, Refinery of Jinling Petrochemical	Chevron Phillips, ExxonMobil, Shanghai Petrochemical Co. Ltd.

^ Medido a 0°C

CICLOPENTANO

Descrição e uso

O ciclopentano é um líquido inflamável sem cor e com odor semelhante ao da gasolina. É um agente de expansão para processos de espuma de poliestireno e poliuretano.

Propriedades físicas e químicas¹³

Nome químico:	Ciclopentano
Fórmula:	C ₅ H ₁₀
Peso molecular:	70,13
Número EC (EINECS):	206-016-6
Número CAS:	287-92-3
Densidade (g/cm ³)	0,746 (20 °C)
Ponto de ebulição (°C)	49
Ponto de fusão (°C)	-93,3
Pressão de vapor (mmHg)	318 (20 °C)
Condutividade de gás (mW/m.K)	11,0 (10°C)
Densidade de vapor (ar=1)	2,42 (20 °C)
Solubilidade na água	Insolúvel

Propriedades de HSE¹⁴

Dados toxicológicos:	
TLV (como TWA) (ACGIH 1993-1994)	600 ppm, 1720 mg/m ³
TWA (NIOSH REL)	600 ppm, 1720 mg/m ³
Limites inflamáveis no ar (%)	1,5-8,7
Temperatura de autoignição	380 °C
Ponto de inflamação (°C)	-42
COV	Sim ¹⁵
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	<25 ¹⁶
PDO	0

Status comercial

Produtores:

Chevron Phillips, Haltermann Products, ExxonMobil, Haldia Petrochemicals Ltd., Maruzen Petrochemical, Puyang Zhongwei Fine Chemical Co., Ltd.

¹³ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/8000/6348.html>. Consultado em abril de 2011.

¹⁴ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/8000/6348.html>. Consultado em abril de 2011.

¹⁵ Sujeito a regulamentações que podem variar de país para país e mesmo de região para região dentro de um país.

¹⁶ O número preciso varia de acordo com as condições atmosféricas locais.

ISOPENTANO

Descrição e uso

O isopentano é um líquido inflamável sem cor e com odor semelhante ao da gasolina. É um agente de expansão para processos de espuma de poliestireno e poliuretano.

Propriedades físicas e químicas¹⁷

Nome químico:	2-metilbutano
Fórmula:	C ₅ H ₁₂
Peso molecular:	72,15
Número EC (EINECS)	201-142-8
Número CAS	78-78-4
Densidade (g/cm ³)	0,620 (20 °C)
Ponto de ebulição (°C)	28
Ponto de fusão (°C)	-160
Pressão de vapor (mmHg)	727 (25 °C)
Condutividade de gás (mW/m.K)	13,0 (10°C)
Densidade de vapor (ar=1)	2,48 (20 °C)
Solubilidade na água	< 0,1 g /100 ml (23°C)

Propriedades de HSE¹⁸

Dados toxicológicos:	
TWA (ACGIH)	600 ppm
Limiar de odor (ppm)	10
Limites inflamáveis no ar (%)	1,4-8,3
Temperatura de autoignição (°C)	420
Ponto de inflamação (°C)	-57
COV	Sim ¹⁹
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	<25 ²⁰
PDO	0

Status comercial

Produtores:

Chevron Phillips, Haltermann Products, ExxonMobil, Jilin Jinlong Industrial Co.

¹⁷ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/2000/45.html>. Consultado em abril de 2011.

¹⁸ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/2000/45.html>. Consultado em abril de 2011.

¹⁹ Sujeito a regulamentações que podem variar de país para país e mesmo de região para região dentro de um país.

²⁰ O número preciso varia de acordo com as condições atmosféricas locais.

n-Pentano

Descrição e uso

O n-Pentano é um líquido inflamável sem cor e com odor semelhante ao da gasolina. É um agente de expansão para processos de espuma de poliestireno e poliuretano.

Propriedades físicas e químicas²¹

Nome químico:	n-Pentano
Fórmula:	C ₅ H ₁₂
Peso molecular:	72,1498
Número EC (EINECS)	203-693-4
Número CAS	109-66-0
Densidade (g/cm ³)	0,62 6 (20 °C)
Ponto de ebulição (°C)	36,1
Ponto de fusão (°C)	-129,7
Pressão de vapor (mmHg)	512 (25 °C)
Condutividade de gás (mW/m.K)	14,0 (10°C)
Densidade de vapor (ar=1)	2,48 (20 °C)
Solubilidade na água	0,04 g /100 ml (23°C)

Propriedades de HSE²²

Dados toxicológicos:	
TWA (OSHA PEL)	1000 ppm, 2950 mg/m ³
TWA (NIOSH REL)	120 ppm, 350 mg/m ³
C (NIOSH REL)	610 ppm, 1800 mg/m ³ (15 minutos)
LEL (NIOSH IDLH)	1500 ppm
Limites inflamáveis no ar (%)	1,4-8,0
Temperatura de autoignição (°C)	285
Ponto de inflamação (°C)	-49
COV	Sim ²³
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	<25 ²⁴
PDO	0

Status comercial

Produtores:

Beijing Yanshan Petrochemical Co. Ltd., Chevron Phillips, Haltermann Products, ExxonMobil, Maruzen Petrochemical, Shell.

²¹ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/8000/7301.html>. Consultado em abril de 2011.

²² <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/8000/7301.html>. Consultado em abril de 2011.

²³ Sujeito a regulamentações que podem variar de país para país e de região para região.

²⁴ O número preciso varia de acordo com as condições atmosféricas locais.

ISOBUTANO

Descrição e uso

O isobutano é um gás sem cor e com um leve odor semelhante ao do petróleo. É um agente de expansão para processos de espuma de polietileno e poliuretano.

Propriedades físicas e químicas²⁵

Nome químico:	Isobutano
Fórmula:	C ₄ H ₁₀
Peso molecular:	58,12
Número EC (EINECS)	200-857-2
Número CAS	75-28-5
Densidade/gravidade específica	0,557
Ponto de ebulição (°C)	-11,7
Ponto de fusão (°C)	-255,3
Pressão de vapor (mmHg)	2580 (25 °C)
Condutividade de gás (mW/m.K)	15,9 (20°C)
Densidade de vapor (ar=1)	2,01 (20 °C)
Solubilidade na água	Levemente solúvel

Propriedades de HSE²⁶

Dados toxicológicos:	
TWA (NIOSH REL)	800 ppm, 1900 mg/m ³
Limites inflamáveis no ar (%)	1,8-8,4
Ponto de inflamação (°C)	-107
Temperatura de autoignição (°C)	460
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	<25 ²⁷
COV	Sim ²⁸
PDO	0

Status comercial

Produtores: Bayer, Chevron Phillips, ExxonMob, Refinery of Jinling Petrochemical

²⁵ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/2000/24.html>. Consultado em abril de 2011.

²⁶ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/2000/24.html>. Consultado em abril de 2011.

²⁷ O número preciso varia de acordo com as condições atmosféricas locais.

²⁸ Sujeito a regulamentações que podem variar de país para país e mesmo de região para região dentro de um país.

n-BUTANO

Descrição e uso

O n-Butano é um gás sem cor e com um leve odor desagradável. É utilizado como agente de expansão para processos de polietileno e de poliestireno extrudido.

Propriedades físicas e químicas²⁹

Nome químico:	n-butano
Fórmula:	C ₄ H ₁₀
Peso molecular:	58,12
Número EC (EINECS)	203-448-7
Número CAS	106-97-8
Densidade (g/cm ³)	0,579 (20 °C)
Ponto de ebulição (°C)	-0,45
Ponto de fusão (°C)	-138,35
Pressão de vapor (mmHg)	1556 (20 °C)
Condutividade de gás (mW/m.K)	13,6 (0°C)
Densidade de vapor (ar=1)	2.046
Solubilidade na água	61mg/L (20 °C)

Propriedades de HSE³⁰

Dados toxicológicos:	
TWA (ACGIH TLV)	800 ppm
TWA (OSHA PEL)	800 ppm
Limiar de odor (ppm)	50000
Limites inflamáveis no ar (%)	1,8-8,5
Ponto de inflamação (°C)	-60
Temperatura de autoignição (°C)	405
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	<25 ³¹
COV	Sim ³²
PDO	0

Status comercial

Produtores:

Bayer, Chevron Phillips, ExxonMob, Refinery of Jinling Petrochemical Chevron Phillips, ExxonMobil, Shanghai Petrochemical Co. Ltd.

²⁹ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/22000/20510.html>. Consultado em abril de 2011.

³⁰ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/22000/20510.html>. Consultado em abril de 2011.

³¹ O número preciso varia de acordo com as condições atmosféricas locais.

³² Sujeito a regulamentações que podem variar de país para país e mesmo de região para região dentro de um país.

1.3 Dióxido de Carbono

DIÓXIDO DE CARBONO

Descrição e uso

O dióxido de carbono (fórmula química CO₂) é um gás em condições normais e existe na atmosfera em pequenas concentrações. É um gás sem cor, sem odor e não inflamável, com reatividade química e toxicidade muito baixas.

Propriedades físicas e químicas³³

Fórmula:	CO ₂
Peso molecular:	44,0
Número EC (EINECS)	204-696-9
Número CAS	124-38-9
Ponto triplo	
Pressão (bar)	5,11
Temperatura (°C)	-56,6
Ponto crítico	
Pressão (bar)	75,2
Temperatura (°C)	31
Volume específico (L/kg)	2,156
Densidade	1,56 g/cm ³ (20 °C)
Calor de vaporização (Kcal/kg)	83,20 (ponto triplo)
Calor de sublimação (Kcal/kg)	136,40 (1 atm)
Calor de formação do gás (Kcal/kg)	2,137 (25°C)

³³ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/8000/6241.html>. Consultado em abril de 2011.

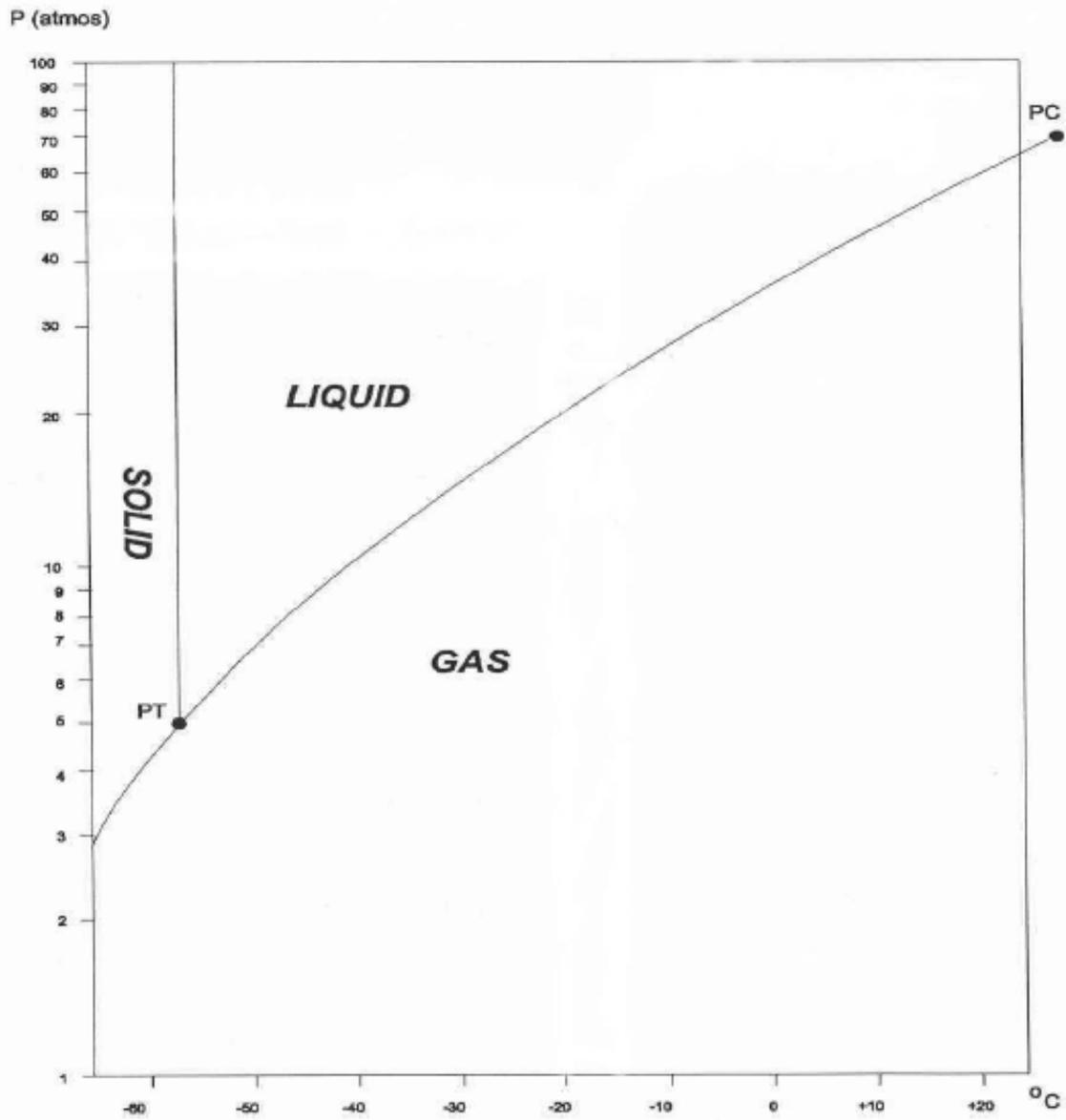


Diagrama de fases do dióxido de carbono

Propriedades de HSE

O dióxido de carbono é tóxico somente em concentrações muito elevadas (5000 ppm = 9000 mg/m³).

Dados comerciais

O dióxido de carbono é um produto químico genérico com inúmeros fornecedores e ampla disponibilidade na maioria dos países. Há duas fontes de fornecimento principais:

- A partir de fontes de mineração (CO₂ natural). O dióxido de carbono existe no subsolo e é produzido pela decomposição de compostos de carbonato, na presença de vapor ou pelo resfriamento repentino do magma, que liberam CO₂ como um gás.
- Gerado quimicamente como subproduto de reações químicas diversas nos principais processos industriais. Uma das principais fontes é o processo de produção de amônia e ureia. As principais impurezas são produtos sulfurosos, gases inertes e água.

Como o CO₂ é normalmente utilizado como aditivo na indústria de alimentos, é fornecido em um grau de pureza muito elevado (alguns fornecedores garantem mais de 99,9%).

O CO₂ é liquefeito para ser armazenado e transportado. Há dois sistemas de armazenamento de dióxido de carbono para uso industrial: garrafas pressurizadas para necessidades de consumo pequenas e tanques de granel para consumos elevados. Todos os grandes fornecedores de gases líquidos oferecem contratos de aluguel para as soluções de armazenamento mencionadas.

- Garrafas pressurizadas: Garrafas de CO₂ líquido ficam a pressões de 70 a 100 bar à temperatura ambiente normal. Dois tipos de garrafas pressurizadas são usados: alimentação inferior, com um tubo de alimentação interno na parte de baixo para a entrega de CO₂ líquido ou alimentação superior, para a entrega de CO₂ gasoso. Evite o aquecimento das garrafas por luz solar ou qualquer outra fonte de calor. As garrafas devem ser manipuladas com cuidado, usando luvas e evitando qualquer contato brusco.

- Tanques de granel: O CO₂ é armazenado em tanques isolados e pressurizados com capacidade de 3 a 50 m³, a uma pressão de cerca de 16 a 18 bar e a uma temperatura de cerca de -30 a -24 °C. O tanque é normalmente equipado com um detector de nível de CO₂ e com um sistema de refrigeração para controlar a pressão dentro dos limites exigidos. Recomenda-se que o tanque seja protegido de condições climáticas adversas e que um *guard rail* seja erguido a seu redor, a fim de restringir o acesso. Todas as partes da instalação elétrica devem ser colocadas debaixo de um teto ou em um local fechado.

Dióxido de carbono como agente de expansão para espumas de poliuretano

Em espumas de poliuretano (slabstock flexível, moldada flexível, pele integral, rígida) o dióxido de carbono é gerado pela reação química entre a água e o isocianato.

1.4 Hidrocarbonetos oxigenados

	Metilal	Metanoato de metila	Éter dimetílico
Fórmula química	CH ₃ OCH ₂ OCH ₃	CH ₃ (HCOO)	CH ₃ OCH ₃
Peso molecular	76,1	60,0	46,07
Ponto de ebulição (°C)	42	31,5	-24,8
Condutividade de gás (mW/mK @ 15 °C)	Não disponível	10,7 (@ 25°C)	15,5
Limites inflamáveis no ar (vol.%)	2,2-19,9	5,0-23,0	3,0-18,6
TLV ou OEL (ppm) (EUA)	1000	100	1000
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	<25	<25*	1
Principais produtores	Spectrum Chemicals, Alcan International, Kimbester (China) Caldic Lambiotte & Cie	BOC Foam Supplies	Vários produtores chineses Air Liquide

METANOATO DE METILA (ECOMATE®)

Descrição e uso

Ecomate® é um líquido sem cor e inflamável com odor etéreo. É uma marca comercial registrada da Foam Supplies, Inc. protegida pela Patente No. 6753357. Ele está sendo promovido principalmente como agente de expansão para espumas rígidas de PU, mas também para espumas flexíveis e elastômeros microcelulares com PDO e PAG zero. Seu uso já foi relatado na refrigeração comercial.

Propriedades físicas e químicas³⁴

Composição química:	Metanoato de metila 97,5%, Metanol 2,5%
Peso molecular:	60
Número EC (EINECS)	203-481-7
Número CAS	107-31-3
Densidade (g/cm ³)	0,98 (20 °C)
Ponto de ebulição (°C)	32,1
Ponto de fusão (°C)	-100
Pressão de vapor (mmHg)	476,4 (20 °C)
Condutividade de gás (mW/m.K)	10,7 (25°C)
Solubilidade na água (%)	33 (20 °C)

Propriedades de HSE³⁵

Dados toxicológicos: Metanoato de metila	
ACGIH, TWA (ppm)	100
ACGIH, TWA (ppm)	100
TWA, OSHA (ppm)	100
Limites inflamáveis (vol. %)	5,0-23,0,5
Ponto de inflamação (°C)	aprox. -28
Temperatura de autoignição (°C)	aprox. 440°C
COV	Não
PAG (100 anos)	Desprezível
PDO	0

Status comercial

Fornecedor atual: BOC, Foam Supplies

³⁴ <http://www.ecomatesystems.com>. Consultado em abril de 2011.

³⁵ MSDS, Foam Supplies, revisado em 12/03/2010.

1.5 Hidrocarbonetos clorados

	Cloreto de metileno	Trans-1,2-dicloroetileno	2-cloropropano
Fórmula química	CH ₂ Cl ₂	ClHC=CHCl	CH ₃ CHClCH ₃
Peso molecular	84,9	97	78,5
Ponto de ebulição (°C)	40	48	35,7
Condutividade de gás (mW/mK @ 10 °C)	Não disponível	Não disponível	Não disponível
Limites inflamáveis no ar (vol.%)	35-100	200	50
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	Não disponível	<25	Não disponível
Principais produtores	Várias fontes	Arkema	Alfa Aesar

CLORETO DE METILENO

Descrição e uso

O cloreto de metileno, ou diclorometano, é um líquido transparente, sem cor e com um odor penetrante semelhante ao do éter. Puro, o cloreto de metileno seco é muito estável e não produz corrosão em aço doce ou galvanizado, cobre, níquel, chumbo ou estanho. Na presença de água, no entanto, pode sofrer hidrólise muito lenta para produzir pequenas quantidades de cloreto de hidrogênio, o que pode levar à corrosão. Esse processo é acelerado por temperaturas elevadas e pela presença de alcalinos ou metais. O cloreto de metileno comercialmente disponível é normalmente inibido com pequenas quantidades de estabilizadores para evitar este processo. Os estabilizadores típicos são óxido de propileno e cicloexano. O baixo potencial de criação fotoquímica de ozônio (PCOP) e a falta de potencial de destruição de ozônio (PDO) fizeram dele um importante substituto para os CFCs na fabricação de espuma flexível de poliuretano.

Propriedades físicas e químicas³⁶

Nome químico:	Diclorometano
Fórmula:	CH ₂ Cl ₂
Peso molecular:	84,93
Número EC (EINECS)	200-838-9
Número CAS	75-09-2
Densidade (g/cm ³)	1,322 (20 °C)
Ponto de ebulição (°C)	39,8
Ponto de fusão (°C)	-95
Viscosidade (cp)	0,41 (25°C)
Índice de refração	1,4244 (20 °C)
Pressão de vapor (mmHg)	349 (20 °C)
Densidade de vapor (ar=1)	2,9
Solubilidade na água	10-50 mg/ml

Propriedades de HSE

Dados toxicológicos:	
TLV (ppm)	50
OSHA PEL (ppm)	25
Ponto de inflamação	-4 °C
Temperatura de autoignição	605 °C
LFL (%)	13
UFL (%)	223
PAG ³⁷ (horizonte de tempo de 100 anos)	8,7

O potencial carcinogênico do MC é uma questão controversa. Há um estudo, realizado para o Programa Nacional de Toxicologia (NTP) que sugere haver efeitos cancerígenos de doses altas ao longo da vida de camundongos. Outros bioensaios com diferentes animais (rato, hamster) e em concentrações mais baixas não confirmaram essas descobertas, indicando que a associação entre exposição ao MC e o potencial carcinogênico pode ser exclusiva a camundongos e ainda assim relacionada à concentração. Esse resultado foi apoiado por pesquisas posteriores, concluindo que

³⁶ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/8000/6380.html>. Consultado em abril de 2011.

³⁷ Quarto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudanças climáticas 2007.

existem diferenças importantes no metabolismo dependendo da espécie, estando de um lado os camundongos e de outro lado os ratos, hamsters ou seres humanos. Foram apresentadas evidências de que o caminho GST do metabolismo está ligado à resposta cancerígena observada em camundongos. Uma vez que os humanos mostram uma capacidade muito limitada de metabolismo de MC pelo caminho GST, o camundongo é um ruim substituto para a avaliação dos riscos em humanos.

Os esforços de pesquisa mencionados levaram ao desenvolvimento de um modelo farmacocinético de base fisiológica (PB-PK) para avaliar o risco de câncer associado à exposição ao MC para seres humanos. A aplicação desse modelo em dados experimentais de animais concluiu que não existe risco significativo para o homem com os padrões de higiene em vigor.

A EPA dos EUA aceitou o modelo PB-PK, e o utilizou em seu projeto de Atualização do Documento de Avaliação de Saúde (HAD, na sigla em inglês) para o cloreto de metileno. O Science Advisory Board da EPA também indicou aprovação. A OSHA, no entanto, indicou reservas e baseou sua proposta de revisão do padrão de exposição ocupacional para MC no estudo do NTP mencionado anteriormente. A indústria apresentou críticas a essa proposta e conseguiu que a agência reconsiderasse. Em decorrência disso, a data em que o novo padrão deve entrar em vigor também foi adiada.

Estudos de mortalidade na indústria não apresentam qualquer evidência de que o cloreto de metileno, mesmo em concentrações relativamente elevadas (100-350 ppm, com picos de até 10.000 ppm), represente um risco de câncer ou isquemia cardiovascular para seres humanos.

Em janeiro de 1997, a Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA) dos Estados Unidos adotou um padrão abrangente para a exposição ao cloreto de metileno no local de trabalho. A norma estabelece limites de exposição permitidos (PELs) de 25 ppm, em um tempo médio ponderado (TWA) de 8 horas e 125 ppm como um limite de exposição de curta duração (STEL). As datas para o cumprimento da norma variam de acordo com o setor da indústria e o tamanho da empresa; todas as empresas devem estar em conformidade com a norma até abril de 2000. A norma também exige vigilância médica e contém uma série de outras cláusulas acessórias. O valor limite de tolerância (TLV) da ACGIH é de 50 ppm para um TWA de exposição de 8 horas. Em 1987, a Comissão de Segurança de Produtos de Consumo (CPSC) dos Estados Unidos publicou uma Declaração de Interpretação e Política de Aplicação para produtos domésticos que contenham cloreto de metileno. Essa declaração de política estabelece diretrizes para a rotulagem desses produtos sob a Lei Federal de Substâncias Perigosas. Além disso, o uso de cloreto de metileno em produtos cosméticos e alimentícios é restrito pelo Food and Drug Administration (FDA).

A classificação da UE foi estabelecida como Carc. Cat. 3/Xn;R40 na vigésima terceira ATP em 1997. A classificação foi implementada pelos Estados-membros até dezembro de 1998.

Status comercial

O cloreto de metileno é um produto químico genérico e disponível a partir de numerosas fontes de produção e comércio. O uso de material reciclado em aplicações de espuma de PU não é recomendado em função de um possível efeito catalítico de traços de metais dissolvidos. Vários fabricantes, como a Dow Chemical e a Solvay oferecem versões de produtos estabilizadas especificamente para o uso em espumas de PU.

TRANS-1,2-DICLOROETILENO

Descrição e uso

O trans-1,2-dicloroetileno é um líquido à temperatura ambiente e é recomendado para uso em uma variedade de aplicações para expansão de espuma de poliuretano, principalmente em combinação com HFC-134a e HFC-245fa. Estudos demonstraram que o trans-1,2-dicloroetileno modera o efeito de formação de espuma, especialmente com HFC-134a, e melhora significativamente sua eficiência de expansão.

Propriedades físicas e químicas³⁸

Nome químico:	trans-1,2-dicloroetileno
Fórmula:	C ₂ H ₂ Cl ₂
Peso molecular:	96,94
Número EC (EINECS)	205-860-2
Número CAS	156-60-5
Gravidade específica:	1,26
Ponto de ebulição (°C)	48
Pressão de vapor @ 25 °C (mm Hg)	333
Calor de vaporização (kJ/mol)	30,3
Densidade de vapor (ar=1) @ 20 °C	1,8
Solubilidade @ 25 °C	0,63

Propriedades de HSE³⁹

Dados toxicológicos:	
TLV	200 ppm (ACGIH TLV®, TWA de 8 hs.)
Limites inflamáveis no ar (volume %)	6,7-18
Ponto de inflamação (°C)	-12
Energia de ignição mínima @ 25 °C (mJ)	40,5
Temperatura de autoignição (°C)	460 °C
Composto Orgânico Volátil	Sim
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	Desprezível
PDO	0

Status comercial

Produtores atuais: Arkema

³⁸ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/2000/108.html>. Consultado em abril de 2011. MSDS, Arkema, Revisado em 03/04/2006.

³⁹ MSDS, Arkema, Revisado em 03/04/2006.

1.6 HFCs Saturados

	HFC-134a	HFC-152a	HFC-245fa	HFC-365mfc	HFC-227ea
Fórmula química	CH ₂ FCF ₃	CHF ₂ CH ₃	CF ₃ CH ₂ CHF ₂	CF ₃ CH ₂ C _{F2} CH ₃	CF ₃ CHF ₂ CF ₃
Peso molecular	102	66	134	148	170
Ponto de ebulição (°C)	-26,2	-25	15,3	40,2	-16,5
Condutividade de gás (mW/mK @ 10 °C)	12,4	14,3*	12,5*	10,6*	11,6
Limites inflamáveis no ar (vol.%)	Nenhum	3,9-16,9	Nenhum	3,8-13,3	Nenhum
TLV ou OEL (ppm) (USA)	1000	1000	N/A	N/A	1000
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)^	1430	124	1030	794	3220
Principais produtores	Arkema, Daikin, DuPont, Honeywell, Kangtai Fluorine Chemical, Produven, Quzhou Rongqiang, Shandong Dongyue, Solvay, Zhejiang Guomao, Zhejiang Lantian, Zhejiang Sammei, Zhejiang Quhua	Changshu 3f, Daikin, DuPont, Hangzhou Fist, Solvay, Shandong Dongyue, Zhejiang Lantian, Zhejiang Sammei.	Honeywell, Central Glass, Zhejiang Lantian	Solvay	Solvay

* Medido a 24-25 °C

HFC-134a

Descrição e uso

O HFC-134a é um gás não inflamável a temperatura ambiente. É o fluoroquímico com PDO zero utilizado mais amplamente e é um refrigerante estabelecido. O HCFC-141b tem sido usado como agente de expansão de espuma em quase todos os setores de espumas, especialmente em espumas rígidas e de pele integral. Ele também é usado para espuma de poliestireno extrudido na Europa e na América do Norte.

Propriedades físicas e químicas⁴⁰

Nome químico:	1,1,1,2-Tetrafluoretano
Fórmula:	CF ₃ CH ₂ F
Peso molecular:	102,03
Número EC (EINECS)	212-377-0
Número CAS	811-97-2
Densidade (g/cm ³)	1,2076 (25 °C)
Ponto de ebulição (°C)	-26,2
Pressão de vapor (mmHg)	4730
Condutividade de gás (mW/m.K)	12,4 (10 °C), 13,7 (25 °C)
Densidade de vapor (ar=1)	3,18
Solubilidade na água	1,5 g/L

Propriedades de HSE

Dados toxicológicos ⁴¹ :	
TLV ou OEL (EUA) (ppm)	1000
WEEL, 8 hr. TWA, ppm	1000
Ponto de inflamação	-79 °C
Limites inflamáveis no ar (vol. %)	Nenhum
COV	Não
PAG ⁴² (horizonte de tempo de 100 anos)	1430
PDO	0

Status comercial

Produtores: Arkema, Daikin, DuPont, Honeywell, Kangtai Fluorine Chemical, Produven, Quzhou Rongqiang, Shandong Dongyue, Solvay, Zhejiang Guomao, Zhejiang Lantian, Zhejiang Sammei, Zhejiang Quhua.

⁴⁰ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/6000/5730.html>. Consultado em abril de 2011.

⁴¹ MSDS, DuPont, Revisado em 18/04/2007

⁴² Quarto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudanças climáticas 2007.

HFC-152a

Descrição e uso

O HFC-152a é um gás inflamável a temperatura ambiente. Tem uso limitado em espumas de poliuretano, pois é inflamável e difunde-se para fora da espuma rapidamente, impedindo-a de oferecer valor de isolamento térmico adicional a longo prazo. No entanto, o HFC-152a é amplamente usado como agente de expansão para sistemas de espuma de PU de um componente, nos quais a espuma é utilizada principalmente para preencher uma cavidade e o valor de isolamento térmico não é o parâmetro mais importante.

O HFC-152a é usado com HFC-134a em painéis boardstock de XPS. Embora não ofereça valor de isolamento térmico de longo prazo para o produto, é usado principalmente para reduzir a densidade da espuma de HFC-134a e para melhorar as condições de processamento. Ele também é usado como agente de expansão para folhas de poliestireno extrudido, utilizadas principalmente em aplicações de embalagem de alimentos. É o único HFC aprovado pelo Food and Drug Administration (FDA) dos EUA para esta aplicação.

Propriedades físicas e químicas⁴³

Nome químico:	1,1-Difluoretano
Fórmula:	CH ₃ CHF ₂
Peso molecular:	66,05
Número EC (EINECS)	200-866-1
Número CAS	75-37-6
Densidade (g/cm ³)	0,886 (30 °C)
Ponto de ebulição (°C)	-25
Pressão de vapor (mmHg)	4100 (25 °C)
Condutividade de gás (mW/m.K)	14,3 (25 °C)

Propriedades de HSE

Dados toxicológicos:	
TWA recomendado pela AIHA (ppm)	1000
Limites inflamáveis no ar (vol. %)	3,7-10
Ponto de inflamação	-81 °C
COV	Não
PAG ⁴⁴ (horizonte de tempo de 100 anos)	124
PDO	0

Status comercial

Produtores atuais: Changshu 3f, Daikin, DuPont, Hangzhou Fist, Solvay, Shandong Dongyue, Zhejiang Lantian, Zhejiang Sammei.

⁴³ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/2000/32.html>. Consultado em abril de 2011.

⁴⁴ Quarto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudanças climáticas 2007.

HFC-245fa

Descrição e uso

O HFC-245fa é um líquido não inflamável com ponto de ebulição abaixo da temperatura ambiente. É utilizado para diversas aplicações de expansão de espumas.

Propriedades físicas e químicas⁴⁵

Nome químico:	1,1,1,3,3-Pentafluoropropano
Fórmula:	CF ₃ CH ₂ CHF ₂
Peso molecular:	134,05
Número EC (EINECS)	610-280-1
Número CAS	460-73-1
Densidade (g/cm ³)	1,106 (97 °C)
Ponto de ebulição ⁴⁶ (°C)	15,3
Ponto de congelamento (°C)	-103
Pressão de vapor (KPa)	123 (20 °C)
Condutividade de gás (mW/m.K)	12,05 (20 °C)
Solubilidade na água	0,13 g/L

Propriedades de HSE

Dados toxicológicos:	
WEEL, TWA de 8 hs. (ppm)	300
<i>Limites inflamáveis no ar (vol. %)⁴⁷</i>	Nenhum
<i>Ponto de inflamação (°C)⁴⁸</i>	Nenhum
COV	Não
PAG ⁴⁹ (horizonte de tempo de 100 anos)	1030
PDO	0

Status comercial

Produtores atuais: Honeywell, Central Glass, Zhejiang Lantian.

⁴⁵ <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/Chemicals/24000/22949.html>. Consultado em abril de 2011.

⁴⁶ MSDS, Honeywell, Revisado em 28/08/2007.

⁴⁷ Medido a temperatura e pressão ambiente usando ASTM E681-85 com ignição por fósforo aquecida eletricamente, ignição por fásca e ignição por fio fundido; ar ambiente.

⁴⁸ ASTM D 3828-87; ASTM D1310-86.

⁴⁹ Quarto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudanças climáticas 2007.

HFC - 365mfc

Descrição e uso

O HFC - 365mfc é um líquido a temperatura ambiente com baixa condutividade térmica na fase de gás. É utilizado para diversas aplicações de expansão de espumas.

Propriedades físicas e químicas⁵⁰

Nome químico:	1,1,1,3,3-Pentafluorbutano
Fórmula:	CF ₃ CH ₂ CF ₂ CH ₃
Peso molecular:	148,09
Número EC (EINECS)	430-250-1
Número CAS	406-58-6
Densidade/gravidade específica	1,26 (25 °C)
Ponto de ebulição (°C)	40,2
Calor de vaporização (kJ/kg.K)	177
Condutividade de gás (mW/m.K)	10,6 (25 °C)
Densidade de vapor (ar = 1)	5,11
Solubilidade na água (mg/L) ⁵¹	26,1 (25 °C)

Propriedades de HSE

Dados toxicológicos:	
SAEL (Limite de exposição aceitável da Solvay) 2007 ⁵² (ppm)	1000
Limites inflamáveis no ar (vol. %)	3,6-13,3
Energia mínima de ignição	10,8 (25 °C)
Ponto de inflamação (°C)	<-27
Temperatura de autoignição (°C)	594
PAG ⁵³ (horizonte de tempo de 100 anos)	794
PDO	0

Status comercial

Produtores atuais: Solvay.

Restrições geográficas

O uso de HFC-365mfc pode ficar no escopo da Patente Europeia 381 986 e de seus correlatos, todos de posse da Bayer. A Solvay adquiriu da Bayer o direito de sublicenciar seus clientes com essas patentes em todos os países exceto Estados Unidos e Canadá.

⁵⁰ http://www.solvaychemicals.co.uk/product/datasheet/0,0,-_EN-1000798,00.html. Consultado em abril de 2011.

⁵¹ <http://esc.syrres.com/interkow/webprop.exe?CAS=406-58-6>. Consultado em abril de 2011.

⁵² MSDS, Solvay, Publicado em 16/09/2008.

⁵³ Quarto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudanças climáticas 2007.

HFC 227ea

Descrição e uso

O HFC-227ea é utilizado como componente em misturas de agente de expansão não inflamáveis HFC-365mfc. Seu principal propósito é suprimir a inflamabilidade (ponto de inflamação) do agente de expansão e/ou do sistema de polióis. Estão disponíveis comercialmente misturas com taxas de 7% e 13% de HFC-227ea em peso.

Propriedades físicas e químicas⁵⁴

Nome químico:	1,1,1,2,3,3,3-Heptafluorpropano
Fórmula:	CF ₃ CHF ₂ CF ₃
Peso molecular:	170
Número EC (EINECS)	207-079-2
Número CAS	431-89-0
Densidade/gravidade específica	1,54
Ponto de ebulição (°C)	-16,5
Pressão de vapor @ 25 °C (bar)	4,6
Condutividade de gás (mW/m.K a 10 °C)	11,6
Condutividade de gás (mW/m.K a 25 °C)	12,7
Densidade de vapor (ar = 1)	30,2 (25 °C)
Solubilidade na água	≈ 0,4 g/l (20 °C)
Temperatura de decomposição	425 °C
Limites inflamáveis no ar (vol. %)	nenhum

Propriedades de HSE

Dados toxicológicos:	
TWA da AEL	1000 ppm ⁵⁵
COV	Não
PAG ⁵⁶ (horizonte de tempo de 100 anos)	3220
PDO	0

Status comercial

Produtores atuais: Solvay.

⁵⁴ Informações do fabricante, Solvay Fluor GmbH, Alemanha.

http://www.solvaychemicals.com/EN/products/Fluor/Hydrofluorocarbons_HFC/Solkane227technicalgrade.aspx. Consultado em abril de 2011.

⁵⁵ Informações do fabricante, Solvay Fluor GmbH, Alemanha. MSDS, Rem Tec International, Revisado em 30.11.2009.

⁵⁶ Quarto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudanças climáticas 2007.

1.7 HFCs Insaturados (HFOs)

	HFO-1234ze	FEA-1100	HBA-2	AFA-L1
Fórmula química:	Trans-CF ₃ CH=CHF	Cis-CF ₃ - CH=CH- CF ₃	Não divulgada	Não divulgada
Peso molecular:	114	164	Não divulgado	Não divulgado
Ponto de ebulição (°C)	-19	32	15,3<T<32,1	10,0<T<30,0
Condutividade de gás (mW/m.K a 10 °C)	13,0	10,7	Não informada	15,9
Limites inflamáveis no ar (vol. %)	Nenhum a 28 °C	Nenhum	Nenhum	Nenhum
TLV ou OEL (ppm) (EUA)	Não publicado	9,7	Não divulgado	Não divulgado
PAG (horizonte de tempo de 100 anos)	6	5	<15	<15
Principais produtores	Honeywell	DuPont	Honeywell	Arkema

^Limites de chama de 7,0-9,5 a 30 °C são citados

APÊNDICE 2: ALOCAÇÃO DE PAÍSES A REGIÕES

América Latina e Caribe (ALC)	Antígua e Barbuda Argentina Bahamas Barbados Belize Bolívia Brasil Chile Colômbia Costa Rica Cuba Dominica República Dominicana Equador El Salvador Granada Guatemala Guiana Haiti Honduras Jamaica México Nicarágua Panamá Paraguai Peru São Cristóvão e Nevis Santa Lúcia São Vicente e Granadinas Suriname Trinidad e Tobago Uruguai Venezuela
Oriente Médio/Norte da África (MENA)	Argélia Bahrain Egito Irã, República Islâmica do Iraque Israel Jordânia Kuwait Líbano Jamahiriya Árabe Líbia Mauritânia

	<p>Marrocos Omã Palestina Catar Arábia Saudita República Árabe da Síria Tunísia Turquia Emirados Árabes Unidos Iêmen</p>
África Subsaariana (SSA)	<p>Angola Benin Botswana Burkina Faso Burundi Camarões Cabo Verde República Centro-Africana Chade Comores Congo Congo, República Democrática do Costa do Marfim Djibouti Guiné Equatorial Eritreia Etiópia Gabão Gâmbia Gana Guiné Guiné-Bissau Quênia Lesoto Libéria Madagascar Malavi Mali Maurícia Moçambique Namíbia Níger Nigéria Ruanda São Tomé e Príncipe Senegal Seychelles</p>

	<p>Serra Leoa Somália África do Sul Sudão Suazilândia Tanzânia, República Unida da Togo Uganda Zâmbia Zimbábue</p>
Ásia Central e Sul da Ásia (SCA)	<p>Afeganistão Bangladesh Butão Índia Maldivas Nepal Paquistão Sri Lanka</p>
Sudeste da Ásia (SEA)	<p>Brunei Darussalam Camboja Indonésia República Popular Democrática do Laos Malásia Mianmar Filipinas Cingapura Tailândia Vietnã</p>
Nordeste da Ásia (NEA)	<p>China (incl. Taiwan) Mongólia Coreia do Norte Coreia do Sul</p>
Japão	Japão
Europa	<p>Albânia Andorra Áustria Bósnia e Herzegovina Bélgica Bulgária Croácia Chipre República Checa Dinamarca Estônia Finlândia França</p>

	<p> Alemanha Grécia Santa Sé Hungria Letônia Islândia Irlanda Itália Liechtenstein Lituânia Luxemburgo Macedônia Malta Moldávia Mônaco Holanda Noruega Polônia Portugal Romênia San Marino Eslováquia Eslovênia Espanha Suécia Suíça Reino Unido Iugoslávia </p>
América do Norte	<p> Canadá Estados Unidos </p>
Austrália, Nova Zelândia e Pacífico (ANZP)	<p> Austrália Ilhas Cook Fiji Quiribati Ilhas Marshall Micronésia Nauru Nova Zelândia Niue Palau Papua Nova Guiné Samoa Ilhas Salomão Tonga Tuvalu Vanuatu </p>

Rússia e países da antiga União Soviética	Armênia Azerbaijão Bielorrússia Geórgia Cazaquistão Quirguistão Federação Russa Tajiquistão Turcomenistão Ucrânia Uzbequistão
---	---

APÊNDICE 3: COMITÊ DE OPÇÕES TÉCNICAS PARA ESPUMAS DO PNUMA

Membro do comitê	Afiliação	País
Sr. Terry Armit	Hennecke	Reino Unido
Sr. Paul Ashford, codiretor	Caleb Management Services Limited	Reino Unido
Sr. Chris Bloom	Dow	Estados Unidos
Sr. Roy Chowdhury	Australian Urethane Systems	Austrália
Sr. Kiyoshi Hara	Japanese Urethane Manufacturers Assoc J	Japão
Sr. Mike Hayslett	Maytag/AHAM	Estados Unidos
Dr. Mike Jeffs	Consultor	Bélgica
Sr. Candido Lomba	ABRIPUR	Brasil
Sr. Yehia Lotfi	Technocom	Egito
Sr. Christoph Meurer	Solvay	Alemanha
Srta. Francesca Pignagnoli	Dow	Itália
Sr. Miguel Quintero, codiretor	Consultor	Colômbia
Sr. Ulrich Schmidt	Haltermann Products	Alemanha
Sr. Enshang Sheng	Huntsman Polyurethanes	China
Srta. Helen Walter-Terrinoni	Du Pont	Estados Unidos
Sr. Tom Werkema	Arkema	Estados Unidos
Sr. Dave Williams	Honeywell	Estados Unidos
Sr. Allen Zhang	Owens Corning	China

{PARTICULAR}

Secretariado do Ozônio
Programa das Nações Unidas para o Meio-Ambiente
(PNUMA)
Caixa postal 30552-00100, Nairobi, Quênia
Nº. tel.: +254 (0) 20 762 3611
Website: <http://ozone.unep.org>
<http://ozone.unmfs.org>
E-mail: ozoneinfo@unep.org

www.unep.org

Programa das Nações Unidas para o Meio-Ambiente
Caixa postal 30552, Nairobi 00100, Quênia
Tel: +254-(0)20-762 1234
Fax: +254-(0)20-762 3927
E-mail: unep@unep.org
web: www.unep.org

