



Hexabromociclododecano
(HBCDD ou HBCD - *hexabromocyclododecane*)

CONSULTOR: Adan Santos Lino

Inventário de hexabromociclododecano (HBCDD; HBCD – *hexabromocyclododecane*) no Brasil, entregue como parte produto final do convênio entre a Fundação Educacional Ciência e Desenvolvimento (FECD) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Rio de Janeiro, dezembro de 2020

**SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 HBCDD como Poluente Orgânico Persistente.....	9
1.2 Produção.....	11
1.3 Aplicações	12
1.4. Alternativas	13
2. INVENTÁRIO DO HBCDD NO BRASIL	16
2.1 Produção.....	18
2.2 Comércio.....	18
2.2.1 Comercialização nacional e internacional de HBCDD.....	18
2.2.2 Comercialização de produtos que possam conter HBCDD	20
2.3 Estimativas Gerais.....	22
2.4 Aplicações e Indústrias nacionais	23
3. OCORRÊNCIA DE HBCDD NO BRASIL.....	26
3.1 HBCDD em matrizes ambientais	27
3.2 HBCDD em bens de consumo	28
4 PROGRESSO OBTIDO A PARTIR DO PRIMEIRO PLANO DE AÇÃO.....	29
5 PLANO DE AÇÃO	30
6 REFERÊNCIAS	30
7 ANEXO 34	
7.1 Tabelas de Balanço Comercial.....	34
7.2 Protocolo de revisão sistemática	35
7.3 Tabela do número de indústrias nacionais com possível aplicação de HBCDD	38



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diferentes formas de comercialização do HBCDD. Fonte: alibaba.com 11

Figura 2: Balanço comercial (importação e exportação) de janeiro de 1997 a dezembro de 2019 em Tonelada Líquida de produtos registrados sob o código de Nomenclatura Comum da Mercosul (NCM) 29035990; 29038900 e 29038990 - derivados halogenados dos hidrocarbonetos ciclânicos, ciclênicos ou cicloterpênicos. Fonte Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>) 19

Figura 3: Balanço comercial (importação e exportação) de janeiro de 2011 a dezembro de 2019 em Tonelada Líquida de produtos registrados sob o código de Nomenclatura Comum da Mercosul (NCM) 39259010 - Artefatos para a apetrechamento de construções, de plásticos, de poliestireno expandido (EPS). Fonte Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>) 21

Figura 4: Dados de produção e CAN (Consumo Aparente Nacional) = (Produção + Importação) – Exportação. De 1999 a 2017, o CAN e a produção de EPS cresceram, respectivamente, a uma taxa anual de 4,0% e 4,8%. Na mesma base de comparação, as exportações cresceram a 6,3% a.a. e as importações a 3,2% a.a. Fonte: www.epsbrasil.eco.br 22

Figura 5: Número e percentual de indústrias por unidades federativas que possam eventualmente fazer aplicação de HBCDD em seus processos ou em seus produtos. 26

Figura 6: Fluxograma do protocolo seguido no processo de revisão sistemática da ocorrência de HBCDD no Brasil..... 27



LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Possíveis nomenclaturas (químicas, genéricas e comerciais), fórmula química e estrutural, algumas propriedades do HBCDD (mistura técnica) e possíveis números do Serviço de Resumo Químico (CAS – Chemical Abstract Service) (UNEP, 2010a)..... 7

Tabela 1: Lista de instituições potencialmente envolvidas em alguma etapa do ciclo de vida do hexabromociclododecano (HBCDD – hexabromocyclododecane) consultadas pelo Ministério do Meio Ambiente: Número de ofícios enviados, número de empresas privadas, número de associações e número de respostas..... 17



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química)
- ABICHAMA (Associação Brasileira da Indústria dos Retardantes de Chama)
- ABRAPEX (Associação Brasileira de Poliestireno Expandido)
- CAN (consumo aparente nacional)
- CEMPRE (Cadastro Central de Empresas)
- CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, atual Companhia Ambiental do Estado de São Paulo)
- CDT (ciclododecatrieno)
- CFCs (*chlorofluorocarbons* – cloro fluorcarbono)
- CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas)
- EPS (*expanded polystyrene* – poliestireno expandido)
- FIOCRUZ (Fundação Oswaldo Cruz)
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente)
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)
- HBCDD (*hexabromocyclododecane* – hexabromociclododecano)
- HCFCs (*hydrochlorofluorocarbons* – hidrocloro fluorcarbonos)
- HIPS (*High impact polystyrene* – poliestireno de alto impacto)
- MMA (Ministério do Meio Ambiente)
- ME (Ministério da Economia)
- NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul)
- NIP (*National Implementation Plan* – Plano Nacional de Implementação)
- OMS (Organização Mundial da Saúde)
- PBB (*polybrominated biphenyls* – bifenilas polibromadas)
- PBDEs – (*polybrominated diphenyl ether* – éteres difenílicos polibromados)
- POPs (Poluentes Orgânicos Persistentes)
- PPE/HIPS (*polyphenylene ether/ high impact polystyrene* - éter de polifenileno/poliestireno de alto impacto)
- SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática)
- XPS (*extrudes polystyrene* – poliestireno extrudado)



1. INTRODUÇÃO

O hexabromociclododecano (HBCDD¹ – *hexabromocyclododecane*) é um hidrocarboneto cicloalifático produzido pela bromação de quatro isômeros de 1,5,9 ciclododecatrieno (CDT) (trans,trans,trans-,trans,trans,cis-trans, cis,cis-,e cis,cis,cis-CDT). É uma substância sintética, sem ocorrência natural conhecida. A fórmula estrutural do HBCDD é uma estrutura de anel cíclico ligada a átomos de bromo. A fórmula molecular do composto é C₁₂H₁₈Br₆ e sua massa molecular é 641 g/mol. 1,2,5,6,9,10-HBCDD têm seis centros estereogênicos e, em teoria, 16 estereoisômeros podem ser formados (HEEB et al. 2005). No entanto, para o HBCDD comercial, apenas três dos estereoisômeros são comumente encontrados, nominalmente, alfa (α-), beta (β-) e gama (γ-) HBCDD. Dependendo do fabricante e do método de produção usado, o HBCDD técnico consiste de 70 a 95 % de γ-HBCDD e 3 a 30 % de α- e β-HBCDD.

Quadro 1: Possíveis nomenclaturas (químicas, genéricas e comerciais), fórmula química e estrutural, algumas propriedades do HBCDD (mistura técnica) e possíveis números do Serviço de Resumo Químico (CAS – Chemical Abstract Service) (UNEP, 2010a).

Nome comum (abreviação em inglês)	Hexabromociclododecano (HBCDD; HBCD)
Nomenclatura IUPAC	(1R,2R,5R,6S,9S,10R)-1,2,5,6,9,10-hexabromociclododecano
Exemplo da estrutura molecular	

¹ *A fim de padronizar e facilitar futuras buscas de informação a respeito do hexabromociclododecano, a sigla em inglês HBCDD (*hexabromocyclododecane*) foi adotada ao longo do texto.



Fórmula e massa molecular	C ₁₂ H ₁₈ Br ₆ ; 641g/mol
Solubilidade em água	3,4 µg L ⁻¹
Pressão de vapor	6,3x10 ⁻⁵ Pa a 21 °C
Ponto de Fusão	186 °C (175-195 °C dependendo do isômero)
Log k_{ow}	5,63
Constante da Lei de Henry	7,40x10 ⁻⁶ atm·m ³ mol ⁻¹
Sinônimos	1,2,5,6,9,10-Hexabromocyclododecane; HBCD; ; HBCD HT; 1.2.5.6.9.10-H; Hexabromocyclododecane HT; Alpha Hexabromocyclododecane; Hexabromocyclododecane SP-75C; Cyclododecane, 1,2,5,6,9,10-hexabromo; 1,2,5,6,9,10-Hexabromocyclododecane HBCD; 1,2,5,6,9,10-Hexabromocyclodecan; 1,2,5,6,9,10-hexabromociclododecano; Cyclododecane; 1,2,5,6,9,10-hexabromo; Cyclododecane; 1,2,5,6,9,10-HEXABROMO; Hexabromocyclododecane; Hexabromo; SAYTEX(R) HBCD FLAME RETARDANT; SAYTEX HBCD; Hexabromocyclododecane, Tech; UNII-11I055K0BP; 11I055K0BP; Cyclododecane, 1,2,5,6,9,10-hexabromo-;(1R,2R,5R,6S,9S,10R)-(+)-gamma-HBCD; gamma-Hexabromocyclododecane; gamma-HBCD; (+)-gamma-Hexabromocyclododecane; gamma-Hexabromocyclododecane, (+)-;(1R,2R,5R,6S,9S,10R)-rel-1,2,5,6,9,10-Hexabromocyclododecane
Números de CAS (chemical abstract service)	25637-99-4 - Hexabromociclododecano; 3194-55-6 - 1,2,5,6,9,10-HBCD; 134237-50-6 alfa-HBCD; 134237-51-7 beta-HBCD; 134237-52-8 gama-HBCD; EC number: 247-148-4.
Nomes comerciais genéricos	Bromkal 73-6CD; Bromkal 73-6D; Nikkafainon CG 1; Pyroguard F 800; Pyroguard SR 103; Pyroguard SR 103A; Pyrovatex 3887; Great Lakes CD-75P™; Great Lakes CD-75; Great Lakes CD75XF; Great Lakes CD75PC (compacted); Dead Sea Bromine Group Ground FR 1206 I-LM; Dead Sea Bromine Group Standard FR 1206 I-LM; Dead Sea Bromine Group Compacted FR 1206 I-CM; CD-75; FR 120; FR 1206HT; Pyroguard SR 104; SR 104; YM 88 ^a

O HBCDD também é chamado de composto organobromado ciclo-alifático e não é comparável aos outros retardantes de chama bromados, cujo uso já é proibido há algum tempo, como por exemplo as bifenilas polibromadas (PBBs – *polybrominated biphenyls*) e os éteres difenílicos polibromados (PBDEs – *polybrominated diphenyl ethers*). Realmente, o HBCDD não gera nenhuma dioxina ou furano tóxicos durante a combustão. Esta foi a conclusão do Ministério do Meio Ambiente alemão em 1990, com relação à combustão de poliestireno com um conteúdo de HBCDD cinco vezes maior que o normal (3% do peso). Descobriram que o HBCDD não é uma fonte de formação de polibromodibenzofuranos nem



de dioxinas em diferentes fornos de combustão numa variação de temperatura de 400°C a 800 °C. O mesmo resultado foi obtido pelo Ministério do Meio Ambiente holandês em 1989 por pirólise de poliestireno com um conteúdo de HBCDD equivalente a 10% do peso). No entanto, devido as suas características de bioacumulação, biomagnificação, persistência e potencial para ser transportado a longas distâncias, o HBCDD é considerado um poluente orgânico persistente (POP).

1.1 HBCDD como Poluente Orgânico Persistente

O HBCDD é difundido no ambiente global, com níveis elevados encontrados em grandes predadores do Ártico. Na biota, o HBCDD é bioconcentrante, bioacumulativo e biomagnificante. O HBCDD é bem absorvido em tratos gastrointestinais de roedores. Em humanos, ele é encontrado no sangue, plasma e tecidos adiposos. Dados medidos e modelados indicam que o HBCDD passa por degradação primária sob algumas condições. No entanto, a degradação completa no meio ambiente é um processo lento (EHC, 2011). O principal produto da transformação do HBCDD é o 1,5,9-CDT, que é formado pela dehalogenação reductiva por etapas de HBCDD (UNEP, 2010a).

Poucos são os trabalhos que avaliaram a ocorrência de HBCDD em amostras ambientais. A distribuição geográfica do HBCDD foi investigada através da análise do tecido muscular de atum (*Katsuwonus pelamis*) coletados em água offshore de diversos locais do mundo, incluindo o Brasil (UENO et al., 2006). Os três isômeros individuais do HBCD (alfa, gama e beta HBCDD) foram detectados em quase todas as amostras (<0,1 a 45 ng g⁻¹), indicando a presença generalizada deste composto no ambiente marinho. Além disso, os autores observaram que o HBCDD apresentou um dos maiores potenciais de mobilidade atmosférica entre vários poluentes orgânicos persistente. Além disso, um outro estudo realizado recentemente forneceu dados de concentração no ar, em escala mundial, de novos retardantes de chama e mostrou que o HBCDD era o mais abundante (LEE et al., 2016).

Vários estudos mostram a ocorrência de HBCDD no ar interior e na poeira doméstica, bem como em pó de cabines de carros novos e antigos (EC, 2008; MIYAKE et al., 2009, KAJIWARA et al., 2009 apud UNEP, 2011a). Emissões de HBCDD para o ar interior a partir



de produtos de Poliestirenos expandido (EPS – *expanded polystyrene*) ou Poliestireno extrudado (XPS – *extruded polystyrene*) durante a vida útil são consideradas como baixas, embora as estimativas sobre lançamentos durante o uso de artigos contendo HBCDD sejam incertas (ECHA, 2009 apud UNEP, 2011a).

Os resíduos de HBCDD incluem resíduos de produção, de painéis de isolamento, de construção e de outras aplicações, tais como produtos elétricos e eletrônicos, têxteis e veículos de transporte. Não se sabe até que ponto os produtos finais contendo HBCDD são depositados em aterros, incinerados, deixados no meio ambiente ou reciclados (UNEP, 2011a). Nos países em desenvolvimento, como no Brasil, o HBCDD pode ser liberado para o meio ambiente em qualquer etapa do seu ciclo de vida. Durante a reciclagem, por exemplo, aparelhos elétricos e eletrônicos contendo substâncias tóxicas e HBCDD são muitas vezes liberados para o meio ambiente, gerando contaminação de áreas e exposição de trabalhadores. Queima a céu aberto e disposição em lixões são destinos possíveis para os artigos contendo HBCDD e resíduos eletrônicos (UNEP, 2011a).

Devido as suas características de bioacumulação, biomagnificação, persistência e potencial para ser transportado a longas distâncias, o HBCDD foi listado pela Convenção de Estocolmo em 2013, durante a COP 6, como um POP. Em sua sexta reunião que aconteceu do dia 28 de abril ao dia 10 de maio de 2013, a Conferência das Partes da Convenção de Estocolmo adotou uma emenda ao Anexo A à Convenção listando o HBCDD com exceções específicas para produções permitidas para as partes listadas no registro de exceções específicas. No Brasil, de acordo com a decisão SC-6/13 e que expirou no ano de 2019, o uso do HBCDD era permitido em EPS e em XPS, ambos para aplicação na construção civil (90%), com concentrações variando de 0,3 a 0,7%. Nesse caso, em painéis e lajes industrializados, o material exige a classificação como série F (presença de retardante de chama), atendendo à NBR 11948 – Ensaio de flamabilidade – método de ensaio qualitativo (MMA, 2013).



1.2 Produção

Embora tenha sido listado como um POP na Convenção de Estocolmo em 2013 (UNEP 2013), o HBCDD ainda é produzido globalmente a uma escala de aproximadamente de 30.000 toneladas por ano (UNEP 2015). Atualmente, a China é considerada como a nação que mais produz e consome o HBCDD no cenário mundial (UNEP, 2010a).

O HBCDD tem sido comercializado mundialmente desde os anos 1960 e continua sendo produzido para utilização na fabricação de EPS e XPS. Ele vem sendo produzido especialmente na China, União Europeia e Estados Unidos. A produção total de HBCDD foi estimada em cerca de 31.000 toneladas em 2011, das quais cerca de 13.000 toneladas foram produzidas em países da União Europeia e nos Estados Unidos, e 18.000 toneladas na China (UNEP, 2011b; UNEP, 2012). Para comparação, em 2001, a demanda por HBCDD foi entre 9.500 toneladas e 16.500 toneladas na Europa, 3.900 toneladas na Ásia e 2.800 toneladas nas Américas Sul e Norte (UNEP, 2011b. UNEP, 2012). A partir do segundo trimestre de 2016, o HBCDD deixou de ser produzido na Europa. Devido às obrigações impostas pela Convenção de Estocolmo e às alternativas para o HBCDD estarem disponíveis para EPS e XPS, espera-se que a produção futura e volume de utilização diminuam (UNEP, 2015, ECHA, 2009).

Através do site alibaba.com verificou-se que é possível efetuar a compra de diversas quantidades de HBCDD. Empresas de diferentes países, como Coreia do Sul, Itália, Taiwan e, sendo a grande maioria, oriundas da China, exportam essa substância de diferentes formas, quantidades e valores (Figura 1).



Figura 1: Diferentes formas de comercialização do HBCDD. Fonte: alibaba.com



1.3 Aplicações

O HBCDD é utilizado como retardante de chama, para retardar a ignição e o subsequente crescimento das chamas em veículos, edifícios ou objetos. O HBCDD é utilizado principalmente em EPS e XPS, em espumas de Poliestireno para isolamento e construção civil, tendo outros usos em aplicações têxteis e aparelhos elétricos e eletrônicos (Poliestireno de alto impacto – HIPS – *high impact polystyrene*). Nos têxteis, o HBCDD é utilizado em revestimentos para estofados e outros tecidos de interiores, incluindo aplicações automotivas. Os volumes de artigos importados e exportados mundialmente que utilizam HBCDD são desconhecidos (UNEP, 2011a).

Existem dois tipos de EPS: os da classe T (não são retardadores de chama) e os da classe F, que segue os mesmos princípios e especificações técnicas, porém há presença de aditivos retardantes de chama, que geram melhorias significativas no comportamento do EPS em relação ao fogo. Entretanto, é muito difícil prever o comportamento do EPS dado à complexidade de uma situação de fogo real. Baseada em ensaios realizados em laboratório, existem inúmeros ensaios em pequena escala que mostram claramente que é muito mais difícil queimar EPS fabricado com aditivos retardantes de chama do que o EPS fabricado com material padrão. Na presença de enormes fontes de ignição ou fluxos significativos de calor, e.g. maiores de 50 Kw m^{-2} , oriundas de incêndios com outro material, o EPS do tipo “F” eventualmente queimará, refletindo a natureza orgânica do poliestireno.

O EPS tipo “F” contém uma pequena quantidade de HBCDD (no máximo de 0,5%). O HBCDD tem um efeito benéfico quando o EPS é exposto a uma fonte de incêndio. A espuma se encolhe rapidamente retirando-se da fonte de calor, dessa forma a probabilidade de ignição é reduzida. Os produtos de decomposição do ativo causam o apagamento da chama, dessa forma quando retiramos a fonte de ignição, o EPS não continuará queimando.

Uma aplicação menos comum de HBCDD é o uso como retardador de chamas em têxteis e revestimentos têxteis para uso em mobília estofada residencial ou comercial, assentos de transporte, cortinas e coberturas de paredes. Os têxteis podem ser tratados com retardadores de chamas via impregnação do tecido ou spray ou via fiação dos polímeros retardadores de chamas em fios têxteis. As concentrações de HBCDD usadas na produção de



têxteis retardadores de chamas são bem mais altas que as usadas na produção de espuma EPS. Outros usos minoritários de HBCDD incluem sua utilização como aditivos em adesivos e tintas e HIPS para equipamentos elétricos e eletrônicos para torna-los retardadores de chamas tais como armários, equipamento audiovisual, o forro de geladeiras, caixas de junção para linhas elétricas e certas aplicações na fiação. O HBCDD foi amplamente substituído por outros retardadores de chamas nessas aplicações, como argilas, organofosforados, e compostos halogenados modificados, entre outros.

O uso de HBCDD em EPS em material de embalagem é considerado pequeno (UNEP 2010a). No entanto, uma primeira triagem de EPS incluindo materiais de embalagem na Coréia do Sul revelou que também algum material de embalagem de isopor foi tratado com HBCDD ou continha EPS / XPS reciclado (RANI et al. 2014).

Presumiu-se que o HBCDD não é utilizado em embalagens de alimentos de acordo com o relatório técnico desenvolvido na UE (ECHA 2009). No entanto, em um primeiro levantamento de materiais de contato com alimentos EPS, o HBCDD também foi descoberto em caixas de gelo e em bandejas de peixes (RANI et al., 2014). O HBCDD também foi detectado em boias de água em níveis baixos, o que também indica que eles foram feitos de EPS reciclado (HONG et al. 2013).

1.4. Alternativas

A produção de HBCDD diminuiu nos últimos anos e já existem no mercado alternativas químicas para substituir a HBCDD no EPS, XPS, HIPS e no revestimento têxtil. Após a disponibilização de qualquer alternativa em quantidades comerciais, levará algum tempo até que a indústria procure a qualificação e a certificação dos produtos de poliestireno em esferas e espumas para a classificação de fogo. A Convenção de Estocolmo destaca algumas alternativas aos principais usos do HBCDD em seu website <http://chm.pops.int/Implementation/Alternatives/AlternativestoPOPs/ChemicalslistedinAnnexA/HBCD/tabid/5861/Default.aspx>.



Existem alternativas tecnicamente viáveis para a maioria das aplicações em que o HBCDD é utilizado. A curto prazo, estão a tornar-se disponíveis alternativas químicas para a produção de EPS e XPS numa só fase. As alternativas incluem a substituição de retardadores de chama, a substituição de resina/material e a reformulação do produto. Várias destas alternativas são isentas de halogéneos e foram consideradas melhores alternativas para o ambiente e a saúde nas avaliações que se seguem: ECHA 2009; SWEREA 2010; e KLIF 2010. No entanto, podem apresentar outros riscos, tais como outras substâncias nocivas ou poeiras, que é necessário ter em conta.

Estão disponíveis tanto retardadores de chamas alternativos quanto alternativas ao EPS e ao XPS. Um copolímero bromado de butadieno e estireno, atualmente denominado BLUEGETM Polymeric FRTM uma marca registrada da Dow Chemical Company, está disponível no mercado (também disponível com os seguintes nomes: Emerald Innovation 3000, FR-122P e GreenCrest). Ele foi projetado para fornecer as propriedades retardadoras de chamas a pequenas cargas de espuma de poliestireno, para cumprir as exigências de prevenção de incêndios da indústria como, por exemplo, a resistência de ignição (BEACH 2013). Com base nos critérios e orientações da DfE Análise de Alternativas, o perfil de risco do copolímero bromado de butadieno e estireno (CASRN 1195978-93-8) mostra que é previsto que ele seja mais seguro que o HBCDD para diversas finalidades. Devido ao seu grande tamanho, falta de componentes de baixo peso molecular e grupos funcionais não reativos, os perigos para a saúde humana de intoxicação do meio ambiente para esse polímero são medidos ou previstos como baixos, apesar de dados experimentais não estarem disponíveis para todas as utilizações. Em geral, se espera que o potencial de exposição do copolímero bromado de butadieno e estireno seja menor que o de outros químicos sendo avaliados já que é um polímero grande e, portanto, menos provável de se dispersar do poliestireno. As designações de risco dessa alternativa são baseadas em altas formulações de peso molecular do polímero, onde todos os componentes têm um peso molecular maior que 1.000. Para o copolímero bromado de butadieno e estireno, o peso molecular é por volta de 100.000 daltons.

Espumas de isolamento EPS e XPS não retardadoras de chamas em combinação com outros materiais de construção são utilizadas em alguns países para proteger o EPS e o XPS



de pegarem fogo. Por exemplo, na Suécia e na Noruega, as regulações nacionais permitem o uso de materiais não retardadores de chamas, contanto que o elemento total de construção cumpra com os requerimentos de segurança e prevenção de incêndios. Nesses países, o EPS em combinação com barreiras térmicas (materiais não combustíveis com capacidade térmica para suportar altas temperaturas e.g. concreto) é utilizado como alternativa para EPS e XPS retardadores de chamas. A utilização do EPS em combinação com barreiras térmicas reduz a necessidade do EPS retardador de chamas sem comprometer a prevenção de incêndio nas construções (KLIF 2010). Nos Estados Unidos, no Canadá e na maioria da Europa, onde aparentemente existem requerimentos materiais para materiais de isolamento, o EPS e o XPS em sua aplicação para construções provavelmente devem conter retardadores de chamas (BLOMQUIST 2010).

As alternativas ao HIPS incluem: resorcinol bis (fosfato de bifênila), bisphenol A bis (fosfato de bifênila), cresilo difenil fosfato, fosfato de trifênila e ligas de éter de polifenileno/poliestireno de alto impacto (PPE/HIPS – *polyphenylene ether/ high impact polystyrene*) tratadas como alternativas de retardadores de chamas livres de halogênios. Informações específicas não estão disponíveis para descrever o desempenho do resorcinol bis (fosfato de bifênila) e do cresilo difenil fosfato no HIPS. No entanto, tendo em vista o fato de que o HBCDD não é comumente utilizado nos HIPS e que essas alternativas foram preliminarmente identificadas como tecnicamente executáveis, é possível que essas substâncias estejam sendo utilizadas e que seus atributos de desempenho sejam similares ao HBCDD (MAAG et al. 2010). E em relação ao PPE/HIPS, grandes fábricas europeias de aparelhos televisores aparentemente estão utilizando ligas, incluindo PPE/HIPS, com retardadores de chamas não halogênicos. Essa é uma indicação de que ligas de PPE/HIPS com retardadores de chamas não halogênicos também são capazes de ter a performance exigida pelos padrões da indústria. Ligas de PPE/HIPS têm sabidamente uma resistência inerente relativamente maior a pegar fogo ou alastrar chamas porque formam uma superfície de espuma carbonizada isolante quando aquecidas. Elas também têm maior força de impacto e oferecem oportunidades de design similares para partes com detalhes estruturais delicados. Além disso, ligas de PPE/HIPS exigem menos mudanças aos moldes e ferramentas de alto preço utilizadas no processo de moldagem (MAAG et al. 2010).



Em relação às alternativas para revestimentos têxteis, sistemas intumescentes têm mostrado seu potencial com sucesso. Vários sistemas intumescentes para aplicação em têxteis estão no mercado já há 20 anos (POSNER et al. 2010). Eles são baseados na formação de alcatrão mineral expandido, que age parcialmente como uma barreira de isolamento contra o calor e como um retentor de fumaça. Sistemas intumescentes para revestimentos têxteis requerem manejo especial em sua aplicação para garantir que os sistemas funcionem conforme o intencionado. É importante que as melhores condições e combinações dos três componentes diferentes dos sistemas estejam em distribuição uniforme e dispersão bem distribuída na aplicação têxtil para a proteção contra chamas desejada ser atingida (POSNER et al. 2010).

2. INVENTÁRIO DO HBCDD NO BRASIL

A primeira ação desenvolvida no intuito de construir um inventário do HBCDD no Brasil, seguindo seu respectivo guia publicada pela Convenção de Estocolmo (UNEP, 2015) e após estudar profundamente o tema, foi a de identificar os potenciais detentores de informação a nível nacional e realizar uma consulta a respeito de todo o ciclo de vida do HBCDD.

Primeiramente, foi realizada uma consulta às instituições governamentais como as secretarias do próprio MMA, o IBAMA – órgão anuente de importação de algumas substâncias controladas pela Convenção de Estocolmo –, o Ministério da Economia, (ME) e todas as secretarias ambientais e federações industriais dos 26 estados brasileiros. Em paralelo, foi feita uma listagem, de forma individual, de associações empresariais e empresas privadas potencialmente envolvidas em alguma etapa do ciclo de vida do HBCD – produção, importação e exportação, usos e destino final do HBCD e dos produtos que possam contê-las – em território nacional. **A partir da busca exaustiva na internet, foram listadas 1007 empresas ou associações de diversos ramos como potenciais fontes de HBCDD (Tabela 1).** A partir de então, as instituições foram consultadas, via questionário oficial do MMA (Ofício circular n° 171), enviados por correio eletrônico – quando disponível – ou



diretamente por suas páginas na web. No entanto, até a presente data, só obtivemos uma resposta, que foi da BASF AS quanto às atividades realizadas com o HBCDD. Foram reportados dois questionários: um da empresa Styropek (negócio que pertenceu a BASF até março de 2015) e um da empresa Chemetall (empresa adquirida pela BASF em novembro de 2016). Porém apenas a empresa Styropek relatou sobre o HBCDD.

Nesta consulta, objetivou-se ressaltar as obrigações do Estado brasileiro para com o tratado internacional da Convenção de Estocolmo e solicitar toda e qualquer informação a respeito de todas e quaisquer etapas do ciclo de vida do HBCDD – produção, importação e exportação, usos e destino final do HBCDD e dos produtos que possam contê-las. Além disso, foi ressaltada a importância econômica da manutenção e o bom desenvolvimento de tal inventário a fim de identificar as necessidades da indústria brasileira a serem apresentadas ao secretariado da Convenção e em relação ao comércio internacional de produtos brasileiros. Pois, mesmos produtos que não estejam diretamente envolvidos no ciclo de vida direto dos POPs podem ser afetados pela presença dos mesmos no meio ambiente, como as exportações agropecuárias, uma vez que a contaminação ambiental por POPs, mesmo em baixas concentrações no solo, água e ar, pode levar a contaminações elevadas nas commodities (TORRES et al., 2013; WEBER, 2017; WEBER et al., 2018).

Tabela 1: Lista de instituições potencialmente envolvidas em alguma etapa do ciclo de vida do hexabromociclododecano (HBCDD – hexabromocyclododecane) consultadas pelo Ministério do Meio Ambiente: Número de ofícios enviados, número de empresas privadas, número de associações e número de respostas.

Setor	Instituições	Envio de ofício	Empresas	Associações	Resposta positiva	Resposta não relacionada	Resposta negativa
Adesivo & Selante	109	98	98	0	0	1	6
Construção Civil	39	36	27	9	0	0	0
Eletroeletrônicos	386	276	269	7	0	1	8
Poliestireno	80	68	64	4	1	0	0
Química	69	61	51	10	1	13	13
Reciclagem	11	11	1	10	0	0	0
Textil	149	132	121	11	0	0	2
Tinta & Revestimento	70	64	60	4	0	1	2
Transporte	108	94	90	4	0	0	2
Total	1021	840	781	59	2	16	33



2.1 Produção

De acordo com o levantamento inicial, nenhuma indústria ou associação relatou produzir HBCDD no Brasil. Além disso, até o momento, não se tem um produto técnico e economicamente viável para a substituição em produções de grande escala. No Brasil, em relação às alternativas ao HBCDD, a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM) informou que não existem produtos nacionais que possam substituir essa substância (MMA, 2013).

2.2 Comércio

2.2.1 Comercialização nacional e internacional de HBCDD

De acordo com o IBAMA, entre os anos de 1997 e 2011, o HBCDD era importado com o código de Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) 29035990. Nesse período, os EUA se destacaram como o principal exportador (55%), seguido da China (28%) e Holanda (12%), onde um total de aproximadamente 1300 toneladas líquida de produtos foi comercializado. Entre os anos de 2012 a 2016, o HBCDD era importado com o código NCM 29038990, onde os EUA assumiram mais o seu protagonismo, com um percentual de 80% de exportação, seguido da China (19%) e da Holanda (1%), de um total de aproximadamente 620 toneladas líquido de produtos. A partir de 2017, o HBCDD começou a ser importado com código 29038900, onde a China se tornou a principal exportadora, atingindo 82%, com os EUA passando para 18% de um total de aproximadamente 370 toneladas líquido de produtos comercializados. Em alguns anos entre 1997 e 2011 o Brasil exportou HBCDD com o código 29035990, com a Alemanha sendo a principal exportadora nesse período, representando cerca de 36%, seguida da Itália (29%) e Argentina (18%) de um total de 17 toneladas líquidos de produtos comercializados. Na Figura 2 é representado o balanço comercial (importação e exportação) de janeiro de 1997 a dezembro de 2019 em Tonelada Líquida de derivados halogenados dos hidrocarbonetos ciclânicos, ciclênicos ou cicloterpênicos.



Possíveis NCM's para HBCD

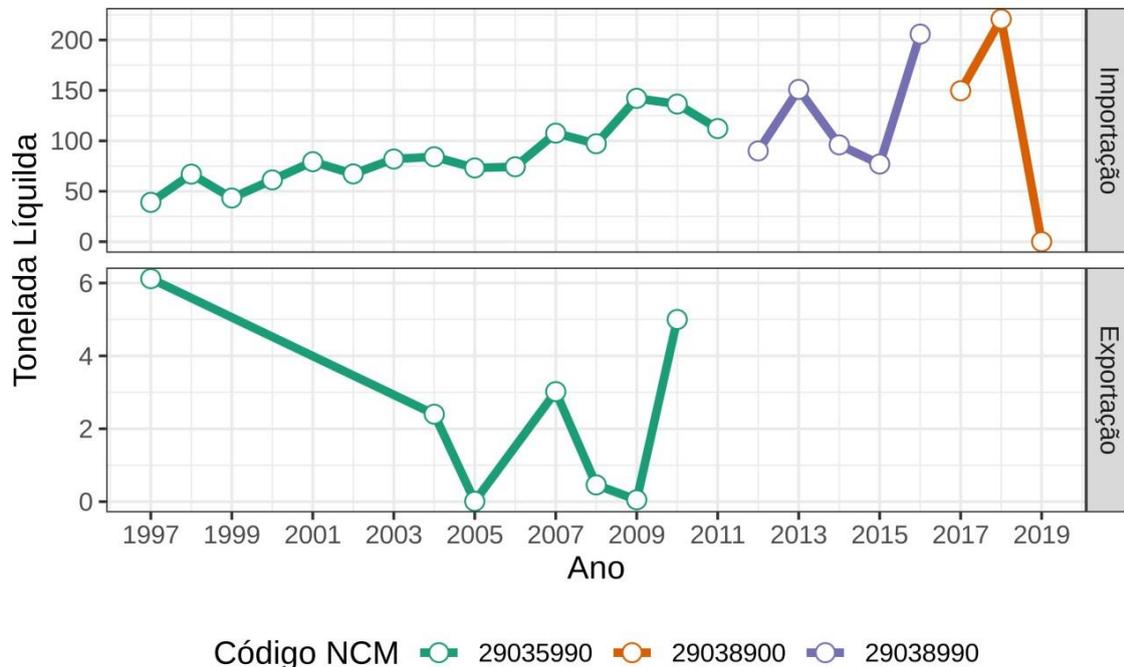


Figura 2: Balanço comercial (importação e exportação) de janeiro de 1997 a dezembro de 2019 em Tonelada Líquida de produtos registrados sob o código de Nomenclatura Comum da Mercosul (NCM) 29035990; 29038900 e 29038990 - derivados halogenados dos hidrocarbonetos ciclânicos, ciclênicos ou cicloterpênicos. Fonte Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>)

O levantamento inicial indicou que as importações dessa substância estão aumentando, uma vez que passaram de 90 toneladas em 2012 para 115 toneladas só nos nove primeiros meses de 2013. No entanto, só a partir de 2013 que o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), como órgão anuente, passou a anuir as licenças de importação desta substância. As informações que dispomos sobre as quantidades importadas de HBCDD, para os anos 2017 e 2018, são de respectivamente: 110 toneladas e 129,65 toneladas da substância, conforme consulta junto ao Siscomex-Importações.

Na consulta do inventário do NIP do ano de 2015, foi informado que entre os anos de 2011 a 2013, foram importados 205 mil quilos por duas empresas para aplicação na fabricação de EPS, para uso como isolamento térmico na indústria de construção civil e, também, como aditivo retardante de chamas para uso industrial.



A STYROPEK EPS do Brasil Ltda foi a única empresa que respondeu o nosso questionário como usuária do HBCDD, no qual utilizava como matéria prima, com a funcionalidade de retardante de chama. Segundo Massayuki Kinoshita da Styporek, o HBCDD foi utilizado até março de 2018 e era fornecido pela empresa Chemtura. O HBCDD foi substituído por um produto polimérico, o Emerald.

2.2.2 Comercialização de produtos que possam conter HBCDD

Como dito anteriormente, o HBCDD é utilizado principalmente como retardante de chama em EPS e XPS, em espumas de Poliestireno para isolamento e construção civil. O EPS é comercializado com o NCM 39259010 e com a seguinte descrição: Artefatos para apetrechamento de construções, de plásticos, de poliestireno expandido. De acordo a pesquisa realizada juntamente no site da Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>), entre os anos de 2011 e 2019, foram importadas aproximadamente 4300 toneladas líquidas de EPS, sendo a China a principal exportadora, com 80% da comercialização, seguida de Hong Kong (6,7%) e Alemanha (3,7%). Em relação à exportação, aproximadamente 333 toneladas líquida de EPS foram comercializadas, sendo os principais importadores o Paraguai (71), Bolívia (14%) e Argentina (12%). Na Figura 3 é representado o balanço comercial (importação e exportação) de janeiro de 2011 a dezembro de 2019 em Tonelada Líquido de Artefatos para apetrechamento de construções, de plásticos, de poliestireno expandido.

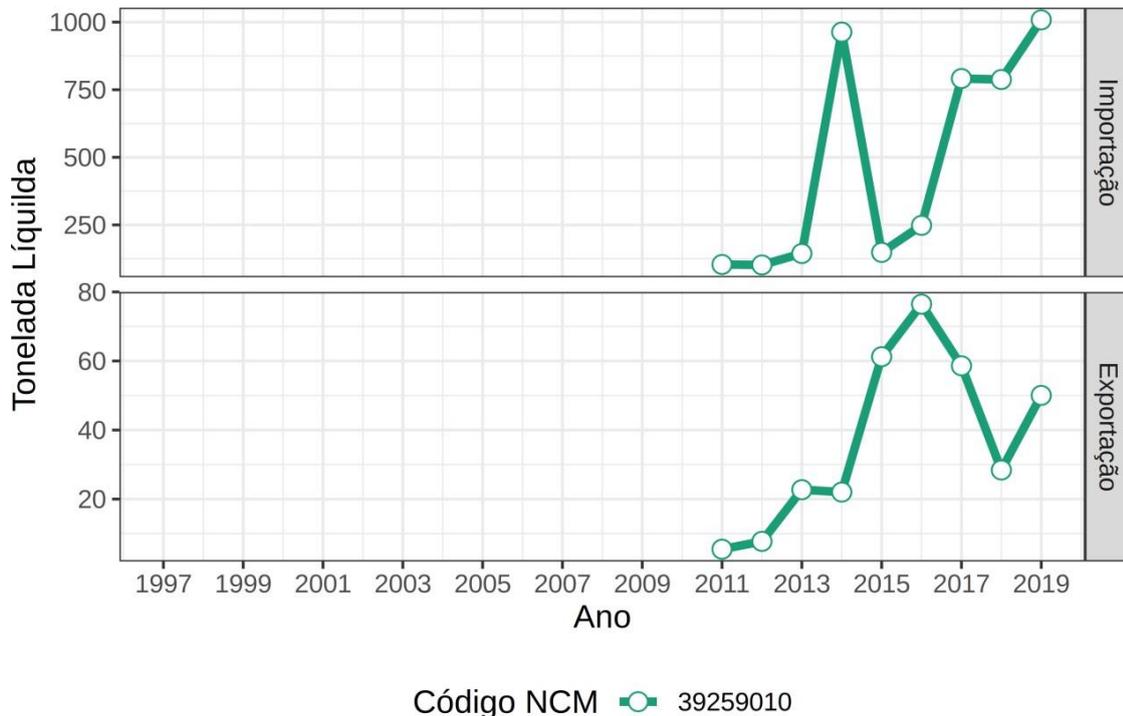


Figura 3: Balanço comercial (importação e exportação) de janeiro de 2011 a dezembro de 2019 em Tonelada Líquida de produtos registrados sob o código de Nomenclatura Comum da Mercosul (NCM) 39259010 - Artefatos para a apetrechamento de construções, de plásticos, de poliestireno expandido (EPS). Fonte Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>)

De acordo com os valores apresentados e considerando a porcentagem de 0,3 a 0,7% de uso do HBCDD no EPS, estima-se que entre 2011 e 2019, 1,29 a 6,14 toneladas líquida de HBCDD tenha chegado em território brasileiro através da importação do EPS.

O gráfico abaixo mostra os dados de produção e do consumo aparente nacional (CAN) de EPS, até o ano de 2017. De 1999 a 2017, tanto o consumo aparente nacional quando a produção de EPS cresceram, aumentando assim a demanda de HBCDD no Brasil. Estima-se, por exemplo, que em 2017, tenha utilizado 130 a 310 toneladas de HBCDD na fabricação de EPS, um aumento de aproximadamente 90% em relação ao ano de 2011. De acordo com a ABIQUIM, o Brasil possui sete empresas associadas fabricantes e transformadoras de poliestireno e outras três empresas que trabalham com esse produto; no entanto, não se conhece o número de empresas pequenas e médias que podem utilizar o produto (MMA, 2013).

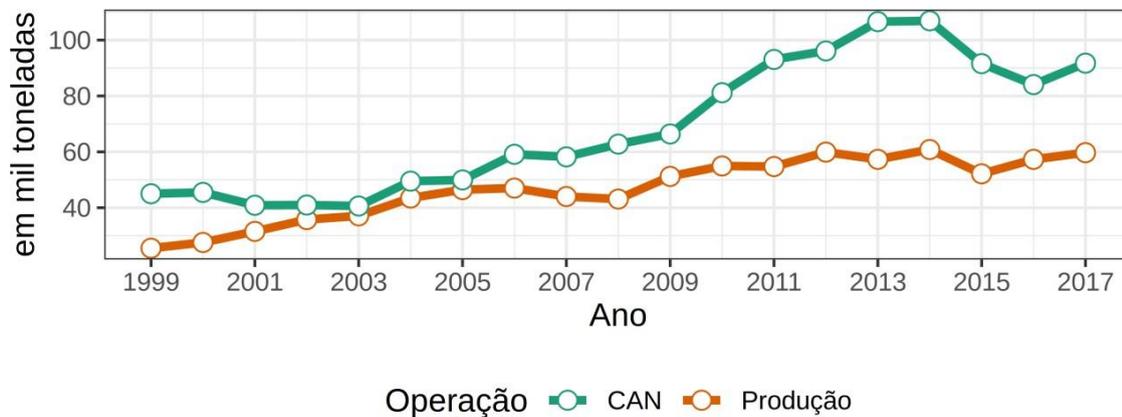


Figura 4: Dados de produção e CAN (Consumo Aparente Nacional) = (Produção + Importação) – Exportação. De 1999 a 2017, o CAN e a produção de EPS cresceram, respectivamente, a uma taxa anual de 4,0% e 4,8%. Na mesma base de comparação, as exportações cresceram a 6,3% a.a. e as importações a 3,2% a.a. Fonte: www.epsbrasil.eco.br

Segundo a ABIQUIM, em 2008, foram produzidos no Brasil cerca de 62,9 mil toneladas de EPS e aproximadamente 20 mil toneladas de XPS, totalizando cerca de 82,9 mil toneladas de isopor. Desse total, estima-se que retornaram ao processo produtivo com destino à reciclagem cerca de 7 mil toneladas, ou seja, apenas 8,4% de tudo o que foi produzido. Considerando que o HBCDD está presente em uma porcentagem de 0,3% a 0,7%, 249 a 580 toneladas desse produto estariam presentes no isopor, e que no máximo 49 toneladas foram para reciclagem.

2.3 Estimativas Gerais

Os resíduos de EPS representam apenas 0,1% do lixo. Estima-se uma quantidade de 15mil t/ano, o que corresponde a 70 caminhões/dia. A reciclagem do EPS não deve ser um problema para o cliente, prefeituras e para as demais entidades. A reciclagem do EPS deve ser encarada com responsabilidade da Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (ABRAPEX) e seus associados. A ABRAPEX, através dos seus associados, tem a solução para a reciclagem do EPS no Brasil e possui as condições necessárias sanar todos os



problemas relativos a essa questão. Quando questionado sobre a reciclagem do EPS, o associado deve adotar postura proativa, mostrando que sua empresa e/ou associação da qual faz parte, vão solucionar no menos espaço de tempo uma situação.

O EPS é 100% reciclável e reaproveitável. O EPS não destrói a camada de ozônio, pois não utiliza clorofluorcarbonos (CFCs – *chlorofluorocarbons*) e hidroclorofluorcarbonos (HCFCs – *hydrochlorofluorocarbons*). O EPS não contamina solo, ar ou água. Fungos e bactérias não atacam o EPS. A moldagem do EPS consome pouca energia e não gera resíduos. O EPS não contamina alimentos e atende a todas legislações internacionais de saúde.

Ainda de acordo com a informação da ABRAPEX, o EPS também é reciclado no Brasil. Estima-se que, do total produzido, cerca de 7 mil toneladas/ano são recicladas. Mais de 80% desse montante foram coletados pelos recicladores associados ao Instituto Sócio ambiental dos Plásticos (ABRAPEX, 2008).

Placas de isolamento constituem a maior parte dos resíduos de HBCDD. Resíduos de HBCDD apresentam um desafio específico para o gerenciamento de resíduos devido a sua vida útil longa. Por exemplo, a vida útil de isolamentos de espuma de poliestireno em construções é de aproximadamente 30 a 50 anos (ECHA, 2009; POSNER et al., 2010) podendo exceder os 100 anos. O uso de placas de isolamento HBCDD e sua presença em construções e outras estruturas vêm aumentando desde os anos de 1980, portanto é provável que as emissões de materiais residuais de espumas EPS e XPS se tornem mais significativas no futuro, especialmente por volta de 2025, quando espera-se um grande número de construções contendo HBCDD sejam remodelados ou demolidos (UNEP, 2010a).

2.4 Aplicações e Indústrias nacionais

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), órgão público, do Governo Federal, disponibiliza e atualiza anualmente, algumas variáveis relacionadas ao Cadastro Central de Empresas (CEMPRE). No site do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) é possível conseguir as seguintes variáveis do CEMPRE: número de empresas, número de unidades locais, pessoal ocupado total, pessoal assalariado, salários e outras



remunerações e salário médio mensal, que podem ser desagregadas nos diversos níveis da Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE, bem como em diferentes níveis geográficos - Grandes Regiões, Unidades de Federação e Municípios.

A partir dos dados disponibilizados pelo CEMPRE, foi possível fazer um levantamento do número de empresas de diferentes setores de produção/atuação por unidade federativa. E, dessa forma, foi feita uma avaliação dos estados que concentram o maior número de empresas que possam fazer uso do HBCDD em alguma etapa do processo de produção de seus manufaturados. Com base nas descrições do CEMPRE, foi possível identificar um total de 209570 empresas, dentro de 13 grandes categorias (Anexo 6.3 – Tabela A4).

A maior parte (~70%) das indústrias brasileiras com potencial aplicação de CP fica localizada na região sudeste (SP-31,2%, MG-10%, RJ-6,6%) e sul (RS-8,1%, PR-9,7%, SC-9,4%) do país. São Paulo é o Estado que abriga a maior parte de todas as indústrias nas quais o HBCDD possa ser utilizado, com exceção das indústrias de Produtos Diversos, que a maioria fica localizada no Estado de Minas Gerais. O Estado de São Paulo é o Estado com o maior potencial de contaminação ambiental por HBCDD e, portanto, deveria ser priorizado em futuros projetos de monitoramento ambiental que visem avaliar a ocorrência de HBCDD no território Brasileiro.

Das quase 210 mil empresas que possam eventualmente fazer aplicação de HBCDD em seus processos ou em seus produtos, destacam-se centenas de indústrias de Produtos Químicos Orgânicos (393); milhares de indústrias de Eletrônicos e Informática (5.743), de Gestão de Resíduos (5.038), Automotivas (1.990), de Peças de Carros (2.839), Produtos diversos (4.583), de Preparados Químicos Diversos (1.996), de Recuperação de Materiais (3.481) de Tintas e Revestimentos (1.387) e de Transporte (1.461); e dezena de milhares de indústrias de Construção Civil e Infraestrutura (99.257), de Plástico (12.786) e Têxtil (68.616).



INDÚSTRIAS POSSIVELMENTE RELACIONADAS AO USO DE HEXABROMOCICLODODECANO (HBCDD) NO BRASIL

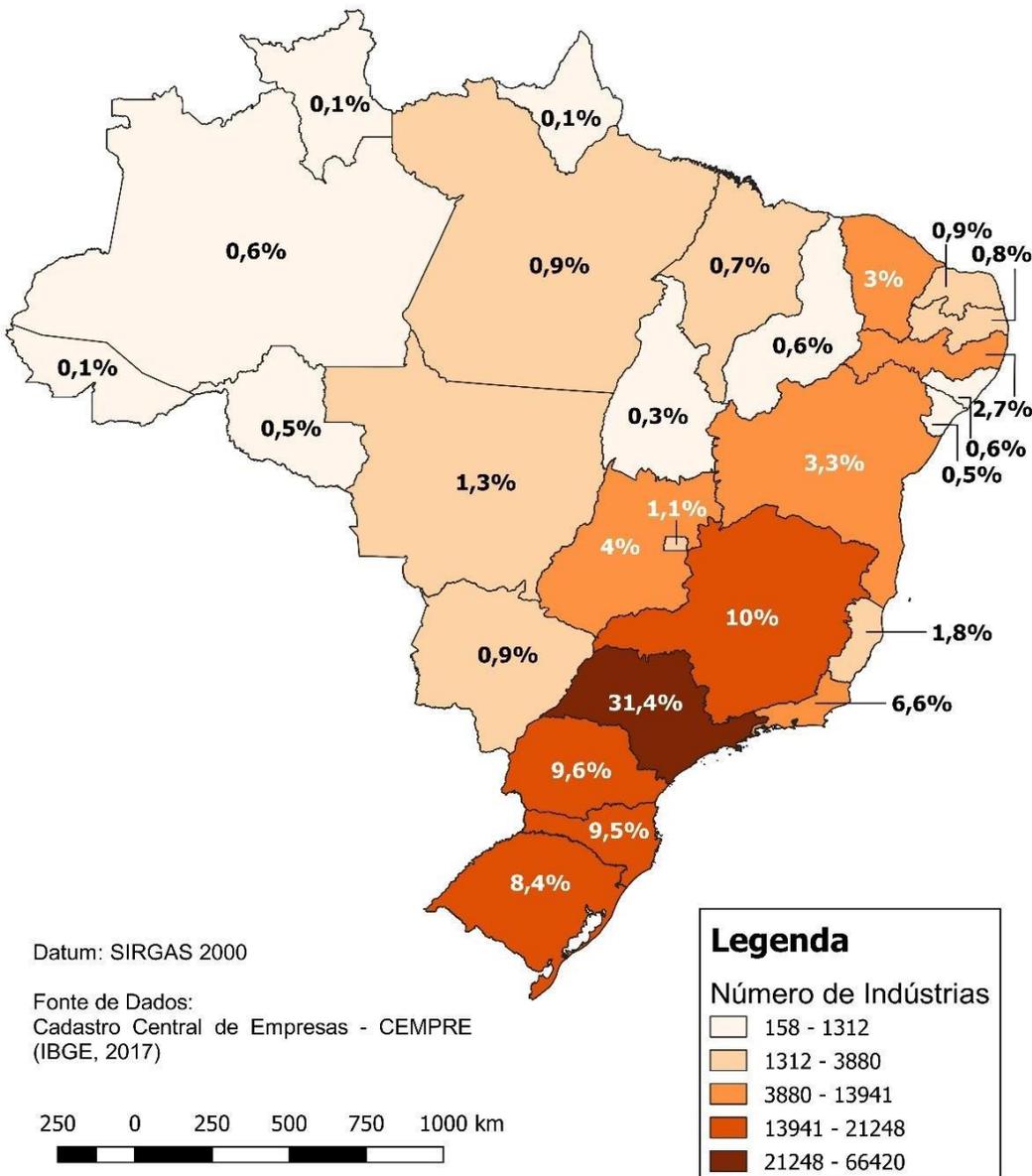


Figura 5: Número e percentual de indústrias por unidades federativas que possam eventualmente fazer aplicação de HBCDD em seus processos ou em seus produtos.



3. OCORRÊNCIA DE HBCDD NO BRASIL

Do total de 6 publicações que mencionam a ocorrência de HBCDD no Brasil (1 publicação foi um artigo de revisão), apenas 3 três reportaram concentrações acima do limite de quantificação do método. A Figura 6 ilustra os dados obtidos a partir do protocolo adotado para a avaliação de ocorrência de HBCDD no Brasil. O protocolo utilizado durante esta etapa de revisão foi descrito detalhadamente no Anexo 6.2.

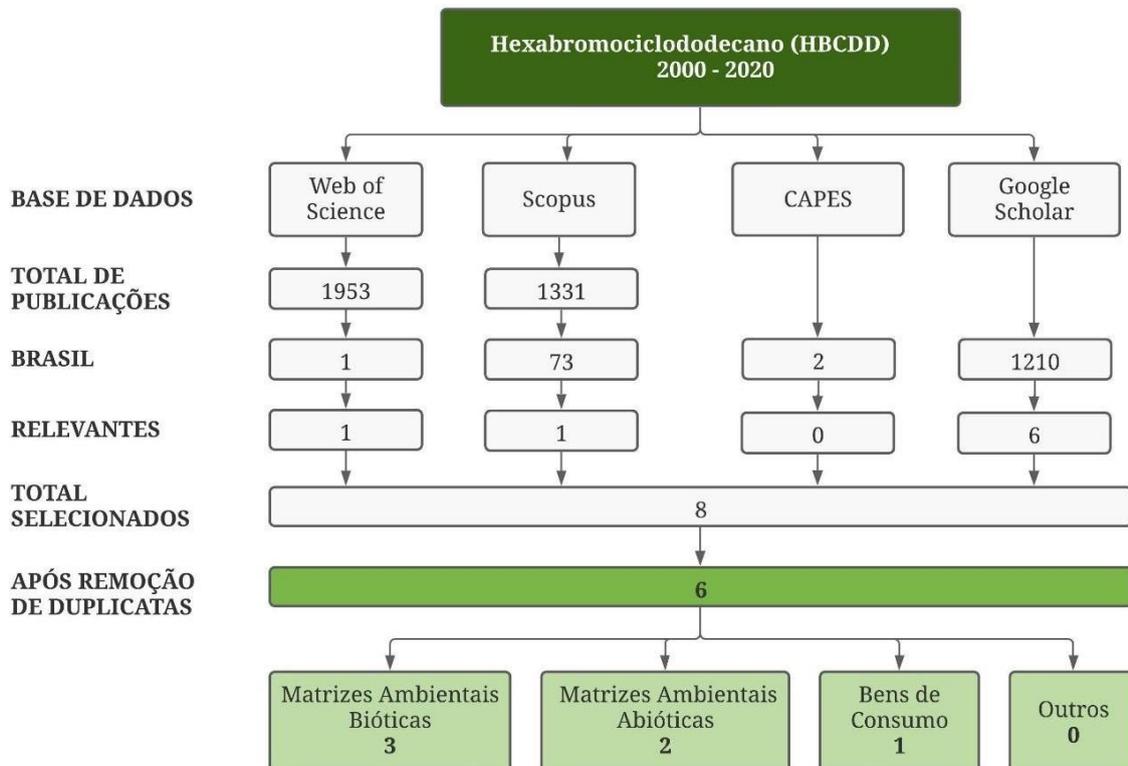


Figura 6: Fluxograma do protocolo seguido no processo de revisão sistemática da ocorrência de HBCDD no Brasil.



3.1 HBCDD em matrizes ambientais

3.1.1 Poeira doméstica

O primeiro relato a respeito do HBCDD no Brasil foi o “Relatório sobre o conteúdo químico em amostras de poeira coletadas em lares e escritórios brasileiros” do Greenpeace, publicado em 2004 e intitulado “Veneno Doméstico”. Nesse estudo (Greenpeace, 2004), foram coletadas amostras de poeira doméstica em lares de 50 voluntários em quatro cidades brasileiras, em escritórios governamentais em Brasília (DF) e também no prédio do MMA, no ano de 2003. Não foi encontrado concentrações de HBCDD nesse estudo ($<0,02$ mg/kg).

3.1.2 Peixes

A distribuição geográfica do HBCDD foi investigada através da análise do tecido muscular de uma espécie de atum (*Katsuwonus pelamis*) recolhidos em águas offshore de diversas regiões do mundo, incluindo o Brasil (UENO et al.; 2006). O HBCD foi detectado em quase todas as amostras analisadas ($<0,1$ a 45 ng/g de peso lipídico). No Brasil, o somatório de HBCDD foi de 0,28 ng/g de peso lipídico (α -HBCDD = 0,28; β -HBCDD $<0,03$ e γ -HBCDD $<0,1$). Os autores verificaram que as concentrações de HBCDD nos atuns recolhidos no hemisfério norte eram aparentemente mais elevados do que os do hemisfério sul. Esses resultados foram relacionados a maiores graus de industrialização e atividades agrícolas no hemisfério norte, onde foi relatado uma procura de 97% do HBCDD em países da América do norte, Europa e Ásia, contra 3% do resto do mundo (BREIVIK et al., 2002; VOLDNER et al., 2005; BSEF, 2005).

3.1.3 Ar

Um estudo realizado por Lee e colaboradores (2016) teve como objetivo fazer uma retrospectiva de amostras de ar recolhidas em 2005 no âmbito da Rede de Amostragem Passiva Atmosférica Global por volta do período de tempo em que a Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes entrou em vigor. Os resultados são apresentados para vários novos retardadores de chamas, incluindo o HBCDD. Estes resultados representam as primeiras distribuições à escala global no ar para HBCDD.

No Brasil, a área de estudo foi em Indaiatuba, no estado de São Paulo, onde foi encontrado concentrações variando de $<0,1$ -190 pg/m^3 . Esses valores precisam ser mais



explorados, pois algumas áreas remotas, como por exemplo na Suécia, apresentaram valores similares ($<1-280 \text{ pg/m}^3$) (REMBERGER et al., 2004). No entanto, na África do Sul, foram encontrados valores mais baixos, com uma média de aproximadamente $1,47 \text{ pg/m}^3$. Na China, entre os anos de 2007 e 2008, foram encontradas concentrações de HBCDD variando de 3,9 a 6700 pg/m^3 .

3.1.4 Leite

Em relação ao monitoramento de HBCDD em leite, a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), em cooperação com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), desenvolveu um estudo, executado de 2011 a 2013, para determinar as concentrações desse composto em leite humano, levando em consideração os protocolos da Organização Mundial da Saúde (OMS) e o protocolo nacional do estudo realizado em 2002 (BRAGA et al., 2002 apud FIOCRUZ, 2014).

Os HBCDs foram determinados somente nas amostras compostas regionais. A região 1 corresponde a: Cuiabá/MT (1), Porto Velho/RO (2), Rio Branco/AC (3), Boa Vista/RR (4), Belém/PA (5); a região 2 corresponde a São Luís/MA (6), João Pessoa/PB (7), Recife/PE (8), Maceió/AL (9), Salvador/BA (10); e a região 3 corresponde a Goiás/GO (11), Belo Horizonte/MG (12), Rio de Janeiro/RJ (13), São Paulo/SP (14), Florianópolis/SC (15). Os valores entre parênteses correspondem ao n amostral de cada local.

As concentrações dos três isômeros da Grande Região 3 ficaram abaixo do limite de quantificação ($<0,05 \text{ ng/g}$). O valor médio da soma de HBCDs foi calculado em $0,44 \text{ ng/g}$ de gordura, a partir das concentrações das Grandes Regiões 1 e 2 (FIOCRUZ, 2014). A comparação do valor médio do Brasil com os níveis médios obtidos em outros países mostra que a concentração média do Brasil fica entre as menores. Somente o valor médio de $0,23 \text{ ng/g}$ de gordura obtido nas Filipinas é menor do que o do Brasil.

3.2 HBCDD em bens de consumo

Em um estudo realizado em 2017 pelo IPEN (IPEN, 2017), verificou que a reciclagem de plásticos contendo produtos químicos tóxicos, como retardadores de chama, encontrados em resíduos eletrônicos, resulta na contaminação de novos brinquedos de plásticos para



crianças. No entanto, não foram encontradas concentrações de HBCDD em cubos plásticos coletados no Brasil.

4 PROGRESSO OBTIDO A PARTIR DO PRIMEIRO PLANO DE AÇÃO

Como primeira atividade verificou-se a necessidade de elaboração de um inventário detalhado do HBCDD. No primeiro momento, suas utilizações na produção de EPS e XPS (utilizados para isolamento e na construção civil) foram consideradas como prioridade identificadas. No entanto, a utilização vai além disso, como na indústria têxtil e em materiais de embalagem.

Uma outra ação imposta foi a eliminação do uso de HBCDD no Brasil. Apesar do HBCDD ter sido listado pela Convenção de Estocolmo em 2013, durante a COP 6, como um POP, adotou-se uma emenda ao Anexo A à Convenção listando o HBCDD com exceções específicas, sendo permitido em EPS e em XPS, ambos para aplicação na construção civil (90%), com concentrações variando de 0,3 a 0,7%. No entanto, essa exceção foi expirada no ano de 2019. De acordo com o levantamento inicial, nenhuma indústria ou associação relatou produzir HBCDD no Brasil.

Atualizou-se os dados sobre produção, importação, uso e exportação de HBCDD. Apenas uma empresa, até a presente data, respondeu nossos questionamentos, que foi da BASF AS quanto às atividades realizadas com o HBCDD. Foi possível identificar um substituto para o HBCDD, que é o produto chamado Emerald, utilizado pela empresa Styporek EPS do Brasil LTDA.

Desenvolveu-se uma cartilha que promove o uso de BAT/BEP e medidas para reduzir os riscos de exposição ao HBCDD.

Foi proposto uma realização de estudos e elaboração de programa para o gerenciamento adequado de resíduos de EPS e XPS que contenham HBCDD, não permitindo a reciclagem de materiais que contenham HBCDD.



5 PLANO DE AÇÃO

Apesar do baixo nível de resposta ao questionário, as informações levantadas foram suficientes para a revisão do NIP. Faz-se necessário avaliar uma forma de identificar a quantidade importada de EPS e XPS que possa conter HBCD, uma vez que as empresas que substituíram o HBCD expressaram preocupação com a importação de produtos que ainda contém essa substância e são mais baratos que os produtos fabricados nacionalmente. Assim, propõe-se que órgãos responsáveis pela fiscalização dos produtos importados sejam informados sobre a situação, para que possam incluir nos procedimentos de fiscalização o controle do EPS contendo HBCD.

A Styporek EPS do Brasil LTDA está utilizando o produto chamado Emerald para substituir o HBCDD. Faz-se necessário uma nova consulta juntamente a essa empresa para solicitar a FISPQ do produto de modo a conhecer melhor a substância química e o seu uso no EPS, que de acordo com a empresa, é utilizado em lajes, forros, paredes, etc.

Outra questão que deve ser levantada nessa nova consulta é saber como era realizado o gerenciamento de resíduos do HBCDD e de EPS e XPS que continham essa substância. O MMA enviará Ofício ao Ibama informando sobre a necessidade de monitoramento sobre a importação de EPS contendo HBCD, realizando em paralelo ações de fiscalização, com divulgação de relatório com resultados.

6 REFERÊNCIAS

BEACH, M.W. et al. 2013. New Class of Brominated Polymeric Flame Retardants for use in Polystyrene Foams. Cellular Polymers 32 (4): 229-236.

<http://dx.doi.org/10.1177/026248931303200403>

BLOMQUIST, P. et al 2010. Compilation of International Building Regulations (Fire) Relevant for EPS/XPS. SP Technical Note 2010:10. SP Technical Research Institute of Sweden, Borås. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.32362.00965>

BRAGA, A.M.C.B. et al. 2002. Dioxin and Dioxin-Like PCBs in Brazil results from the third round of WHO -coordinated exposure study in human milk. Organohalogen Compounds, v. 56, p. 329-332.

BREIVIK, K. et al. 2002. Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners e a mass balance approach 1.Global production and consumption. Sci. Total



Environ. 290, 181-198. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)01075-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)01075-0)

BSEF, 2005 <<http://www.bsef.com/>>.

HONG et al. 2013. Expanded polystyrene (eps) buoy as a possible source of hexabromocyclododecanes (hbcdds) in the marine environment. *Organohalogen Compounds* vol. 75, 882-885.

ECHA, 2009. European Chemicals Agency. Data on Manufacture, Import, Export Uses and Releases of HBCDD as well as Information on Potential Alternatives to Its Use. December 1, 2009. http://echa.europa.eu/doc/consultations/recommendations/tech_reports/tech_rep_hbcdd.pdf

ENVIRONMENT CANADA. 2010. Risk Management Scope for Cyclododecane, 1,2,5,6,9,10 – hexabromo- (Hexabromocyclododecane; HBCD). Available at: <https://www.ec.gc.ca/toxiques-toxics/Default.asp?lang=En&n=58F1CC80-1&wbdisable=true>

EUROPEAN COMMISSION. 2008. Risk Assessment: Hexabromocyclododecane CAS-No.: 25637-99-4 EINECS No.: 247-148-4, Final Report May 2008. Luxembourg. <https://echa.europa.eu/documents/10162/661bff17-dc0a-4475-9758-40bdd6198f82>

FIOCRUZ. Estudo de Poluentes Orgânicos Persistentes em Leite Humano no Brasil. In: Quinta rodada de estudos de exposição coordenada pela Organização Mundial da Saúde em cooperação com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – Relatório Final. 2014.

GREENPEACE. 2004. Relatório sobre o conteúdo químico em amostras de poeira coletadas em lares e escritórios brasileiros. *Veneno Doméstico*. 2004.

IPEN (International POPs Elimination Program). 2017. Toxic Industrial Chemical Recommended for Global Prohibition Contaminates Children's Toys. <https://ipen.org/documents/toxic-industrial-chemical-recommended-global-prohibition-contaminates-childrens-toys-0>

KAJIWARA, N. 2009. Determination of flame-retardant hexabromocyclododecane diastereomers in textiles. *Chemosphere* 74, 1485-1489. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.11.046>

KLIF (Climate and Pollution Agency, Norway). New organic pollutants in air, 2007. Brominated flame retardants and polyfluorinated substances. SPFO-report 1077/2010, TA-2689/2010. Conducted by the Norwegian Institute for Air Research (NILU). Authors: Manø S, Herzke D, Schlabach M. 2010. 64 pp. <http://www.klif.no/no/Tema/Miljoovervakning/Statlig-miljoovervakning/Kartlegging-av-nyemiljogifter/Rapporter/Nye-miljogifter-i-luft-2007/>.

LEE, S.C. et al. 2016 Retrospective analysis of “new” flame retardants in the global atmosphere under the GAPS Network. *Environment Pollution*, 217, 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.080>



MAAG, J. 2010. Inclusion of HBCDD, DEHP, BBP, DBP and additive use of TBBPA in annex IV of the Commission's recast proposal of the RoHS Directive. Danish Environmental Protection. <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2010/978-87-92617-52-1/pdf/978-87-92617-53-8.pdf>

MIYAKE, Y. et al. 2009. Emission rate of Hexabromocyclododecane (HBCD) from the surface of a flame retarded curtain in Japan. *Organohalogen Compounds* 71, 760-763.

MMA. 2013. Inventário Nacional Preliminar de Novos Poluentes Orgânicos Persistentes (Novos POPs) de Uso Industrial. <https://www.gov.br/mma/pt-br>

MOHER, D. et al. The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. Disponível em: www.prisma-statement.org. Tradução: GALVÃO, T. F., PANSANI, T. S. A., 2015. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. *Epidemiol. Serv. Saúde*, v. 24, n. 2, 2015. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742015000200017>

POSNER, S. et al. 2010. Exploration of management options for HBCDD. Swerea Report 10/11.

http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/TaskForce/popsxg/2010/Updated%20documents_June2010/Exploration%20of%20management%20options%20for%20HBCD.pdf

RANI, M. et al. 2014. Hexabromocyclododecane in polystyrene based consumer products: an evidence of unregulated use. *Chemosphere*. 110:111-119. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.02.022>

REMBERGER, M. et al. 2004. The environmental occurrence of hexabromocyclododecane in Sweden. *Chemosphere* 54, 9-21. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00758-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00758-6)

SWEREA. 2010. Exploration of management options for Hexabromocyclododecane (HBCDD). Report. Authors: Posner S, Roos S, Olsson E. 2010. 84 pp. https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/TaskForce/popsxg/2010/Exploration%20of%20management%20options%20for%20HBCD_updated.pdf

TORRES, J.P.M. et al. 2013. Landfill mining from a deposit of the chlorine/ organochlorine industry as source of dioxin contamination of animal feed and assessment of the responsible processes. *Env Sci Pollut Res*. 20, 1958-1965. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1073-z>

UENO, D. et al. 2016. Distribution and transportability of hexabromocyclododecane (HBCD) in the Asia-Pacific region using skipjack tuna as a biomonitor. *Environment Pollution*, 144, 238-247. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.12.024>

UNEP. 2010a. Risk profile on hexabromocyclododecane. UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2 <http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Meetings/POPRC6/POPRC6ReportandDecisions/tabid/1312/Default.aspx>.

UNEP. 2010b. The 9 new POPs: An introduction to the nine chemicals added to the



Stockholm Convention by the Conference of the Parties at its fourth meeting, Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.

UNEP. 2010c. Supporting Document for Technical review of the implications of recycling commercial penta and octabromodiphenyl ethers. (UNEP/POPS/POPRC.6/INF/6). <http://chm.pops.int/>

UNEP. 2011. Risk management evaluation on hexabromocyclododecane. Unep/Pops/POPRC.7/19/Add.1,2011. <http://chm.pops.int/>

UNEP. 2011b. Hexabromocyclododecane Risk Management Evaluation. UNEP/POPS/POPRC.7/19/Add.1
<http://chm.pops.int/Convention/POPsReviewCommittee/POPRCMeetings/POPRC7/POPRC7ReportandDecisions/tabid/2472/Default.aspx>.

UNEP. 2012. Addendum to the risk management evaluation on hexabromocyclododecane. UNEP/POPS/POPRC.8/16/Add.3
<http://chm.pops.int/Convention/POPsReviewCommittee/LatestMeeting/POPRC8/POPRC8ReportandDecisions/tabid/2950/Default.aspx>.

UNEP. 2013. Guidance on the global monitoring plan for persistent organic pollutants. 2013. <http://chm.pops.int/>

UNEP. 2015. Guidance for the inventory, identification and substitution of Hexabromocyclododecane (HBCD). Draft, April 2015. Secretariat of the Stockholm Convention. <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/tabid/2882/Default.aspx>

UNEP. 2017. Esboço para documento de orientação sobre melhores técnicas disponíveis e melhores práticas ambientais para a produção e utilização de hexabromociclododecano listado com isenções específicas sob a Convenção de Estocolmo. Janeiro, 2017.

VOLDNER, E.C. et al., 1995. Global usage of selected persistent organochlorines. *Sci. Total Environ* 160/161, 201-210.1995. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04357-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04357-7)

WEBER, R. et al. 2017. Learning from Dioxin & PCBs in meat – problems ahead? *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 85 012002. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/85/1/012002/pdf>

WEBER, R. et al. 2018. Reviewing the relevance of dioxin and PCB sources for food from animal origin and the need for their inventory, control and management. *Environ Sci Eur.* 30:42. <https://rdcu.be/bax79>



7 ANEXO

7.1 Tabelas de Balanço Comercial

Tabela A1: Valores de importação e exportação de hexabromociclododecano (HBCDD – *hexabromocyclododecane*) em quilograma líquido, no período de janeiro de 1997 a dezembro de 2019. Dados disponíveis na plataforma Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>) para os três códigos de Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) apontados pela Receita Federal como possíveis de haver HBCDD incluso.

Ano	NCM 290305990		NCM 29038990		NCM 29038900	
	Importação	Exportação	Importação	Exportação	Importação	Exportação
1997	39010	6124	-	-	-	-
1998	66986	-	-	-	-	-
1999	43301	-	-	-	-	-
2000	61264	-	-	-	-	-
2001	79296	-	-	-	-	-
2002	67200	-	-	-	-	-
2003	81964	-	-	-	-	-
2004	84185	2400	-	-	-	-
2005	73121	10	-	-	-	-
2006	74265	-	-	-	-	-
2007	107628	3025	-	-	-	-
2008	97115	462	-	-	-	-
2009	142115	47	-	-	-	-
2010	136481	5000	-	-	-	-
2011	112163	-	-	-	-	-
2012	-	-	90000	-	-	-
2013	-	-	151000	-	-	-
2014	-	-	96006	-	-	-
2015	-	-	77000	-	-	-
2016	-	-	205860	-	-	-
2017	-	-	-	-	149650	-
2018	-	-	-	-	220755	-
2019	-	-	-	-	1	-
Total:	1266094	17068	619866	-	370406	-

NCM 290305990; NCM 29038990; NCM 29038900 - derivados halogenados dos hidrocarbonetos ciclânicos, ciclênicos ou cicloterpênicos



Tabela A2: Valores de importação e exportação de poliestireno expandido (EPS - *expanded polystyrene*) em quilograma líquido, no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2019. Dados disponíveis na plataforma Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>) para o código de Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) apontados pela Receita Federal de haver EPS.

NCM 39259010		
Ano	Importação	Exportação
2011	103710	5476
2012	102050	7752
2013	144316	22720
2014	963178	22033
2015	148448	61238
2016	248358	76463
2017	791368	58597
2018	787729	28418
2019	1008337	50028
Total:	4297494	332725

NCM 39259010 - Artefatos para apetrechamento de construções, de plásticos, de poliestireno expandido (EPS)

7.2 Protocolo de revisão sistemática

Para uma avaliação completa a respeito da ocorrência dos POP, se faz necessário – além das investigações diretas com as partes interessadas e levantamentos previamente descritos ao longo desse inventário – revisar a produção acadêmica nacional e internacional em busca de relatos científicos que apontem a ocorrência de tais substâncias no país; seja em produtos disponibilizados no mercado consumidor interno, ou seja em matrizes ambientais nativas.

Com essa finalidade, foi estabelecido um processo de revisão sistemática para obtenção de dados com base no protocolo PRISMA (“Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises”, 2015). O método PRISMA envolve a definição de critérios de busca e seleção rígidos para definir as publicações que serão consideradas para a revisão. Duas bases de dados específicas para a busca de publicações científicas revisadas pelos pares foram utilizadas, sendo elas: Web of Science e SCOPUS. Além dessas, a plataforma Sucupira da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para Teses e



Dissertações (base nacional) foi consultada para se obter uma visão da produção de conhecimento a respeito de POP pela pós-graduação brasileira. No entanto, no caso dos HBCDD, o protocolo precisou ser expandido devido à falta de resultados relevantes nas bases de dados específicas que foram consultadas. Nesse caso, uma base de dados mais generalista (Google Scholar) foi utilizada a fim de obter também relatos que não só artigos científicos revisados pelos pares. A revisão foi realizada no período de 28 de setembro até 28 de outubro de 2020.

Nas duas bases de dados específicas internacionais (Web of Science e SCOPUS), foi feito primeiramente um levantamento de trabalhos que mencionassem o nome do composto ou sua sigla, bem como nomes e siglas de compostos. Em ambas as bases de dados, as buscas foram feitas em inglês e utilizando caracteres curingas para a variação de palavras chaves.

As buscas por trabalhos que mencionassem HBCDD nos sites Web of Science e Scopus incluíram os seguintes termos: (hexabromo?cyclododecane*), (hexabromocyclododecane), (HBCD) e (HBCDD) dentro da busca por tópicos. Os termos utilizados possibilitam a busca pela maior variedade de palavras derivadas do nome do composto. A busca das siglas com o caractere especial (*) também possibilitou que a forma singular e plural das mesmas fossem englobadas na revisão.

Posteriormente, a palavra (Bra?il) (que engloba as variações de escrita Brazil (inglês) e Brasil (português), bem como as palavras derivadas que denominam nacionalidade em ambos os idiomas) foi utilizada para avaliar quantas das publicações contendo o nome do composto e suas possíveis variações e correlações diretas estariam também relacionadas ao país.

Já na plataforma Sucupira da CAPES para Teses e Dissertações, as buscas foram feitas na língua portuguesa, utilizando as seguintes palavras chaves hexabromociclododecano OR HBCD OR HBCDD OR "hexabromo-ciclododecano" OR "hexabromo ciclododecano". Nesse caso não se fez necessário utilizar o nome do país como palavra-chave.

Nas três bases de dados utilizadas as palavras chaves foram pesquisadas nos seguintes campos: Títulos, Palavras-chaves e Resumos. O único filtro aplicado às buscas foi o intervalo de anos para focar em trabalhos publicados entre os anos 2000 e 2020. O critério de seleção



das publicações tidas como relevantes foi toda e qualquer menção a ocorrência de HBCDD no território brasileiro.

Na base de dados Web of Science foram encontrados 1953 trabalhos mencionando o composto de interesse. Porém quando a busca foi refinada para trabalhos que também mencionassem a ocorrência do composto no Brasil nos campos de buscas selecionados, foi encontrado apenas 1 publicação.

Na base de dados SCOPUS foram encontrados 1.331 trabalhos mencionando o composto de interesse. Quando a busca foi refinada para trabalhos que também mencionassem a ocorrência do composto no Brasil nos campos de buscas selecionados, 73 publicações foram encontradas. Porém apenas uma publicação se encaixou no critério de seleção de informações tidas como relevantes para o propósito desejado.

Na base de dados da CAPES de Teses e Dissertações foram encontrados 2 trabalhos mencionando o composto de interesse. Porém quando a busca foi refinada para trabalhos que também mencionassem a ocorrência do composto no Brasil nos campos de buscas selecionados, nenhuma publicação foi encontrada.

Devido a limitação encontrada para levantar informações a respeito da ocorrência de HBCDD no Brasil a partir do método de revisão sistemática utilizado, as buscas foram expandidas com a plataforma Google Scholar. Devido ao baixo teor de especificidade dessa plataforma e ao fato de suas buscas abrangerem qualquer parte do texto publicado, as palavras chaves tiveram que ser limitadas ao radical do nome do composto em ambos os idiomas (inglês e português) para tornar a busca viável.

A busca por trabalhos que mencionassem a ocorrência de HBCDD no Brasil na base de dados Google Scholar abrangeu as seguintes palavras-chaves: "hexabromocyclododecane" OR "hexabromo cyclododecane" OR "hexabromociclododecano" OR "hexabromo ciclododecano" OR "HBCD" OR "HBCDD" brazil* OR brasil*. O período avaliado foi o mesmo das buscas anteriores em bases de dados específicas (2000-2020) e os critérios de seleção dos trabalhos tidos como relevantes também foram os mesmos.

Na base de dados Google Scholar foram encontrados 1210 trabalhos mencionando o composto de interesse e nome do país. Todos esses trabalhos foram avaliados. Porém apenas



6 publicações se encaixaram no critério de seleção de informações tidas como relevantes para o propósito desejado. No entanto, um desses foi o mesmo trabalho encontrado na base de dados Web of Science e um outro na base de dados SCOPUS.

7.3 Tabela do número de indústrias nacionais com possível aplicação de HBCDD

Apresenta-se compilado na Tabela A3 o número total de empresas cadastradas no CEMPRE-IBGE por unidade federativa, de acordo com o censo de 2017, que possam fazer uso de HBCDD em seus processos ou produtos.



Tabela A3: Número total empresas cadastradas no CEMPRE-IBGE por unidade federativa, de acordo com o censo de 2017, que possam fazer uso de HBCDD em seus processos ou produtos. Continua...

INDÚSTRIAS	AC	AL	AP	AM	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA
Construção Civil e Infraestrutura	98	469	134	676	4032	1854	1694	2024	3208	1037	1811	1252	9700	1347
Eletrônicos e Informática	1	5	1	110	93	71	32	37	95	6	11	18	593	9
Gestão de Resíduos	6	33	8	43	242	134	57	121	241	60	128	132	529	80
Automotiva	6	17	0	11	69	36	15	68	108	24	37	24	173	35
Peças de Carros	1	1	2	8	38	22	8	19	43	4	14	7	206	6
Plástico	10	79	2	117	353	262	60	111	316	39	91	67	869	54
Produtos Diversos	3	32	6	25	325	151	85	138	231	44	175	56	1066	83
Preparados Químicos Diversos	0	5	0	14	57	39	4	23	41	9	12	9	235	7
Produtos Químicos Orgânicos	0	1	0	1	22	7	0	1	6	2	5	5	33	2
Recuperação de Materiais	2	33	2	28	127	130	34	73	147	24	57	50	343	30
Têxtil	32	183	33	104	1533	3521	341	1228	3933	261	403	322	7319	258
Tintas e Revestimentos	1	8	0	4	41	46	18	23	76	10	19	13	98	8
Transporte	3	4	5	86	48	32	5	14	37	9	13	9	84	33
TOTAL	163	870	193	1227	6980	6305	2353	3880	8482	1529	2776	1964	21248	1952
Percentual	0,1	0,4	0,1	0,6	3,3	3,0	1,1	1,8	4,0	0,7	1,3	0,9	10,0	0,9



Tabela A3 Continuação: Número total empresas cadastradas no CEMPRE-IBGE por unidade federativa, de acordo com o censo de 2017, que possam fazer uso de CP em seus processos ou produtos.

INDÚSTRIAS	PB	PR	PE	PI	RJ	RN	RS	RO	RR	SC	SP	SE	TO
Construção Civil e Infraestrutura	759	9594	1828	653	7356	960	8834	549	109	6252	32117	466	444
Eletrônicos e Informática	25	632	63	8	205	15	732	8	0	411	2554	8	0
Gestão de Resíduos	63	435	105	73	316	63	370	41	7	265	1431	17	38
Automotiva	10	335	41	17	78	18	275	30	2	180	345	19	17
Peças de Carros	5	261	21	4	68	11	417	2	0	183	1474	9	5
Plástico	129	1216	291	42	639	69	1557	25	1	1137	5202	36	12
Produtos Diversos	80	785	164	49	357	6	147	14	0	130	422	5	4
Preparados Químicos Diversos	7	166	29	5	98	9	211	5	0	130	872	3	6
Produtos Químicos Orgânicos	4	39	6	4	14	0	36	0	0	23	178	1	3
Recuperação de Materiais	42	428	91	21	177	43	349	27	5	334	862	9	13
Têxtil	526	6061	3106	425	4386	653	3814	148	25	10420	19123	364	94
Tintas e Revestimentos	21	184	27	9	81	16	116	5	0	103	453	2	5
Transporte	9	153	21	2	166	6	147	14	0	130	422	5	4
TOTAL	1680	20289	5793	1312	13941	1869	17005	868	149	19698	65455	944	645
Percentual	0,8	9,7	2,8	0,6	6,6	0,9	8,1	0,4	0,1	9,4	31,2	0,5	0,3