



Éteres difenílicos polibromados

(PBDEs – *Polybrominated Diphenyl Ethers*; pentaBDE e octaBDE)

CONSULTOR: Gabriel Oliveira de Carvalho

Inventário de éteres difenílicos polibromados (PBDEs – *Polybrominated Diphenyl Ethers*) 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. PBDE como Poluente Orgânico Persistente	11
1.2. Produção	12
1.3. Aplicações	13
2. INVENTÁRIO DOS PBDEs NO BRASIL	14
2.1. Produção	15
2.2. Comércio	17
3. OCORRÊNCIA DE PBDEs NO BRASIL	21
3.1. PBDEs em matrizes ambientais abióticas	22
3.2. PBDEs em matrizes ambientais bióticas	28
3.3. PBDEs em bens de consumo	42
3.4. Outros	43
4. PLANOS DE AÇÃO	43
4.1. Progresso obtido a partir do primeiro plano de ação	43
4.2. Plano de ação	44
5. REFERÊNCIAS	45
6. ANEXOS	53
6.1. Quadros Nomes Comerciais	53
6.2. Importação e Exportação - NCM	57
6.3. Empresas cadastradas no CEMPRE-IBGE	58
6.4. Protocolo de revisão sistemática	59



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico de importação e exportação dos NCMs: 2903.39.29 (Outros derivados bromados); 2903.99.29 (outros derivados halogenados, unicamente com bromo) e 2909.30.19 (outros éteres aromáticos), em tonelada líquida, no período entre 1997 e 2019. Fonte: ComexStat..... 18

Figura 2: Número e percentual de indústrias por unidades federativas que possam eventualmente gerar resíduos ou fazer aplicação de PBDEs em seus processos ou em seus produtos..... 20

Figura 3: Fluxograma do protocolo seguido no processo de revisão sistemática da ocorrência de éteres difenílicos polibromados no Brasil..... 22



LISTA DE QUADROS E TABELAS

- Quadro 1:** Possíveis nomenclaturas (químicas, genéricas e comerciais), fórmula química e estrutural e propriedades do grupo c-pentaBDE (éter tetrabromodifenílico e éter pentabromodifenílico) (PBDE – Polybrominated Diphenyl Ethers) e possíveis números do Serviço de Resumo Químico (CAS - Chemical Abstract Service). 8
- Quadro 2:** Possíveis nomenclaturas (químicas, genéricas e comerciais), fórmula química e estrutural e propriedades do grupo c-octaBDE (éter hexabromodifenílico e éter heptabromodifenílico) (PBDE – Polybrominated Diphenyl Ethers) e possíveis números do Serviço de Resumo Químico (CAS - Chemical Abstract Service). 9
- Quadro 3:** Compostos comerciais c-octaBDE e c-pentaBDE regulados pela Convenção de Estocolmo..... 12
- Quadro 4:** Estimativa da produção total de misturas comerciais de PBDE, 1970-2005 13
- Quadro 5:** Principais usos dos produtos comerciais, grupos c-pentaBDE e c-octaBDE 13
- Tabela 1:** Lista de instituições potencialmente envolvidas em alguma etapa do ciclo de vida de éteres difenílicos polibromados consultadas pelo Ministério do Meio Ambiente: Número de ofícios enviados, número de empresas privadas, número de associações e número de respostas. 16
- Tabela 2:** Dados de éteres difenílicos polibromados em amostras ambientais abióticas no território brasileiro. As amostras de sedimento, poeira e solo estão em ng g^{-1} peso seco (p.s.) e de ar em pg m^{-3} 22
- Tabela 3:** Dados de éteres difenílicos polibromados (PBDEs) em amostras ambientais bióticas no território brasileiro. As amostras biológicas estão em ng g^{-1} , as concentrações podem estar em peso fresco (p.f.), peso úmido (p.u.), peso seco (p.s.) ou peso lipídico (p.l.)..... 27

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABS (acrilonitrila butadieno estireno)

CAS (*Chemical Abstract Service* – Serviço de Resumo Químico)

CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior)

c-decaBDE (éter decabromodifenílico comercial)

c-octaBDE (éter octabromodifenílico comercial)

c-pentaBDE (éter pentabromodifenílico comercial)

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, atual Companhia Ambiental do Estado de São Paulo)

CONASQ (Comissão Nacional de Segurança Química)

DecaBDE (Éter decabromodifenílico)

DQAR (Departamento de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos)

EUA (Estados Unidos da América)

EU (*European Union* – *União Europeia*)

EEE (equipamentos eletroeletrônicos)

HS (*harmonized system code* – Sistema Harmonizado)

IARC (*International Agency for Research on Cancer* – Agência Internacional para Pesquisa em Câncer)

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis)

IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry* – União Internacional de Química Pura e Aplicada)

LOECs (*Lowest Observed Effect Concentration*)

MDIC (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços)

ME (Ministério da Economia)

MI (Ministério da Infraestrutura)

MMA (Ministério do Meio Ambiente)

NBM (Nomenclatura Brasileira de Mercadorias)

NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul)

NIP (*National Implementation Plan* – Plano Nacional de Implementação)

OctaBDE (Éter octabromodifenílico)

OMC (Organização Mundial do Comércio)

PBDE (Polybrominated Diphenyl Ethers - éteres difenílicos polibromados) PCBs (*polychlorinated biphenyls* – bifenilas policloradas)

PentaBDE (Éter pentabromodifenílico) POPs (Poluentes Orgânicos Persistentes)

FECD

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL
CIÊNCIA E DESENVOLVIMENTO



PRISMA (principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises) PUF (espumas de poliuretano)

RoHS (*Restriction of Certain Hazardous Substances* - Restrição de Certas Substâncias Perigosas)

SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática)



1. INTRODUÇÃO

Os éteres difenílicos polibromados (PBDE – Polybrominated Diphenyl Ethers¹) pertencem a uma classe de compostos amplamente utilizados como retardantes de chamas em diversos materiais. Assim como outros poluentes orgânicos persistentes (POP), esses compostos são encontrados em diversos componentes bióticos ao redor do planeta, atingindo até áreas remotas (RAHMAN et al., 2001). As moléculas caracterizam-se por dois anéis aromáticos ligados por um átomo de oxigênio, além de 1 a 10 átomos de bromo substituindo os hidrogênios no anel aromático. De acordo com a quantidade de átomos de bromo e as posições ocupadas por eles, podem ser formados 209 congêneres (Quadros 1 e 2), que são distribuídos em 10 grupos homólogos que possuem o mesmo número de átomos de bromo. Estes grupos homólogos são identificados pelo prefixo mono-, di-, tri-, tetra-, penta-, hexa-, hepta-, octa-, nona- e -deca (U.S. EPA, 2010; ANNUNCIACÃO et al., 2018; RAHMAN et al., 2001).

Os PBDEs possuem ampla variedade de usos, decorrentes de suas características físico-químicas. As misturas comerciais são predominantemente compostas por pentaBDE, octaBDE e/ou decaBDE, podendo variar na composição de congêneres (LA GUARDIA; HALE; HARVEY, 2006; PESTANA; BORGES, 2008). O pentaBDE (éter tetrabromodifenílico e éter pentabromodifenílico) e o octaBDE (éter hexabromodifenílico e éter heptabromodifenílico) possuem 46 e 12 congêneres, respectivamente. Enquanto que, o decaBDE, por ter todos os hidrogênios substituídos por bromos no anel aromático, só apresenta um congênere no grupo (ATSDR, 2017), mas pode conter níveis traços de outros congêneres dos grupos octa e nonaPBDEs (ex: octaBDE - 196, 197 e 203 / NonaBDE - 206, 207 e 208) (LA GUARDIA; HALE; HARVEY, 2006). Os principais usos dos PBDEs incluem indústrias de construção civil, eletroeletrônicos, móveis, têxtil e carpetes, transportes e centros de reciclagem.

¹ A fim de padronizar e facilitar futuras buscas de informação a respeito dos éteres difenílicos polibromados, as siglas em PBDE (*Polybrominated Diphenyl Ether*), pentaBDE (*Pentabromodiphenyl ether*) e octaBDE (*Octabromodiphenyl ether*) foram adotadas ao longo do texto. Sendo PBDEs referentes aos éteres difenílicos polibromados; pentaBDE referente aos éteres tetrabromodifenílicos e éteres pentabromodifenílicos; e o octaBDE referente aos éteres hexabromodifenílicos e éteres heptabromodifenílicos.



O produto comercial pentaBDE é uma mistura de PBDEs que possui uma maior concentração dos congêneres BDE-47 (CAS: 5436-43-1), BDE-99 (CAS: 60348-60-9 ou 32534-81-9) e BDE-100 (CAS: 189084-64-8) (ANNUNCIACÃO et al., 2018), além de outros (BDEs-85,-153,-154,183,-17,-28) (Quadro 1).

Quadro 1: Possíveis nomenclaturas (químicas, genéricas e comerciais), fórmula química e estrutural e propriedades do grupo c-pentaBDE (éter tetrabromodifenílico e éter pentabromodifenílico) (PBDE – Polybrominated Diphenyl Ethers) e possíveis números do Serviço de Resumo Químico (CAS - Chemical Abstract Service).

Nome comum (abreviação em inglês)	c-pentaBDE (éter tetrabromodifenílico e éter pentabromodifenílico)
Nomenclatura IUPAC	—
Exemplo da estrutura molecular de um éter pentabromodifenílico (BDE-99). <i>Fonte:</i> ATSDR, 2017	
Fórmula molecular	$C_{12}H_xBr_yO$, $x + y = 10$, onde x e y variam de acordo com a quantidade de bromo.
Solubilidade em água (EU, 2001)	13.3 $\mu\text{g/L}$
Ponto de fusão (EU, 2001)	-7 to -3°C
Sinônimos	<p>Produto Sinônimos químicos</p> <hr/> <p>BDE- 47 2,4-dibromo-1-(2,4-dibromophenoxy)benzene ; 2,2',4,4'-brominated diphenyl ether ; 2,2',4,4'-tetrabromobiphenyl ether ; 2,2',4,4'-tetrabromodiphenyl ether ; 2,2,4,4-tetrabromodiphenyl ether ; BDE-47 ; PBDE-47 ; TBDP-ether ; tetrabrominated diphenyl ether 47</p> <hr/> <p>BDE-99 1,2,4-tribromo-5-(2,4-dibromophenoxy)benzene ; 2,2',3,4,4'-pentabromodiphenyl ether ; 2,2',4,4',5-pentaBDE ; 2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether ; 2,2',4,4',6-pentabromodiphenyl ether ; DE 71 ; DE-71 ; PBDE ; PBDE 100 ; PBDE 85 ; PBDE 99 ; pentabromodiphenyl ether ; pentabromodiphenyl ether (mixed isomers)</p>



	<p>BDE-99 1,2,4-tribromo-5-(2,4-dibromophenoxy) benzene; 2,2',3,4,4'-pentabromodiphenyl ether ; 2,2',4,4',5-pentaBDE ; 2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether; 2,2',4,4',6-pentabromodiphenyl ether; DE 71 ; DE-71 ; PBDE ; PBDE 100 ; PBDE 85 ; PBDE 99 ; pentabromodiphenyl ether ; pentabromodiphenyl ether (mixed isomers)</p> <hr/> <p>BDE-100 1,2,4-tribromo-5-(2,4,5-tribromophenoxy)benzene; 2,2',3,4,4'-pentabromodiphenyl ether ; 2,2',4,4',5-pentaBDE ; 2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether ; 2,2',4,4',6-pentabromodiphenyl ether ; DE 71 ; DE-71 ; PBDE ; PBDE 100 ; PBDE 85 ; PBDE 99 ; pentabromodiphenyl ether; pentabromodiphenyl ether (mixed isomers)</p>
Números de CAS (<i>chemical abstract service</i>) dos principais congêneres presentes na mistura comercial c-pentaBDE	5436-43-1 (BDE- 47) 60348-60-9 (BDE-99) 32534-81-9 (BDE-99) 189084-64-8 (BDE-100)
Nomes comerciais genéricos	6.1 Quadro A1 (Anexos)

(Nomenclatura IUPAC não constam no quadro pois as misturas comerciais contém diferentes congêneres e grupos de BDE em proporções variadas. Adicionalmente, solubilidade em água e ponto de fusão podem variar de acordo com a mistura comercial analisada)

O produto comercial octaBDE é uma mistura de diversos congêneres, dentre estes:

BDE-183, BDE-197, BDE-203, BDE-196, BDE-206, BDE-207, BDE-153, BDE-154, BDE-180, BDE171, BDE209 (Quadro 2).

Quadro 2: Possíveis nomenclaturas (químicas, genéricas e comerciais), fórmula química e estrutural e propriedades do grupo c-octaBDE (éter hexabromodifenílico e éter heptabromodifenílico) (PBDE – Polybrominated Diphenyl Ethers) e possíveis números do Serviço de Resumo Químico (CAS - Chemical Abstract Service).

Nome comum (abreviação em inglês)	c-octaBDE (éter hexabromodifenílico e éter heptabromodifenílico)
Nomenclatura IUPAC	—
Exemplo da estrutura molecular de um do éter hexabromodifenílico (BDE-153). Fonte: ATSDR, 2017	



Fórmula molecular	$C_{12}H_xBr_yO$, $x + y = 10$, onde x e y variam de acordo com a quantidade de bromo.
Solubilidade em água (EU, 2003)	<1 ug/L à 25°C
Ponto de fluidez (EU, 2003)	85–89°C
Sinônimos	Produto Sinônimos químicos
	BDE-153 2,2',4,4',5,5'-brominated diphenyl ether; BDE-153; hexabrominated diphenyl ether 153
	BDE-183 1,2,3,5-tetrabromo-4-(2,4,5-tribromophenoxy)benzene; 2,2',3,4,4',5',6-HeptaBDE; 2,2',3,4,4',5',6-heptabromodiphenyl ether; BDE 183 ; BDE-183
	BDE-196 1,2,3,4-tetrabromo-5-(2,3,4,6-tetrabromophenoxy)benzene; 2,2',3,3',4,4',5,5',6'-octabromodiphenyl ether
	BDE-197 1,2,3,5-tetrabromo-4-(2,3,4,6-tetrabromophenoxy)benzene; 2,2',3,3',4,4',5,5',6'-octabromodiphenyl ether; BDE 197; BDE-197; BDE197
	BDE-203 1,2,3,4,5-pentabromo-6-(2,4,5-tribromophenoxy)benzene; 2,2',3,4,4',5,5',6'-octabromodiphenyl ether ; BDE-203 ; BDE 203
	BDE-206 1,2,3,4,5-pentabromo-6-(2,3,4,5-tetrabromophenoxy)benzene; 2,2',3,3',4,4',5,5',6'-nonabromodiphenyl ether; BDE 206 ; BDE-206; BDE206
	BDE-206 1,2,3,4,5-pentabromo-6-(2,3,4,5-tetrabromophenoxy)benzene; 2,2',3,3',4,4',5,5',6'-nonabromodiphenyl ether; BDE 206; BDE-206; BDE207
	BDE-207 1,2,3,4,5-pentabromo-6-(2,3,4,6-tetrabromophenoxy)benzene; 2,2',3,3',4,4',5,5',6'-nonabromodiphenyl ether; BDE 207; BDE-207; BDE207
Números de CAS (<i>chemical abstract service</i>) dos principais congêneres presentes na mistura comercial c-octaBDE	68631-49-2 (BDE-153) 207122-16-5 (BDE-183) 446255-39-6 (BDE-196) 117964-21-3 (BDE-197) 337513-72-1 (BDE-203) 63936-56-1 (BDE-206) 63387-28-0 (BDE-206) 437701-79-6 (BDE-207)
Nomes comerciais genéricos	6.1 Quadro A2 (Anexos)

(Nomenclatura IUPAC não constam no quadro pois as misturas comerciais contêm diferentes congêneres e grupos de BDE em proporções variadas. Adicionalmente, solubilidade em água e ponto de fusão podem variar de acordo com a mistura comercial analisada)



1.1. PBDE como Poluente Orgânico Persistente

PBDEs são conhecidos pela sua persistência no ambiente, capacidade bioacumulativa e por possuir um alto potencial para o transporte atmosférico de longa distância. As emissões de misturas comerciais podem ocorrer ao longo de todo o ciclo de vida dos PBDEs, com ênfase na produção, no uso e no gerenciamento de resíduos, como por exemplo aterros e incineração (REDFERN et al., 2017). Os PBDEs são encontrados em diversos ecossistemas, ocorrendo inclusive no Ártico, o que é uma prova do seu potencial para o transporte ambiental de longo alcance. Esses compostos já foram encontrados em diversos compartimentos ambientais da região, assim como: ar, sedimento, neve, gelo e biota (ATSDR, 2017; REDFERN et al., 2017). Após a emissão, PBDEs são preferencialmente adsorvidos na matéria orgânica de partículas em suspensão (ar ou água), lodo de esgoto, sedimentos e solo. A principal via de mobilização do PBDE é a atmosférica, aderidas ao material particulado, sendo suscetível à deposição úmida e seca (ATSDR 2017). Também contribuem para entrada desses compostos no ambiente a descarga provenientes de atividades industriais em corpos hídricos, despejo em aterros sanitários e reciclagem de produtos como eletroeletrônicos e outros artigos contendo PBDEs (UNEP, 2010). Os solos e sedimentos podem ser considerados compartimentos ambientais de deposição importantes após a liberação dos compostos no ambiente.

A maior parte dos estudos sobre a toxicidade de compostos BDE foram realizados em animais, demonstrando toxicidade via oral e inalatória aos compostos pentaBDE e octaBDE (ELJARRAT; BARCELÓ; ALAEE, 2011). Estes estudos identificaram, em sua maior parte, efeitos no fígado e tireoide em indivíduos adultos, contudo, quando realizados em estágios de desenvolvimento iniciais resultaram em danos ao sistema neurológico e reprodutivo. Estudos com humanos, apesar de menos frequentes, sugerem uma associação entre exposição ao PBDE e alterações no neurodesenvolvimento (ATSDR, 2017). A Agência Internacional para Pesquisa do Câncer (IARC), classificou PBDE como uma substância do grupo 3 (não classificável como carcinogênica em humanos) (IARC, 2016).



Levando em conta as propriedades físico-químicas e as características toxicológicas, as misturas comerciais c-pentaBDE e c-octaBDE foram listadas em 2009 no anexo A da convenção de Estocolmo, que estabelece a eliminação do uso e produção para estas substâncias. Contudo, países podem permitir a reciclagem de artigos que contêm ou possam conter PBDEs, assim como o uso e a disposição final de artigos manufaturados de materiais reciclados que contêm ou possam conter PBDEs, com um prazo limite até o ano 2030 (Quadro 3).

Quadro 3: Compostos comerciais c-octaBDE e c-pentaBDE regulados pela Convenção de Estocolmo

Composto	Anexo	Usos aceitáveis	Documento
Éter hexabromodifenílico e éter heptabromodifenílico (c-octaBDE)	A*	Produção: Nenhuma Uso: Alguns produtos contendo essa mistura comercial ainda podem ser utilizados e alguns reciclados	SC-4/14
Éter tetrabromodifenílico e éter pentabromodifenílico (c-Penta BDE)	A*	Produção: Nenhuma Uso: Alguns produtos contendo essa mistura comercial ainda podem ser utilizados e alguns reciclados	SC-4/18

Fonte: <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx>

* Para as substâncias listadas no Anexo A os signatários devem tomar medidas para eliminação da produção e do uso. A convenção permite o registro de exceções específicas para um determinado período de tempo.

1.2. Produção

Os PBDEs começaram a ser produzidos comercialmente na década de 1970 como retardantes de chama (IPCS, 1994). As principais misturas comerciais foram penta-, octa- e decaBDE. A produção de c-pentaBDE ocorreu em Israel, Japão, Estados Unidos da América (USA) e União Europeia (EU) e provavelmente China (UNEP, 2010a, 2010b). Contudo, desde o final da década de 1990 a produção ocorreu principalmente nos EUA até cessar em 2004. Já o c-octaBDE foi produzido na EUA, França, Holanda, Israel, Japão e Reino Unido, com a produção mundial cessando em 2004 (UNEP, 2007, 2008). Em 2001, as formulações deca, penta e octa-PBDE foram responsáveis 83,3%, 11,1% e 5,6% da demanda mundial desses produtos, respectivamente. Posteriormente, os produtos passaram a sofrer proibições e restrições devido aos seus efeitos deletérios à saúde humana e ao meio ambiente.



Após as restrições e banimentos do c-pentaBDE e c-octaBDE em diferentes países, a produção e o consumo de c-decaBDE aumentaram, sendo a produção do c-decaBDE estimada em mais de 1,1 milhões de toneladas entre 1970 e 2005 (Quadro 4).

Quadro 4: Estimativa da produção total de misturas comerciais de PBDE, 1970-2005

Mistura comercial	Toneladas
c-pentaBDE	91.000 a 105.000
c-octaBDE	102.700 a 118.500
c-decaBDE	1.100.000 a 1.250.000

(Adaptado de UNEP, 2010a, baseado em dados de Schenker et al., 2008 and Li, 2010)

1.3. Aplicações

Os PBDEs foram amplamente utilizados como aditivos misturados aos materiais com a função de retardantes de chamas, em virtude de seu baixo custo e elevada eficiência (ANNUNCIACÃO et al., 2018). A EU anunciou proibições para formulações contendo penta- e octa-BDE no verão de 2004 (LA GUARDIA; HALE; HARVEY, 2006). Assim como a partir de 2006, a EU banuiu o uso desses compostos em aplicações elétricas e eletrônicas através da diretiva 2002/95/EC. Apesar dessa proibição, as substâncias associadas a esses produtos ainda podem ser encontradas no meio ambiente e em seres humanos devido a sua presença em produtos em uso, assim como em produtos reciclados. Desta maneira no quadro 5 estão relatadas as principais utilizações históricas dos grupos c-penta e c-octaBDE.

Quadro 5: Principais usos dos produtos comerciais, grupos c-pentaBDE e c-octaBDE

Grupos e principais congêneres	Uso
c-pentaBDE (Mistura)	Cerca de 90% a 95% da utilização de c-pentaBDE foi para o tratamento de espumas de poliuretano (PUR), principalmente em aplicações automotivas e em estofados. Outros usos como retardante de chamas incluem: Setor têxtil; Placas eletrônicas; Espuma de insulação; Fios e Cabos; Correias; Óleo de perfuração
c-octaBDE (Mistura)	A maior parte da aplicação do c-octaBDE foi no setor de eletrônicos, e também, em menor parte, no setor de transportes. Entre seus usos, incluem: Retardante de Chamas: Acrilonitrila butadieno estireno (ABS); Máquinas copiadoras; Impressoras; Poliestireno de alto impacto (HIPS); polybutylene terephthalate (PBT); Poliamida (PA) polímeros; Eletroeletrônicos; Transportes



As espumas de poliuretano (PUR), extensivamente tratadas com c-pentaBDE, foram majoritariamente utilizadas nas indústrias automotivas, além de estofados para mobiliário e colchões. Aproximadamente, estima-se um uso de 36% no setor de transporte, 60% no setor de móveis e 4% em outros produtos para o c-pentaBDE (UNEP, 2010b). Os produtos de PUF continham aproximadamente 2-5% de mistura de retardantes de chamas, e esse uso foi maior nos países com normas exigindo a aplicação de retardantes de chamas em certos produtos, como Estados Unidos e Reino Unido.

Já em relação ao c-pentaBDE, o maior uso foi no setor de eletroeletrônicos, especialmente aplicado em polímeros de acrilonitrila butadieno estireno (ABS) usados para construção de em gabinetes de computadores e outros equipamentos como copiadoras, impressoras e monitores. As concentrações aproximadas das aplicações eram em torno de 12 a 18% de peso do produto final (UNEP, 2015).

2. INVENTÁRIO DOS PBDEs NO BRASIL

O tratado da Convenção de Estocolmo, do qual o Brasil é signatário, já proíbe a produção e uso de c-pentaBDE e c-octaBDE desde a quarta reunião da Conferência das Partes sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, realizada de 4 a 8 de maio de 2009. Casos os signatários apliquem, podem solicitar exceção para relacionado a essas substâncias, como é o caso do Brasil, onde “alguns produtos contendo essa mistura comercial ainda podem ser utilizados e alguns reciclados” até 2030.

Na União Europeia há a Diretiva 2002/95/EU desde 2003 (com atualizações em 2011 e 2015), conhecida como RoHS (Restrictions of the use of Certain Hazardous Substances), que limita dentre outras substâncias e elementos o uso de PBDEs em equipamentos eletroeletrônicos (EEE). No Brasil, ainda não há normas específicas restringindo o uso dessas substâncias em processos de fabricação em equipamentos eletroeletrônicos. Entretanto, a instrução normativa nº1, de 19 de janeiro de 2010 (BRASIL, 2010), que dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens pela Administração Pública Federal, determina em seu artigo 5º:



IV. que os bens não contenham substâncias perigosas em concentração acima da recomendada na diretiva RoHS (Restriction of Certain Hazardous Substances), tais como mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cromo hexavalente (Cr(VI)), cádmio (Cd), bifenil-polibromados (PBBs), éteres difenil-polibromados (PBDEs).

Em um estudo realizado com empresas no Brasil, identificou-se que empresas estrangeiras adotaram a RoHS para comercialização na Europa e, expandindo para todos os produtos, independente do mercado de atuação. Já as empresas nacionais, adotaram a diretiva para participação em licitações de compras sustentáveis do governo (BRESCANSIN et al., 2015). Apesar das restrições quanto ao uso dos compostos, não há impedimento para que as mercadorias anteriores à proibição continuem a serem utilizadas e recicladas, e isto pode contribuir para a liberação destes contaminantes no meio ambiente.

2.1. Produção

Apesar de mais de 643 empresas (com possível uso de PBDEs em alguma etapa de sua produção) terem sido contatadas, não houve nenhum retorno (negativo ou positivo) sobre uso pretérito ou atual de misturas comerciais contendo penta ou octaBDE (Tabela 1). Além disso, vinte e seis federações de indústrias, trinta e oito secretarias ambientais e 234 representantes do CONASQ foram contatadas. Mesmo assim, não obtivemos informações. Na última versão do NIP (MMA, 2015), as respostas também foram aquém do esperado (71 respostas recebidas; somente uma positiva para o uso de PBDE de uma empresa ligada ao setor de alimentos e bebidas) e indicaram que:

As instituições não utilizaram artigos contendo c-penta-BDE e octa-BDE... Algumas respostas indicam ainda que esses POPs podem ter sido utilizados no passado...

Levando em consideração a pesquisa realizada e os resultados do NIP anterior (MMA, 2015), não há registros sobre produção das formulações comerciais de octa e pentaBDE no Brasil.



Tabela 1: Lista de instituições potencialmente envolvidas em alguma etapa do ciclo de vida de éteres difenólicos polibromados 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
Aditivo	12	10	97	1	0	0	0
Borracha	31	30	26	4	0	0	0
Combate a incêndio	2	2	0	2	0	0	0
Construção civil	39	36	27	9	0	0	0
Eletroeletrônicos	386	276	269	7	0	1	8
Plástico	13	11	4	7	0	0	1
Polímeros diversos	33	26	25	1	0	1	0
Química	69	61	51	10	0	14	13
Reciclagem	11	11	1	10	0	0	0
Tinta e revestimento	70	64	60	4	0	1	2
Transformador	54	52	54	0	0	0	1
Transporte	108	94	90	4	0	0	2
Total	937	771	802	59	0	18	33



2.2. Comércio

2.2.1. Comercialização nacional e internacional de PBDEs

As estatísticas de comércio exterior do Brasil foram acessadas através do portal Comex Stat do Ministério da Economia (ME). Para acessar essas estatísticas, é necessária a utilização da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) relativa à mercadoria de interesse -que contém dados desde 1999. Adicionalmente, o ME disponibiliza acesso a base de dados histórica (1989-1996), que ao invés do NCM utiliza a antiga Nomenclatura Brasileira de Mercadorias (NBM).

Apesar do acesso livre à base de dados, atualmente, os produtos contendo PBDE's não possuem NCM específicos, ficando misturados a outros produtos (NCM 2909.30.19- outros éteres aromáticos, NCM 29039929 – Outros derivados halogenados, unicamente com bromo e NCM 29033929 – Outros derivados bromados (Figura 1 e Anexo 6.2: Tabela A1). Já em relação aos dados históricos (1989-1996), existia a categoria Éter decabromo-difenílico (NBM: 2909301700), provavelmente relativo ao decaBDE.

Apesar de extensa busca, não foram encontradas NCMs ou NBMs específicas para octa- ou penta-BDE. Segundo ANNUNCIACÃO et al. (2018), não existem registros sobre a produção de retardantes de chamas contendo PBDE, sendo o uso dessas substâncias realizados através de importações. Em contato com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2019) – órgão anuente de importação de algumas substâncias controladas pela Convenção de Estocolmo – obtivemos a seguinte resposta: sobre “PBDEs não dispomos de informações sobre importação e exportação de éteres de difenilas polibromados e de produtos que contenham tais substâncias”. Apesar da falta de dados, é provável que uma grande quantidade de mercadorias contendo PBDEs tenham sido importados no país.

Segundo dados do Ministério da Economia, considerando a escala de tempo avaliada no presente trabalho, a importação de mercadorias inseridas no NCM 29033929 (outros derivados bromados) foi prioritariamente através do Estados Unidos (81,77%), seguido dos Países Baixos (7,3%) e da China (7,17%). Enquanto que, a Argentina foi responsável por 99,07% da exportação realizada pelo Brasil. Quando consideramos o comércio internacional dos produtos inclusos no NCM 29039929 (outros derivados halogenados, unicamente com bromo), o Brasil



importou principalmente da China (59,78%) e dos Estados Unidos (40,16%), já a exportação destes produtos foi feita para o México (90,24%) e o Chile (9,76%). O Brasil importou os produtos inseridos no NCM 29093019 (outros éteres aromáticos) de diversos países, mas os maiores volumes foram do Japão (33,9%), dos Estados Unidos (30,92%) e da China (9,72%). Enquanto que, a Alemanha foi a principal responsável pela exportação, seguida pelo México, Paraguai e China com 64,3%, 15,94%; 8,82% e 8,62%, respectivamente.

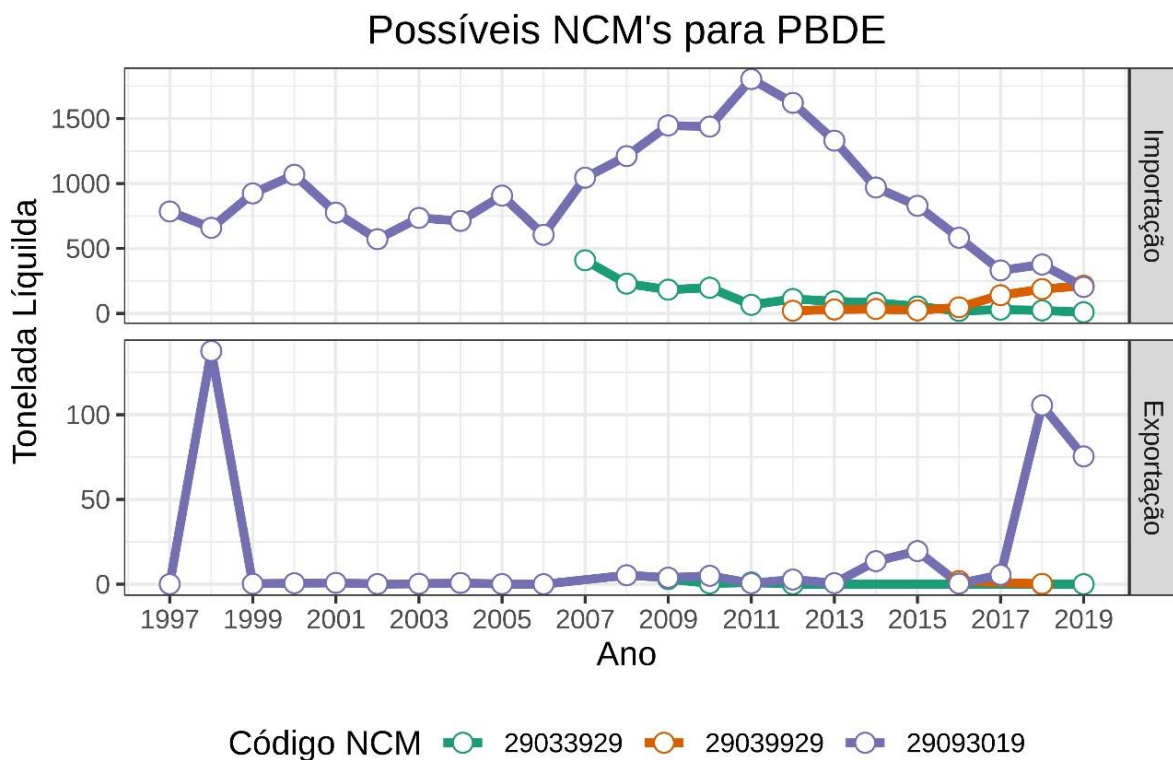


Figura 1: Gráfico de importação e exportação dos NCMs: 2903.39.29 (Outros derivados bromados); 2903.99.29 (outros derivados halogenados, unicamente com bromo) e 2909.30.19 (outros éteres aromáticos), em tonelada líquida, no período entre 1997 e 2019. Fonte: ComexStat

2.2.2. Aplicações e Indústrias Nacionais

Apesar da pouca informação sobre a produção e uso de PBDEs no país, foi realizado um levantamento sobre as empresas por unidades federativas, que possam eventualmente fazer aplicação desses compostos em seus processos ou produtos. O levantamento foi realizado a



partir dos dados disponibilizados pelo Cadastro Central de Empresas (CEMPRE), pertencente ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). No site do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) é possível acessar variáveis do CEMPRE, assim como, número de empresas e número de unidades locais, entre outros. As informações podem ser separadas por grupos de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e em diferentes níveis geográficos - Grandes Regiões, Unidades de Federação e Municípios. Dessa forma, permitindo criar um cenário nacional, no qual é possível observar os estados que concentram o maior número de empresas que possam fazer uso de PBDEs em alguma etapa do processo de produção de seus manufaturados (Figura 2). A partir das informações obtidas do CEMPRE (Censo 2017), foi possível identificar um total de 210.218 empresas, dentro de dezesseis grandes categorias (Anexo 6.3: Tabela A2).



INDÚSTRIAS POSSIVELMENTE RELACIONADAS AO USO DE ÉTERES DIFENÍLICOS POLIBROMADOS (PBDEs) NO BRASIL

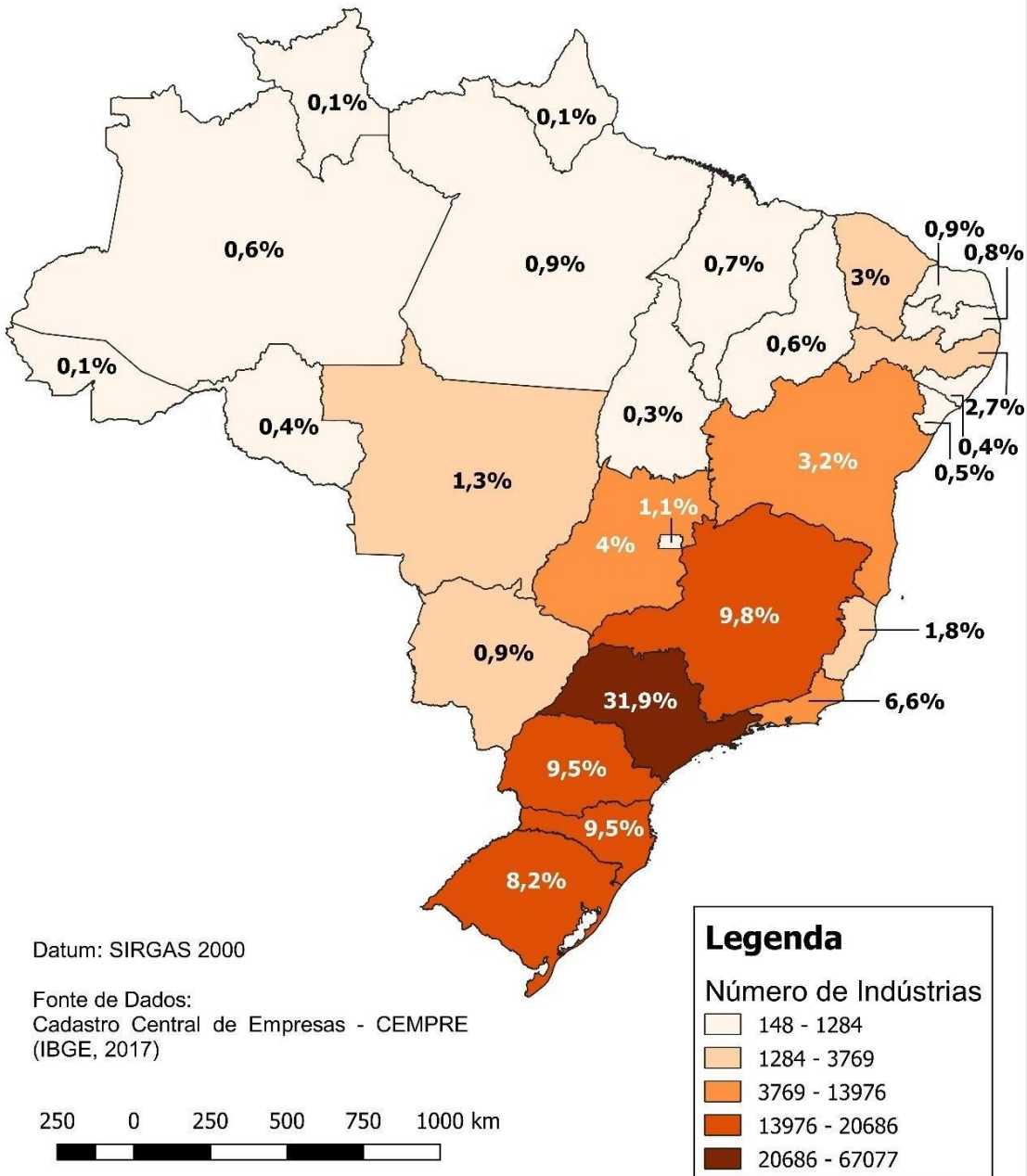


Figura 2: Número e percentual de indústrias por unidades federativas que possam eventualmente gerar resíduos ou fazer aplicação de PBDEs em seus processos ou em seus produtos



A região sudeste responde por 50,2% das empresas brasileiras com potencial aplicação de PBDEs. A alta representatividade era esperada, devido ao desenvolvimento industrial da região. O estado de São Paulo se destaca, representando 31,9% das indústrias no país que potencialmente esses compostos em alguma etapa do processo de produção. A segunda região mais importante foi a sul com 27,2%, mas sem destaque entre os estados, que apresenta valores entre 8,2% e 9,5%. Os estados do sudeste e sul são responsáveis por quase 80% das empresas brasileiras que podem usar PBDEs em seu ciclo produtivo (Figura 2). As outras indústrias se distribuem nas outras regiões, nas quais se destacam, apesar dos baixos valores, Goiás, Bahia, Ceará e Pernambuco, com 4,0%, 3,2%, 3,0% e 2,7%, respectivamente.

As empresas separadas por setor produtivo se apresentam na seguinte ordem numérica decrescente: Construção civil e infraestrutura (99.257), indústria têxtil (68.616), plástico (12.786), eletrônicos e informática (5.743), gestão de resíduos (5.038), peças de carros (2.839), borrachas (2.815), energia elétrica - geração, transmissão e distribuição (2.557), geradores, transformadores, acumuladores e etc. (2.518), preparados químicos diversos (1.996), indústria automobilística (1.990), transporte (exceto carros) (1.461), tintas e revestimentos (1.387), brinquedos e jogos (762), resinas e elastômeros (350) e fibras (103) (Tabela A2).

3. OCORRÊNCIA DE PBDEs NO BRASIL

Uma revisão sistemática foi conduzida para gerar um quadro amplo do estado da arte relacionado a ocorrência de PBDEs no Brasil (detalhamento no Anexo 6.4). Essa busca abrangeu a ocorrência desses compostos em matrizes ambientais bióticas, abióticas, assim como bens de consumo e outros. A busca retornou um alto número de publicações, não obstante, somente 43 publicações foram selecionadas, destas a maior parte relacionadas a quantificação dos compostos em matrizes bióticas. A busca também retornou alguns artigos de revisão (RODRIGUES et al., 2015; PIERONI et al., 2017) que não foram incluídos devido nossa revisão ter abrangido a todos os artigos tratados por essas revisões. A Figura 3 ilustra os dados obtidos a partir desta revisão.

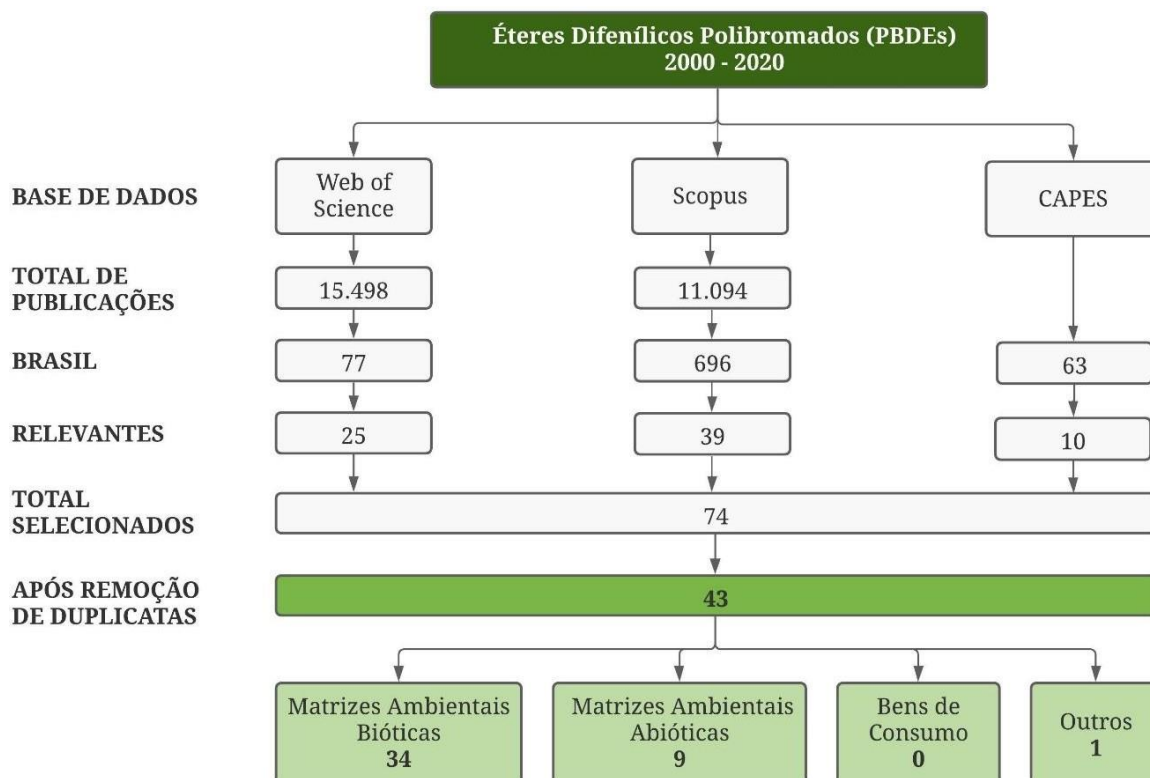


Figura 3: Fluxograma do protocolo seguido no processo de revisão sistemática da ocorrência de éteres difenílicos polibromados no Brasil.

3.1. PBDEs em matrizes ambientais abióticas

Os estudos encontrados sobre PBDEs em matrizes abióticas incluem a mensuração desses compostos na atmosfera, água, sedimento de corpos aquáticos, solo, poeira e lixiviação em aterros. A tabela 2 resume os estudos encontrados, as matrizes analisadas e o intervalo de concentração.

Tabela 2: Dados de éteres difenílicos polibromados em amostras ambientais abióticas no território brasileiro. As amostras de sedimento, poeira e solo estão em ng g^{-1} peso seco (p.s.) e de ar em pg m^{-3}

Matriz	Área / Ano de Coleta	Composto	Média *Mediana	± DP Mín. – Máx.	Ref.
Aquático					
<u>Sedimento</u>	Bacia Hidrográfica do Alto Iguazu, Região Metropolitana de Curitiba-PR/2013	Σ PBDE (71, 85, 99)	<LQ	--	[1]



<u>Sedimento</u>	Lago Paranoá-DF / 2015	ΣPBDE (28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153 e 154)	--	2,5 – 8,1	[2]
<u>Sedimento</u>	Lagoa do Saibro, Ribeirão Preto – São Paulo / 2014	ΣPBDE (28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153, 154 e 209)	--	n.d. – 5,4	[3]
<u>Água</u>	Rio Iguaçu-PR / 2014	ΣPBDE (47, 99, 100, 153, 154, 183)	n.d.	--	[4]
Terrestre					
	Araraquara-SP / 2015				
	Apartamento		437*	270 – 1450	
<u>Poeira</u>	Casa	ΣPBDE (47, 99, 100, 153, 209)	481*	160 – 1210	[5]
	Carro		1140*	291 – 3980	
	Escritório		4330*	1760 – 25000	
	Escola		480*	101 – 1210	
<u>Poeira</u>		BDE-28	11*		
		BDE-47	268,5*	15 – 522	
		BDE-99	421*	29 – 813	
		BDE-100	53*	14 – 92	
	Araraquara - SP				
	Aterro de Lixo / 2015	BDE-153	89*		[6]
		BDE-154	43*		
		BDE-209	2605*	111 – 28800	
<u>Solo</u>		ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183 e 209)	276*	0,73 – 851	
Atmosférico					
	Montanhas do Parque Nacional da Serra do Órgãos - RJ e do Parque Nacional São Joaquim - SC / 2007-2008	ΣPBDE (17, 28, 47, 66, 71, 85, 99, 100, 138, 153, 154, 183, 190, 209)	n.d.		[7]
	São Luís - MA / 2014		11,3		
	São Luís - MA / 2015		11,4		
	São Jose dos Ausentes - RS / 2014	ΣPBDE (17, 28, 71, 47, 66, 100, 99, 85, 154, 153, 138, 183, 190, 209)	2,84		[8]
	São Jose dos Ausentes - RS / 2015		3,56		
	São Paulo / 2018	ΣPBDE		18,3	[9]

p.s. – peso seco; n.d. – não detectado; <LQ: Menor do que o Limite de Quantificação; Min. – Mínimo; Máx. – Máximo; DP: Desvio Padrão

Fonte: [1] HARA, 2014; [2] ANNUNCIACÃO, 2017; [3] FERRARI et al, 2019; [4] YAMAMOTO et al., 2018; [5][1] HARA, 2014; [2] ANNUNCIACÃO, 2017; [3] FERRARI et al, 2019; [4] YAMAMOTO et al., 2018; [5] CRISTALE et al, 2018; [6] CRISTALE et al, 2019; [7] MEIRE et al., 2012; [8] RAUERT et al., 2018; [9] SAINI et al., 2020



3.1.1. Sedimento

Apesar da tese de Hara (2014) ser voltada a desenvolvimento de método analítico, traz alguns resultados sobre a presença de PBDEs em sedimentos de corpos aquáticos da região de Curitiba (Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, situada na Região Metropolitana de Curitiba (RMC)). Os resultados obtidos indicaram que os rios localizados em regiões sob forte influência urbana e industrial tiveram a presença de alguns congêneres (BDE-85, BDE-99) acima do limite de detecção, apesar disso todos ficaram abaixo do limite de quantificação. Já Annuniação (2017), investigou sedimentos coletados no Lago Paranoá-DF e identificou 2 congêneres (BDE- 47 e -66) acima do limite de quantificação, porém com concentrações similares à outros estudos de sedimentos de lagos e rios. Ferrari et al (2019) encontrou concentrações similares a Annuniação (2107) para diferentes congêneres de PBDE em sedimentos coletados em um ponto de recarga do aquífero Guarani (um importante reservatório de água localizado em Ribeirão Preto - SP). O BDE-47 foi o que apresentou a maior concentração dentre todos os congêneres analisados. Esses resultados revelaram uma contribuição do c-pentaBDE, contido em produtos de consumo utilizados no Brasil e descartados incorretamente, em importantes áreas de recarga de aquíferos utilizados para o abastecimento humano.

3.1.2. Água

O estudo de Yamamoto e colaboradores (2018) foi o único encontrado na literatura que analisou a concentração de PBDEs em água no Brasil. Este estudo analisou amostras de água e em tecidos biológicos em 4 reservatórios ao longo do Rio Iguaçu - PR, todos os congêneres analisados (47, 99, 100, 153, 154, 183) tiveram concentrações abaixo do limite de detecção, porém em amostras biológicas alguns congêneres foram encontrados. Isso está de acordo às propriedades lipofílicas e bioacumulativas dessas moléculas, sendo preferencialmente adsorvidas aos sedimentos e materiais particulados em suspensão na água (RAHMAN et al, 2001).

3.1.3. Poeira



Os dois únicos estudos avaliando a ocorrência de PBDEs em poeira foram realizados em São Paulo, onde se avaliou também a exposição humana. Em 2015, Cristale e colaboradores (2018) avaliaram a contaminação por retardantes de chamas, incluindo PBDEs, em poeira residencial coletadas em casas, apartamentos, escritórios, escolas e carros da cidade de Araraquara, São Paulo. Além de avaliar as concentrações, os autores avaliaram a exposição através da ingestão diária da poeira para adultos e crianças. Dentre todos os PBDEs avaliados, BDE-47, BDE-99 e BDE-209 foram os mais detectados, sendo este último o que apresentou as maiores concentrações (decaBDE). Em relação ao somatório, os maiores valores (medianas e máximas) foram observados nos escritórios seguido dos carros. Sendo que para o BDE-99 (pentaBDE), o estudo observou concentrações máximas aproximadamente 4x maiores em casas e carros do que nos outros locais. As estimativas de ingestão diária de poeira por adultos e crianças foram inferiores a dose de referência (RfD), não oferecendo riscos.

Em outro estudo mais recente, Cristale et al. (2019) verificou a presença de retardantes de chamas em um aterro na cidade de Araraquara, São Paulo, que recebe uma alta carga de lixos eletrônicos atualmente. Os congêneres mais abundantes de PBDE em solo foram BDE- 99, BDE-209, sendo suas concentrações mais elevadas em áreas de armazenamento do lixo eletrônico. O estudo demonstra que o gerenciamento impróprio pode contaminar o ambiente e águas subterrâneas no entorno de aterros e áreas de reciclagem.

3.1.4. Solo

O único estudo quantificando PBDEs em solo foi realizado também por Cristale e colaboradores (2019) no aterro na cidade de Araraquara, São Paulo. Neste estudo, os autores coletaram solo em 7 locais em áreas do aterro que recebem alto volume de resíduos eletroeletrônicos. O congêneres decaBDE foi o mais abundante e detectado (BDE-209, até 2500 ng g⁻¹), enquanto os outros só foram detectados em uma única localidade com concentrações mais de 10 vezes abaixo do que as concentrações de decaBDE encontradas.

FECO

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL
CIÊNCIA E DESENVOLVIMENTO





3.1.5. Atmosférico

Meire e colaboradores (2012), como parte do “Global Atmospheric Passive Sampling (GAPS) Network”, realizaram a primeira avaliação de PBDEs na atmosfera. As amostragens de PBDEs foram realizadas ao longo de gradientes altitudinais da Serra dos Órgãos, o Parque Nacional do Estado do Rio de Janeiro (PARNASO) (400 – 2200 metros) e o Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ) (600 – 1800 metros), no estado de Santa Catarina. O estudo foi realizado durante o verão (dezembro a março) e inverno (junho a agosto) de 2007 e 2008. A coleta foi feita através de amostradores passivos, com discos de espuma de poliuretano. Os valores de PBDEs, quatorze congêneres, ficaram abaixo do limite de detecção do método em todo o gradiente de altitude de ambos os parques nacionais (MEIRE et al., 2012).

O grupo de trabalho GRULAC (Group of Latin American and Caribbean countries) realizou um estudo na América Latina e Caribe, no qual se propôs analisar a concentração de diversos poluentes, incluindo PBDEs, no ar (RAUERT et al., 2018). O estudo foi realizado em 2014 e 2015, abrangendo nove localidades em sete países, sendo cinco áreas consideradas background, três urbanas e uma agrícola. O Brasil foi representado por São Luís (urbana) e São Jose dos Ausentes (background), nos estados do Maranhão e Rio Grande do Sul, respectivamente. A coleta foi feita através de amostradores passivos, com discos de espuma de poliuretano. No geral, os congêneres que apresentaram as maiores concentrações foram o BDE-47 e BDE-99, ambos presentes em altas proporções no produto comercial pentaBDE. As amostras de São Luís (MA) apresentaram em geral maiores concentrações e detecções destes e outros congêneres, no entanto a amostragem realizada no Brasil não foi contínua, havendo lapsos temporais ao longo dos dois anos, principalmente em São Jose dos Ausentes-RS.

No ano de 2018, um estudo conduzido pela GAPS network, chamado GAPS- Megacities, avaliou os níveis de diferentes contaminantes em 19 cidades, incluindo o PBDEs na cidade de São Paulo. A coleta também foi feita através de amostradores passivos, com discos de espuma de poliuretano expostos por três meses (SAINI et al., 2020). Em São Paulo, a concentração de PBDEs total foi de $18,3 \text{ pg m}^{-3}$, sendo o decaBDE o congênere mais abundante com 85,6% do PBDE total. O BDE-47 e BDE-99 foram o segundo e terceiro congêneres com maiores concentrações na amostra de São Paulo. Esse resultado foi um pouco maior aos encontrados em São Luiz (RAUERT et al., 2018) As concentrações de PBDE em São Paulo ficaram dentro do



intervalo de outras grandes áreas metropolitanas no mundo, distribuídas nas Américas, Europa, África, Ásia e Oceania.

3.2. PBDEs em matrizes ambientais bióticas

A maioria dos estudos foram desenvolvidos em ecossistemas aquáticos marinhos, principalmente voltados à mamíferos marinhos e peixes. Apenas três estudos foram relacionados a ambientes terrestres. A tabela 3 contém a compilação dos estudos e intervalo de concentrações obtidas.

Tabela 3: Dados de éteres difenílicos polibromados (PBDEs) em amostras ambientais bióticas no território brasileiro. As amostras biológicas estão em ng g^{-1} , as concentrações podem estar empeso fresco (p.f.), peso úmido (p.u.), peso seco (p.s.) ou peso lipídico (p.l.)

Matriz/ano	Área / Ano de Coleta	Composto	Média *Mediana	± DP Mín. – Máx.	Ref.
AQUÁTICO					
Peixes					
Bonito (<i>K. pelamis</i>) – músc.	Atlântico Sul / 2000	ΣPBDE (3, 15, 28, 47, 99, 100, 138, 153, 154, 183, 209)	13	--	p.l. [1]
Peixe-espada-branco (<i>L. caudatus</i>) – fíg.			10,2	--	
Corvina (<i>M. furnieri</i>) - fíg.	Rio Paraíba do Sul –	ΣPBDE (28, 47, 66, 85, 99,	3,45	--	p.u. [2]
Peixe-espada-branco – músc.	Rio de Janeiro	100, 138, 153, 154)	3,9	--	
Corvina – músc.			2,1	--	
Raia (<i>G. altavela</i>) – fíg.	Baía de Guanabara - Rio de Janeiro	ΣPBDE (49, 47, 42/66, 100, 99, 154, 153)	96,0	5,10 (91,1 – 101,2)	p.l. [3]
Raia (<i>Z. brevirostris</i>) – fíg.			9,93	(7,33 – 12,56)	
Corvina (<i>M. Furnieri</i>) – músc.	Baía de Guanabara / 2007-2008	ΣPBDE (28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153 e 154)	--	4,30 – 19,40	p.s. [4]
Tainha (<i>M. Liza</i>) – músc.			--	1,92 – 2,78	



Tainha (<i>M. Liza</i>) – fig.			--	3,31 – 7,45		
Peixe voador (<i>E. volitans</i>)	Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) / 2009	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	<3.40	--	p.u.	[5]
Tainha (<i>M. Liza</i>), Corvina (<i>M. Furnieri</i>), Peixe espada (<i>T. Lepturus</i>) – músc. e fig.	Baía de Ilha Grande - Rio de Janeiro / 2009	ΣPBDE (28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153 e 154)	n.d.	--	p.u.	[6]
Tubarão (<i>R. lalandii</i>) – fig.	São Paulo / 2008	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, e 183)	10.4	± 4.78 (<4.00 – 18.1)	p.l.	[7]
Tubarão-boca-grande (<i>M. pelagios</i>)	Arraial do Cabo – Rio de Janeiro	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	n.d.	--		[8]
Peixe (<i>P. brasiliensis</i>) – fig.		BDE-47	1,07	--		
		BDE-99	2,50	--		
Peixe (<i>P. brasiliensis</i>) – músc.		BDE-47	2,97	--		
	Baía de Santos – São Paulo / 2002	BDE-99	1,25	--		
Peixe (<i>T. lepturus</i>) – fig. e músc.		ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	n.d.	--	p.u.	[9]
Peixe (<i>C. spixii</i>) – fig.		BDE-47	2,27	--		
		BDE-99	1,87	--		
Peixe (<i>C. spixii</i>) – músc.		ΣPBDE	n.d.	--		
Peixes (<i>P. brasiliensis</i> , <i>T. lepturus</i> , <i>C. Spixii</i>) – fig. e músc.	Ilha da Moela – São Paulo / 2002	ΣPBDE	n.d.	--		
Tilápia (<i>O. niloticus</i>) – fig.			--	n.d. – 3,54		
Tilápia (<i>O. niloticus</i>) – músc.	Reserv. ao longo do Rio Iguaçú-PR / 2014	ΣPBDE (47, 99, 100, 153, 154, 183)	--	n.d. – 0,61		[10]
Tilápia (<i>O. niloticus</i>) – brânquias			--	n.d. – 1,51		
Corvina (<i>M. furnieri</i>) – músc.	B. de Guanabara – Rio de Janeiro / 2014	ΣPBDE (17, 28, 47, 49 & 71, 66, 77, 85, 99, 100, 119, 126, 139, 140, 153, 154, 156 & 169, 183, 184, 206, 207, 208, 209)	14,38	± 22,2 (1,2 – 69,1)	p.l.	[11]
	B. de Sepetiba – Rio de Janeiro / 2014		132,47	± 289 (5,5 – 722)		
Crustáceos						
Caranguejo (<i>C. danae</i>)	Baía de Santos / 2002		24,1	--		
Caranguejo (<i>H. pudibundus</i>)	Baía de Santos / 2002	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, e 183)	n.d.	--	p.l.	[12]
Caranguejo (<i>G. grapsus</i>)	Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) / 2009	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	<3.40	--	p.u.	[5]
Molusco						
Mexilhão (<i>P. Perna</i>) – músc.	Baía de Guanabara / 2007-2008	ΣPBDE (28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153 e 154)	--	1,26 – 3,07	p.s.	[4]
Aves						
Petrel (<i>P. aequinoctialis</i>)				n.d – 27,8		
Petrel (<i>P. conspiciillata</i>)	Costa Sul brasileira	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, e 183)	--	n.d – 72,7	p.u.	[13]



Atobá (<i>S. leucogaster</i>)	Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) / 2009	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	<3.40	--	p.u.	[5]
Aves						
Atobá-grande (<i>S. dactylatra</i>), Atobá-pardo (<i>S. leucogaster</i>), Trinta-réis-escuro (<i>A. stolidus</i>), Trinta-réis-preto (<i>A. minutus</i>), Trinta-réis-das-rocas (<i>O. fuscatus</i>) – fig.	Atol das Rocas / 2010-2011	Σ PBDE (8, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	<0.76	--	p.u.	[14]
Pinguim-de-magalhães (<i>S. magellanicus</i>) – fig.	Costa do Brasil (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo / 2008 - 2012	ΣPBDEs (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183),	3,94	(1,18 – 9,69)	p.u.	[15]
Mamíferos Marinhos						
Cetáceos (10 espécies) – fig.	Praias do estado do Rio de Janeiro / 1994 a 2006	ΣPBDE (28, 47, 66, 85, 99, 100, 153, 154, 183)	--	3 – 5960	p.l.	[16]
Franciscana (<i>P. blainvillei</i>) - blubber	Complexo estuarino - lagunar Cananéia-Iguape, São Paulo / 2005-2006	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	38,4	3,37 – 257		[17]
Franciscana (<i>P. blainvillei</i>) - blubber			60,3	5,10 – 229		
Boto-cinza (<i>S. guianensis</i>) - blubber		ΣPBDE (1, 2, 3, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 25, 28, 30, 32, 33, 35, 37, 47, 49, 66, 71, 75, 77, 85, 99, 100, 116, 118, 119, 126, 138, 153, 154, 155, 166, 181, 183, 190)	65,6	n.d. – 169		
Golfinho-nariz-de-garrafa (<i>T. truncatus</i>) - blubber	Região costeira de São Paulo / 1996 a 2003		64,2	--	p.l.	[18]
Golfinho-de-dentes-rugosos (<i>S. bredanensis</i>) - blubber			475	--		
Golfinho-pintado-do-atlântico (<i>S. frontalis</i>) - blubber			770	709 – 831		
Boto-cinza (<i>S. guianensis</i>) – fig.	Costa Norte do Rio de Janeiro	ΣPBDE (28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153, 154)	53,0	--	p.u.	[2]
Golfinho-pintado-do-atlântico (<i>S. frontalis</i>) - blubber	Áreas costeiras: Santa Catarina, Paraná e São Paulo / 2004 - 2007	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	628,9	23–1327	p.l.	[19]
Franciscana (<i>P. blainvillei</i>) – fig.	Espírito Santo / 1994-2008 São Paulo / 1994-2008 Santa Catarina / 1994-2008	ΣPBDE (17, 28, 47, 66, 77, 85, 99, 100, 119, 138, 153, 154, 156)	23,9 49,1 22	± 6,2 (17,7 – 30,0) ± 36,7 (8,50 – 119,1) ± 10,4 (14,7 – 29,4)	p.l.	[20]



	Rio Grande do Sul / 1994-2008		8,1	± 2,3 (6,31 – 10,8)		
	Rio de Janeiro / 1994-2009		36,8	--		
	Espírito Santo / 1994-2009		143,9	± 165,0 (5,43 – 577,6)		
Franciscana (<i>P. blainvillei</i>) – fíg.	São Paulo/ 1994-2009	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183, 209)	129,4	± 166,4 (11,9 – 613,2)	p.l.	[21]
	Paraná/ 1994-2009		61,0	± 83,0 (5,95 – 156,5)		
	Santa Catarina/ 1994-2009		428,6	± 540,1 (30,3 – 1797)		
	Rio Grande do Sul/ 1994-2009		35,5	± 17,2 (13,2 – 59,7)		
Franciscana (<i>P. blainvillei</i>) – blubber	Estado de Rio Grande do Sul / 1994 a 2004	ΣPBDE (1, 2, 3, 7, 8,11, 10, 12, 13, 15, 17, 25, 28, 30, 32, 33, 35, 37, 47, 49, 66, 71, 75, 77, 85,99, 100, 116, 118, 119, 126, 138, 153, 154, 155, 166, 181, 183 e 190)	--	<0.65 – 144	p.l.	[22]
	Estado de São Paulo / 2002 a 2005)		--	<0.65 – 763,7		
	Ceará		16*	(5 – 28)		
	Rio Grande do Norte		68*	(22 – 141)		
	Bahia		63*	(13 – 127)		
	Espírito Santo, Baía de Guanabara - Rio de Janeiro, Baía de Sepetiba - Rio de Janeiro.	ΣPBDE (28, 47, 100, 99, 154, 153, 183, 209)	86*	(3 – 799)	p.l.	[23]
Boto-cinza (<i>S. Guianensis</i>) - blubber			56*	(17 – 197)		
	Baía de Ilha Grande – Rio de Janeiro		65*	(51 – 105)		
	Paraná, Santa Catarina		26* 509*	(4 – 61) (148 – 713)		
Boto-cinza (<i>S. Guianensis</i>) - músc			74	± 33		
Boto-cinza (<i>S. Guianensis</i>) – fíg.			150	± 76		
Golfinho-de-dentes- rugosos (<i>S. bredanensis</i>) – músc.	Costa norte do estado do Rio de Janeiro / 2003-2012	ΣPBDE (28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153, 154)	310	± 300	p.l.	[24]
Golfinho-de-dentes- rugosos (<i>S. bredanensis</i>) – fíg.			600	± 500		
Franciscana (<i>P. Blainvillei</i>) – fíg.	Costa norte do estado do Rio de Janeiro / 2011-2012	ΣPBDE (28, 47, 66, 85, 99,100, 138, 153, 154)	68,7	± 37,3 (24,6 – 123)	p.l.	[25]
Golfinho-pintado-do- atlântico (<i>S. frontalis</i>) - blubber	Costa sudeste Brasileira	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	1,17	± 2,52	p.l.	[26]
Golfinho-nariz-de-garrafa (<i>T. truncatus</i>) - blubber	Costa do estado do Rio de Janeiro / 2013-2014	PBDE (28/33, 47, 5Br1,5Br2, 5Br3, 5Br4, 99, 100, 153, 154, 155, 6Br)	--	--		[27]



Franciscana (<i>P. Blainvillei</i>) – blubber			--	n.d. – 47,6		
Franciscana (<i>P. Blainvillei</i>) – fig.	Costa do estado de São Paulo / 2013 - 2015	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	--	n.d. – 2,33	p.l.	[28]
Franciscana (<i>P. Blainvillei</i>) – músc.			--	n.d.		
Franciscana (<i>P. Blainvillei</i>) – rim			--	n.d.		
Golfinho-pintado-do- atlântico (<i>S. frontalis</i>) – macho - blubber	São Paulo / 2005 - 2015	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	380	± 290	p.l.	[29]
Golfinho-pintado-do- atlântico (<i>S. frontalis</i>) – fêmea - blubber			240	± 280		
Golfinho-nariz-de-garrafa (<i>T. truncatus</i>) - blubber	Estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul / 2015-2016 Sistema Estuarino de Laguna, Santa Catarina / 2015-2016	ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)	277	± 215	p.l.	[30]
			228	± 222		
Golfinho-nariz-de garrafa (<i>T. truncatus</i>) - fig.			819,5	± 638,2		
Golfinho-nariz-de-garrafa (<i>T. truncatus</i>) - músc.			340,8	± 168,5		
Golfinho-pintado-do- atlântico (<i>S. frontalis</i>) – fig.	Região dos Lagos – Rio de Janeiro / 2007 - 2012	ΣPBDE (28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153, 154)	1046	± 414,7	p.l.	[31]
Golfinho-pintado-do- atlântico (<i>S. frontalis</i>) – músc.			635,9	± 370,9		
Terrestre						
Humanos - tecido adiposo	Porto Alegre – Rio Grande do / 2004- 2005	PBDEs (BDE-17, 28, 71, 47, 100, 99, 85, 154, 153, 138, 183)	6,56	± 26,1 (0.19 – 132)	p.l.	[32]
Mel (<i>Apis mellifera</i> L.)	2010 - 2012	PBDEs (BDE-17, 28, 47, 66, 85, 99, 100, 153, 154, 183, 209, 184, 191, 196, 197)	1,32	± 1,09	p.f.	[33]
Ovos de Galinha	Comprados em mercados locais de Ribeirão Preto, São Paulo.	PBDEs (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154)	16,7	3.1 – 46,3	p.l.	[34]

*Valores com asterisco representam a mediana;

p.f. – peso fresco; p.l. - peso em lipídeos; p.s. – peso seco; p.u. – peso úmido; Mín. – Mínimo; Máx. – Máximo;
blubber: tecido adiposo subcutâneo; fig. - Fígado; músc. Músculo; n.d. – Não Detectado

Fonte: [1] UENO et al., 2004; [2] QUINETE et al., 2011; [3] ROSENFELDER et al., 2012; [4] DA SILVA et al., 2013; [5] DIAS et al., 2013; [6] LAVANDIER et al., 2013; [7] CASCAES et al., 2014; [8] MOURA et al., 2015; [9] MAGALHÃES et al., 2017; [10] YAMAMOTO et al., 2018; [11] PIZZOCHERO et al., 2019; [12] MAGALHÃES et al., 2012; [13] CIPRO et al., 2013; [14] DIAS et al., 2018; [15] BALDASSIN et al., 2016; [16] DORNELES et



al., 2010; [17] GONÇALVES, 2011; [18] YOGUI et al., 2011; [19] LEONEL et al., 2012; [20] DE LA TORRE, 2012; [21] ALONSO et al., 2012; [22] LEONEL et al., 2014; [23] VIDAL, 2015; [24] LAVANDIER et al., 2015; [25] LAVANDIER et al., 2016; [26] MÉNDEZ-FERNANDEZ et al., 2016; [27] ALONSO et al., 2017; [28] BARBOSA et al., 2018; [29] MÉNDEZ-FERNANDEZ et al., 2018; [30] RIGHETTI et al., 2019; [31] LAVANDIER et al., 2019; [32] KALANTZI et al., 2009; [33] MOHR et al., 2014; [34] SOUZA et al. (2019)

3.2.1. Aquático

Peixes

Ueno e colaboradores (2004) estudaram a ocorrência de PBDEs (11 congêneres) em amostras de bonito (*Katsuwonus pelamis*) coletadas em áreas oceânicas de diversas regiões do mundo, incluindo do Brasil. O ΣPBDE (BDE3, 15, 28, 47, 99, 100, 138, 153, 154, 183, e 209) foi de 13 ng g⁻¹ de p.l. para a amostra brasileira. O congênere mais abundante foi o BDE-47 (7,1 ng g⁻¹ de p.l.). Os autores observaram que, no geral, as amostras do hemisfério sul possuíam níveis inferiores aos do hemisfério norte. Apesar disso, o nível encontrado na amostra brasileira foi comparável aos da região asiática.

Em um estudo com raias das espécies *Gymnura altavela* e *Zapteryx brevirostris*, coletadas na Baía de Guanabara, Rosenfelder e coautores (2012) analisaram a concentração de compostos orgânicos em fígados. Os autores verificaram que o perfil de congêneres de PBDE encontrados em ambas espécies de raia foram muito semelhantes a composição técnica de pentaBDE. A hidrobrominação do octaBDE também poderia contribuir para o ΣPBDE (BDE-49, 47, 42/66, 100, 99, 154, 153) observado.

Amostras de peixe voador (*E. volitans*) foram coletadas no arquipélago de São Pedro e São Paulo, um remoto arquipélago oceânico, e a concentração do ΣPBDEs (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154, 183) ficou abaixo do limite de quantificação (<3.40 ng g⁻¹ p.u.) em todas as amostras (DIAS et al., 2013).

Amostras de corvina (*M. furnieri*) – músculo – e tainha (*M. Liza*) – músculo e fígado - coletadas na Baía de Guanabara (DA SILVA et al., 2013) tiveram maiores taxas de detecções de PBDEs no fígado, devido às características lipofílicas do tecido. PBDEs estavam presente em 41% das amostras, sendo o congênere BDE-47 predominante na maioria das amostras.



Os autores ainda afirmam que as concentrações encontradas (1,26 – 19,40 ng g⁻¹ p.s.) foram mais baixas do que em outras áreas do mundo. Por outro lado, Lavandier e colaboradores (2013) coletaram amostras de tainha (*M. Liza*), corvina (*M. furnieri*) e peixe espada (*T. lepturus*) – músculo e fígado - na Baía de Ilha Grande - Rio de Janeiro (2009) e todas ficaram abaixo do limite de quantificação (1,68–5,13 ng g⁻¹ p.s.) para PBDEs (BDE 28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153 e 154). Pizzochero e colaboradores (2019) estudaram PBDEs em amostras de músculo de corvina em duas baías do litoral do Rio de Janeiro – Baía de Sepetiba e Baía de Guanabara. As concentrações de ΣPBDE (17, 28, 47, 49 & 71, 66, 77, 85, 99, 100, 119, 126, 139, 140, 153, 154, 156 & 169, 183, 184, 206, 207, 208, 209) variaram de 1,2 a 722 ng g⁻¹ p.l. Os congêneres BDE-47 e BDE-100 foram detectado em todas as amostras, indicando um possível uso da mistura comercial pentaBDE, além de estar de acordo com um padrão mundial de maior acumulação deste congêneres. O estudo também apontou a presença de BDE-183, ao contrário dos estudos prévios, o que poderia apontar um uso recente da mistura comercial octaBDE na região de estudo.

Concentrações de ΣPBDE (BDE-28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153, 154) foram analisadas em amostras de músculo e fígado de Peixe-espada-branco (*Lepidopus caudatus*), Corvina (*Micropogonias furnieri*) coletados na região estuarina do rio Paraíba do Sul coletados na costa Norte do Rio de Janeiro (QUINETE et al., 2011). O congêneres BDE 47 foi o mais predominante. Os níveis encontrados de PBDE nas matrizes analisadas estavam de acordo com outros estudos publicados.

Cascaes e colaboradores (2014) analisaram os níveis de ΣPBDEs (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154, e 183) em fígado de tubarão *Rhizoprionodon lalandii* na costa de São Paulo em 2008. A média de concentração foi 10.4 ± 4.78 ng g⁻¹ p.l. Somente BDE 47 e BDE 100 ficaram acima do limite de detecção. No geral, BDE 47 foi responsável por 88% da carga total quantificada de PBDE. Em outro estudo, um espécime de tubarão-boca-grande (*M. pelagios*) foi encontrado



morto em uma praia de Arraial do Cabo, no Rio de Janeiro e analisado para diferentes contaminantes, incluindo PBDEs (MOURA et al., 2015). Todos os congêneres analisados ficaram abaixo do limite de detecção ($< [0.75 - 1.05] \text{ ng g}^{-1} \text{ p.s.}$), tanto no fígado quanto no músculo. Segundo aos autores, isto se deve ao fato desta espécie se alimentar primariamente de organismos de baixos níveis tróficos (zooplâncton).

Magalhães e colaboradores (2017) investigou a concentração de PBDEs em músculo e fígado de três espécies de peixes (*Paralichthys brasiliensis*, *Trichiurus lepturus*, *Cathorops spixii*) na Baía de Santos e Ilha da Moela – São Paulo (2002). A distribuição espacial de contaminantes nas espécies estudadas mostrou que somente na área de descarga de emissário de esgoto houve concentrações de PBDEs acima do limite de detecção. Dentre os 7 congêneres estudados (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154, 183), somente o BDE-47 e BDE-99 foram encontrados nos tecidos dos peixes.

Méndez-fernandez et al (2018) e colaboradores investigaram concentrações de poluentes orgânicos persistentes em amostras de tecido adiposo em Golfinho-pintado-do-atlântico (*S. frontalis*) coletados em São Paulo, Ilhas Canárias (Espanha), Mar do Caribe, Açores (Portugal), no período entre 2005 e 2015. As concentrações de Σ PBDEs (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183) foram significativamente maiores nos golfinhos coletados no estado de São Paulo. Segundo os autores, a proximidade desses organismos com a área industrializada de São Paulo, quando comparada às outras regiões amostrais ajudaria a explicar a diferença observada. Com exceção do Caribe, o congêneres predominante foi o BDE-47 seguido de outros pentaBDEs (100 e 99), sugerindo um alto uso de pentaBDE nessas regiões.

O estudo de Yamamoto et al (2018) foi o único a analisar a concentração de PBDEs em peixes de água doce no Brasil. Este estudo analisou amostras de água e em tecidos biológicos (fígado, músculo e brânquias) em 4 reservatórios ao longo do Rio Iguaçu-PR. Foram detectados PBDEs em todos os tecidos biológicos, porém não em todas amostras ou pontos amostrais. As maiores concentrações Σ PBDEs ocorreram em fígado.



Crustáceos

Poluentes orgânicos, incluindo PBDEs (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154, e 183), foram analisados em caranguejos das espécies *Hepatus pudibundus* e *Callinectes danae* coletados na baía de Santos, São Paulo (MAGALHÃES et al., 2012). Somente um indivíduo macho da espécie *C. Danae* apresentou concentrações acima do limite de quantificação, e este foi coletado próximo a uma saída de emissário submarino de esgoto (24,1 ng g⁻¹p.l.). Caranguejos da espécie *Grapsus grapsus* coletados no arquipélago de São Pedro e São Paulo, um remoto arquipélago oceânico, também tiveram as concentrações de ΣPBDEs (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154, 183) todas abaixo do limite de quantificação (<3.40 ng g⁻¹ p.u.) (DIAS et al., 2013).

Moluscos

Dentre as 13 amostras compostas de mexilhão (*Perna perna*) coletadas na Baía de Guanabara (2007-2008), 2 amostras apresentaram concentrações acima do limite de quantificação (1,26 – 3,07 ng g⁻¹ p.s.), somente os congêneres BDE-47 e BDE-99 foram detectados (DA SILVA et al., 2013).

Aves

Atobás (*S. Leucogaster*) coletados no arquipélago de São Pedro e São Paulo tiveram as concentrações de ΣPBDEs (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154, 183) todas abaixo do limite de quantificação (<3.40 ng g⁻¹ p.u.) (DIAS et al., 2013). Em outro estudo, a concentração de PBDEs (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154 e 183) foi medida em amostras de tecido adiposo subcutâneo de petréis (*Procellaria aequinoctialis* e *P. Conspicillata*) coletados na costa do Sul do Brasil, (CIPRO et al., 2013). A concentração de ΣPBDE variou de n.d. a 72,70 ng g⁻¹ p.u., concentrações menores do que as reportadas em amostras de aves do hemisfério norte. Os congêneres mais detectados foram BDE-153, 154 e 183. O estudo também verificou que carcaças encontradas nas praias geralmente possuíam maiores concentrações do que àquelas coletados acidentalmente durante a pesca, provavelmente porque os indivíduos coletados nas praias geralmente possuem uma condição fisiológica debilitada (COLABUONO & VOOREN, 2007).

Um estudo realizado no Atol das Rocas analisou a concentração de ΣPBDE (8, 47, 99, 100, 153, 154, 183) em fígado de 5 espécies de aves (atobá-grande (*S. dactylatra*), atobá-pardo



(*S. leucogaster*), trinta-réis-escuro (*A. stolidus*), trinta-réis-preto (*A. minutus*), trinta-réis-das-rocas (*O. fuscatus*)). Todas as amostras apresentaram concentrações de PBDEs abaixo do limite de detecção de $0,76 \text{ ng g}^{-1} \text{ p.u.}$ (DIAS et al., 2018).

Em um estudo com pinguins-de-magalhães (*Spheniscus magellanicus*) coletados na costa sul da América do Sul, Baldassin e coautores (2016) realizaram análises de poluentes orgânicos em amostras do Chile, Uruguai e três locais no Brasil: Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Mais da metade dos pinguins coletados na costa brasileira tiveram concentrações de PBDEs no fígado acima do limite de quantificação. O congênere de maior concentração foi o BDE-183, e o BDE-47 que foi detectado somente em 10% das amostras brasileiras. Houve diferença significativa somente entre as amostras do Chile ($5,79 - 11,3 \text{ ng g}^{-1} \text{ p.l.}$) e Brasil ($1,18 - 9,69 \text{ ng g}^{-1} \text{ p.l.}$), apesar do pequeno número amostral.

Mamíferos Marinhos

Em uma ampla investigação sobre contaminação por PBDEs abrangendo 5 espécies e 51 indivíduos de cetáceos encalhados em praias do Rio de Janeiro, Dorneles e colaboradores (2010) observaram níveis de PBDEs entre 3 e $5960 \text{ ng g}^{-1} \text{ p.l.}$ Esta faixa de concentração foi similar aos níveis encontrados em estudos desenvolvidos no hemisfério norte. Este estudo também encontrou uma correlação positiva entre as concentrações de ΣPBDE e o ano de encalhe de golfinhos estuarinos (*Sotalia guianensis*), indicando uma variação temporal na exposição. A transferência placentária também foi observada nesta espécie.

Gonçalves (2011) estudou a ocorrência de POPs em gordura subcutânea (“blubber”) de golfinhos franciscana (*Pontoporia blainvillei*) coletadas na região do complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, situada no litoral sul do estado de São Paulo. Os níveis de ΣPBDE (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154, 183) variaram de 3,37 a 257 ng g^{-1} . Considerando os congêneres, o BDE-47 apresentou as maiores concentrações médias, seguido do BDE-100 e 99. Esta proporção de congêneres encontrados é semelhante ao estudo de Dorneles e colaboradores (2010).



Valores compatíveis de Σ PBDE (BDE-17, 28, 47, 66, 77, 85, 99, 100, 119, 138, 153, 154, 156) também foram observados por De La Torre e colaboradores (2012) em fígados de golfinhos franciscana coletados em São Paulo. Este estudo também quantificou amostras do Espírito Santo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul que apresentaram metade ou menos da concentração média do Σ PBDE em fígado, quando comparados aos animais vivendo em São Paulo. No geral, os congêneres com maiores concentrações foram o BDE-47, seguido do BDE-99 e BDE-209. Segundo os autores, uma forte correlação positiva entre os congêneres BDE-154, BDE-153, BDE-100, BDE-99, e BDE-47 indicaria que a mistura técnica pentaBDE foi utilizada nesta região do Brasil. Já Alonso e coautores (2012) observaram concentrações expressivamente maiores na mesma espécie, abrangência espacial e temporal. Os maiores valores (médio e máximo) foram observados em Santa Catarina: 428,6 (30,3 – 1797) ng g⁻¹ p.l. Os níveis observados foram similares às concentrações observadas para cetáceos em regiões industrializadas do hemisfério norte. Em outro estudo, a concentração de PBDEs no fígado de franciscana coletados na costa norte do estado do Rio de Janeiro (2011-2012) variou entre 24,6 – 123 ng g⁻¹ p.l. (LAVANDIER et al., 2016).

No litoral de São Paulo, Barbosa e colaboradores (2018) avaliaram a transferência placentária de diversos PBDEs, incluindo o decaBDE, na espécie franciscana. Os autores avaliaram tecido adiposo subcutâneo, músculo, fígado e rins. Todas as amostras de rins e fígado ficaram abaixo do limite de detecção. O principal congênere nas mães e o único encontrado nas amostras de feto foi o BDE-47, sendo encontrado somente em tecido adiposo subcutâneo. Apesar disso, os autores afirmam que pelo coeficiente de partição octanol / água (K_{ow}) o BDE-47 tem uma maior tendência a acumular na mãe do que transferir para o feto.

Yogui e colaboradores (2011) investigaram ocorrência de poluentes orgânicos, incluindo PBDEs, em 5 espécies de cetáceos coletados na Região costeira de São Paulo, entre 1996 e 2003. As concentrações de Σ PBDE (1, 2, 3, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 25, 28, 30, 32, 33, 35, 37, 47, 49, 66, 71, 75, 77, 85, 99, 100, 116, 118, 119, 126, 138, 153, 154, 155, 166, 181, 183, 190) variaram de 60,3 a 770 ng g⁻¹ p.l. No geral, organismos da plataforma continental apresentaram maior contaminação do que os costeiros. Amostras de golfinho-pintado-do-atlântico (*Stenella frontalis*) tiveram as maiores concentrações em tecido adiposo subcutâneo



770 (709 – 831 ng g⁻¹ p.l.). Outro estudo também analisou ΣPBDE (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154, 183) em indivíduos desta espécie, entre 2004 e 2007, ocorrendo nas áreas costeiras abrangendo Santa Catarina, Paraná e São Paulo (LEONEL et al., 2012). A concentração média foi similar 628,9 ng g⁻¹ p.l., porém com um intervalo de concentrações abrangendo valores mais baixos (23–1327 ng g⁻¹ p.l.), e isto poderia ser explicado, em parte, pelo menor número de congêneres analisados. Além disso, o indivíduo com menor concentração neste estudo foi uma fêmea lactante, devido a transferência tanto pela via placentária quanto pela lactação.

Em um estudo metodológico relacionado a coleta da gordura subcutânea em espécimes de golfinho-pintado-do-atlântico (*S. frontalis*) coletados na costa do sudeste brasileiro, não foram observadas diferenças significativas relacionadas as profundidades da biopsia (MÉNDEZ-FERNANDEZ et al., 2016). A concentração média de ΣPBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154, 183) foi de 1170 ± 2520 ng g⁻¹ p.l. É possível verificar que as concentrações de ΣPBDE neste estudo foram, em geral, maiores que em estudos prévios (YOGUI et al., 2011; LEONEL et al., 2012).

Concentrações de ΣPBDE (BDE-28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153, 154) foram analisadas em amostras de músculo e fígado de Boto cinza (*Sotalia guianensis*) coletados na costa Norte do Rio de Janeiro (QUINETE et al., 2011). Os congêneres BDE 47 e 85 foram os mais predominantes. Os níveis encontrados de PBDE nas matrizes analisadas estavam de acordo com outros estudos publicados.

Leonel et al (2014) em um estudo abrangente verificou os padrões temporais, espaciais e relacionados ao estágio de desenvolvimento de indivíduos de franciscana (*Pontoporia blainvillei*) relacionando à concentração de ΣPBDE (BDE-1, 2, 3, 7, 8,11, 10, 12, 13, 15, 17, 25, 28, 30, 32, 33, 35, 37, 47, 49, 66, 71, 75, 77, 85,99, 100, 116, 118, 119, 126, 138, 153, 154, 155, 166, 181, 183 e 190) em gordura subcutânea. As amostras coletadas no estado de São Paulo (<0.65 – 763,7 ng g⁻¹ p.l.) tiveram maiores concentrações de PBDEs do que as amostras coletadas no Estado de Rio Grande do Sul (<0.65 – 144), possivelmente devido à proximidade à complexos industriais que ocorrem no estado de São Paulo. Os autores também verificaram um aparente aumento dos níveis de PBDEs das franciscana ocorrendo no sul do Brasil.



Vidal (2011) estudou a contaminação pelo PBDE no tecido adiposo subcutâneo em boto-cinza (*Sotalia guianensis*) em diferentes estados do país (Ceará; Rio Grande do Norte; Bahia - Alcobaça, Prado e Arraial D'Ajuda; Espírito Santo – Regência-Linhares e Guarapari; Paraná - estuário de Paranaguá; Santa Catarina – Baía de Babitonga; e Rio de Janeiro - Baía de Guanabara, Baía de Sepetiba e Baía de Ilha Grande). O BDE-47 foi o composto predominante em todos os estados brasileiros, com a mediana variando de 48% (GUA/RJ) a 100% (CE e BA), reafirmando a utilização predominante de c-pentaBDE nestas regiões. Os botos coletados em Santa Catarina e na Baía de Guanabara, RJ, foram os que apresentaram as maiores medianas e concentrações máximas. Este último local apresentou concentrações similares às relatadas por Dorneles e colaboradores (2010).

Lavandier e colaboradores (2015) estudaram os níveis de Σ PBDE (28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153, 154) em carcaças frescas de boto-cinza (*S. guianensis*) e golfinho-de-dentes-rugosos (*S. bredanensis*) na costa norte do estado do Rio de Janeiro. Novamente, o BDE-47 foi o congêneres predominante em ambas as espécies. Maiores concentrações de Σ PBDE ocorreram em espécimes de golfinho-de-dentes-rugosos, o que segundo os autores pode estar relacionado a diferentes locais de alimentação. Os níveis de PBDEs encontrados neste estudo foram uma ordem de magnitude menor do que os relatados por Dorneles e colaboradores (2010), apesar de serem similares aos resultados encontrados por Yogui e colaboradores (2011),

Alonso e colaboradores (2017) realizou um estudo em tecido adiposo de golfinho-nariz-de-garrafa (*T. truncatus*), coletados na costa do Rio de Janeiro, para investigar a diversidade e abundância de diferentes compostos orgânicos halogenados. O estudo identificou 12 compostos de PBDEs diferentes (BDE-28/33, 47, 5Br1, 5Br2, 5Br3, 5Br4, 99, 100, 153, 154, 155, 6Br), sendo que 5 destes não são tipicamente monitorados em estudos ambientais. Apesar das concentrações exatas não terem sido calculadas, os autores identificaram que os congêneres BDE-47, -100 e -99 foram os mais abundantes.

Righetti e colaboradores (2019) analisou a concentração de Σ PBDE (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154, 183) em tecido adiposo em golfinho-nariz-de-garrafa (*T. truncatus*) coletados no estuário da Lagoa dos Patos (Rio Grande do Sul) e Sistema Estuarino de Laguna (Santa



Catarina) no período 2015-2016. As concentrações encontradas foram similares as já relatadas por outros estudos no Brasil e no mundo. O BDE-47 foi o congênere mais predominante, seguido de BDE-100. Além disso, o estudo também encontrou associação entre níveis de transcrição de GR, Gpx-4 e IL-1a (biomarcadores envolvidos em defesa antioxidante e resposta imunológica) com concentrações de PBDEs e pesticidas, sugerindo relevância nos níveis de poluentes encontrados.

Lavandier e colaboradores (2019) avaliou a concentração de PBDEs em golfinho-nariz-de-garrafa (*T. truncatus*) e golfinho-pintado-do-atlântico (*S. frontalis*) na Região dos Lagos – Rio de Janeiro. Sete congêneres (28, 47, 66, 85, 99, 100, 138, 153, 154) foram avaliados em músculo e fígado. As concentrações de PBDEs foram significativamente maiores no golfinho-pintado-do-atlântico comparados ao golfinho-nariz-de-garrafa. Os principais congêneres detectados foram o BDE-47, 99 e 100.

3.2.2. Terrestre

Humanos

Um estudo em humanos analisou a concentração de PBDEs e PCBs em tecido adiposo de mamas (KALANTZI et al., 2009). Foram detectados 11 congêneres de PBDEs (17, 28, 47, 71, 85, 99, 100, 138, 153, 154 e 183), sendo o BDE-47 o mais abundante, seguido pelos congêneres BDE- 99, 183, 153 e 100. A concentração média foi de $6,56 \pm 26,1$ (0.19–132) ng g⁻¹ p.l., com destaque para um indivíduo com uma concentração 70x maior do que as outras concentrações encontradas – o que não seria inesperado de acordo com a literatura, que aponta que 5% da população tem concentrações mais elevadas de PBDE. No geral, as concentrações encontradas são menores do que as descritas em outros estudos ao redor do mundo, e um pouco maiores do que estudos realizados no Japão e Espanha (CHOI et al., 2003; FERNANDEZ et al., 2007).

Alimentos

Mohr e colaboradores (2014) avaliaram PBDEs em 16 amostras de mel de abelha *Apis mellifera* compradas em mercados no Brasil e em outros países (Portugal, Espanha, Marrocos



e Eslovênia). As amostras brasileiras apresentaram uma concentração média do Σ PBDE (BDE-17, 28, 47, 66, 85, 99, 100, 153, 154, 183, 209, 184, 191, 196, 197) de 1,32 ($\pm 1,09$) pg g^{-1} p.f. O BDE-47 foi o congênere mais abundante. As amostras do Brasil apresentaram os maiores valores de retardantes de chamas bromados (15 PBDEs + DBDPE + BTBPE) entre os cinco países estudados, com a concentração média de 5,19 pg g^{-1} p.f. Contudo, devemos observar que o mel analisado foi processado, ou seja, passou por processos que podem ter acarretado na sua contaminação e, assim, podem não representar a contaminação do local em que foi coletado.

Souza e colaboradores (2019) analisou 6 congêneres de PBDEs (BDE-28, 47, 99, 100, 153, e 154) em ovos de galinha convencionais e “free-range” (em liberdade). O estudo observou que ovos de galinhas “free-range” possuíam a maior taxa de detecção de compostos PBDEs, correspondendo a aproximadamente 70% das amostras, sendo o BDE-47 o congênere predominante. O valor médio observado deste congênere foi 5,9 ng g^{-1} p.f., enquanto o valor médio de Σ PBDEs foi de 16,7 ng g^{-1} p.f (mínimo: 3.1 - ovos de galinha convencional; máximo: 46,3 - ovos de galinha em liberdade). O estudo discute que as concentrações encontradas, no geral, estão acima de estudos realizados em outros países.

3.3. PBDEs em bens de consumo

Nenhum estudo foi encontrado com informações sobre o PBDEs em bens de consumo no Brasil. As únicas informações obtidas foram devido a Associação de Saúde Ambiental TOXISPHERA, que divulgou uma carta endereçada a membros do governo pedindo a revogação das isenções da Convenção de Estocolmo para reciclagem de produtos contendo PBDEs. O pedido se respalda na migração do PBDE para os materiais reciclados, que foi observado após a associação testar produtos fabricados com plástico reciclado, coletados no mercado brasileiro em 2019. O estudo observou entre 22 e 45 $\mu\text{g g}^{-1}$ de OctaBDE (HexaBDE + HeptaBDE) Comercial e entre 139 e 339 $\mu\text{g g}^{-1}$ de decaBDE em calculadora de bolso, tiara de cabelo, navalha e carro de brinquedo feitos de material reciclado (TOXISPHERA, 2019).



3.4. Outros

Taniguchi e colaboradores (2016) investigou a concentração de poluentes orgânicos persistentes em pellets de plástico (plástico granulado) coletados em 41 praias (15 cidades) no ano 2010, abrangendo a costa do estado de São Paulo. Dentre os poluentes investigados, os autores analisaram as concentrações de PBDEs (BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154 e 183). Das 41 amostras analisadas, somente 10 tiveram concentrações acima do limite de detecção do método, e as amostras acima do limite apresentaram baixas concentrações (Σ PBDE: $<0,76 - 5,56 \text{ ng g}^{-1}$ p.s.), somente o BDE-47 foi detectado em todas amostras. Pellets encontrados em praias da cidade de Santos apresentaram a maior concentração média de Σ PBDE ($2,0 \text{ ng g}^{-1}$ p.s.).

4. PLANOS DE AÇÃO

4.1. Progresso obtido a partir do primeiro plano de ação - 2015

Plano Nacional de Implementação da Convenção de Estocolmo desenvolve planos de ação para atendimento dos compromissos da Convenção, com base na situação verificada nos inventários. Para PBDEs, as ações planejadas e o seu andamento desde 2015:

Atividade: criação de códigos aduaneiros específicos para os novos POPs e desenvolvimento de estratégias para o controle de operações de importação e exportação de POPs. A ser desenvolvido pelo ME, pelo MMA e pelo IBAMA.

Acompanhamento: A OMC publicou novos códigos de comércio, que entrou em vigor a partir de janeiro de 2017 (mercadorias que contém PBDE). O MMA enviará Ofício ao IBAMA informando sobre a necessidade de solicitar ao ME anuência ou destaque na importação dessas substâncias.

- Objetivo: Adotar medidas para garantir que a reciclagem e destinação de artigos contendo POP-PBDEs seja realizada de maneira ambientalmente adequada

Atividade: Elaboração de cronograma de eliminação da reciclagem de artigos contendo POP-PBDEs até o prazo da exceção específica terminar, ou seja, em 2030. A ser realizada por Recicladoras de Plásticos.



Acompanhamento: a logística reversa vem reforçar a iniciativa de Recicladoras de Plásticos, pois assegura a destinação final ambientalmente adequada dos produtos eletroeletrônicos que podem conter essas substâncias, evitando e minimizando, assim, eventuais impactos ambientais associados a uma disposição inadequada dessas substâncias no meio ambiente, tais como contaminação dos meios terrestre, hídrico e aquático, além de riscos à saúde humana” (MMA 2019g). Enviar ofício para **Abinee** - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica e **Eletros** - Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos solicitando que fiquem atentos à logística reversa, buscando a identificação de equipamentos que possam estar contaminados com PBDEs.

4.2. Plano de ação proposto

A partir do presente inventário, pode-se identificar novos objetivos para ações a fim de atender o compromisso com a Convenção de Estocolmo. É preciso concluir as atividades propostas no plano de ação elaborado em 2015 que ainda não foram iniciadas ou concluídas:

4.2.1. Estudos Recomendados

Os maiores desafios para o monitoramento da contaminação por PBDEs (octa e penta) estão relacionados à identificação de áreas com estoque de mercadorias com altas concentrações destes produtos. Como apontado por estudos recentes (CRISTALE, 2018, 2019), as áreas prioritárias seriam aterros/lixões que contenham principalmente resíduos eletrônicos e espumas, assim como depósitos de carros antigos. Esta ação é necessária para que tenhamos uma visão consistente do atual cenário de contaminação ambiental e da exposição humana a esses contaminantes. Estas substâncias podem ser monitoradas quando do encerramento de lixões dentro dos programas de recuperação de áreas degradadas. O MMA enviará ofício aos Órgãos Ambientais Estaduais sobre a importância de incluir estes produtos no monitoramento de áreas de risco.



4.2.2. Reciclagem

Como a utilização deste produtos foi restrita a alguns produtos, como plano de ação para a reciclagem do material com PBDE, recomenda-se seguir o UNEP/POPS/POPRC.6/2 e do anexo da decisão, intitulados: “Technical Review of the Implications of Recycling Commercial Pentabromodiphenyl Ether and Commercial Octabromodiphenyl Ether - DRAFT”, e “Recommendations on the elimination of brominated diphenyl ethers from the waste stream and on risk reduction for perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride (PFOSF)”. Adaptando-as à realidade nacional.

O objetivo é eliminar os éteres difenil bromados dos fluxos de reciclagem o mais rápido possível. Para atingir esse objetivo, a principal recomendação é separar os artigos que contenham éter difenil bromado antes da reciclagem. Caso contrário, inevitavelmente resultará em maior contaminação humana e ambiental e na dispersão de éteres difenílicos bromados em matrizes a partir das quais a recuperação não é técnica ou economicamente viável, e na perda da credibilidade em longo prazo da reciclagem (UNEP, 2010a, 2010b, 2015).

Para tanto, o MMA enviará Ofício à Abinee e Eletros para que fiquem atentos à logística reversa, buscando a identificação e a destinação final ambientalmente adequada de equipamentos que possam estar contaminados com PBDEs.

5. REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Toxicological profile for Polybrominated Diphenyl Ether. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2017. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp207.pdf>

ALONSO, M. B. et al. Natural and anthropogenically-produced brominated compounds in endemic dolphins from Western South Atlantic: Another risk to a vulnerable species. *Environmental Pollution*, v. 170, p. 152–160, 1 nov. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.06.001>

ALONSO, M. B. et al. Nontargeted Screening of Halogenated Organic Compounds in Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) from Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Science & Technology*, v. 51, n. 3, p. 1176–1185, 7 fev. 2017. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04186>
ANNUNCIACÃO, D. L. R. Éteres difenílicos polibromados (PBDE) em sedimentos do Lago Paranoá, DF/ Daniel Luiz Rodrigues da Annuniação – Tese de Doutorado, Universidade



de Brasília, 2017, 123p. Disponível em https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5053236#

ANNUNCIACÃO, D.L.R. et al. Éteres Difenílicos Polibromados (PBDE) como contaminantes persistentes: ocorrência, comportamento no ambiente e estratégias analíticas. *Química Nova*, São Paulo, v. 41, n. 7, p. 782-795, July 2018. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170218>

ASSOCIAÇÃO DE SAÚDE AMBIENTAL (TOXISPHERA) - Revogação das isenções da Convenção de Estocolmo para reciclagem de TetraBDE, PentaBDE, HexaBDE e HeptaBDE, 16 de abril de 2019

BALDASSIN, P. et al. Persistent organic pollutants in juvenile Magellanic Penguins (*Spheniscus magellanicus*) in South America. *Chemosphere*, v. 149, p. 391–399, 1 abr. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.016>

BARBOSA, A. P. M. et al. Transplacental transfer of persistent organic pollutants in La Plata dolphins (*Pontoporia blainvillei*; Cetartiodactyla, Pontoporiidae). *Science of The Total Environment*, v. 631–632, p. 239–245, 1 ago. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.325>

BRESCANSIN, A. et al. Restrição ao uso de substâncias perigosas (RoHS) no segmento de computadores pessoais: análise da estratégia de adoção pelos fabricantes estabelecidos no Brasil. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, v. 10, n. 3, p. 35, 1 set. 2015. <https://doi.org/10.15675/gepros.v10i3.1281>

BRASIL. Instrução Normativa no 01, de 19 de janeiro de 2010 - Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO, 2010. <https://www.gov.br/governodigital/pt-br/legislacao/IN01de2010ComprasSustentaveis.pdf>

CASCAES, M. J. et al. Persistent organic pollutants in liver of Brazilian sharpnose shark (*Rhizoprionodon lalandii*) from southeastern coast of Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 86, n. 1, p. 591–593, 15 set. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.05.032>

CHOI, J. et al. Polybrominated Dibenzo-p-dioxins, Dibenzofurans, and Diphenyl Ethers in Japanese Human Adipose Tissue. *Environmental Science & Technology*, v. 37, n. 5, p. 817–821, 1 mar. 2003. <https://doi.org/10.1021/es0258780>

CIPRO, C. V. Z. et al. Polybrominated diphenyl ethers in fat samples from White-chinned Petrels (*Procellaria aequinoctialis*) and Spectacled Petrels (*P. conspicillata*) off southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 77, n. 1, p. 396–399, 15 dez. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.042>

CRISTALE, J. et al. Occurrence and human exposure to brominated and organophosphorus flame retardants via indoor dust in a Brazilian city. *Environmental Pollution*, v. 237, p. 695–703, 1 jun. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.110>



CRISTALE, J. et al. Occurrence of flame retardants in landfills: A case study in Brazil. *Environmental Research*, v. 168, p. 420–427, 1 jan. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.010>

DA SILVA, S. F. G. et al. Polybrominated diphenyl ethers (PBDES) and polychlorinated biphenyls (PCBS) in mussels and two fish species from the estuary of the Guanabara Bay, Southeastern Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 91, n. 3, p. 261–266, set. 2013. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1026-3>

DE LA TORRE, A. et al. Dechlorane-Related Compounds in Franciscana Dolphin (*Pontoporia blainvillei*) from Southeastern and Southern Coast of Brazil. *Environmental Science & Technology*, v. 46, n. 22, p. 12364–12372, 20 nov. 2012. <https://doi.org/10.1021/es302934p>

DIAS, P. S. et al. Persistent organic pollutants in marine biota of São Pedro and São Paulo Archipelago, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 74, n. 1, p. 435–440, 15 set. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.06.025>

DIAS, P. S. et al. Persistent organic pollutants and stable isotopes in seabirds of the Rocas Atoll, Equatorial Atlantic, Brazil. *Marine Ornithology*, v. 46, p. 139–148, 15 out. 2018. https://www.marineornithology.org/PDF/46_2/46_2_139-148.pdf

DORNELES, P. R. et al. Anthropogenic and naturally-produced organobrominated compounds in marine mammals from Brazil. *Environment International*, v. 36, n. 1, p. 60–67, 1 jan. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.10.001>

ELJARRAT, E.; BARCELÓ, D.; ALAEE, M. (EDS.). *Brominated flame retardants*. Berlin ; Heidelberg ; New York: Springer-Verlag, 2011.

EUROPEAN UNION (EU). Risk assessment report: diphenyl ether, pentabromo derivative (pentabromodiphenyl ether). European Chemicals Bureau, Luxembourg. ISBN 92-894-0479-5. 2001 <https://echa.europa.eu/documents/10162/781ee1e9-6c90-467e-998b-8910ca2793e5>

EUROPEAN UNION (EU). Risk assessment report: diphenyl ether, octabromo derivative (octabromodiphenyl ether). European Chemicals Bureau, Luxembourg. 2003 <https://echa.europa.eu/documents/10162/5b10aa46-9a88-4aed-b338-1e06105b924c>

EUROPEAN UNION. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. 2003. *Official Journal of the European Union*, v. 37, p. 19- 23, 2003. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32002L0095>

FERNANDEZ, M. F. et al. PBDEs and PBBs in the adipose tissue of women from Spain. *Chemosphere*, v. 66, n. 2, p. 377–383, 1 jan. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.04.065>

FERRARI, R. S. et al. Assessing Surface Sediment Contamination by PBDE in a Recharge Point of Guarani Aquifer in Ribeirão Preto, Brazil. *Water*, v. 11, n. 8, p. 1601, ago. 2019. <https://doi.org/10.3390/w11081601>



GONÇALVES, Renato Miani. Poluentes orgânicos persistentes (POPs) em toninhas, *Pontoporia blainvillei* (Mammalia: Cetacea), coletadas no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, Sudeste do Brasil. 2011. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química e Geológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21133/tde-20042012-101302/en.php>

HARA, E. L. Y. Protocolo analítico para determinação de éteres difenílicos polibromados (PBDE) em sedimentos de Rios por GC-MS. 2014. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/36995>

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1-107. 2016. <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>

INTERNATIONAL PROGRAM ON CHEMICAL SAFETY (IPCS). Environmental health criteria 162: brominated diphenyl ethers. World Health Organization, Geneva, Switzerland. 1994. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc162.htm>

KALANTZI, O. I. et al. Polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in human breast adipose samples from Brazil. *Environment International*, v. 35, n. 1, p. 113–117, 1 jan. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.09.008>

LA GUARDIA, M. J.; HALE, R. C.; HARVEY, E. Detailed Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Congener Composition of the Widely Used Penta-, Octa-, and Deca-PBDE Technical Flame-retardant Mixtures. *Environmental Science & Technology*, v. 40, n. 20, p. 6247–6254, out. 2006. <https://doi.org/10.1021/es060630m>

LAVANDIER, R. et al. Polychlorinated biphenyls (PCBs) and Polybrominated Diphenyl ethers (PBDEs) in three fish species from an estuary in the southeastern coast of Brazil. *Chemosphere*, v. 90, n. 9, p. 2435–2443, 1 mar. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.11.001>

LAVANDIER, R. et al. An assessment of PCB and PBDE contamination in two tropical dolphin species from the Southeastern Brazilian coast. *Marine Pollution Bulletin*, v. 101, n. 2, p. 947–953, 30 dez. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.10.039>

LAVANDIER, R. et al. PCB and PBDE levels in a highly threatened dolphin species from the Southeastern Brazilian coast. *Environmental Pollution*, v. 208, p. 442–449, 1 jan. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.10.013>

LAVANDIER, R. et al. PCB and PBDE contamination in *Tursiops truncatus* and *Stenella frontalis*, two data-deficient threatened dolphin species from the Brazilian coast. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 167, p. 485–493, 15 jan. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.045>

LEONEL, J. et al. Contamination by chlorinated pesticides, PCBs and PBDEs in Atlantic spotted dolphin (*Stenella frontalis*) in western South Atlantic. *Chemosphere*, v. 86, n. 7, p. 741–746, 1 fev. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.10.049>



LEONEL, J. et al. PBDE levels in franciscana dolphin (*Pontoporia blainvillei*): Temporal trend and geographical comparison. *Science of The Total Environment*, v. 493, p. 405–410, 15 set. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.003>

MAGALHÃES, C. A. et al. PCBs, PBDEs and organochlorine pesticides in crabs *Hepatus pudibundus* and *Callinectes danae* from Santos Bay, State of São Paulo, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 64, n. 3, p. 662–667, 1 mar. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.12.020>

MAGALHÃES, C. A. et al. Organochlorine pesticides, PCBs, and PBDEs in liver and muscle tissues of *Paralonchurus brasiliensis*, *Trichiurus lepturus* and *Cathorops spixii* in Santos Bay and surrounding area, São Paulo, Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, v. 16, p. 42–48, 1 nov. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.08.010>

MEIRE, R. O. et al. Air concentrations and transport of persistent organic pollutants (POPs) in mountains of southeast and southern Brazil. *Atmospheric Pollution Research*, v. 3, n. 4, p. 417–425, 1 out. 2012. <https://doi.org/10.5094/APR.2012.048>

MÉNDEZ-FERNANDEZ, P. et al. Validating the use of biopsy sampling in contamination assessment studies of small cetaceans. *Marine Pollution Bulletin*, v. 107, n. 1, p. 364–369, 15 jun. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.021>

MÉNDEZ-FERNANDEZ, P. et al. Contamination status by persistent organic pollutants of the Atlantic spotted dolphin (*Stenella frontalis*) at the metapopulation level. *Environmental Pollution*, v. 236, p. 785–794, 1 maio 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.009>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Inventário Nacional de Novos Poluentes Orgânicos Persistentes (Novos POPs) de uso industrial Convenção de Estocolmo. Brasília, 2015, 166p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). RoHS Brasileira <https://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/gestao-das-substancias-quimicas/rohs-brasileira>, 24 de abril de 2020.

MOHR, S. et al. Levels of brominated flame retardants (BFRs) in honey samples from different geographic regions. *Science of The Total Environment*, v. 472, p. 741–745, 15 fev. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.035>

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>

MOURA, J. F. DE et al. Assessment of trace elements, POPs, ²¹⁰Po and stable isotopes (¹⁵N and ¹³C) in a rare filter-feeding shark: The megamouth. *Marine Pollution Bulletin*, v. 95, n. 1, p. 402–406, 15 jun. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.03.038>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. PubChem Database.



<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (accessado em 11 de setembro., 2019)

PESTANA, C. R.; BORGES, K. B. Risco ambiental da aplicação de éteres de difenilas polibromadas como retardantes de chama. *Revista Brasileira de Toxicologia* 21, n.2, 2008. http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/lilacs/revbrastoxicol/2008v21n2/revbrastoxicol2008v21n2_p41-48.pdf

PIERONI, M. C. et al. Retardantes de chama bromados: uma revisão. *Química Nova*, v. 40, n. 3, p. 317–326, abr. 2017. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20160176>

PIZZOCHERO, A. C. et al. Occurrence of legacy and emerging organic pollutants in whitemouth croakers from Southeastern Brazil. *Science of The Total Environment*, v. 682, p. 719–728, 10 set. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.213>

QUINETE, N. et al. Specific profiles of polybrominated diphenylethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in fish and tucuxi dolphins from the estuary of Paraíba do Sul River, Southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, n. 2, p. 440–446, 1 fev. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.11.021>

RAHMAN, F. et al. Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants. *Science of The Total Environment*, v. 275, n. 1, p. 1–17, 25 jul. 2001. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00852-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00852-X)

RAUERT, C. et al. Atmospheric Concentrations of New Persistent Organic Pollutants and Emerging Chemicals of Concern in the Group of Latin America and Caribbean (GRULAC) Region. *Environmental Science & Technology*, v. 52, n. 13, p. 7240–7249, 3 jul. 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00995>

REDFERN, F.M. et al. Overview and perspectives on emissions of polybrominated diphenyl ethers on a global basis: Evaporative and fugitive releases from commercial PBDE mixtures and emissions from combustion sources. *Aerosol Air Qual. Res.*, v. 17, n. 5, p. 1117- 1131, 2017. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.12.0579>

RIGHETTI, B. P. H. et al. Biochemical and molecular biomarkers in integument biopsies of free-ranging coastal bottlenose dolphins from southern Brazil. *Chemosphere*, v. 225, p. 139–149, 1 jun. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.179>

RODRIGUES, E. M. et al. The occurrence of polybrominated diphenyl ethers in Brazil: a review. *International Journal of Environment and Health*, v. 7, n. 3, p. 247–266, 1 jan. 2015. <https://doi.org/10.1504/IJENVH.2015.073202>

ROSENFELDER, N. et al. Thorough analysis of polyhalogenated compounds in ray liver samples off the coast of Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 19, n. 2, p. 379–389, 1 fev. 2012. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0569-2>

SAINI, A. et al. GAPS-megacities: A new global platform for investigating persistent organic pollutants and chemicals of emerging concern in urban air. *Environmental Pollution*, v. 267, p. 115416, 1 dez. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115416>



SOUZA, M. C. O. et al. A Fast and Simple Procedure for Polybrominated Diphenyl Ether Determination in Egg Samples by Using Microextraction by Packed Sorbent and Gas Chromatography–Mass Spectrometry. *Food Analytical Methods*, v. 12, n. 7, p. 1528–1535, 1 jul. 2019. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01484-w>

TANIGUCHI, S. et al. Spatial variability in persistent organic pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons found in beach-stranded pellets along the coast of the state of São Paulo, southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 106, n. 1, p. 87–94, 15 maio 2016. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.024>

UENO, D. et al. Global Pollution Monitoring of Polybrominated Diphenyl Ethers Using Skipjack Tuna as a Bioindicator. *Environmental Science & Technology*, v. 38, n. 8, p. 2312–2316, 1 abr. 2004. <https://doi.org/10.1021/es035323k>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Review Committee Third meeting. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its third meeting: Addendum 6: Risk profile on commercial octabromodiphenyl ether. Geneva, p. 23 (UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.6). 2007. <http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/ReportsandDecisions/tabid/3309/Default.aspx>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Persistent Organic Pollutants Review Committee fourth meeting. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its fourth meeting: Addendum 1: Risk management evaluation for commercial octabromodiphenyl ether. Geneva, p. 13–17. (UNEP/POPS/POPRC.4/15/Add.1). 2008. <http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/ReportsandDecisions/tabid/3309/Default.aspx>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Technical Review of the Implications of Recycling Commercial Pentabromodiphenyl Ether and Commercial Octabromodiphenyl Ether – DRAFT. UNEP/POPS/POPRC.6/2, Geneva, 11–15 October 2010a. <http://chm.pops.int/Portals/0/Repository/POPRC6/UNEP-POPS-POPRC.6-2.English.pdf>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Supporting document for technical review of the implications of recycling commercial penta and octabromodiphenyl ethers. Stockholm Convention document for 6th POP Reviewing Committee meeting (UNEP/POPS/POPRC.6/INF/6) Geneva 11-15. October. 2010b <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=unep-pops-poprc.6-inf-6.english.pdf>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Conference of the Parties of Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants Seventh meeting. Revised draft guidance on best available techniques and best environmental practices for the recycling and waste disposal of articles containing polybrominated diphenyl ethers listed under the Stockholm Convention. Geneva, 2017. <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-BATBEP-GUID-PBDE-201703.En.pdf>



U.S. EPA. An Exposure Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE) (Final Report). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-08/086F, 2010. <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=210404>

VIDAL, L. G. Contaminantes orgânicos em boto-cinza (*Sotalia guianensis*, Cetartiodactyla: Delphinidae) da costa do Brasil/Lara Gama Vidal. – Rio de Janeiro – Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - IBCCF, 2015, 143p

YAMAMOTO, F. Y. et al. Alterations of cytochrome P450 and the occurrence of persistent organic pollutants in tilapia caged in the reservoirs of the Iguazu River. *Environmental Pollution*, v. 240, p. 670–682, 1 set. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.019>

YOGUI, G. T. et al. PBDEs in the blubber of marine mammals from coastal areas of São Paulo, Brazil, southwestern Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, n. 12, p. 2666–2670, 1 dez. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.024>



6. ANEXOS

6.1. Quadros Nomes Comerciais

Quadro A 1: Nomes comerciais para misturas de pentaBDE

Grupo	Nomes Comerciais
c-PentaBDE	"4,4'-Oxybis(1,3-dibromobenzene)", "2,2',4,4'-Tetrabromodiphenyl ether", "BDE-47", "DIBROMOPHENYL ETHER", "PBDE 47", "2,2',4,4'-Tetrabromodiphenyl ether", "BDE 47", "2,4-dibromo-1-(2,4-dibromophenoxy)benzene", "PBDE-47", "UNII-0N97R5X10X", "bis(2,4-dibromophenyl) ether", "NSC 21724", "Benzene, 1,1'-oxybis(2,4-dibromo-", "Benzene, 1,1'-oxybis[2,4-dibromo-", "CHEBI:81584", "0N97R5X10X", "1,1'-oxybis(2,4-dibromobenzene)", "NSC21724", "1,1'-Oxybis[2,4-Dibromobenzene]", "AK121881", "PBDE 47 (2,2',4,4'-Tetrabromodiphenyl ether)", "C12H6Br4O", "BDE No 47 solution", "AC1L3TQ0", "AC1Q26OA", "DSSTox_CID_10056", "DSSTox_RID_78835", "PBDE No. 47", "DSSTox_GSID_30056", "MLS001065577", "SCHEMBL899494", "CHEMBL229760", "2,2',4,4'-TetraBDE", "DTXSID3030056", "CTK8D9905", "KS-00000MIH", "MolPort-027-836-838", "XYBSIYMGXVUVGY-UHFFFAOYSA-N", "HMS3039P04", "ZINC1583785", "1,1'-Oxybis(2,4-dibromo-Benzene)", "Tox21_200327", "7840AB", "NSC-21724", "RW2836", "2,2',4,4' tetrabromodiphenyl ether", "AKOS016011206", "DS-6407", "QC-2733", "NCGC00090912-01", "NCGC00090912-02", "NCGC00257881-01", "AJ-27513", "BAS 00121527", "CJ-25191", "SMR000568461", "1,1'-Oxybis[2,4-dibromobenzene], 9CI", "AX8064085", "KB-239399", "LS-182277", "C18205", "BDE-47(2,2',4,4'-Tetrabromodiphenyl Ether)", "UNII-1J1A90VP8W component XYBSIYMGXVUVGY-UHFFFAOYSA-N", "2,2',4,4',5-Pentabromodiphenyl ether", "PBDE 99", "BDE-99", "1,2,4-Tribromo-5-(2,4-dibromophenoxy)benzene", "BDE 99", "UNII-D3A2T91IIE", "BDE No 99 solution", "D3A2T91IIE", "CHEBI:81582", "WHPVYXDFIXRKLN-UHFFFAOYSA-N", "DE 71", "Benzene,1,2,4-tribromo-5-(2,4-dibromophenoxy)-", "Pentabromodiphenyl oxide (technical)", "Benzene, 1,1'-oxybis-, pentabromo deriv.", "DSSTox_CID_4246", "Bromkal G 1", "DE-71", "Planelon PB 501", "Saytex 125", "Pentabromophenoxybenzene", "Pentabromodiphenyl ethers", "AC1L1V7M", "DSSTox_RID_77340", "DSSTox_RID_78834", "DSSTox_GSID_24246", "DSSTox_GSID_30048", "PBDE-99", "MLS001065585", "Benzene, 1,2,4-tribromo-5-(2,4-dibromophenoxy)-", "PENTABROMODIPHENYL OXIDE", "CCRI 4851", "CHEMBL374400",



	<p>"DTXSID9030048", "SCHEMBL14938654", "HSDB 7109", "HMS3039F12", "Pentabromodiphenyl Oxide Repackaged", "ZINC8602415", "EINECS", "251-084-2", "Tox21_200156", "Tox21_201143", "Diphenyl ether, pentabromo derivative", "2,2,4,4,5-Pentabromodiphenyl ether", "LS-1197", "2,2',4,4',5 pentabromodiphenyl ether", "NCGC00091436-01", "NCGC00091436-02", "NCGC00091436-03", "NCGC00091436-04", "NCGC00091436-05", "NCGC00257710-01", "NCGC00258695-01", "2,2',4,4',5,-Penabromodiphenyl ether", "LS-32210", "SMR000568490", "Benzene, 1,1'-oxybis-, pentabromo deriv", "2,2',4,4',5-Pentabromodiphenyl ether", "Pentabromodiphenyl oxide (technical) (DE 71)", "2,4-dibromophenyl 2,4,5-tribromophenyl ether", "C18203", "UNII-7REL09ZX35 component WHPVYXDFIXRKLN-UHFFFAOYSA-N", "BDE100", "UNII-YW2W2K0A6U", "2,2',4,4',6-pentabromodiphenyl ether", "pentabrominated diphenyl ether 100", "YW2W2K0A6U", "2,2',4,4',6-brominated diphenyl ether", "2,4-Dibromophenyl 2,4,6-Tribromophenyl Ether", "AC1L4BO3", "PBDE100", "Benzene, 1,3,5-tribromo-2-(2,4-dibromophenoxy)-", "BDE100", "PBDE-100", "DTXSID4052689", "SCHEMBL14938506", "CHEBI:138065", "NSKIRYMHNFTRLR-UHFFFAOYSA-N", "2,2',4,4',6-PentaBDE", "ZINC95619687", "ACM189084648", "2,2',4,4',6-Pentabromodiphenyl ether", "1,3,5-Tribromo-2-(2,4-dibromophenoxy)-Benzene", "J-012193", "BENZENE,1,3,5-TRIBROMO-2-(2,4-DIBROMOPHENOXY)-", "UNII-7REL09ZX35 component NSKIRYMHNFTRLR-UHFFFAOYSA-N", "4C8"</p>
--	--

Quadro A 2: Nomes comerciais para misturas de octaBDE

Grupo	Nomes Comerciais
c-octaBDE	<p>"2,2',4,4',5,5'-Hexabromodiphenyl ether", "PBDE 153", "BDE 153", "BDE-153", "UNII-NX58WCQ511", "NX58WCQ511", "CHEBI:81534", "1,1'-oxybis(2,4,5-tribromobenzene)", "1,2,4-tribromo-5-(2,4,5-tribromophenoxy)benzene", "BDE No 153 solution", "hexabrominated diphenyl ether 153", "Benzene, 1,1'-oxybis(2,4,5-tribromo-", "AC1L4DQO", "DSSTox_CID_10047", "DSSTox_RID_78833", "DSSTox_GSID_30047", "MLS001065604", "; CHEMBL1568307", "DTXSID4030047", "SCHEMBL14938634", "RZXIRSKYBISPGF-UHFFFAOYSA-N", "HMS3039L14", "ZINC8585871", "Tox21_202469", "5,5'-oxybis(1,2,4-tribromobenzene)", "1,1'-Oxybis(2,4,5-tribromo-Benzene)", "NCGC00090916-01", "NCGC00260018-01", "SMR000568459", "LS-182278", "1,1'-Oxybis[2,4,5-tribromo]benzene, 9CI", "C18137", "2,2',4,4',5,5'-Hexabromodiphenyl ether", "UNII-9346I1RE5F component RZXIRSKYBISPGF-UHFFFAOYSA-N", "2,2',3,4,4',5',6-heptabromodiphenyl ether", "BDE 183", "207122-16-5", "PBDE 183", "BDE No 183 solution", "UNII-6M82N9DXAI", "BDE-183", "6M82N9DXAI", "CHEBI:81537",</p>



	<p>"1,2,3,5-TETRABROMO-4-(2,4,5-TRIBROMOPHENOXY)BENZENE", "CHEMBL219178", "DTXSID8052693", "SCHEMBL14938742", "CTK0J8526", "ILPSCQCLBHQEM-UHFFFAOYSA-N", "Benzene,1,2,3,5-tetrabromo-4-(2,4,5- tribromophenoxy)-", "ZINC95543103", "2,2',3,4,4',5',6-heptabromodiphenylether", "C18140", "2,2',3,4,4',5',6-Heptabromodiphenyl ether", "J-013540", "1,2,3,5-Tetrabromo- 4-(2,4,5-tribromophenoxy)-benzene", "2,2',3,4,4',5',6-Heptabromodiphenyl ether (BDE 183)", "UNII-HV572LY7S8 component ILPSCQCLBHQEM-UHFFFAOYSA-N", "UNII- Z44T8M8ULH", "446255-39-6", "Benzene, 1,2,3,4-tetrabromo-5-(2,3,4,6- tetrabromophenoxy)-", "Z44T8M8ULH", "BDE-196", "2,2',3,3',4,4',5,6'-Octabromodiphenyl ether", "BDE 196", "DTXSID3074789", "SCHEMBL14938663", "CTK1D2363", "IEWFKOVTJNWFF-UHFFFAOYSA-N", "AKOS030239717", "2,2',3,3',4,4',5,6'- Octabromodiphenyl ether", "2,2',3,3',4,4',5,6'-Octabromodiphenyl ether", "UNII- QFL9YO91JE component IEWFKOVTJNWFF-UHFFFAOYSA-N", "117964-21-3", "UNII-1SD9VS79J1", "2,2',3,3',4,4',6,6'-Octabromodiphenyl ether", "BDE-197", "1SD9VS79J1", "Benzene, 1,1'-oxybis(2,3,4,6-tetrabromo-", "Benzene, 1,1'-oxybis[2,3,4,6- tetrabromo-", "BDE 197", "ACMC-20mnji", "PBDE 197", "DTXSID9074775", "SCHEMBL16678495", "CTKOG0032", "AAFUUKPTSPVXJH-UHFFFAOYSA-N", "2,2',3,3',4,4',6,6'-Octabromodiphenyl ether", "2,2,3',4,4,6,6'-octabromodiphenyl ether", "2,2',3,3',4,4',6,6'-Octabromodiphenyl ether", "UNII-QFL9YO91JE component AAFUUKPTSPVXJH-UHFFFAOYSA-N", "BDE No 203 solution", "UNII-13NAJ7N8H3", "337513-72-1", "2,2',3,4,4',5,5',6-Octabromodiphenyl ether", "13NAJ7N8H3", "BDE-203", "Benzene, 1,2,3,4,5-pentabromo-6-(2,4,5-tribromophenoxy)-", "Phenyl ether, octabromo deriv.", "BDE 203", "Tardex 80", "Bromkal 79-8DE", "Octabromodiphenyl oxide", "Octabromodiphenyl ethers", "Benzene, pentabromo(2,4,5-tribromophenoxy)-", "AC1L1V7P", "OCTABROMOBIPHENYL ETHER", "Phenyl ether, octabromo deriv", "EB 8", "PBDE 203", "DTXSID7074749", "SCHEMBL16678876", "HSDB 7110", "RTUZOQFRIPIWPS-UHFFFAOYSA-N", "CD 79", "DE 79", "1,1'-Oxybisbenzene octabromo deriv", "EINECS 251-087-9", "FR 143", "ZINC95851461", "FR 1208", "ACM337513721", "Benzene, 1,1'-oxybis-, octabromo deriv", "LS-30927", "J-019315", "1,2,3,4,5-pentabromo-6-(2,4,5-tribromophenoxy)benzene", "2,2',3,4,4',5,5',6'- OCTABROMODIPHENYL ETHER", "UNII-QFL9YO91JE component RTUZOQFRIPIWPS-UHFFFAOYSA-N", "Nonabromodiphenyl ether", "Nonabromophenoxybenzene", "Nonabromodiphenyl oxide", "UNII-2O56GK0P1R", "PBDE 206", "PENTABROMO(TETRABROMOPHENOXY)BENZENE", "EINECS 264- 565-7", "63936-56-1", "Benzene, pentabromo(tetrabromophenoxy)-", "2,2',3,3',4,4',5,5',6-</p>
--	--



	<p>nonabromodiphenyl ether", "2O56GK0P1R", "Benzene, 1,2,3,4,5-pentabromo-6-(tetrabromophenoxy)-", "1,2,3,4,5-pentabromo-6-(2,3,4,5-tetrabromophenoxy)benzene", "BENZENE,1,2,3,4,5-PENTABROMO-6-(2,3,4,5-TETRABROMOPHENOXY)-", "BDE-206", "Nonabromodiphenyl ether (mixed isomers)", "BDE No 206 solution", "AC1L2DZC", "Benzene, 1,2,3,4,5-pentabromo-6-(2,3,4,5-tetrabromophenoxy)-", "SCHEMBL752753", "CYRHBNRLQMLULE-UHFFFAOYSA-N", "ZINC150349333", "LS-185768", "2,2',3,3',4,4',5,5',6-Nonabromodiphenyl ether", "UNII-7P4MPX8QTZ component CYRHBNRLQMLULE-UHFFFAOYSA-N", "BDE No 207 solution", "437701-79-6", "UNII-872OKM983V", "PBDE 207", "2,2',3,3',4,4',5,6,6'-nonabromodiphenyl ether", "872OKM983V", "BDE-207", "Benzene, 1,2,3,4,5-pentabromo-6-(2,3,4,6-tetrabromophenoxy)-", "PBDE Congener No. 207", "SCHEMBL16678555", "CTK8E6714", "DTXSID30451985", "IEEVDIAVLGLVOW-UHFFFAOYSA-N", "1,2,3,4,5-pentabromo-6-(2,3,4,6-tetrabromophenoxy) benzene", "AKOS025295326", "ZINC150351895", "RT-011434", "2,2',3,3',4,4',5,6,6'-NonaBDE", "2,2',3,3',4,4',5,6,6'-Nonabromodiphenylether", "UNII-7P4MPX8QTZ component IEEVDIAVLGLVOW-UHFFFAOYSA-N"</p>
--	--



6.2. Importação e Exportação - NCM

Tabela A 1: Valores de importação e exportação de Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) genéricos que podem incluir os éteres dineflicos polibromados em quilograma líquido, no período de 1997 a 2019. Dados disponíveis na plataforma Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br>) para os três códigos de NCM.

Ano	NCM 2909.30.19		NCM 2903.39.29		NCM 2903.99.29	
	Importação	Exportação	Importação	Exportação	Importação	Exportação
1997	784931	47	—	—	—	—
1998	658690	137576	—	—	—	—
1999	924035	228	—	—	—	—
2000	1067555	580	—	—	—	—
2001	775599	810	—	—	—	—
2002	571436	100	—	—	—	—
2003	735433	247	—	—	—	—
2004	711940	735	—	—	—	—
2005	907036	83	—	—	—	—
2006	605010	3	—	—	—	—
2007	1045237	—	409259	—	—	—
2008	1211233	5285	229255	—	—	—
2009	1447286	3850	182871	3000	—	—
2010	1438197	4956	197523	474	—	—
2011	1804334	574	65655	1010	—	—
2012	1621254	2761	111143	6	20202	—
2013	1330233	607	92838	—	30160	—
2014	969680	13587	82502	—	34064	—
2015	828609	19537	53473	—	23151	—
2016	582487	381	18968	—	47004	1850
2017	330913	5514	29234	—	140017	—
2018	376378	105531	23081	25	187007	200
2019	204140	75415	8686	1	213075	—
Total	20931646	378407	1504488	4516	694680	2050

NCM 2909.30.19 (outros éteres aromáticos), NCM 2903.39.29 (Outros derivados bromados) e NCM 2903.99.29 (outros derivados halogenados, unicamente com bromo).



6.3. Empresas cadastradas no CEMPRE-IBGE

Tabela A 2: Número de empresas cadastradas no CEMPRE-IBGE (Censo 2017) por unidade federativa.

INDÚSTRIAS	AC	AL	AP	AM	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA
Indústria têxtil	32	183	33	104	1533	3521	341	1228	3933	261	403	322	7319	258
Resinas e elastômeros	0	2	0	6	18	8	0	2	2	0	0	0	29	0
Fibras	0	0	0	0	7	2	1	1	8	1	0	1	4	0
Tintas e revestimentos	1	8	0	4	41	46	18	23	76	10	19	13	98	8
Preparados químicos diversos	0	5	0	14	57	39	4	23	41	9	12	9	235	7
Borrachas	4	11	5	7	97	75	12	48	99	26	89	40	323	51
Plástico	10	79	2	117	353	262	60	111	316	39	91	67	869	54
Eletrônicos e informática	1	5	1	110	93	71	32	37	95	6	11	18	593	9
Geradores, transformadores, etc.	2	4	1	23	36	21	19	25	74	3	15	10	245	11
Indústria automobilística	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
Transporte (exceto carros)	3	4	5	86	48	32	5	14	37	9	13	9	84	33
Brinquedos e jogos	0	0	0	5	15	13	6	8	28	4	8	2	67	7
Energia elétrica *1	1	8	4	17	133	83	28	17	64	37	104	27	212	10
Gestão de resíduos	6	33	8	43	242	134	57	121	241	60	128	132	529	80
Construção Civil e Infraestrutura	98	469	134	676	4032	1854	1694	2024	3208	1037	181	125	9700	134
TOTAL	165	829	195	123	6812	6219	2300	3769	8373	1530	275	193	2068	191
Percentual	0.1	0.4	0.1	0.6	3.2	3.0	1.1	1.8	4.0	0.7	1.3	0.9	9.8	0.9

*1 - Energia elétrica - geração, transmissão e distribuição.



6.4. 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.

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 (MOHER 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.

As buscas por estudos consideraram o decaBDE, o pentaBDE e o octaBDE, não apenas para aumentar a amplitude da busca, mas por fazerem parte em conjunto da Elaboração da revisão e atualização do Plano Nacional de Implementação da Convenção de Estocolmo – NIP Brasil/2015. Dessa forma, padronizando a metodologia utilizada para a elaboração da revisão e da atualização. 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. Em ambas as bases de dados, as buscas foram feitas em inglês e utilizando caracteres polivalentes (* e ?) para a variação de palavras chaves. As buscas por trabalhos que mencionassem decaBDE incluíram os seguintes termos no Web of Science: (TS=(Polybrominated Diphenyl Ether) OR TS=(*bde) OR TS=(bde-*) OR TS=(bde??) OR



TS=(bde???) OR TS=(*bromodiphenyl ether)) NOT AB=(bdenf). Enquanto que, no Scopus: ((TITLE-ABS-KEY ((Polybrominated Diphenyl Ether) OR *bde OR bde-* OR bde?? OR BDE??? OR (*bromodiphenyl ether))) AND PUBYEAR > 2000) AND NOT (BDENF). Os termos utilizados possibilitaram a busca pela maior variedade de palavras derivadas do nome do composto e da sua sigla, como por exemplo: (*bde), que permitiu a busca de grupos homólogos, assim como, decaBDE, octaBDE e pentaBDE. Posteriormente, a palavra (Bra?il) - que engloba as variações de escrita Brazil (inglês) e Brasil (português) foi utilizada como filtro para buscar as publicações contendo o nome do composto, e suas possíveis variações, que estão relacionadas com o país. Outro filtro aplicado às buscas foi o intervalo de anos, para focar em trabalhos publicados entre os anos 2000 e 2020. A exclusão do termo “bdenf” da busca foi decorrente do grande número de artigos que apareceram devido a inclusão do termo “bde??”, mas que não possui relação com o contaminante avaliado. O termo BDENF é uma base de dados especializada na área de enfermagem.

Já na plataforma Sucupira da CAPES para Teses e Dissertações, as buscas foram feitas na língua portuguesa, utilizando as seguintes palavras chaves: pbde OR bde OR decabde OR pentabde OR octabde OR "deca-bde" OR "penta-bde" OR "octa-bde" OR "éteres difenílicos polibromados" OR "difenil éter polibromado". 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 critério de seleção das publicações tidas como relevantes foi toda e qualquer menção a ocorrência de PBDEs no território brasileiro.