

MIGRAÇÃO DE BISFENOL A (BPA) DE PARTÍCULAS DE POLICARBONATO EM SOLUÇÕES AQUOSAS

Caroline da Rosa Dexheimer

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
dexcaroline@gmail.com

Kelly Correia de Lima

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
kellylima91@hotmail.com

Milena Vargas Schneider

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
mivargas8387@gmail.com

Julia Rambo Brustolin

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
juliarbrustolin@gmail.com

Amanda Gonçalves Kieling

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
amandag@unisinoss.br

Resumo: O Bisfenol A (BPA) é um composto amplamente utilizado na fabricação de polímeros, especialmente policarbonatos e resinas epóxi, sendo reconhecido como um contaminante emergente devido ao seu potencial de atuar como disruptor endócrino. Além das vias convencionais de exposição, a crescente presença de microplásticos no ambiente tem despertado preocupação quanto ao seu papel como vetores de contaminantes químicos, incluindo o BPA. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a liberação de BPA a partir de partículas de policarbonato em meio aquoso, considerando a influência da temperatura prévia das partículas e do pH da solução. Foram utilizadas partículas de policarbonato submetidas a duas condições de temperatura (-18 °C e 90 °C), posteriormente colocadas em contato com soluções aquosas de pH 5, 7 e 9 durante 24 horas. A extração do BPA foi realizada por Extração em Fase Sólida (SPE) e a quantificação por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC). A caracterização do polímero por espectroscopia no infravermelho (FTIR) confirmou a presença de grupos funcionais compatíveis com a estrutura do BPA. Os resultados cromatográficos evidenciaram a liberação de BPA em todas as condições avaliadas, com concentrações variando entre 0,000645 e 0,022914 µg L⁻¹. A maior concentração foi observada na amostra submetida à temperatura de -18 °C e pH 7. Embora tenham sido observadas diferenças entre as condições experimentais, não foi possível estabelecer uma relação direta entre temperatura, pH e a liberação de BPA. Todas as concentrações encontradas permaneceram abaixo do limite de migração específica estabelecido pela ANVISA para materiais em contato com alimentos.

Palavras-chave: Bisfenol A; Microplásticos; Policarbonato; Contaminantes Emergentes; Migração

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

MIGRATION OF BISPHENOL A (BPA) FROM POLYCARBONATE PARTICLES IN AN AQUEOUS SOLUTIONS

Abstract: Bisphenol A (BPA) is a chemical compound widely used in the manufacture of polymers, particularly polycarbonates and epoxy resins, and is recognized as an emerging contaminant due to its potential endocrine-disrupting effects. In addition to conventional exposure pathways, the increasing presence of microplastics in the environment has raised concerns regarding their role as vectors for chemical contaminants, including BPA. In this context, the aim of this study was to evaluate the release of BPA from polycarbonate particles in an aqueous medium, considering the influence of particle pre-treatment temperature and solution pH. Polycarbonate particles were subjected to two temperature conditions (-18 °C and 90 °C) and subsequently exposed to aqueous solutions at pH 5, 7, and 9 for 24 hours. BPA extraction was performed using Solid Phase Extraction (SPE), and quantification was carried out by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). Polymer characterization by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) confirmed the presence of functional groups compatible with the BPA structure. Chromatographic analyses demonstrated BPA release under all experimental conditions, with concentrations ranging from 0.000645 to 0.022914 $\mu\text{g L}^{-1}$. The highest concentration was observed in the sample subjected to -18 °C and pH 7. Although differences were observed among the experimental conditions, no direct relationship could be established between temperature, pH, and BPA release. All concentrations detected remained below the specific migration limit established by ANVISA for food-contact materials.

Keywords: Bisphenol A; Microplastics; Polycarbonate; Emerging Contaminants; Migration.

1. INTRODUÇÃO

A poluição por microplásticos (MP) tem despertado crescente preocupação científica e social devido à sua ampla distribuição em diferentes compartimentos ambientais e aos potenciais riscos associados aos ecossistemas e à saúde humana. Os microplásticos são partículas plásticas com dimensões entre 1 μm e 5 mm, originadas tanto da fragmentação de materiais plásticos maiores quanto da produção industrial de partículas em tamanho reduzido, como pellets e nurdles (ANDRADY, 2011; PEREIRA, 2014). Atualmente, essas partículas são encontradas em oceanos, rios, lagos, sedimentos, solos e até mesmo em regiões remotas, como a Antártida, o que evidencia sua dispersão global.

Por estarem presentes no ambiente, os microplásticos são classificados como contaminantes emergentes e constituem um dos principais temas de pesquisa na área ambiental (MONTAGNER et al., 2021). Além dos impactos físicos causados pela sua ingestão por organismos aquáticos, uma preocupação adicional está relacionada à sua capacidade de atuar como vetores de substâncias químicas potencialmente tóxicas. A degradação dos polímeros favorece a liberação de aditivos utilizados em sua fabricação, como plastificantes, estabilizantes, retardantes de chama e corantes. Paralelamente, os microplásticos também podem adsorver contaminantes presentes no

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

ambiente, transportando-os por longas distâncias e facilitando sua entrada na cadeia alimentar (MONTAGNER et al., 2021).

Entre as substâncias frequentemente associadas aos microplásticos destaca-se o Bisfenol A (BPA), um composto amplamente empregado na fabricação de materiais plásticos. Durante os processos de degradação e envelhecimento dos polímeros, o BPA pode ser liberado para o ambiente aquático, ampliando os riscos associados à contaminação ambiental e à exposição humana (Atlas do Plástico, 2020). Considerando que organismos aquáticos ingerem partículas plásticas e que estes organismos podem ser consumidos por espécies de níveis tróficos superiores, incluindo os seres humanos, os microplásticos tornam-se uma importante rota potencial de transferência de contaminantes químicos ao longo da cadeia alimentar (LÖNNSTEDT, 2016).

O Bisfenol A, quimicamente denominado 2,2-bis(4-hidroxifenil)propano, é um composto orgânico produzido em larga escala mundialmente. Aproximadamente 95% de sua produção é destinada à fabricação de policarbonatos e resinas epóxi utilizadas em embalagens alimentícias, revestimentos internos de latas, recipientes plásticos, mamadeiras, garrações de água, equipamentos médicos e diversos produtos de consumo cotidiano (BERNARDO et al., 2015). Suas propriedades físico-químicas, como baixa volatilidade, baixa pressão de vapor e moderada solubilidade em água, tornam o BPA especialmente atrativo para aplicações industriais (HUANG et al., 2012).

Apesar de sua ampla utilização, o BPA tem sido alvo de preocupação devido à sua capacidade de migrar dos materiais que o contêm para alimentos, bebidas e para o ambiente. A liberação da substância pode ser intensificada quando os produtos plásticos são submetidos a aquecimento ou resfriamento, aumentando a exposição humana (OTERO; CARVALHO, 2014). Estudos demonstram a presença de BPA em alimentos, água potável, águas residuais, poeira e ar atmosférico, sendo a ingestão de alimentos e bebidas em contato com materiais contendo BPA considerada a principal via de exposição humana (VANDENBERG et al., 2012).

Os potenciais efeitos adversos do BPA à saúde têm sido amplamente investigados nas últimas décadas. A substância é reconhecida como um disruptor endócrino, capaz de interferir na regulação hormonal do organismo mesmo em baixas concentrações. Diversos estudos associam sua exposição a alterações reprodutivas, problemas de fertilidade, doenças metabólicas, obesidade, diabetes mellitus, alterações cardiovasculares, distúrbios neurológicos e comportamentais, além de possíveis efeitos carcinogênicos, mutagênicos e alergênicos (DARONCH et al., 2020; GUERALD, 2014).

Em função dessas preocupações, vários países adotaram medidas regulatórias para restringir o uso do BPA em produtos destinados ao contato com alimentos. No Brasil, a fabricação e a importação de mamadeiras contendo BPA foram proibidas pela Resolução RDC nº 41/2011, vigente desde janeiro de 2012, sendo posteriormente ampliadas as restrições para outros materiais destinados ao contato direto com alimentos (ANVISA, 2011). Como alternativa, compostos como Bisfenol S (BPS) e Bisfenol F (BPF) passaram a ser utilizados pela indústria. Entretanto, evidências recentes indicam que esses substitutos podem apresentar propriedades toxicológicas semelhantes às do BPA, levantando questionamentos sobre sua segurança e reforçando a necessidade de estudos contínuos sobre os riscos associados aos bisfenóis (HORAN, 2018).

Nesse contexto, torna-se fundamental compreender os mecanismos de liberação do BPA a partir de materiais plásticos e microplásticos, especialmente em condições ambientais que possam favorecer sua lixiviação. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar a liberação de BPA em

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

microplásticos de policarbonato, considerando a influência da temperatura e do pH da solução aquosa de contato, contribuindo para a compreensão dos fatores que controlam a disponibilidade ambiental desse contaminante emergente.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de investigar a liberação de Bisfenol A (BPA) a partir de partículas de policarbonato (PC) submetidas a diferentes condições de temperatura e pH. O estudo foi dividido em cinco etapas principais: caracterização do material polimérico; tratamento térmico das amostras; preparação das soluções aquosas com diferentes valores de pH; realização dos ensaios de migração do BPA; e extração e quantificação do BPA por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

2.1. Caracterização do policarbonato e avaliação da presença de BPA

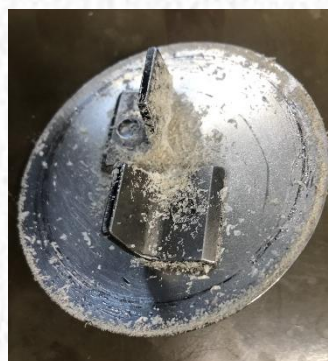
O policarbonato (PC) utilizado neste estudo foi adquirido na forma de grânulos novos de origem industrial. O material é amplamente empregado em aplicações industriais devido à sua elevada resistência mecânica, durabilidade e transparência, sendo utilizado na fabricação de componentes automotivos, equipamentos médicos e dispositivos eletrônicos.

As partículas utilizadas apresentavam dimensões médias de aproximadamente 0,2 cm × 0,3 cm (Figura 1 – A). O material foi posteriormente submetido à moagem em mini moinho de facas modelo A-10 (Janke & Kunkel) para obtenção de partículas menores destinadas às análises de caracterização (Figura 1 – B).

Figura 1 – Partículas de Policarbonato



A – grânulos



B – após moagem

Para verificar a presença de BPA na composição do material polimérico, uma amostra padrão de Bisfenol A e a amostra moída foram submetidas à análise espectroscópica.

A caracterização química foi realizada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), utilizando um espectrômetro Agilent Technologies Cary 630 equipado

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

com acessório de Reflectância Total Atenuada (ATR). Os espectros foram obtidos na faixa de 700 a 4000 cm^{-1} e posteriormente comparados com espectros de referência de BPA.

2.2. Tratamento térmico das amostras

Com o objetivo de avaliar a influência da temperatura sobre a liberação de BPA, os grânulos de polycarbonato foram submetidos a duas condições térmicas distintas:

- Resfriamento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Aquecimento a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Essas temperaturas foram selecionadas por representarem situações frequentemente encontradas no uso cotidiano de materiais plásticos, como armazenamento em congeladores domésticos e aquecimento de recipientes destinados ao contato com alimentos.

Para cada condição, foram utilizados 100 g de polycarbonato distribuídos em placas de Petri. As amostras destinadas ao resfriamento permaneceram em freezer convencional a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. As amostras destinadas ao aquecimento permaneceram em estufa a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ pelo mesmo período, sendo posteriormente acondicionadas em dessecador por 24 horas para eliminação da umidade residual.

2.3. Preparo das soluções aquosas

Os ensaios de migração foram realizados utilizando água destilada como meio simulante. Considerando a inexistência de metodologia específica para avaliação da migração de BPA a partir de microplásticos em meio aquoso, o procedimento experimental foi baseado nos princípios estabelecidos pela RDC nº 51/2010 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que trata da migração de substâncias provenientes de materiais plásticos em contato com alimentos.

Foram avaliadas três condições de pH:

- Meio ácido (pH 5);
- Meio neutro (pH 7);
- Meio alcalino (pH 9).

Os valores de pH foram ajustados utilizando soluções de ácido clorídrico (HCl) $0,1\text{ mol L}^{-1}$ e hidróxido de sódio (NaOH) $0,1\text{ mol L}^{-1}$. Após o ajuste, as soluções foram armazenadas à temperatura ambiente ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) até sua utilização nos ensaios.

A escolha dessas condições permitiu avaliar a influência do pH na lixiviação do BPA em cenários que simulam diferentes condições ambientais.

2.4. Ensaios de migração de BPA

Após o tratamento térmico, as amostras foram mantidas à temperatura ambiente até o início dos ensaios. Para cada condição experimental, foram adicionados 2 g de polycarbonato a 200 mL de solução aquosa em frascos Erlenmeyer, correspondendo a uma razão sólido-líquido de 10 g L^{-1} .

Os experimentos foram conduzidos em mesa agitadora orbital Tecnal TE-140 operando a 148 rpm durante 24 horas. O delineamento experimental resultou em 6 amostras a partir da combinação de dois fatores:

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

- Temperatura prévia do policarbonato: $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $90\text{ }^{\circ}\text{C}$
- pH da solução: 5, 7 e 9

Ao final do período de contato, as amostras foram filtradas em papel-filtro para remoção das partículas sólidas de policarbonato. Os filtrados foram armazenados em frascos de vidro âmbar com tampa de rosca até a etapa de extração.

2.5. Extração e quantificação do BPA nas amostras aquosas

A concentração do BPA presente nas amostras foi realizada por extração em fase sólida (Solid Phase Extraction – SPE). Foi utilizado um sistema Manifold para 12 cartuchos acoplado a uma bomba de vácuo Tecnal TE-058. Os cartuchos empregados foram do tipo Agilent Bond Elut Certify C8.

Inicialmente, os cartuchos foram condicionados sequencialmente com 8 mL de acetonitrila; 5 mL de metanol e 5 mL de água ultrapura Milli-Q. Após o condicionamento, as amostras foram percoladas pelos cartuchos para retenção do BPA. Em seguida, realizou-se secagem a vácuo por 5 minutos, etapa de limpeza (clean-up) para remoção de interferentes e nova secagem por mais 5 minutos. A eluição dos analitos foi realizada utilizando 8 mL de acetonitrila. O solvente foi posteriormente evaporado em bloco digestor Alfakit AT509 a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, promovendo a concentração dos analitos. Após a evaporação do solvente, os extratos foram ressuspensos e transferidos para frascos de vidro de 2 mL destinados à análise cromatográfica.

As determinações foram realizadas em cromatógrafo líquido de alta eficiência Agilent Technologies 1260 Infinity acoplado a detector Quadrupolo 6120, utilizando coluna cromatográfica Zorbax Eclipse XDB-C18. A fase móvel utilizada foi composta por 80% de solução aquosa de ácido acético 0,1% e 20% de acetonitrila. As amostras foram previamente homogeneizadas durante 1 minuto antes da injeção. O procedimento de extração promoveu a concentração de 1 L de amostra para 1 mL de extrato final, aumentando a sensibilidade analítica para detecção do BPA.

Os resultados obtidos foram comparados com o limite máximo de migração específica de BPA estabelecido pela ANVISA, correspondente a $0,6\text{ mg kg}^{-1}$ para materiais plásticos destinados ao contato com alimentos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização do policarbonato e avaliação da presença de BPA

A caracterização química do policarbonato (PC) utilizado neste estudo foi realizada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), com o objetivo de verificar a presença de grupos funcionais característicos do Bisfenol A (BPA) na estrutura do polímero. Para isso, os espectros obtidos para a amostra de policarbonato (Gráfico 1) foram comparados com o espectro de referência do BPA padrão (Gráfico 2).

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional

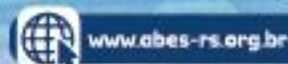
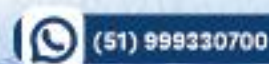


Gráfico 1. Espectro FTIR da amostra de polycarbonato utilizada nos ensaios de migração.

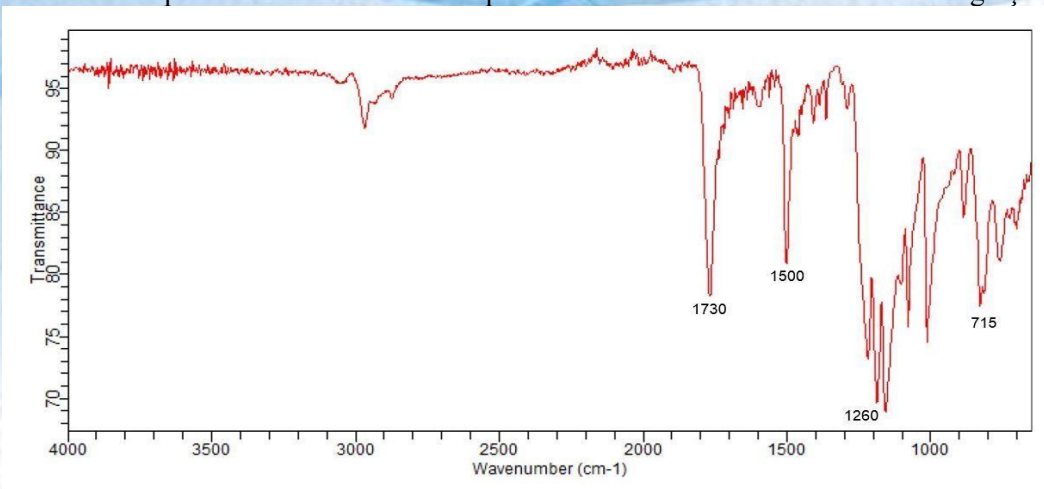
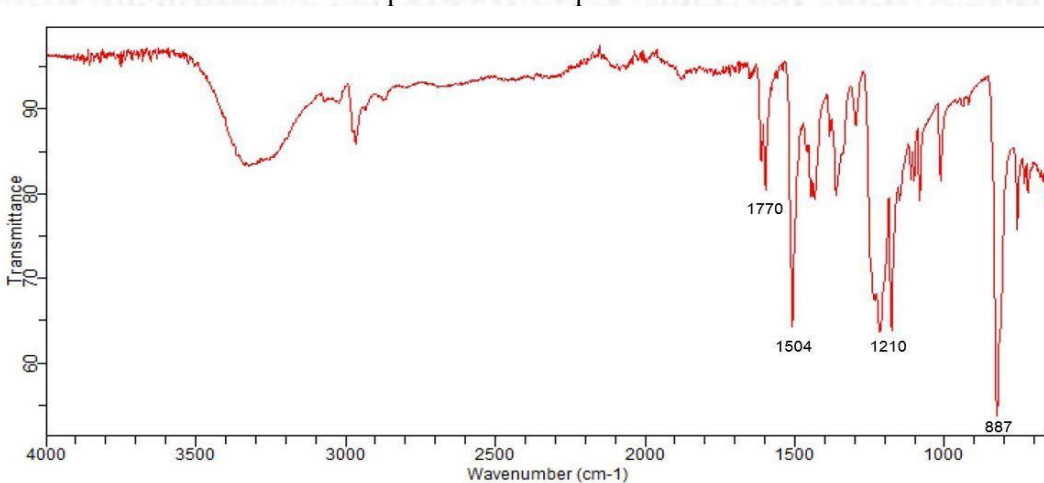


Gráfico 2. Espectro FTIR do padrão de Bisfenol A.



A comparação entre os espectros demonstra elevada similaridade entre as bandas de absorção observadas para o BPA padrão e para a amostra de polycarbonato, indicando a presença de unidades estruturais derivadas do BPA na composição do material analisado. Esse resultado era esperado, uma vez que o BPA é utilizado como monômero na síntese de polycarbonatos, sendo obtido a partir da reação de condensação entre a acetona e dois equivalentes de fenol (DANTAS; GATTI; SARON, 1999).

De modo geral, os espectros apresentaram bandas características descritas na literatura para polímeros de polycarbonato à base de BPA (SILVERSTEIN; BASSLER; MORRILL, 1991; DELPECH; COUTINHO; HABIBE, 2002; SUN et al., 2003). A semelhança observada entre os espectros confirma

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

a composição química do material empregado nos ensaios de lixiviação e reforça a possibilidade de ocorrência da liberação de BPA quando submetido a diferentes condições ambientais.

No espectro do BPA padrão (Gráfico 1), observa-se uma banda intensa em aproximadamente 1770 cm^{-1} , atribuída ao estiramento da ligação carbonílica ($\text{C}=\text{O}$) presente em grupos carbonato. Também foram identificadas absorções em torno de 1504 cm^{-1} e 1210 cm^{-1} , associadas às vibrações do anel aromático e às ligações $\text{C}-\text{O}$ presentes na estrutura molecular. Além disso, a banda observada em 887 cm^{-1} corresponde à vibração assimétrica da ligação $\text{C}-\text{O}-\text{C}$, característica de compostos contendo grupos éter aromáticos (SILVERSTEIN; BASSLER; MORRILL, 1991; DELPECH; COUTINHO; HABIBE, 2002; SUN et al., 2003).

Para a amostra de policarbonato (Gráfico 2), foi observada uma banda intensa em aproximadamente 1730 cm^{-1} , atribuída ao estiramento vibracional da carbonila ($\text{C}=\text{O}$), característica da estrutura do policarbonato. Adicionalmente, a absorção observada em torno de 1260 cm^{-1} está relacionada às vibrações das ligações $\text{C}-\text{O}$ presentes nos grupos carbonato. As bandas próximas de 1500 cm^{-1} e 715 cm^{-1} foram associadas às vibrações do anel aromático e ao estiramento das ligações $\text{C}-\text{H}$ do grupo metila, evidenciando a presença das unidades aromáticas derivadas do BPA na cadeia polimérica (DELPECH; COUTINHO; HABIBE, 2002).

Os resultados obtidos corroboram estudos anteriores que relatam a presença dessas bandas características em policarbonatos sintetizados a partir de BPA (DELPECH; COUTINHO; HABIBE, 2002; SUN et al., 2003). Dessa forma, a análise por FTIR confirmou que o material utilizado nos experimentos é compatível com policarbonato à base de Bisfenol A, justificando sua utilização nos ensaios subsequentes de migração e avaliação da liberação do contaminante para meio aquoso.

Além disso, a confirmação da presença de BPA na estrutura do polímero constitui uma etapa fundamental para a interpretação dos resultados de migração apresentados nas seções seguintes, uma vez que a liberação desse composto está diretamente relacionada aos processos de degradação, envelhecimento e lixiviação do material polimérico quando submetido a diferentes condições físico-químicas.

3.1. Quantificação BPA nas amostras aquosas após ensaio de migração

A quantificação do Bisfenol A (BPA) liberado pelas partículas de policarbonato foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) após os ensaios de migração em meio aquoso. As análises foram conduzidas considerando diferentes condições de pH da solução (5, 7 e 9) e duas temperaturas prévias de tratamento do policarbonato ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $90\text{ }^{\circ}\text{C}$), mantendo-se constantes o tempo de contato de 24 horas e a concentração de polímero de 10 g L^{-1} .

Os resultados (Tabela 1) demonstram que houve liberação de BPA em todas as condições experimentais avaliadas, evidenciando que o policarbonato utilizado apresenta potencial de lixiviação mesmo após um período relativamente curto de contato com a solução aquosa. A presença de BPA em todas as amostras confirma os resultados da caracterização por FTIR, que indicaram a presença de unidades estruturais derivadas desse composto na matriz polimérica.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Tabela 1. Concentrações de BPA determinadas por HPLC após os ensaios de migração.

Amostras	pH da Solução	Temperatura do PC (°C)	Tempo de contato (h)	PC na solução (g/L)	BPA (µg/L)
A5	5	90	24	10	0,0010367
A7	7	90	24	10	0,00971021
A9	9	90	24	10	0,0220705
R5	5	-18	24	10	0,0198388
R7	7	-18	24	10	0,0229141
R9	9	-18	24	10	0,000645055

Segundo Bernardo et al. (2015), embora o policarbonato apresente elevada estabilidade química após sua síntese, processos de hidrólise podem ocorrer sob determinadas condições de temperatura e pH, promovendo a quebra das ligações carbonato e a consequente liberação de BPA. Esse mecanismo pode explicar a presença do contaminante em todas as amostras analisadas.

A maior concentração de BPA foi observada para a amostra R7 (0,0229141 µg L⁻¹), correspondente ao policarbonato submetido ao resfriamento a -18 °C e ao ensaio realizado em meio neutro (pH 7). Valores semelhantes também foram observados para as amostras A9 (0,0220705 µg L⁻¹) e R5 (0,0198388 µg L⁻¹). Em contrapartida, a menor concentração foi registrada para a amostra R9 (0,000645055 µg L⁻¹), correspondente à condição de pH alcalino e tratamento prévio a -18 °C.

De forma geral, os resultados indicam que o comportamento da migração de BPA não apresentou uma tendência simples em função do pH e da temperatura. Enquanto nos meios ácido e neutro as maiores concentrações foram observadas para as amostras resfriadas, no meio alcalino a maior concentração foi observada para a amostra aquecida. Esse comportamento sugere uma interação entre os efeitos do pH e da temperatura, tornando difícil avaliar isoladamente a influência de cada variável.

A literatura indica que tanto condições ácidas quanto alcalinas podem favorecer a degradação do policarbonato por mecanismos distintos. Em meios ácidos, a presença de íons de hidrogênio pode promover a hidrólise das ligações carbonato, enquanto em meios alcalinos a presença de íons hidroxila acelera a quebra da cadeia polimérica. Em relação à temperatura, temperaturas mais baixas tendem a reduzir a mobilidade molecular e aumentar a rigidez das cadeias poliméricas, dificultando a difusão de moléculas presentes na matriz do material. Em contrapartida, o aumento da temperatura favorece a movimentação das cadeias e pode acelerar processos de degradação e migração (CANEVAROLO, 2006).

Entretanto, os resultados obtidos neste estudo não seguiram integralmente o comportamento esperado a partir desses mecanismos teóricos. Dessa forma, os resultados sugerem que a liberação de BPA é influenciada por uma combinação de fatores, incluindo pH, temperatura, área superficial das partículas, heterogeneidade do material e condições de contato entre o polímero e a solução.

Embora o policarbonato seja geralmente considerado mais estável em condições próximas à neutralidade, os resultados indicam que a migração de BPA pode ocorrer mesmo em condições de pH consideradas pouco agressivas ao material. Esse aspecto é particularmente relevante sob o ponto de vista ambiental, uma vez que águas naturais e sistemas de abastecimento apresentam, em geral, valores de pH próximos da neutralidade. Conforme destacado por Souza (2012), a presença de BPA em águas

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

destinadas ao consumo humano representa uma preocupação adicional devido à dificuldade de remoção completa desse contaminante nos sistemas convencionais de tratamento de água e esgoto.

Com o objetivo de comparar os resultados obtidos com a legislação vigente, as concentrações determinadas em solução aquosa foram convertidas em concentração de BPA liberada por massa de policarbonato, considerando a utilização de 10 g de PC por litro de solução. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Concentração de BPA liberada em relação à massa de policarbonato.

Amostras	BPA ($\mu\text{g/L}$)	PC (g/L)	BPA liberado (mg/kg de PC)
A5	0,0010367	10	0,00010367
A7	0,00971021	10	0,000971021
A9	0,0220705	10	0,00220705
R5	0,0198388	10	0,00198388
R7	0,0229141	10	0,00229141
R9	0,000645055	10	0,0000645055

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece um Limite de Migração Específica (LME) para BPA de $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ em materiais plásticos destinados ao contato com alimentos. Comparando-se esse valor com os resultados obtidos, verifica-se que todas as amostras apresentaram concentrações significativamente inferiores ao limite regulatório, mesmo na condição que apresentou maior liberação (R7), cuja concentração foi de $0,00229141 \text{ mg kg}^{-1}$.

Entretanto, é importante destacar que o LME estabelecido pela ANVISA foi desenvolvido para materiais destinados ao contato com alimentos e não para avaliar a liberação de BPA por partículas plásticas ou microplásticos em ambientes aquáticos. Dessa forma, embora os resultados indiquem conformidade com os limites regulatórios existentes, eles não permitem concluir sobre a ausência de riscos ambientais associados à presença do contaminante.

Os valores obtidos neste estudo são compatíveis com concentrações relatadas em estudos ambientais. Raimundo (2007) encontrou concentrações de BPA entre $0,002$ e $0,141 \mu\text{g L}^{-1}$ em mananciais utilizados para abastecimento público na região de Campinas (SP), enquanto Bila (2003) reportou concentrações entre $0,031$ e $0,203 \mu\text{g L}^{-1}$ em águas naturais da Espanha. Da mesma forma, Beraldo (2012) identificou concentrações variando de $0,0056$ a $0,295 \text{ mg L}^{-1}$ em águas superficiais. As concentrações observadas no presente trabalho encontram-se dentro dessas faixas reportadas para ambientes aquáticos, reforçando a relevância ambiental da liberação de BPA a partir de materiais poliméricos.

Diversos autores relatam que fatores como temperatura, pH, tempo de contato, envelhecimento do material e reutilização dos recipientes podem influenciar significativamente a migração de BPA. Estudos conduzidos por Brede et al. (2003), Le et al. (2008), Fan et al. (2014) e Sadrahad (2023) demonstraram que condições de aquecimento, exposição prolongada e degradação do material favorecem a liberação do composto. No entanto, assim como observado neste trabalho, muitos desses estudos também indicam que a influência isolada de cada variável é complexa e depende das condições específicas de cada sistema experimental.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Dessa forma, os resultados obtidos confirmam que partículas de polycarbonato são capazes de liberar BPA para o meio aquoso, mesmo em concentrações relativamente baixas. Considerando a crescente presença de microplásticos nos ecossistemas aquáticos, esses resultados reforçam a importância de investigações adicionais envolvendo maiores tempos de contato, diferentes condições ambientais e processos de envelhecimento dos polímeros, visando compreender de forma mais abrangente o papel dos microplásticos como fontes secundárias de contaminantes emergentes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo avaliar a liberação de Bisfenol A (BPA) a partir de partículas de polycarbonato em meio aquoso, considerando a influência da temperatura prévia do polímero e do pH da solução. Os resultados obtidos permitiram confirmar a presença e a migração do BPA para a fase aquosa, contribuindo para a compreensão do papel dos microplásticos como potenciais fontes de contaminantes emergentes no ambiente.

Inicialmente, a caracterização do polycarbonato por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) permitiu identificar bandas características compatíveis com aquelas observadas para o BPA padrão, confirmando a presença de estruturas derivadas desse composto na matriz polimérica. Esse resultado reforça o potencial do polycarbonato de atuar como fonte de BPA quando submetido a processos de degradação ou hidrólise.

A análise cromatográfica confirmou a liberação de BPA em todas as seis condições experimentais avaliadas, evidenciando que partículas de polycarbonato podem liberar esse composto para o meio aquoso mesmo após um período relativamente curto de contato de 24 horas. As concentrações encontradas variaram entre 0,000645 e 0,022914 µg/L, sendo a maior concentração observada para a amostra submetida à temperatura de -18 °C em meio neutro (pH 7).

Embora tenham sido observadas diferenças entre as condições experimentais, os resultados não permitiram estabelecer uma relação direta e consistente entre a liberação de BPA e as variáveis temperatura e pH avaliadas. Para as amostras aquecidas, observou-se tendência de aumento da concentração de BPA com o aumento do pH da solução. Entretanto, para as amostras resfriadas, esse comportamento não foi observado, indicando que a migração do composto pode ser influenciada por uma combinação de fatores físicos e químicos que não puderam ser completamente isolados neste estudo.

As concentrações de BPA convertidas para massa de polycarbonato permaneceram muito abaixo do Limite de Migração Específica (LME) de 0,6 mg/kg estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para materiais destinados ao contato com alimentos. No entanto, é importante destacar que esse limite foi desenvolvido para embalagens alimentícias e não para avaliar a liberação de BPA por partículas plásticas ou microplásticos em ambientes aquáticos. Dessa forma, sua utilização neste trabalho serviu apenas como referência comparativa, não sendo suficiente para avaliar os possíveis impactos ambientais associados às concentrações encontradas.

Os resultados obtidos evidenciam uma importante lacuna regulatória relacionada à ausência de metodologias padronizadas e de valores orientadores específicos para estudos de migração de BPA a partir de microplásticos em meio aquoso. Considerando a crescente presença dessas partículas

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

em ambientes naturais e sua capacidade de atuar como vetores de contaminantes químicos, torna-se necessária a ampliação dos estudos voltados à avaliação dos riscos ambientais e à definição de parâmetros de monitoramento e controle.

Além disso, embora as concentrações detectadas tenham sido baixas, a literatura demonstra que o BPA é um composto reconhecido por sua ação como disruptor endócrino, podendo causar efeitos adversos à saúde humana e à biota mesmo em baixas concentrações e exposições prolongadas. Nesse contexto, o monitoramento da presença de BPA em corpos hídricos, mananciais de abastecimento e sistemas de tratamento de água e esgoto representa uma importante medida preventiva para a proteção ambiental e da saúde pública.

Por fim, este trabalho reforça a importância do desenvolvimento de pesquisas relacionadas aos microplásticos e aos contaminantes químicos associados, contribuindo para o avanço do conhecimento científico sobre a dinâmica de liberação de BPA em ambientes aquáticos. A continuidade das investigações nessa área é fundamental para subsidiar políticas públicas, estratégias de monitoramento ambiental e futuras regulamentações voltadas à proteção dos recursos hídricos e da saúde das populações expostas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento desta pesquisa. Os autores agradecem também à Universidade do Vale do Rio dos Sinos pela infraestrutura disponibilizada para a realização dos experimentos.

5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 41, de 16 de setembro de 2011**. Dispõe sobre a proibição de uso de bisfenol A em mamadeiras destinadas a alimentação de lactantes e dá outras providências. Brasília, DF: ANVISA, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 51, de 26 de novembro de 2010**. Dispõe sobre migração em materiais, embalagens e equipamentos plásticos destinados a entrar em contato com alimentos. Brasília, DF: ANVISA, 2010.

ANDRADY, A. L. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 8, p. 1596–1605, 2011.

BERALDO, D. A. S. **Desenvolvimento e validação de método analítico para análise de Bisfenol-A e nonilfenol em águas superficiais da cidade de Americana-SP**. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica e Inorgânica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

BERNARDO, Paulo et al. Bisfenol A: o uso em embalagens para alimentos, exposição e toxicidade – uma revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 74, p. 1-11, 2015.

BREDE, C. et al. Increased migration levels of bisphenol a from polycarbonate baby bottles after dishwashing, boiling and brushing. **Food Additives & Contaminants**, v. 20, n. 7, p. 684-689, 2003.

CANEVAROLO JUNIOR, V. D. **Ciência dos Polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

DANTAS, S. T. Avaliação do processo de interação e estudos de estabilidade. In: DANTAS, S. T.; GATTI, J. A. B.; SARON, E. S. **Embalagens metálicas e sua interação com alimentos e bebidas**. Campinas: CETEA/ITAL, 1999. cap. 10, p. 173-188.

DARONCH, Oona et al. Contaminação em larga escala por Bisfenol-A: estamos conscientes do risco e formas de exposição? **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 11, p. 4339-4345, 2020.

DELPECH, M. C.; COUTINHO, F. M. B.; HABIBE, M. E. Bisphenol A – based polycarbonates: characterization of commercial samples. **Polymer Testing**, v. 21, n. 2, p. 155-161, 2002.

FAN, Ying-Ying et al. Effects of storage temperature and duration on release of antimony and bisphenol A from polyethylene terephthalate drinking water bottles of China. **Environmental Pollution**, v. 192, p. 113-120, 2014.

FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL. **Atlas do plástico: fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll, 2020. Disponível em: <https://br.boell.org/pt-br/atlas-do-plastico>. Acesso em: 14 jun. 2026.

GUERALD, Camila. **Degradação do bisfenol A na presença de ácido tioglicólico**: estudo da influência dos parâmetros em reator batelada com recirculação empregando-se o processo foto-Fenton. 2014. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2014.

HORAN, Tegan S. et al. Replacement Bisphenols Adversely Affect Mouse Gametogenesis with Consequences for Subsequent Generations. **Current Biology**, v. 28, n. 18, p. 2948-2954, set. 2018.

HUANG, Y. Q. et al. Bisphenol A (BPA) in China: A review of sources, environmental levels, and potential human health impacts. **Environment International**, v. 42, p. 91-99, 2012.

LE, Hoa et al. Bisphenol A is released from polycarbonate drinking bottles and mimics the neurotoxic actions of estrogen in developing cerebellar neurons. **Toxicology Letters**, v. 176, n. 2, p. 149-156, 2008.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

LÖNNSTEDT, O.; EKLÖV, P. Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology. **Science**, v. 352, n. 6289, p. 1213-1216, 3 mai. 2016.

MONTAGNER, Cassiana et al. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Química Nova**, v. 44, n. 8, p. 1014-1029, 2021.

OTERO, Cleber Sanfelici; CARVALHO, Marilza Simonetti de. Bisfenol-A e os efeitos da substância no desenvolvimento humano: a violação oculta dos direitos da personalidade na transparência e resistência do plástico. **Publica Direito**, 2014. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br>. Acesso em: 8 mar. 2026.

PEREIRA, F. C. **Microplásticos no ambiente marinho**: mapeamento de fontes e identificação de mecanismos de gestão para minimização da perda de pellets plásticos. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

RAIMUNDO, C. C. M. **Ocorrência de interferentes endócrinos e produtos farmacêuticos nas águas superficiais da bacia do rio Atibaia**. 2007. 126 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SADRABAD, E. et al. Bisphenol A release from food and beverage containers – A review. **Food Science & Nutrition**, v. 11, n. 7, p. 3718–3728, 2023.

SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G. C.; MORRILL, T. C. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.

SOUZA, R. et al. Determinação de Plastificantes em Água Potável Utilizando Cromatografia Gasosa e Espectrometria de Massas. **Química Nova**, v. 35, n. 7, p. 1453-1458, 2012.

SUN, Y. et al. Swift heavy ion induced amorphisation and chemical modification in polycarbonate. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, v. 209, p. 188-193, 2003.

VANDENBERG, L. N. et al. Urinary, circulating, and tissue biomonitoring studies indicate widespread exposure to bisphenol A. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 2, p. 407–434, 2012.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br