



**Ensino Médio com Habilitação Profissional de
TÉCNICO EM QUÍMICA**

**Programa de Articulação da Formação Profissional
Média e Superior (AMS)**

**Beatriz Estevam
Davi Lorrان da Silva Vitti
Dominique Stenico
Júlia Gabriela dos Santos
Maria Eduarda dos Santos Prudente**

**ANÁLISE DA PRESENÇA DE BISFENOL A E
BISFENOL S EM PAPÉIS TÉRMICOS NA REGIÃO
DE PIRACICABA**

Piracicaba – SP

2025

**Beatriz Estevam
Davi Lorrان da Silva Vitti
Dominique Stenico
Júlia Gabriela dos Santos
Maria Eduarda dos Santos Prudente**

**ANÁLISE DA PRESENÇA DE BISFENOL A E BISFENOL S
EM PAPÉIS TÉRMICOS NA REGIÃO DE PIRACICABA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química da escola ETEC Cel. Fernando Febeliano da Costa, orientado pelos professores Eduardo Antedomenico e Wagner Fernando Ferreira, como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Química.

Piracicaba – SP

2025

**Beatriz Estevam
Davi Lorrان da Silva Vitti
Dominique Stenico
Júlia Gabriela dos Santos
Maria Eduarda dos Santos Prudente**

**ANÁLISE DA PRESENÇA DE BISFENOL A E BISFENOL S
EM PAPÉIS TÉRMICOS NA REGIÃO DE PIRACICABA**

Data de Aprovação: 19/11/2025

FOLHA DE APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

 Prof. Wagner Fernando Ferreira Etec Coronel Fernando Febeliano da Costa	 Prof. Eduardo Antedomenico Etec Coronel Fernando Febeliano da Costa
 Colaborador André Ferrisse Empresa: Fermentec	 Profª Maria Rosa Briense de Oliveira Etec Coronel Fernando Febeliano da Costa
 Colaboradora Débora Fernandes Silva Empresa: Mérieux NutriSciences	 Colaborador Luis Paulo Fava Empresa: Mérieux NutriSciences

Piracicaba – SP

2025

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a nossa mentora Nicoli Gomes de Moraes por ter nos apresentado o projeto e ter disponibilizado seu tempo e auxílio para o desenvolvimento do mesmo, e ao professor Kassio Ferreira Mendes pelo apoio, pela disponibilidade do Laboratório de Ecotoxicologia do CENA e dos recursos necessários para a execução deste presente trabalho.

Aos nossos professores, que durante esses três anos nos acompanharam e contribuíram de forma significativa para o nosso crescimento e conhecimento. Principalmente aos professores Wagner Fernando Ferreira e Eduardo Antedomenico, pela dedicação, paciência e disponibilidade em nos orientar durante as etapas do trabalho. Suas aulas, conselhos e apoio técnico foram fundamentais para o desenvolvimento do TCC e para o aprimoramento dos nossos conhecimentos na área de química.

Agradecemos também às nossas famílias, pelo apoio incondicional, paciência e compreensão em todos os momentos. O incentivo, o amor e a confiança de cada um foram fundamentais para que superássemos os desafios e concluíssemos esta etapa. Aos amigos e colegas de turma, pelo convívio e pelas experiências compartilhadas durante o curso, que contribuíram de forma prática para o andamento das atividades e para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, a todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste projeto, deixamos registrado o nosso sincero agradecimento.

As vezes, quando tudo dá errado,
acontecem coisas boas, que jamais
teriam acontecido se tudo tivesse
dado certo.

(Autor desconhecido)

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) analisa a ocorrência de Bisfenol A (BPA) e Bisfenol S (BPS) em papéis térmicos na região de Piracicaba, por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC-DAD). A pesquisa reforça a relevância do monitoramento desses compostos em função de sua toxicidade, de seus efeitos como disruptores endócrinos e dos possíveis impactos à saúde pública, com destaque para consumidores e profissionais expostos. O estudo também discute regulamentações nacionais e internacionais, considerando os papéis térmicos como importante fonte de exposição, destacando a necessidade de validação de métodos analíticos que garantam quantificação precisa. Os resultados ampliam a compreensão sobre os riscos associados ao BPA e BPS, evidenciando a urgência de medidas regulatórias, ações educativas e adoção de alternativas mais seguras como forma de minimizar a exposição da população.

Palavras-chave: Bisfenol A, Bisfenol S, papéis térmicos, HPLC-DAD, disruptores endócrinos, toxicidade, regulamentações, análise, saúde pública, Piracicaba.

ABSTRACT

This Course Final Project analyzes the occurrence of Bisphenol A (BPA) and Bisphenol S (BPS) in thermal papers from the region of Piracicaba, using High-Performance Liquid Chromatography with Diode-Array Detection (HPLC-DAD). The research reinforces the importance of monitoring these compounds due to their toxicity, endocrine-disrupting effects, and potential public health impacts, particularly for consumers and workers exposed to them. The study also discusses national and international regulations, considering thermal papers as a significant source of exposure, and highlights the need for the validation of analytical methods to ensure accurate quantification. The results broaden the understanding of the risks associated with BPA and BPS, emphasizing the urgency of regulatory measures, educational initiatives, and the adoption of safer alternatives to minimize population exposure.

Keywords: Bisphenol A, Bisphenol S, thermal papers, HPLC-DAD, endocrine disruptors, toxicity, regulations, analysis, public health, Piracicaba.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1.	Justificativa	10
1.2.	Problema de Pesquisa	10
1.3.	Hipóteses	11
1.4.	Objetivo geral	11
1.5.	Objetivos específicos.....	11
2.	DESENVOLVIMENTO	11
2.1.	Fundamentação Teórica.....	11
2.1.1.	Bisfenóis e compostos disruptores endócrinos	11
2.1.2.	Toxicidade e efeitos à saúde humana	12
2.1.3.	Bisfenóis: estrutura e propriedades gerais	13
2.1.4.	Histórico de uso do Bisfenol A (BPA) e a substituição pelo Bisfenol S (BPS).....	14
2.1.5.	Papéis térmicos como fonte de exposição aos bisfenóis	15
2.1.6.	Composição e funcionamento do papel térmico.....	16
2.1.7.	Emprego cotidiano	16
2.1.8.	Transferência dos bisfenóis para a pele humana	17
2.1.9.	Grupos mais expostos: trabalhadores de comércio, consumidores	17
2.2.	Estudos nacionais e internacionais sobre bisfenóis em papéis térmicos	18
2.2.1.	Regulamentações internacionais sobre o uso de BPA e BPS.....	18
2.2.2.	Situação regulatória no Brasil.....	18
2.2.3.	Disposição e degradação dos bisfenóis no meio ambiente.....	19
2.2.4.	Bioacumulação e contaminação indireta de humanos	19
2.2.5.	Métodos de extração para BPA e BPS em papel.....	19
2.2.6.	Princípios da Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC)	20
2.2.7.	Uso do detector de arranjo de diodos (DAD) para análise simultânea	20
2.2.8.	Vantagens da HPLC-DAD para compostos fenólicos	20
2.2.9.	Parâmetros de validação do método cromatográfico	20
2.3.	Relevância do estudo na região de Piracicaba	21
2.3.1.	Estudos anteriores sobre BPA/BPS em papéis térmicos no Brasil	21
2.3.2.	Estudos anteriores sobre BPA/BPS em papéis térmicos no exterior	22
2.3.3.	Ausência de estudos regionais com amostragem urbana diversificada	23
2.4.	Metodologia.....	23
2.4.1.	Materiais e reagentes	23
2.4.2.	Validação do método cromatográfico	24
2.4.3.	Amostragem	24
2.4.4.	Extração do BPA e BPS do papel	25
2.4.5.	Condições cromatográficas para a análise.....	27
2.5.	Resultados e Discussão	29
2.5.1.	Validação do método analítico	29
2.5.2.	Limite de detecção e quantificação	31
2.5.3.	Linearidade.....	31
2.5.4.	Precisão e exatidão	32
2.5.5.	Bisfenol A e Bisfenol S em papéis térmicos de Piracicaba.....	34
2.5.6.	Exposição ocupacional ao Bisfenol A e Bisfenol S.....	42
2.5.7.	Absorção dérmica e retenção cutânea de BPA e BPS: implicações para a exposição ocupacional.....	43

3.	CONCLUSÕES	43
4.	REFERÊNCIAS	45
5.	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	52

TABELAS

Tabela 1:	Níveis de BPA em Recibos.	22
Tabela 2:	Precisão (Repetibilidade) para três níveis de fortificação (2, 100 e 180 $\mu\text{g ml}^{-1}$) do BPA e do BPS.	33
Tabela 3:	Exatidão (Recuperação) para três níveis de fortificação (2, 100 E 180 $\mu\text{g ml}^{-1}$) do BPA e do BPS.	33
Tabela 4:	Porcentagem de detecção de BPA e BPS em papéis térmicos.	34
Tabela 5:	Concentração de BPS e BPA em amostras de diferentes tipos de estabelecimentos.	38

FIGURAS

Figura 1:	Estrutura química do Bisfenol A.	13
Figura 2:	Estrutura química do Bisfenol S.	14
Figura 3:	Reação da síntese do BPA.	14
Figura 4:	Amostras de papéis cortados e pesados.	25
Figura 5:	Recorte dos papéis em pedaços menores.	25
Figura 6:	Recorte dos papéis em pedaços menores.	26
Figura 7:	Extração em banho ultrassônico.	26
Figura 8:	Pipetagem de 1 mL das amostras.	27
Figura 9:	Amostras inseridas no HPLC.	27
Figura 10:	Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência (CLAE ou HPLC) acoplado a um Detector de Arranjo de Diodos.	28
Figura 11:	Coluna Cromatográfica $\text{C}_8(2)$ Luna Phenomenex (250 Mm \times 4,6 Mm).	28
Figura 12:	Cromatograma representativo (HPLC/DAD). (A) Amostra em branco no comprimento de onda 254 nm; b) amostra em branco no comprimento de onda 234 nm.	30
Figura 13:	Cromatograma representativo (HPLC/DAD). A) Amostra fortificada a 80 $\mu\text{g mL}^{-1}$ comprimento de onda 254 nm; b) amostra fortificada a 80 $\mu\text{g mL}^{-1}$ no comprimento de onda 234 nm.	30
Figura 14:	Curva de calibração do BPA.	32
Figura 15:	Curva de calibração do BPS.	32
Figura 16:	Diagrama de conjunto representando a % de detecção de BPA e BPS em papéis térmicos da região de Piracicaba.	35
Figura 17:	Detecção de BPA e BPS por tipo de estabelecimento.	41

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

O bisfenol A (BPA) é um composto orgânico sintético utilizado na produção de plásticos de policarbonato, selantes, resinas epóxi e papéis térmicos. Além de atuar como um desregulador endócrino, a exposição ao BPA tem sido relacionada a outras doenças de grande relevância em saúde pública, como obesidade, hipertensão, diabetes e distúrbios de neurodesenvolvimento (Molina-López *et al.*, 2023). Com base nas observações de ocorrência e de toxicidade do BPA, órgãos reguladores de vários países estão restringindo progressivamente o seu uso desde 2008 (Franko; Kodila; Sollner Dolenc, 2024).

No entanto, apesar dessas restrições, o BPA ainda pode ser encontrado em uma ampla gama de produtos. O bisfenol S (BPS), é atualmente, o principal substituto do BPA em aplicações industriais. Devido à analogia estrutural, o BPS compartilha algumas características com BPA, inclusive, no que diz respeito aos efeitos de desregulação endócrina (Naderi; Kwong, 2020). Além disso, ele pode ser encontrado em uma gama de produtos rotulados como “livres de BPA” ou do inglês *BPA Free*. No Brasil, a falta de regulamentação uniforme e a conscientização pública insuficiente sobre os riscos do BPA e do BPS contribuem para a continuidade da exposição a essas substâncias, o que pode resultar em consequências de saúde pública a longo prazo.

1.2. Problema de Pesquisa

A utilização do BPA e do BPS em papéis térmicos e outros produtos de consumo levanta questões críticas sobre a exposição humana e ambiental a substâncias químicas potencialmente nocivas. Embora existam regulamentações em vigor em algumas regiões, como a proibição do uso de BPA e BPS na Suíça e restrições na União Europeia, a eficácia dessas medidas e a conscientização pública sobre os riscos associados a essas substâncias ainda são limitadas. Portanto, é necessário um esforço conjunto para reduzir a exposição, aumentar a conscientização, promover regulamentações mais rigorosas e incentivar a adoção de alternativas mais seguras em relação ao BPA e seus análogos em produtos de consumo.

1.3. Hipóteses

Papéis térmicos utilizados em recibos na região de Piracicaba contêm concentrações elevadas de BPA e BPS, cuja presença pode ser avaliada e quantificada por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC, do inglês High Performance Liquid Chromatography) com detector de arranjo de diodos (DAD). A hipótese deste estudo é que a presença de Bisfenol A (BPA) e/ou Bisfenol S (BPS) em papéis térmicos e outros produtos de consumo pode ser avaliada e quantificada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

1.4. Objetivo geral

Avaliar a presença e as concentrações de BPA e BPS em papéis térmicos coletados na região de Piracicaba, por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE ou HPLC em inglês) acoplada a um detector de arranjo de diodos (DAD).

1.5. Objetivos específicos

- Validar um método cromatográfico por HPLC-DAD para a identificação de quantificação de BPA e BPS simultaneamente; coletar e preparar amostras de papéis térmicos da região;
- Comparar os resultados obtidos com dados da literatura ou padrões regulamentares.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Fundamentação Teórica

2.1.1. Bisfenóis e compostos disruptores endócrinos

Este estudo aborda a análise de bisfenol A (BPA) e bisfenol S (BPS), compostos utilizados principalmente na fabricação de plásticos e resinas. Os bisfenóis estão presentes em objetos que normalmente utilizamos no dia a dia, como papéis térmicos, garrafas plásticas e latas de alimentos.

De acordo com Rochester (2013), tanto o BPA quanto o BPS, em altas quantidades, são considerados disruptores endócrinos, ou seja, substâncias que interferem no funcionamento do sistema endócrino. Segundo a coordenadora da Sociedade Brasileira de Endocrinologia e Metabologia (SBEM), Elaine Frade Costa, “os desreguladores endócrinos podem estar no ar, na água ou na terra, e qualquer substância que exista no meio ambiente e interfira de alguma maneira com o nosso

sistema endócrino é considerada perigosa”.

Estudos como os de Johanna R. Rochester e Ashlay L. Bolden (2015) e os de René Viñas e Cheryl S. Watson (2013), pode-se concluir que, devido a essas moléculas possuírem dois grupos hidroxila (-OH) nos anéis aromáticos, eles imitam o arranjo espacial do estradiol (hormônio estrogênico). Assim, com essa similaridade permite a ligação de receptores de estrogênio, o que explica o seu potencial como desregulador endócrino.

O bisfenol A é amplamente utilizado na produção de policarbonato e resinas epóxi, além de ser empregado como revelador químico em papéis termossensíveis, como cupons fiscais, recibos e bilhetes. No entanto, devido à sua toxicidade, o BPA tem sido substituído pelo BPS, que se acredita ser menos nocivo.

2.1.2. Toxicidade e efeitos à saúde humana

O BPA e o BPS atuam como disruptores endócrinos, pois conseguem mimetizar a ação de hormônios naturais, especialmente o estrogênio. Ao entrar no organismo, essas substâncias podem se ligar aos receptores de estrogênio alfa e beta (ER α e ER β) das células presentes no corpo, causando efeitos similares aos dos hormônios verdadeiros, ou até bloqueando sua ação. Essa interferência pode resultar em alterações no desenvolvimento sexual, problemas reprodutivos, distúrbios metabólicos, e até disfunções neurológicas (Hiroi *et al*, 1999).

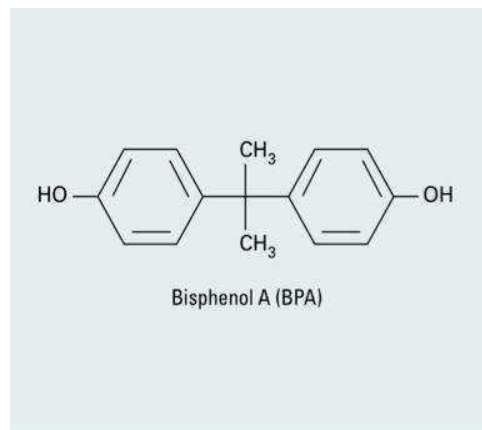
Devido a esses riscos, países como Japão, Estados Unidos e vários países da Europa proibiram o uso do BPA em produtos infantis (Gracitelli, 2021). No Brasil, a Resolução RDC n° 41/2011 da ANVISA estabeleceu a proibição do uso de BPA em mamadeiras, com vigência a partir de 2012.

Embora o BPA seja regulamentado pela ANVISA, especialmente em produtos infantis, como as mamadeiras, o BPS, que frequentemente o substitui em papéis térmicos, ainda não possui uma regulamentação específica no Brasil. Pesquisas recentes, como as da Universidade Federal Fluminense (Santos, 2023), indicam que o BPS apresenta potencial tóxico semelhante ao BPA, podendo causar efeitos adversos mesmo em concentrações baixas. Diante disso, existe uma crescente preocupação quanto à sua segurança, o que levou à proposição de um projeto de lei no Congresso Nacional com o objetivo de proibir a fabricação e comercialização de papéis térmicos contendo BPS em concentrações iguais ou superiores a 0,02% (Santos, 2023; Câmara Dos Deputados, 2025).

2.1.3. Bisfenóis: estrutura e propriedades gerais

O BPA ($C_{15}H_{16}O_2$), cuja nomenclatura oficial segundo a IUPAC é 4,4'-dihidroxi-2,2-difenilpropano, possui massa molar igual a 228,29 g/mol. Sua estrutura é composta por dois anéis fenólicos conectados por uma ponte de isopropilideno ($C(CH_3)_2$), proporcionando alta estabilidade molecular (PubChem, 2025).

Figura 1: Estrutura Química do bisfenol A.

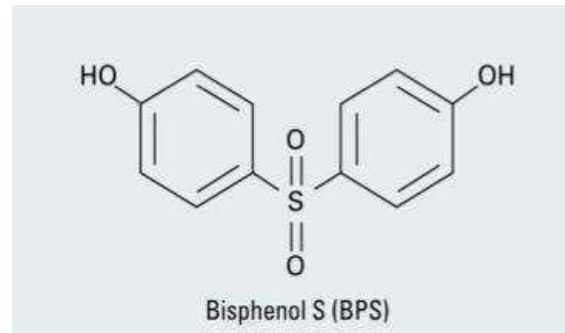


Fonte: Rochester; Bolde (2015).

Essa estrutura central com os dois grupos hidroxilas confere ao BPA sua reatividade química, permitindo que ele participe de diversas reações, como a formação de éteres, ésteres e sais, além de reações de substituição eletrofilica como nitração, sulfonação e alquilação.

O BPS ($C_{12}H_{10}O_4S$), cuja nomenclatura oficial segundo a IUPAC é 4,4'-dihidroxi-difenil sulfona, possui massa molar igual a 250,275 g/mol. Sua estrutura é composta por dois anéis fenólicos conectados por uma ponte de sulfonila ($-SO-$) e tem propriedades físico-químicas semelhantes ao BPA, mas possui maior estabilidade térmica e resistência à degradação (PubChem, 2025). A presença de átomos de enxofre e oxigênio, proporcionam a molécula maior polaridade, isso aumenta sua solubilidade em água, comparado com o BPA, e também aumenta a sua interação com proteínas e receptores biológicos.

Figura 2: Estrutura Química do bisfenol S.



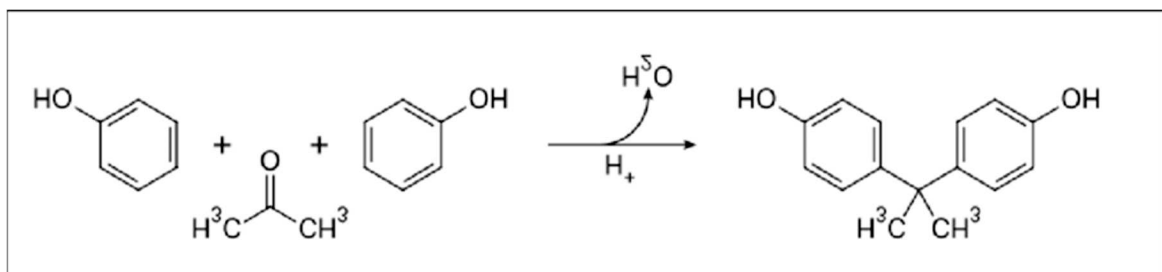
Fonte: Rochester; Bolde (2015).

A presença de átomos de oxigênio e enxofre na ponte sulfonila aumentam a polaridade da molécula em relação ao BPA, propondo maior estabilidade térmica e oxidativa. Isso permite que o BPS seja utilizado em papéis térmicos, plásticos, resinas que precisam resistir a altas temperaturas.

2.1.4. Histórico de uso do Bisfenol A (BPA) e a substituição pelo Bisfenol S (BPS)

Em 1892, o químico russo Aleksandr Dianin sintetizou o BPA pela primeira vez em laboratório. A síntese para obtenção do BPA é realizada por meio da condensação de dois equivalentes de fenol com acetona (por isso bisfenol A), liberando um equivalente de água (H_2O) (Uglea, 1991). A reação é catalisada por um ácido forte, como o ácido clorídrico, ácido sulfúrico ou um catalisador sólido ácido.

Figura 3: Reação da síntese do BPA.



Fonte: Chemicalbook (2016).

De acordo com Serini (2000), o aumento da produção de bisfenol A esteve diretamente relacionado ao desenvolvimento dos plásticos policarbonatos por empresas como Bayer e General Electric, que passaram a ser amplamente utilizados a partir de 1958. O autor também destaca que os efeitos do BPA sobre o sistema endócrino já eram objeto de estudo desde a década de 1930, quando Edward Charles Dodds identificou essa substância como um estrogênio sintético.

Já sua aplicação em papel térmico é que devido a exposição à elevadas temperaturas, ele adquire uma coloração, sendo amplamente utilizado em setores como vendas, bancos, tickets e medicina (Björnsdotter; Boer; Gómez, 2017).

Nos estudos de Ted Mendum *et al.* (2010), pode se afirmar que, nos últimos anos, a presença do BPA em papéis térmicos ganhou uma significativa atenção pública como um poluente ambiental pela União Europeia (UE) e pelo Programa Nacional de Toxicologia dos EUA.

De acordo com Robert Frankowski *et al.* (2020), indivíduos que trabalham diretamente com o manuseio de papéis térmicos, como os caixas, estão sujeitos a uma maior exposição dérmica ao Bisfenol A (BPA) devido ao contato frequente com recibos ao longo do expediente. Essa exposição ocupacional é evidenciada por estudos que indicam concentrações médias de BPA total na urina cerca de 2,5 vezes superiores em pessoas com contato regular com esse tipo de material, quando comparadas a grupos de controle.

A crescente preocupação da população em relação aos efeitos adversos do BPA resultou na sua remoção de determinados produtos, especialmente mamadeiras, copos com canudinho, algumas garrafas plásticas destinadas a bebidas e certos tipos de papel para recibos. Contudo, o BPS (4,4'-sulfonildifenol), frequentemente utilizado como substituto do BPA em papéis para recibos, apresenta potencial toxicidade semelhante, indicando riscos comparáveis à saúde humana (Ecologycenter, 2025).

2.1.5. Papéis térmicos como fonte de exposição aos bisfenóis

O BPA é um composto orgânico aromático da classe dos difenóis, utilizado no papel térmico como agente revelador na reação com corantes leuco. Apesar de sua proibição em produtos infantis, como mamadeiras e utensílios de alimentação, o BPA permanece amplamente presente no papel térmico empregado em cupons fiscais, extratos bancários e comprovantes de pagamento (EPA, 2015).

Nesse tipo de substrato, o BPA encontra-se incorporado a uma camada termossensível na forma livre, não polimerizada, característica que favorece sua liberação por contato mecânico. Durante o aquecimento pelo cabeçote da impressora, o BPA reage com o corante leuco via transferência protônica, convertendo-o em sua forma colorida estável. No entanto, parte significativa do BPA não reage e permanece acessível na superfície, o que possibilita sua transferência dérmica durante o manuseio (EPA, 2015).

Estudos indicam que a concentração de BPA em um único recibo térmico pode superar, em ordens de magnitude, a quantidade liberada por polímeros de policarbonato ao longo de anos de uso. Dada sua ação como disruptor endócrino, com afinidade para receptores de estrogênio (ER α e ER β) e capacidade de modular vias hormonais, sua exposição tem sido associada a cânceres hormônio-dependentes, doenças cardiovasculares e alterações no desenvolvimento neurológico e reprodutivo, especialmente em populações vulneráveis como crianças (Bernier; Vandenberg, 2017).

2.1.6. Composição e funcionamento do papel térmico

O papel térmico consiste em uma base de celulose recoberta por uma camada sensível ao calor composta por um corante leuco, um revelador (frequentemente BPS ou BPA) e uma matriz ligante. A impressão ocorre por aquecimento localizado, que induz a fusão da matriz e a reação ácido-base entre o corante e o revelador, gerando instantaneamente a coloração (Hormann *et al.*, 2014).

A opção pelo BPA como revelador se deve ao seu baixo custo, estabilidade térmica e alta eficiência de reação. No entanto, sua presença livre na superfície do papel o torna passível de migração por simples contato, principalmente quando há atrito ou pressão. Essa característica físico-química aliada à lipofilicidade da molécula é que facilita sua penetração na pele (Björnsdotter; Boer; Gómez, 2017).

2.1.7. Emprego cotidiano

O manuseio contínuo de recibos térmicos é reconhecido como via relevante de exposição ocupacional. Segundo o Tocar [...] (2025) e Recibos [...] (2014), a manipulação de recibos por apenas duas horas já resulta em aumento mensurável das concentrações urinárias de BPA. Esse aumento não é observado quando se

utilizam luvas nitrílicas, evidenciando o papel da via dérmica.

A absorção se dá principalmente por difusão passiva através do estrato córneo. Uma vez na circulação, o BPA é rapidamente metabolizado no fígado por glicuronidação e sulfatação; no entanto, uma fração permanece na forma livre, biologicamente ativa, capaz de se ligar a receptores hormonais e interferir em processos endócrinos.

2.1.8. Transferência dos bisfenóis para a pele humana

A transferência do BPA e do BPS da superfície do papel para a pele envolve processos físico-químicos de partição lipídica e dessorção molecular. O contato promove a dissolução parcial do bisfenol na camada lipídica do estrato córneo, favorecida por temperatura elevada, umidade e presença de substâncias cosméticas (óleos e cremes), que desorganizam os lipídios intercelulares, aumentando a permeabilidade cutânea (Reale, E.; Vernez, D.; Hopf, N.B., 2021).

Estudos demonstram que o BPA pode ser detectado na pele após segundos de contato e permanecer aderido por horas, funcionando como um reservatório dérmico que libera a substância gradualmente para camadas mais profundas (Leef Your Life, 2024). Essa retenção prolongada eleva o risco de absorção sistêmica, sobretudo em exposições repetidas ao longo do dia.

2.1.9. Grupos mais expostos: trabalhadores de comércio, consumidores

A magnitude da exposição ao BPA não é homogênea. Trabalhadores do comércio - operadores de caixa, atendentes de bilheterias, funcionários de postos de combustíveis - compõem o grupo de maior risco, devido à manipulação frequente e prolongada de papéis térmicos. Segundo reportagem do Infovarejo (2022), a absorção estimada nesses profissionais varia de 1,3 a 218,3 µg/dia, valor que, acumulado cronicamente, é suficiente para atingir níveis biológicos preocupantes.

Consumidores eventuais também entram em contato com recibos, mas a frequência e a duração do manuseio reduzem a carga de exposição. Ainda assim, hábitos como guardar cupons em carteiras ou bolsas e manuseá-los repetidamente podem potencializar a absorção, especialmente quando associados a pele úmida ou uso de cosméticos.

2.2. Estudos nacionais e internacionais sobre bisfenóis em papéis térmicos

Estudos internacionais reforçam o papel do papel térmico como fonte relevante de BPA. Em pesquisa conduzida nos Emirados Árabes Unidos, 60% dos recibos analisados apresentaram níveis acima do limite da União Europeia (Semerjian, L.; Alawadhi, N.; Nazer, K., 2023). Embora as doses estimadas de exposição diária tenham ficado abaixo do valor-limite, fatores como o uso de álcool gel, que solubiliza a camada protetora do papel, aumentaram significativamente a taxa de transferência dérmica, ampliando o risco potencial.

Esses achados sustentam a necessidade de medidas regulatórias, substituição por alternativas livres de bisfenol e campanhas de conscientização voltadas para trabalhadores e consumidores.

2.2.1. Regulamentações internacionais sobre o uso de BPA e BPS

A União Europeia proibiu o uso de BPA na fabricação de mamadeiras desde 2011, como medida preventiva diante de seu potencial efeito tóxico no sistema endócrino. Em 2020, a substância foi classificada como uma Substância Extremamente Preocupante (SVHC - Substance of Very High Concern), devido aos seus efeitos reprodutivos adversos (UE [...], 2010). Como consequência, muitos fabricantes passaram a utilizar o BPS como alternativa. No entanto, estudos demonstram que o BPS apresenta toxicidade semelhante ao BPA, incluindo atividade estrogênica, capacidade de interferir no sistema hormonal e riscos ambientais comparáveis (Eureciclo, 2023a).

2.2.2. Situação regulatória no Brasil

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) proibiu o uso do BPA na fabricação de mamadeiras plásticas por meio da RDC nº 41/2011, considerando os riscos à saúde infantil. Contudo, o uso do BPA em papéis térmicos permanece permitido, apesar de estar sob avaliação constante. Já o BPS, utilizado como substituto, ainda não possui regulamentação específica no país, o que representa uma lacuna preocupante diante de sua toxicidade semelhante (Manusear, 2025).

2.2.3. Disposição e degradação dos bisfenóis no meio ambiente

O descarte inadequado de produtos que contêm bisfenóis, como papéis térmicos e plásticos, favorece a liberação dessas substâncias no solo, na água e na atmosfera. Tanto o BPA quanto o BPS são compostos de baixa biodegradabilidade, o que lhes confere persistência ambiental significativa. Esses poluentes podem se acumular em ambientes naturais, afetando os ciclos ecológicos e aumentando os riscos de contaminação (Eureciclo, 2023b).

O descarte de papéis térmicos contendo BPA ou BPS em lixões e esgotos pode causar a liberação dessas substâncias em águas superficiais e subterrâneas, com efeitos tóxicos para a biota aquática. Estudos relatam deformações em ovos de peixes, alterações comportamentais e interferências no desenvolvimento de anfíbios. Além disso, os bisfenóis tendem a se acumular nos sedimentos, mantendo a contaminação ativa por longos períodos (Liu *et al.*, 2021; Infovarejo, 2024).

2.2.4. Bioacumulação e contaminação indireta de humanos

Embora o BPA e o BPS sejam metabolizados relativamente rápido em mamíferos, há evidências de que esses compostos podem bioacumular em organismos aquáticos, entrando na cadeia alimentar. Isso representa risco indireto à saúde humana, especialmente por meio da ingestão de água e alimentos contaminados. Os efeitos da exposição crônica ao BPA incluem alterações metabólicas, imunológicas, neurológicas e possível carcinogenicidade (Pensamento Verde, 2013; Guimarães, 2024).

2.2.5. Métodos de extração para BPA e BPS em papel

Este trabalho tem por objetivo avaliar a presença e a concentração de BPA e BPS em papéis térmicos, mas para isso, é necessário antes extraí-los do papel e nesse tipo de extração de bisfenóis em papel, especialmente papel térmico, geralmente utiliza-se solventes orgânicos (metanol, acetonitrila) ou métodos de microextração como DLLME (Dispersive Liquid-Liquid Microextraction) e SPE (Solid Phase Extraction). A escolha depende da matriz e do objetivo analítico. Para papel térmico, a extração por imersão direta ou ultrassonicação em metanol é muito utilizada, seguida de purificação da amostra para remover interferentes antes da análise por HPLC.

Exemplo prático: Russo *et al.* (2017) extraíram BPA e BPS de recibos térmicos usando metanol, agitação e posterior análise por cromatografia líquida.

2.2.6. Princípios da Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC)

Para analisar a concentração de BPA e BPS a técnica escolhida para este trabalho foi o HPLC acoplado a um detector de arranjos de diodos (DAD). O HPLC separa compostos químicos baseando-se em suas interações com a fase estacionária (geralmente coluna C₁₈ para bisfenóis) e a fase móvel (mistura de solventes). A técnica oferece alta resolução e sensibilidade, podendo ser acoplada a diferentes detectores. Em análises de BPA/BPS, costuma-se utilizar gradiente de acetonitrila e água acidificada.

Exemplo prático: ARCE *et al.* (2021) desenvolveram método HPLC-DAD para análise simultânea de cinco bisfenóis com alta precisão e separação eficiente.

2.2.7. Uso do detector de arranjo de diodos (DAD) para análise simultânea

O DAD permite detectar compostos em múltiplos comprimentos de onda simultaneamente, garantindo identificação mais confiável e análise de misturas complexas. Para BPA/BPS, a detecção geralmente ocorre entre 225-280 nm.

Exemplo prático: Rigopoulos, A.T.; Samanidou, V.F.; Touraki, M., (2018) validaram método HPLC-DAD para detecção simultânea de bisfenóis em água, alcançando alta seletividade e precisão.

2.2.8. Vantagens da HPLC-DAD para compostos fenólicos

A principal vantagem do DAD é a capacidade de registrar espectros completos durante a eluição, permitindo confirmar a identidade dos picos cromatográficos. Além disso, não exige derivatização, ao contrário de outros detectores como o FLD (fluorescência).

2.2.9. Parâmetros de validação do método cromatográfico

A validação garante que o método seja confiável e reprodutível. O LOD (Limite de Detecção, do inglês *Limit of Detection*) indica a menor quantidade detectável, enquanto o LOQ (Limite de Quantificação, do inglês *Limit of Quantification*) representa a menor quantidade quantificável com precisão e exatidão aceitáveis. A linearidade

mostra HPLC-DAD a relação proporcional entre concentração e resposta do detector.

Exemplo prático: Mahdavianpour *et al.* (2021) validaram método para BPA em amostras alimentares, obtendo LOD de 0,12 µg/L e LOQ de 0,4 µg/L, com linearidade ($R^2 > 0,999$).

2.3. Relevância do estudo na região de Piracicaba

Piracicaba foi escolhida por ser uma cidade de médio a grande porte, com intensa atividade comercial, educacional e industrial, o que gera muito uso de papéis térmicos. A cidade também apresenta um rio que atravessa o município e essas áreas podem ser impactadas pela liberação de muitos contaminantes, incluindo o BPS.

Pelo tamanho da cidade e da intensa atividade comercial pode-se estimar que milhares de cupons e comprovantes térmicos são impressos diariamente na cidade.

A ausência de dados sobre BPA e BPS é prejudicial para a população de Piracicaba, pois não alerta dos riscos à saúde que essas moléculas podem causar.

A pesquisa contribui com dados locais sobre contaminantes pouco monitorados. O estudo alerta sobre possíveis riscos à saúde humana, especialmente de trabalhadores expostos, como caixas de supermercado e atendentes de farmácia, além de contribuir para o debate sobre o consumo consciente e o descarte adequado desses materiais.

O estudo pode ajudar em leis ou legislações sobre o uso e descarte desses papéis. Pode-se também fazer campanhas nas escolas e em comércios para alertar as pessoas sobre os riscos e mostrar como evitar o contato desnecessário.

2.3.1. Estudos anteriores sobre BPA/BPS em papéis térmicos no Brasil

Quando o papel térmico é exposto à mudança de temperatura, ocorre uma reação de mudança de cor causada pela presença de BPA (Costa; Assis, 2018). Seu uso é empregado em diversas áreas onde é necessária uma impressão rápida e íntegra, como por exemplo no setor de vendas, nos processos bancários, em tickets e na medicina (Björnsdotter; Boer; Gómez, 2017).

Um importante estudo realizado em 2015 (Rocha *et al.*) avaliou concentrações de BPA e BPS em amostras de papel térmico coletadas em diferentes estabelecimentos e localidades no Brasil, além de estimar a ingestão diária dessas substâncias a partir do manuseio do material. Os resultados revelaram a presença de

BPA ou BPS em 98% das amostras analisadas (186 de um total de 190), com concentrações variando de abaixo do limite de detecção (<LOD) até 4,3 mg por 100 mg de papel. Entre as amostras positivas, 174 continham exclusivamente BPA, enquanto 12 apresentavam apenas BPS, indicando que este pode ter sido empregado como substituto ao BPA.

Um outro estudo mostrou que o BPA estava presente em 90,9% das amostras de um total de 112 amostras de recibos de papel térmico coletados aleatoriamente entre junho e agosto de 2017 em diferentes pontos de venda e comércios em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul (Molina-Molina *et al.*, 2019).

2.3.2. Estudos anteriores sobre BPA/BPS em papéis térmicos no exterior

A Tabela a seguir mostra uma comparação entre os níveis de BPA em amostras de recibos de papel térmico de diferentes países e do Brasil:

Tabela 1: Níveis de BPA em recibos.

País	Amostras	Quantidade (%)	Referência
Suécia	16	100	OSTBERG & NOAKSSON (2010)
Suíça	13	85	BIEDERMANN et al. (2010)
Dinamarca	12	65	LASSEN et al. (2011)
Estados Unidos	10	80	MENDUM et al. (2011)
Estados Unidos	83	100	LIAO & KANNAN (2011)
Japão	6	0	LIAO & KANNAN (2011)
Coréia	11	100	LIAO & KANNAN (2011)
Vietnã	3	100	LIAO & KANNAN (2011)
Bélgica	44	98	GEENS et al. (2012)
China	42	100	LU et al. (2013)
Brasil	190	98	ROCHA et al (2015)

Fonte: Autoria própria.

2.3.3. Ausência de estudos regionais com amostragem urbana diversificada

O Brasil ainda apresenta lacunas significativas na implementação de ações preventivas contra substâncias químicas potencialmente nocivas à saúde humana e ao meio ambiente, como o BPA e BPS. Para diminuir esses riscos, torna-se imprescindível o investimento em sistemas digitais e na capacitação de profissionais capazes de contribuir para a redução da exposição a esses compostos. O país dispõe de elevado potencial para o aproveitamento de recursos tecnológicos como alternativa mais segura e sustentável (Costa; Assis, 2018).

2.4. Metodologia

O experimento foi realizado no Laboratório de Ecotoxicologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP, orientado pela doutoranda Nicoli Gomes de Moraes. A pesquisa realizada foi experimental, quantitativa e qualitativa.

Para o início das análises, foi utilizado o método já validado e seguiu-se para a amostragem, extração dos bisfenóis nas amostras de papéis e análise por HPLC.

2.4.1. Materiais e reagentes

- Lápis.
- Tesoura.
- Papel sulfite.
- Balança analítica.
- Tubos de ensaio.
- Balões volumétricos 10 mL.
- Micropipeta.
- Padrões analíticos de BPA e BPS (pureza > 98%) - adquiridos da DR. Ehrenstorfer.
- Seringa.
- Filtros PTFE de 0,22 µm.
- Acetonitrila da Merck.
- Água ultrapura da Merck.
- CLAE (HPLC) equipamento da Agilent Technologies série 1200, acoplado a um detector de arranjo de diodos.
- Coluna C₈(2) LUNA Phenomenex (250 mm × 4,6 mm), preenchida com partículas de 5 µm.
- Detector de arranjo de diodos (DAD).

2.4.2. Validação do método cromatográfico

A validação do método analítico foi baseada na seletividade, linearidade, precisão, exatidão, sensibilidade (LOD e LOQ), seguindo as diretrizes da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2017). A seletividade foi avaliada pela comparação dos cromatogramas de papéis fortificados e não fortificados com BPS e BPA (50 µg/mL).

A linearidade foi determinada por regressão linear em cinco concentrações (1, 5, 10, 50 e 200 µg/mL), preparadas em triplicata. Para a curva de calibração, inicialmente foram preparadas soluções estoque (SE) individuais de BPA e BPS em uma concentração de 1 mg/mL. A partir da SE foram preparadas diluições e cinco níveis de concentração 1, 5, 10, 50 e 200 µg/mL.

O LOD e LOQ foram definidos pelas razões sinal-ruído de 3 e 10, respectivamente. A precisão foi verificada pela repetibilidade em três concentrações do intervalo linear, expressa pelo desvio padrão relativo (DPR). A exatidão foi determinada por ensaios de recuperação em três níveis de fortificação, também em triplicata. A curva de calibração foi construída no extrato da matriz.

Para garantir a confiabilidade dos dados, a curva de calibração foi repetida periodicamente ao longo da análise. Além disso, para monitorar possíveis contaminações durante as etapas preparatórias e determinar os níveis de fundo do laboratório, amostras e reagentes em branco foram preparados e analisados em cada conjunto de amostras no HPLC.

2.4.3. Amostragem

A amostragem foi formada por 83 papéis térmicos coletados em diferentes tipos de locais, entre março e julho de 2025. Entre os pontos de coleta, incluem-se restaurantes, postos de gasolina, academias, correios, estádio, lojas de variedades, bancos, transporte público, bares, hospitais, mercados, empresas, lanchonetes, supermercados, farmácias, redes de fast food, terminal de ônibus, pastelarias, salão de cabeleireiro, brechó, materiais de construção, varejo de tintas, ótica, autopeças, sorveteria, empório, pet shop, conta de água, perfumaria, dentre outros. Esses estabelecimentos foram separados por categorias sendo: Alimentação, Saúde e bem-estar, Comércio de serviços, Transporte e mobilidade e Lazer e convivência. Após a realização da coleta, as amostras foram dobradas para proteger a camada interna que é sensível ao calor e armazenadas individualmente em sacos plásticos livres de

bisfenóis, em um ambiente escuro a 22°C.

2.4.4. Extração do BPA e BPS do papel

A extração foi feita a partir do corte de 4 × 4 cm de cada amostra de papel, independente da presença de impressão, visto que a reação de cor é um processo ácido-base reversível (Eckardt *et al.*, 2020) e as áreas impressas não afetam a concentração dos reveladores de cor. Após esse processo, cada pedaço de papel foi pesado, recortado em pedaços menores e transferidos para tubos de ensaio de borossilicato de 15 mL.

Figura 4: Amostras de papéis cortados e pesados.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5: Recorte dos papéis em pedaços menores.



Fonte: Autoria própria.

Figura 6: Recorte dos papéis em pedaços menores.



Fonte: Autoria própria.

Após essa etapa, adicionou-se 5 mL de acetonitrila e as amostras foram levadas para banho ultrassônico por 30 minutos. O mesmo procedimento foi feito para obtenção do branco e as fortificações.

Figura 7: Extração em banho ultrassônico.



Fonte: Autoria própria.

Uma vez finalizando esse processo, foi coletado cerca de 1 mL de cada solução das amostras e filtradas em filtros de PTFE de 0,22 μm diretamente em vials de cromatografia de 1,5 mL.

Figura 8: Pipetagem de 1 mL das amostras.



Fonte: Autoria própria.

Foram retiradas alíquotas das 83 amostras e adicionadas em vials de cromatografia e analisadas por HPLC para obtenção dos cromatogramas.

Figura 9: Amostras inseridas no HPLC.



Fonte: Autoria própria.

2.4.5. Condições cromatográficas para a análise

As análises de BPA e BPS foram realizadas por HPLC em um equipamento Agilent Technologies série 1200, acoplado ao DAD.

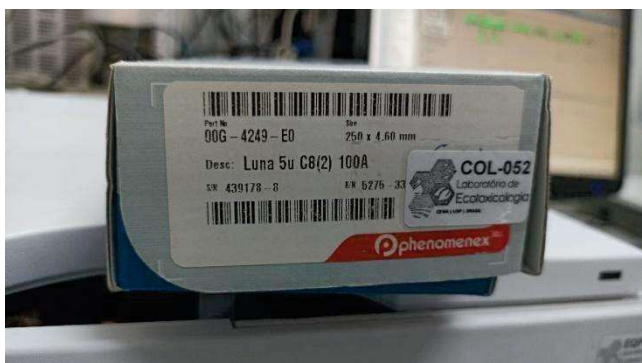
Figura 10: Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência (HPLC) acoplado a um detector de Arranjo de Diodos (DAD).



Fonte: Autoria própria.

A separação ocorreu em uma coluna cromatográfica C₈(2) LUNA Phenomenex (250 mm × 4,6 mm), preenchida com partículas de 5 µm.

Figura 11: Coluna cromatográfica C₈(2) LUNA Phenomenex (250 mm × 4,6 mm).



Fonte: Autoria própria.

A corrida cromatográfica foi conduzida em modo isocrático, utilizando água e acetonitrila, com fluxo de 1 mL/min. Um post-time de 7,5 minutos foi aplicado para a limpeza da coluna cromatográfica, em modo gradiente, começando com 95% de acetonitrila de 7,51 a 14 minutos, seguido de redução para 50% entre 14,1 e 15 minutos. O volume de injeção foi de 10 µL, a temperatura do forno da coluna foi de 40°C e os comprimentos de onda de detecção foram de 234 e 254 nm para BPA e BPS, respectivamente. Os cromatogramas foram gerados no software Agilent ChemStation versão B. 04.02. As análises estatísticas foram realizadas no programa Excel Microsoft Office Professional 2019.

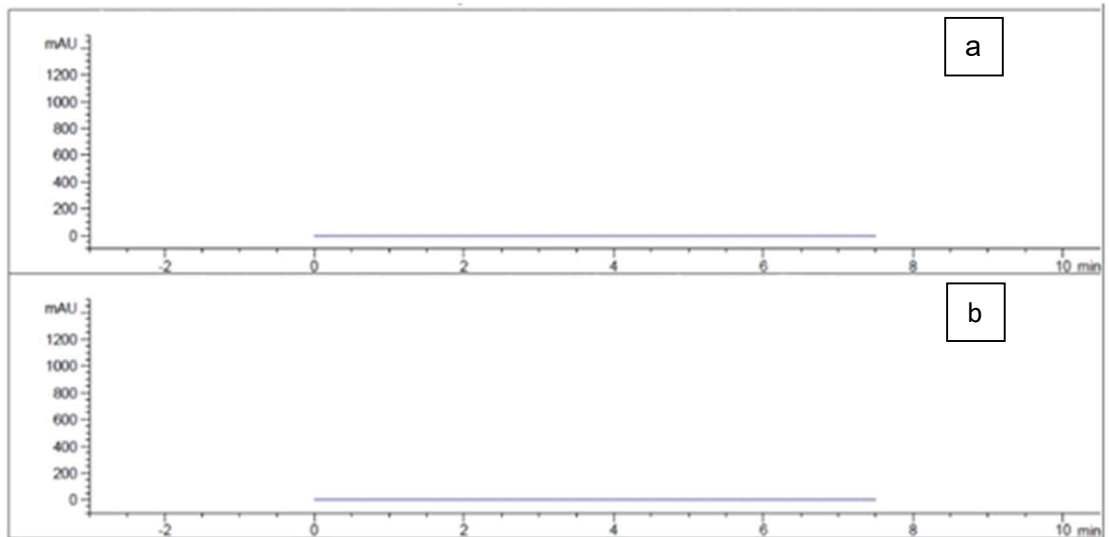
2.5 Resultados e Discussão

A análise dos papéis térmicos coletados na região de Piracicaba revelou a presença de BPA e BPS em concentrações significativas. Esses resultados indicam que esses compostos ainda são muito utilizados na composição de papéis térmicos, mesmo com as restrições e substituições propostas para o BPA devido ao seu potencial tóxico. A detecção das duas substâncias sugere que, embora o BPS venha sendo adotado como alternativa ao BPA, sua substituição não tem ocorrido de forma completa. Assim, torna-se relevante discutir os níveis encontrados, suas possíveis origens, bem como as implicações ambientais e à saúde humana associadas à exposição a esses compostos.

2.5.1 Validação do método analítico

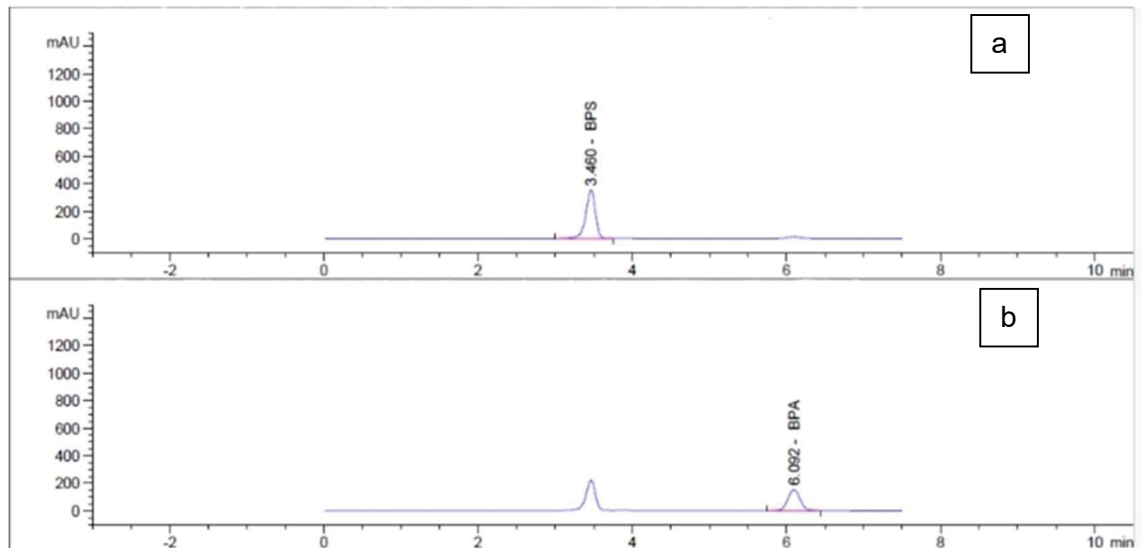
De acordo com os cromatogramas observados nas Figuras 12 e 13, o método é seletivo, pois é possível diferenciar os analitos (BPA e BPS) das demais substâncias presentes na amostra. O tempo de retenção (TR) do BPA e do BPS foi de 6,092 min e 3,460 min, respectivamente.

Figura 12: Cromatograma representativo (HPLC-DAD). (a) Amostra em branco no comprimento de onda 254 nm; b) Amostra em branco no comprimento de onda 234 nm.



Fonte: Autoria própria.

Figura 13: Cromatograma representativo (HPLC-DAD). a) Amostra fortificada a $80 \mu\text{g mL}^{-1}$ comprimento de onda 254 nm; b) Amostra fortificada a $80 \mu\text{g mL}^{-1}$ no comprimento de onda 234 nm.



Fonte: Autoria própria.

Não houve picos de interferência no TR do BPA e do BPS, assim, o método é seletivo para determinação desses compostos.

2.5.2 Limite de detecção e quantificação

O LOQ do método é definido como a menor concentração ou quantidade de um analito que pode ser determinado verdadeiro e precisamente, uma vez que resulta numa relação sinal-ruído maior que 10 (ANVISA, 2017).

O LOD do método é definido como a menor concentração ou quantidade de um analito que pode ser detectado de forma confiável. Ele é determinado como a concentração ou a quantidade que resulta numa relação sinal-ruído maior que 3 (ANVISA, 2017).

Os LODs e os LOQs foram calculados com base no sinal ruído de 15,6 para BPA e 100,2 para BPS.

Sinal ruído	15,6
LOD	LOQ
0,211538462	0,641026

LOD e LOQ do BPA

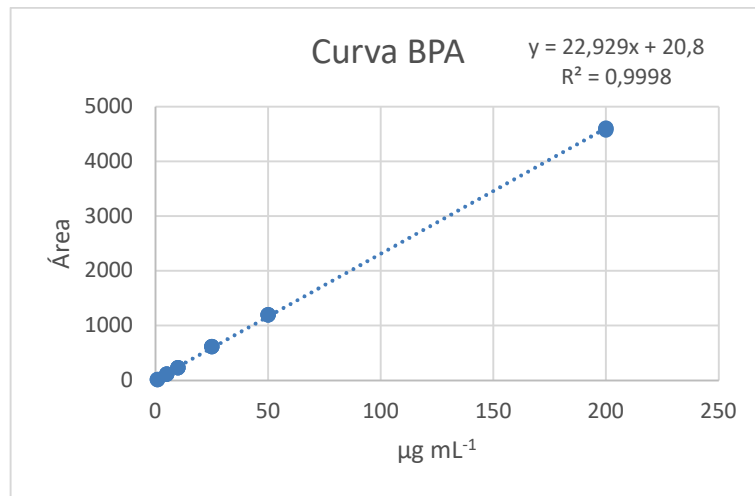
Sinal ruído	100,2
LOD	LOQ
0,032934132	0,0998

LOD e LOQ do BPS

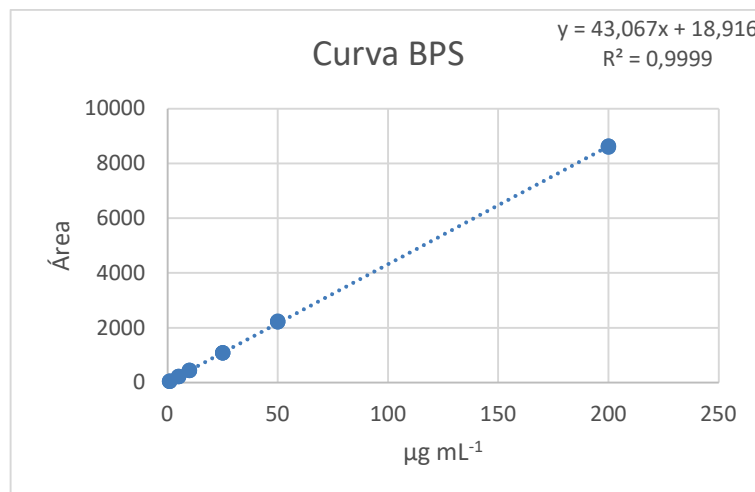
2.5.3 Linearidade

A linearidade é a habilidade de um método analítico em produzir resultados que sejam diretamente proporcionais à concentração do analito em amostras em uma dada faixa de concentração. As soluções de calibração foram analisadas em um cromatógrafo líquido para obter a curva de calibração e linearidade do detector (ANVISA, 2017). Cada concentração foi analisada em triplicata e os resultados avaliados pela média.

A curva de calibração foi construída na matriz do papel, nas concentrações de 1 a 200 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Figuras 14 e 15). O coeficiente de correlação (R^2) para ambas as curvas foi superior a 0,999, que indica linearidade nesta faixa de trabalho.

Figura 14: Curva de calibração do BPA.

Fonte: Autoria própria.

Figura 15: Curva de calibração do BPS.

Fonte: Autoria própria.

2.5.4 Precisão e exatidão

De acordo com as Tabelas 2 e 3, a recuperação (exatidão) do BPS variou entre 98,63 a 109,43% e a recuperação do BPA entre 100,28 a 102,91%. Esses valores estão dentro da faixa de recomendação da Anvisa, em que a recuperação deve estar entre 70 a 120%, portanto, o método é exato (ANVISA, 2017). A precisão, avaliada pela repetibilidade em três níveis de concentração, apresentaram desvios padrões relativos (DPR) entre 0,02 a 3,71%. Esses DPR estão todos abaixo de 15%, indicando que o método é preciso.

Tabela 2: Precisão (repetibilidade) para três níveis de fortificação (2, 100 e 180 $\mu\text{g mL}^{-1}$) do BPA e do BPS.

	Concentração $\mu\text{g mL}^{-1}$	Média $\mu\text{g mL}^{-1}$	DP $\mu\text{g mL}^{-1}$	DPR %
	2 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (nível 1)			
BPA	2,00595	2,00558	0,000327	0,016302
	2,00546			
	2,00533			
	100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (nível 2)			
	107,3236	102,9137	3,819201	3,711071
	100,6745			
	100,7430			
	180 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (nível 3)			
	181,2938	181,3777	0,075477	0,041613
181,3990				
181,4402				
	2 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (nível 1)			
BPS	2,18768	2,18852	0,001941	0,08871
	2,19074			
	2,18714			
	100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (nível 2)			
	98,13813	98,63395	0,437347	0,443404
	98,79885			
	98,96488			
	180 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (nível 3)			
	182,8740	182,9879	0,120238	0,065708
183,1136				
182,9760				

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3: Exatidão (recuperação) para três níveis de fortificação (2, 100 e 180 $\mu\text{g mL}^{-1}$) do BPA e do BPS.

	Recuperação %	Média %	DP %	DPR %
	2 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (nível 1)			
BPA	100,2975	100,279	0,016348	0,016302
	100,2730			
	100,2665			
	100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (nível 2)			
	107,3236	102,9137	3,819201	3,711071
	100,6745			
100,7430				

	180 µg mL⁻¹ (nível 3)			
	100,7188	100,7654	0,041932	0,041613
	100,7772			
	100,8001			
	2 µg mL⁻¹ (nível 1)			
	109,384	109,426	0,097072	0,08871
	109,537			
	109,357			
	100 µg mL⁻¹ (nível 2)			
BPS	98,13813	98,63395	0,437347	0,443404
	98,79885			
	98,96488			
	180 µg mL⁻¹ (nível 3)			
	101,5967	101,6599	0,066799	0,065708
	101,7298			
	101,6533			

Fonte: Autoria própria.

O método desenvolvido atendeu a todos os critérios de validação propostos pela Anvisa e é adequado para a análise de BPA e BPS em papéis térmicos.

2.5.5 Bisfenol A e Bisfenol S em papéis térmicos de Piracicaba

A Tabela 4 apresenta a distribuição das 83 amostras de papéis térmicos analisadas quanto à presença das moléculas de BPA e BPS. Observa-se que 74 amostras (89,16%) apresentaram alguma detecção de bisfenóis, sendo a maioria contendo apenas BPS (78,31%). Em menor proporção, foram detectadas amostras contendo somente BPA (9,64%) e uma amostra (1,20%) com a presença simultânea de BPA e BPS. Apenas 9 amostras (10,84%) não apresentaram detecção de nenhuma das substâncias. Esses resultados indicam uma predominância do uso de BPS nos papéis térmicos analisados na região de estudo.

Tabela 4: Porcentagem de detecção de BPA e BPS em papéis térmicos.

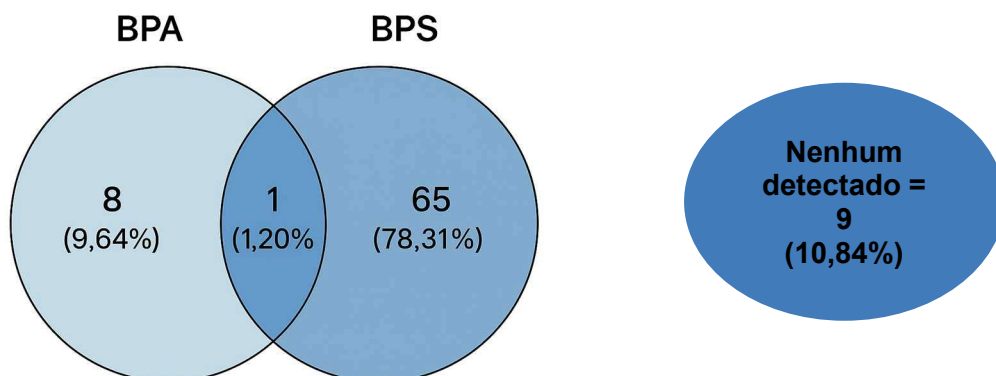
Categoria	Nº de amostras	% total
Apenas BPS	65	78,31
Apenas BPA	9	9,64
Ambos (BPA e BPS)	1	1,20
Nenhum detectado	9	10,84
Total com alguma detecção (BPA e/ou BPS)	74	89,16

Total de amostras	83	100,00
-------------------	----	--------

Fonte: A autoria própria.

O diagrama de conjunto (Figura 16) apresenta a distribuição das 83 amostras de papéis térmicos analisadas quanto à presença das moléculas de BPA e BPS. Observa-se que 65 amostras apresentaram apenas BPS, 8 amostras apresentaram apenas BPA e 1 amostra apresentou ambas as moléculas. Nove amostras não apresentaram detecção de nenhuma das substâncias. Nota-se, portanto, uma predominância de BPS em relação ao BPA, indicando a substituição parcial deste composto em papéis térmicos comercializados na região.

Figura 16: Diagrama de conjunto representando a % de detecção de BPA e BPS em papéis térmicos da região de Piracicaba.



Fonte: A autoria própria.

Em todos os papéis com rótulo *BPA Free* não foi encontrado BPA de fato, no entanto, em aproximadamente 78% das amostras foi encontrado BPS, que também apresenta riscos para a saúde (Villalaín, 2024). O estudo de Xu *et al.* (2023) investigou a presença e migração de BPS e outros compostos alternativos ao BPA em rótulos térmicos de embalagens de alimentos. Foram analisados 140 materiais de embalagens e realizados experimentos envolvendo peixe em filmes plásticos com rótulos térmicos. Os resultados mostraram que, embora o BPA não tenha sido detectado, BPS e outros reveladores térmicos estavam presentes nos rótulos, com concentrações de até 214 µg/cm², e migraram para os alimentos, atingindo até 1140 ng/g em peixe. A migração de BPS em filmes com rótulos foi significativamente

maior do que em filmes sem rótulos, ultrapassando o limite de migração específico da União Europeia. Os autores concluíram que os rótulos térmicos representam uma fonte significativa de exposição alimentar a BPS e outros substitutos do BPA, indicando potenciais riscos à saúde e a necessidade de avaliação de risco adicional.

O estudo de Rocha *et al.* (2015) investigou a presença de BPA e BPS em 190 recibos térmicos coletados aleatoriamente em diversos estabelecimentos no estado de São Paulo, Brasil, incluindo supermercados, restaurantes, postos de gasolina, bilhetes de ônibus e avião, e comprovantes bancários. Os resultados revelaram que 98% das amostras continham BPA e/ou BPS, com concentrações variando de abaixo do limite de quantificação até 4,3% (mg/100 mg de papel). A média geométrica de BPA foi de 0,21 mg/g e a de BPS foi de 0,16 mg/g. A exposição diária estimada ao BPA foi de 1.420 ng/dia para a população geral e 71.000 ng/dia para trabalhadores que manipulam recibos com frequência. Para o BPS as estimativas foram de 1.000 ng/dia e 50.000 ng/dia, respectivamente. O estudo conclui que os recibos térmicos representam uma fonte significativa de exposição ao BPA e ao BPS, substâncias com propriedades de desregulação endócrina. A alta frequência de detecção e as concentrações encontradas indicam que a manipulação desses papéis pode contribuir substancialmente para a carga corporal dessas substâncias, especialmente em trabalhadores que lidam com esses materiais de forma contínua.

No estudo de Russo *et al.* (2017), eles analisaram amostras de papéis térmicos coletadas no mercado italiano para determinar os níveis de BPA e BPS e estimar a exposição dérmica humana a essas substâncias. Os resultados mostraram que o BPA estava presente em cerca de 80% das amostras, enquanto o BPS foi detectado em cerca de 20%, indicando uma substituição parcial do BPA. As concentrações variaram de 0,9 a 1,6% (m/m), com potencial significativo de absorção cutânea, especialmente entre trabalhadores que manipulam recibos com frequência. Os autores concluíram que os papéis térmicos continuam sendo uma fonte relevante de exposição humana a bisfenóis, reforçando a necessidade de regulamentação mais rigorosa e substituição por compostos realmente seguros.

O estudo de Molina-Molina *et al.* (2019) investigou a presença de BPA e BPS em amostras de papéis térmicos provenientes do Brasil, França e Espanha, além de avaliar suas atividades estrogênicas e antiandrogênicas. Os resultados mostraram que o BPA foi o composto predominante nas amostras europeias, enquanto o BPS foi mais frequente nas amostras brasileiras, indicando substituição regional do BPA por

BPS. Ensaios biológicos demonstraram que ambos os compostos apresentaram atividade estrogênica e antiandrogênica significativa, sugerindo potencial de disrupção endócrina. Os autores concluíram que, embora o BPS seja usado como alternativa ao BPA em papéis térmicos, ele também representa riscos hormonais comparáveis, reforçando a necessidade de regulamentação e monitoramento contínuos.

No presente estudo, os resultados indicam que a concentração de BPS foi maior que a de BPA, possivelmente em resposta a alterações legislativas e às exigências do mercado externo, evidenciando a substituição do BPA por alternativas consideradas mais seguras.

O Projeto de Lei nº 2844/2024, atualmente em tramitação na Câmara dos Deputados, visa proibir a fabricação e importação de papéis térmicos que contenham BPA e BPS em concentrações superiores a 0,02% em relação à massa total do papel térmico. Essa medida, se aprovada, deverá promover a transição para novos compostos reveladores considerados mais seguros e reduzir a exposição humana a desreguladores endócrinos. A aprovação desta lei, deverá alterar os produtos que são utilizados como revelador térmico em papéis no Brasil. Portanto, caso seja aprovada, espera-se nos próximos anos que o BPA e o BPS não sejam mais utilizados.

Atualmente, existem alternativas sustentáveis para substituir o BPA em papel térmico. Entre as mais promissoras estão tecnologias que eliminam o uso de químicos desenvolvidores, utilizando substâncias como derivados de taninos ou lignina, os quais têm sido estudadas como potenciais substitutos, oferecendo menor toxicidade. Diversos candidatos químicos alternativos também foram avaliados, embora ainda seja necessário confirmar seu perfil de segurança ambiental e ocupacional. Essas soluções representam um avanço significativo para a produção de papéis térmicos livres de bisfenóis, alinhados a critérios de sustentabilidade e menor impacto à saúde. As empresas Dow Chemical Company e Papierfabrik August Koehler SE foram premiadas com o “Green Chemistry Challenge” de 2017 da US Environmental Protection Agency (EPA). O sistema elimina a necessidade de BPA ou BPS, substituindo-os por uma reação física (colapso de micro-voids no revestimento do papel). Os micro-voids funcionam como reservatórios físicos de corantes e reagentes.

A Tabela 5 avaliou a presença dessas substâncias em diferentes tipos de estabelecimentos, onde foram coletadas amostras de papéis térmicos e analisadas quanto à detecção de BPA e BPS. Além disso, verificou-se a rotulagem *BPA Free*,

que indica produtos livres de BPA, embora não necessariamente de BPS. Os estabelecimentos foram divididos em categorias, tais como Alimentação, Saúde e bem-estar, Comércio de serviços, Transporte e mobilidade e Lazer e convivência.

Tabela 5: Concentração de BPS e BPA em amostras de diferentes tipos de estabelecimentos.

Amostra	Tipo de estabelecimento	BPA Free	Concentração de BPS ($\mu\text{g mg}^{-1}$)	Concentração de BPA ($\mu\text{g mg}^{-1}$)
1	Alimentação	não	0,0000	0,0000
2	Comércio e serviços	não	10,1281	0,0000
3	Alimentação	não	11,0392	0,0000
4	Alimentação	sim	0,0000	0,0000
5	Saúde e bem-estar	não	10,4710	0,0000
6	Comércio e serviços	sim	10,6830	0,0000
7	Alimentação	sim	10,0971	0,0000
8	Alimentação	não	10,2656	0,0000
9	Alimentação	sim	0,0000	0,0000
10	Alimentação	sim	10,6870	0,0000
11	Alimentação	sim	9,8851	0,0000
12	Transporte e mobilidade	não	11,8176	0,0000
13	Comércio e serviços	sim	10,4231	0,0000
14	Comércio e serviços	sim	11,7797	0,0000
15	Lazer e Convivência	não	10,0940	0,0000
16	Alimentação	não	11,1017	0,0000
17	Alimentação	sim	8,7683	0,0000
18	Transporte e mobilidade	não	11,4081	0,0000
19	Saúde e bem-estar	não	11,4241	0,0000
20	Transporte e mobilidade	não	11,8002	0,0000
21	Transporte e mobilidade	não	10,6790	0,0000
22	Comércio e serviços	não	21,9631	0,0000
23	Comércio e serviços	não	10,8012	0,0000
24	Alimentação	sim	10,2484	0,0000
25	Alimentação	sim	0,0000	0,0000
26	Comércio e serviços	sim	11,7421	0,0000
27	Comércio e serviços	não	0,0000	12,5045
28	Comércio e serviços	não	8,5439	0,0000
29	Alimentação	não	0,0000	17,8139
30	Alimentação	sim	0,0000	0,0000
31	Alimentação	sim	10,9193	0,0000
32	Lazer e Convivência	não	9,8704	0,0000
33	Transporte e mobilidade	não	11,6100	0,0000
34	Saúde e bem-estar	não	8,8727	0,0000
35	Alimentação	sim	10,3908	0,0000
36	Alimentação	não	11,3468	0,0000
37	Alimentação	não	0,0000	0,0000

38	Saúde e bem-estar	não	10,4189	0,0000
39	Lazer e Convivência	não	10,5953	0,0000
40	Comércio e serviços	não	0,0000	9,6223
41	Comércio e serviços	não	0,0000	29,0792
42	Comércio e serviços	não	10,2907	0,0000
43	Saúde e bem-estar	não	11,3394	0,0000
44	Saúde e bem-estar	não	8,6754	0,0000
45	Alimentação	não	9,0506	0,0000
46	Comércio e serviços	sim	10,7185	0,0000
47	Comércio e serviços	não	11,2492	0,0000
48	Lazer e Convivência	não	8,8655	0,0000
49	Alimentação	sim	10,2267	0,0000
50	Transporte e mobilidade	não	9,8495	0,0000
51	Alimentação	não	10,8566	0,0000
52	Alimentação	sim	0,0000	0,0000
53	Comércio e serviços	sim	7,3037	0,0000
54	Transporte e mobilidade	não	8,7342	0,0000
55	Alimentação	não	0,0000	0,0000
56	Alimentação	sim	11,7178	0,0000
57	Alimentação	não	11,1332	0,0000
58	Comércio e serviços	sim	7,7834	0,0000
59	Alimentação	não	0,0000	19,7543
60	Comércio e serviços	sim	11,3462	0,0000
61	Comércio e serviços	não	10,0686	0,0000
62	Saúde e bem-estar	não	0,0000	15,3923
63	Alimentação	não	9,0036	0,0000
64	Saúde e bem-estar	não	8,6672	0,0000
65	Transporte e mobilidade	não	0,0000	21,6905
66	Alimentação	não	11,5665	0,0000
67	Comércio e serviços	não	11,6038	0,0000
68	Alimentação	sim	11,3248	0,0000
69	Comércio e serviços	sim	11,0168	0,0000
70	Alimentação	sim	14,7139	0,0000
71	Alimentação	sim	10,4967	0,0000
72	Transporte e mobilidade	não	11,0728	0,0000
73	Comércio e serviços	não	7,1688	0,0000
74	Saúde e bem-estar	sim	0,1970	<LOD
75	Saúde e bem-estar	sim	10,6242	0,0000
76	Transporte e mobilidade	não	10,9665	0,0000
77	Saúde e bem-estar	não	0,0360	13,5161
78	Alimentação	não	17,3493	0,0000
79	Comércio e serviços	não	12,0166	0,0000
80	Saúde e bem-estar	não	11,8690	0,0000
81	Alimentação	sim	11,8138	0,0000
82	Saúde e bem-estar	sim	11,1476	0,0000
83	Comércio e serviços	não	0,0000	10,5787

Fonte: Autoria própria.

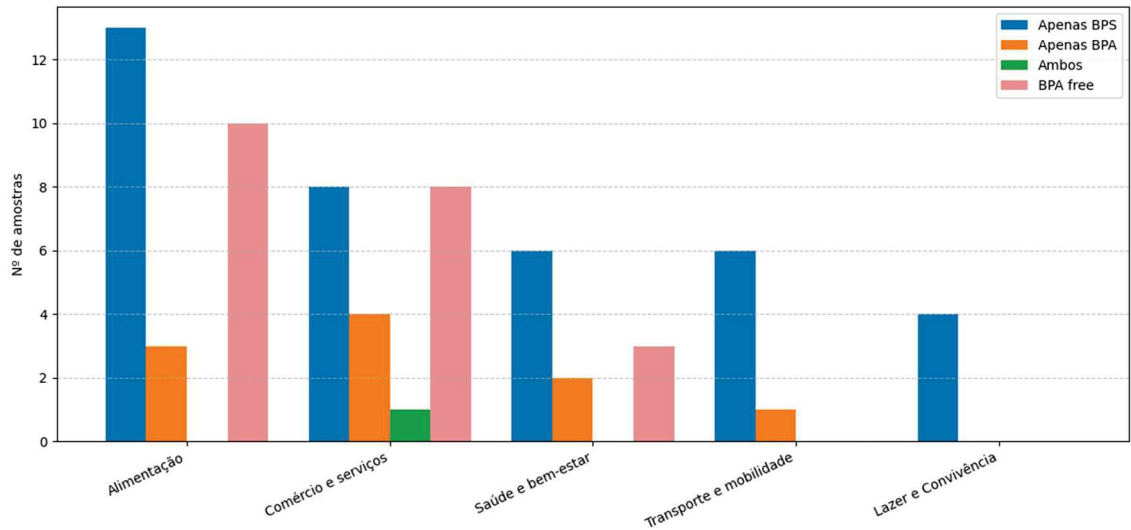
A análise dos resultados revela que o BPS é mais frequentemente detectado do que o BPA em praticamente todos os tipos de estabelecimento avaliados. Entre os diferentes setores, o segmento de Alimentação apresenta o maior número de amostras com detecção de BPS, totalizando 13 amostras, indicando uma presença consistente dessa substância em produtos ou superfícies associados a esse setor.

No caso de Saúde e bem-estar, observou-se a detecção simultânea de BPA e BPS em uma amostra, indicando que, embora essa coocorrência seja pouco frequente, ela pode ocorrer em ambientes onde há contato direto com materiais plásticos de uso recorrente, como equipamentos, embalagens e utensílios. Essa presença concomitante de ambos os bisfenóis sugere que, mesmo em setores voltados ao cuidado e à saúde, pode haver fontes potenciais de exposição a compostos com propriedades de desregulação endócrina.

É importante destacar que algumas amostras rotuladas como *BPA Free* ainda apresentaram detecção de BPS, evidenciando que a ausência de BPA não garante a ausência de outros bisfenóis, como o BPS. Isso ressalta a necessidade de considerar não apenas o rótulo, mas também a presença de análogos de bisfenóis, que podem ter efeitos biológicos semelhantes.

Setores como Transporte e mobilidade e Lazer e Convivência demonstraram uma predominância clara de BPS, com detecção mínima ou inexistente de BPA. Esses resultados sugerem que, embora a substituição do BPA por BPS seja uma estratégia adotada em diversos produtos e superfícies, a presença de BPS ainda é significativa, podendo representar uma via relevante de exposição ambiental para a população.

Os resultados obtidos indicam uma presença disseminada de BPS em praticamente todos os tipos de estabelecimento avaliados (Figura 17), sugerindo que a exposição humana a esse composto pode ser mais ampla do que a do BPA, inclusive em contextos de rotina laboral. Essa predominância do BPS, observada em ambientes de alimentação, saúde e bem-estar, transporte e mobilidade, aponta para uma exposição ocupacional potencialmente constante, especialmente entre trabalhadores que mantêm contato direto e repetitivo com materiais plásticos, recibos térmicos, embalagens e utensílios de consumo.

Figura 17: Detecção de BPA e BPS por tipo de estabelecimento.

Fonte: Autoria própria.

A exposição ocupacional a bisfenóis ocorre, principalmente, por via dérmica e inalatória, uma vez que esses compostos podem ser liberados de superfícies plásticas ou revestimentos sob o efeito do calor, atrito ou uso prolongado. Profissionais de áreas como alimentação (manipulação de embalagens e utensílios plásticos), saúde e bem-estar (contato com equipamentos, frascos e produtos de higiene) e transporte ou comércio (manuseio de papéis térmicos e materiais sintéticos) podem estar sujeitos a níveis de exposição crônica, ainda que em baixas doses.

A detecção de BPS em amostras rotuladas como *BPA Free* reforça a hipótese de substituição direta do BPA por BPS na formulação de materiais, sem redução efetiva do risco toxicológico. Essa substituição pode criar uma falsa sensação de segurança, tanto para consumidores quanto para trabalhadores, uma vez que o BPS apresenta propriedades de desregulação endócrina semelhantes às do BPA, com potenciais impactos sobre os sistemas hormonal, reprodutivo e metabólico.

Dessa forma, os resultados ressaltam a necessidade de ampliar as estratégias de avaliação de risco ocupacional, incluindo o monitoramento de BPS e outros análogos de bisfenóis em ambientes de trabalho. Medidas como uso de barreiras físicas (luvas adequadas), redução do contato com papéis térmicos, ventilação adequada e substituição por materiais verdadeiramente livres de bisfenóis devem ser consideradas como práticas preventivas importantes. Além disso, é fundamental promover a educação e conscientização ocupacional para que os trabalhadores

compreendam as fontes de exposição e adotem práticas seguras no manuseio de materiais potencialmente contaminados.

Sob a perspectiva da saúde pública, a presença generalizada de BPS e, em menor grau, de BPA, em diversos tipos de estabelecimentos, evidencia que a exposição não se restringe apenas ao ambiente ocupacional, mas se estende à população em geral, por meio do uso cotidiano de produtos e materiais contendo bisfenóis. A exposição contínua, ainda que em baixas concentrações, pode representar um risco cumulativo, com possíveis efeitos a longo prazo. Assim, políticas públicas voltadas ao controle da produção, substituição segura de substâncias e fortalecimento da vigilância sanitária são essenciais para reduzir a exposição e proteger a saúde humana frente aos bisfenóis e seus análogos.

2.5.6 Exposição ocupacional ao Bisfenol A e Bisfenol S

As ingestões diárias estimadas de BPA e BPS por diferentes populações numa média de pessoas com aproximadamente 70 Kg, comparando a exposição da população geral com a de trabalhadores que manuseiam papéis térmicos (como caixas e atendentes) foi estudada por vários grupos. De modo geral, observa-se que os valores de exposição ocupacional são muito superiores aos da população geral em todos os estudos. No Brasil (Rocha *et al.*, 2015), a ingestão mediana de BPA e BPS foi de 20 ng/kg/dia para a população geral e 1.014 ng/kg/dia para trabalhadores, chegando a um máximo de 1.429 ng/kg/dia. Na China, os estudos mostraram que para BPA (Lu *et al.*, 2013), a exposição média foi de 10 ng/kg/dia na população geral e 577 ng/kg/dia entre trabalhadores, com máximo de 4.957 ng/kg/dia. Para BPS (Liao *et al.*, 2012), a mediana foi de 4 ng/kg/dia na população geral e 312 ng/kg/dia entre trabalhadores, com máximo de 821 ng/kg/dia. Em outro estudo ainda na China (Fan *et al.*, 2015), a mediana de BPA foi 521 ng/kg/dia na população geral e 1.753 ng/kg/dia entre trabalhadores, podendo atingir 3.280 ng/kg/dia. Nos Estados Unidos (Thayer *et al.*, 2016), foi observado que caixas de estabelecimentos comerciais apresentavam níveis urinários de BPA e BPS significativamente mais altos após o expediente, indicando exposição direta durante o trabalho.

No geral, trabalhadores que manipulam papéis térmicos estão expostos a concentrações de BPA e BPS de 10 a até 500 vezes maiores que as da população geral, evidenciando o risco ocupacional associado ao contato frequente com recibos contendo esses compostos.

2.5.7 Absorção dérmica e retenção cutânea de BPA e BPS: implicações para a exposição ocupacional

Estudos *in vitro* e controlados demonstram que o BPA é capaz de penetrar a pele em diferentes proporções, variando conforme o meio de exposição, podendo alcançar até 60% da dose aplicada em condições experimentais (Demierre *et al.*, 2012). Em comparação, o BPS apresenta menor taxa de absorção transdérmica, frequentemente inferior a 1%, porém tende a permanecer retido na pele, formando um reservatório que pode liberar o composto gradualmente para a circulação (Champmartin *et al.*, 2020). A manipulação de recibos térmicos constitui uma via importante de exposição dérmica a ambos os bisfenóis, especialmente em situações que comprometem a barreira cutânea, como o uso de álcool ou a presença de suor e graxa (Bernier; Vandenberg, 2017). Essa combinação de absorção cutânea e retenção prolongada favorece exposições sistêmicas estendidas e maior presença de formas não conjugadas, biologicamente ativas, o que reforça a importância de considerar a via dérmica na avaliação do risco ocupacional associado ao BPA e BPS (Reale; Vernez; Hopf, 2021).

3. CONCLUSÕES

O método cromatográfico desenvolvido mostrou-se seletivo, sensível, preciso e exato para a análise simultânea de BPA e BPS em papéis térmicos, revelando que a maioria das amostras apresentou detecção de um ou ambos os compostos, com predominância de BPS, inclusive em papéis rotulados como *BPA Free*.

As concentrações de BPS variaram aproximadamente entre 0 e 21,96 µg/mg, enquanto as de BPA variaram entre 0 e 29,08 µg/mg, sendo estas muito superiores aos limites regulatórios internacionais para BPA em papéis térmicos (~0,2 µg/mg ou 200 µg/g). Esses valores indicam exposição potencial relevante, especialmente ocupacional, considerando a absorção cutânea documentada para ambos os bisfenóis.

Os resultados reforçam a necessidade de implementação de medidas regulatórias e de vigilância para limitar o uso de bisfenóis em papéis térmicos, bem como de pesquisa e desenvolvimento de alternativas seguras que mantenham o desempenho funcional dos materiais sem apresentar efeitos nocivos à saúde. Além disso, o descarte inadequado desses papéis representa uma fonte de contaminação

ambiental significativa, podendo liberar BPA e BPS em solos, águas superficiais e aquíferos, afetando ecossistemas aquáticos e a qualidade da água para consumo humano.

Apesar das alternativas disponíveis, existem desafios importantes. A adoção de novas tecnologias exige adaptações em equipamentos e processos industriais, além de avaliações detalhadas do ciclo de vida para garantir sustentabilidade efetiva. Outra limitação é que algumas soluções ou processos químicos ainda não estão amplamente comercializados ou padronizados globalmente, o que restringe seu uso em larga escala. Portanto, embora alternativas existam, a implementação segura e sustentável requer cuidados técnicos, regulatórios e econômicos.

4. REFERÊNCIAS

- ARCE, M.M.; ORTIZ, M.C; SANLLORENTE S. HPLC-DAD and PARAFAC for the determination of bisphenols in water samples. *Microchemical Journal*, v. 169, p. 106607, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106413>. Acesso em: 6 ago. 2025.
- BERNIER M.R.; VANDENBERG L.N. Handling of thermal paper: Implications for dermal exposure to bisphenol A and its alternatives, 2017. *PLOS ONE*, v.12 n.6, e0178449. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178449>. Acesso em: 01 nov. 2015.
- BJÖRNSDOTTER, M.K.; DE BOER, J.; BALLESTEROS-GÓMEZ, A. Bisphenol A and replacements in thermal paper: A review. *Chemosphere* v.182, p. 691-706, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.070>. Acesso em: 07 ago. 2025.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 166, de 24 de julho de 2017. Dispõe sobre a validação de métodos analíticos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2017/rdc0166_24_07_2017.pdf 15 set. 2025.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 41, de 16 de setembro de 2011. Proíbe a fabricação e a importação de mamadeiras que contenham bisfenol A (BPA). *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 19 set. 2011. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/res0041_16_09_2011.html. Acesso em: 4 ago. 2025.
- CÂMARA DOS DEPUTADOS (Brasil). Projeto proíbe o uso de bisfenol na fabricação de papéis térmicos, 2025. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/1099906-projeto-proibe-o-uso-de-bisfenol-na-fabricacao-de-papeis-termicos>. Acesso em: 04 ago. 2025.
- CHAMPMARTIN C.; MARQUET F.; CHEDIK L.; AUBERTIN M.; SEIWERT C.; VITON S.; COSNIER F. Human *in vitro* percutaneous absorption of bisphenol S and bisphenol A: a comparative study. *Chemosphere*. v. 252 n. 126525, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126525>. Acesso em: 07 ago. 2025.
- CHEMICALBOOK. Bisphenol A (CAS 80 05 7). [S.l.]: ChemicalBook, 2025. [Internet]. Disponível em: https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB5854419.htm. Acesso em: 07 ago. 2025.
- COSTA, G. A. G; ASSIS, C. M. Papel térmico: panorama e desafios para sua substituição. *IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 9., 2018, São Bernardo do Campo. Anais [...]*, São Bernardo do Campo, 2018, p.1-8. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/III-032.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2025.

DEMIERRE A. L.; PETER R.; OBERLI A.; BOURQUI-PITTET M. Dermal penetration of bisphenol A in human skin contributes marginally to total exposure. *Toxicology Letters*, v. 213, n. 3, p. 305-308, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.07.001>. Acesso em: 08 ago. 2025.

ECKARDT, M.; KUBICOVA, M.; TONG, D.; SIMAT, T. J. Determination of color developers replacing bisphenol A in thermal paper receipts using diode array and Corona charged aerosol detection-A German market analysis 2018/2019. *Journal of Chromatography A*, v. 1609, p. 460437, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.460437>. Acesso em: 08 ago. 2025.

ECOLOGYCENTER. About BPA and BPS in Receipt Paper. Ecology Center, 2025. Disponível em: <https://www.ecocenter.org/about-bpa-and-bps-receipt-paper>. Acesso em: 8 ago. 2025.

EPA - U.S. Environmental Protection Agency. Bisphenol A Alternatives in Thermal Paper: Final Report. Washington, DC, EPA, 2015. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/bpa_final.pdf. Acesso em: 8 ago. 2025.

EURECICLO. Entenda a diferença entre Bisfenol A e Bisfenol S, 2023a Disponível em: <https://blog.eureciclo.com.br/entenda-a-diferenca-entre-bisfenol-a-e-bisfenol-s/>. Acesso em: 7 ago. 2025.

EURECICLO. Quais os riscos ambientais que o descarte incorreto do plástico traz?, 2023b. Disponível em: <https://blog.eureciclo.com.br/quais-os-riscos-ambientais-que-o-descarte-incorreto-do-plastico-traz/>. Acesso em: 7 ago. 2025.

FAN, R.; ZENG, B.; LIU, X.; CHEN, C.; ZHUANG, Q.; WANG, Y.; HU, M.; LV, Y.; LI, J.; ZHOU, Y.; LIN, Z.Y.W. Levels of bisphenol-A in different paper products in Guangzhou, China, and assessment of human exposure via dermal contact. *Environ Sci. Process. Impacts*, v. 17, p. 667-673, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C4EM00621F>. Acesso em: 4 ago. 2025.

FRANKO, N.; KODILA, A.; SOLLNER DOLENC, M. Adverse outcomes of the newly emerging bisphenol A substitutes. *Chemosphere*, v. 364, p. 143147, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143147>. Acesso em 04 ago. 2025.

FRANKOWSKI, R.; ZGOLA-GRZESKOWIAK, A.; GRZESKOWIAK, T.; SOJKA, K. The presence of bisphenol A in the thermal paper in the face of changing European regulations – a comparative global research. *Environm. Pollut*, v. 265, p. 1-9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114879>. Acesso em 04 ago 2025.

GRACITELLI, P. Bisfenol A – um disruptor endócrino, 2014. Disponível em: <https://www.drapatricia.com/blog/bisfenol-a>. Acesso em: 04 ago. 2025.

GUIMARÃES. G. Pesquisa revela os perigos do bisfenol S para a saúde do coração. Universidade Federal Fluminense, 2024. Disponível em: <https://www.uff.br/04-11-2024/pesquisa-revela-os-perigos-do-bisfenol-s-para-a-saude-do-coracao/>. Acesso em: 07 ago. 2025.

HIROI, H., TSUTSUMI, O., MOMOEDA, M., TAKAI, Y., OSUGA, Y., & TAKETANI, Y. Differential interactions of bisphenol A and 17beta-estradiol with estrogen receptor alpha (ERalpha) and ERbeta. *Endocrine journal*, v. 46, n. 6, p. 773–778, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1507/endocrj.46.773>. Acesso em: 03 ago. 2025.

HORMANN, A.; VOM SAAL, F.; NAGEL, S.; STAHLHUT, R.; MOYER, C.; ELLERSIECK, M.; WELSHONS, W.; TOUTAIN, P.; TAYLOR, J. Holding Thermal Receipt Paper and Eating Food after Using Hand Sanitizer Results in High Serum Bioactive and Urine Total Levels of Bisphenol A (BPA). *PLoS ONE*, v.9, n.10, e110509, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110509>. Acesso em: 12 ago. 2025.

INFOVAREJO. BPA e o varejo, como essa substância tóxica está presente na sua loja? 2022. Disponível em: <https://infovarejo.com.br/bpa-loja/>. Acesso em: 12 jun. 2025.

INFOVAREJO. Papel térmico, tudo o que você precisa saber, 2024. Disponível em: <https://infovarejo.com.br/papel-termico/>. Acesso em: 7 ago. 2025.

LEEF YOUR LIFE. O perigo escondido nos talões: O que não te dizem sobre o papel térmico, 2024. Disponível em: <https://www.leefyourlife.com/blog/o-perigo-escondido-nos-recibos?rq=Perigo>. Acesso em: 2 ago. 2024.

LIAO, C.; LIU, F.; ALOMIRAH, H.; LOI, V.D.; MOHD, M.A.; MOON, H.B.; NAKATA, H.; KANNAN, K. Bisphenol S in urine from the United States and seven Asian Countries: Occurrence and Human Exposures. *Environ Sci Technol.*, v. 46, n. 12, p. 6860-6866, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es301334j>. Acesso em: 07 ago. 2025.

LIU, J.; ZHANG, L.; LU, G.; JIANG, R.; YAN, Z.; LI, Y. Occurrence, toxicity and ecological risk of Bisphenol A analogues in aquatic environment - a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 208, p. 111481, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111481>. Acesso em: 07 ago. 2025.

LU, S.Y.; CHANG W.J.; SOJINU, S.O.; NI, H.G. Bisphenol A in supermarket receipts and its exposure to human in Shenzhen, China. *Chemosphere*, v. 92, p. 1190–1194, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.096>. Acesso em: 07 ago. 2025

MAHDAVIANPOUR, M.; CHAMKOURI, N.; CHAMKOURI, H.; KOLIVAND, Z.; NOORIZADEH, N.; MALAKEH, S. M. A.; KARAMI, S. Determination of bisphenol A migration from food packaging by dispersive liquid-liquid microextraction. *MethodsX*, v. 8, p.101415, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101415>. Acesso em: 06 ago. 2025.

MANUSEAR nota fiscal pode fazer mal à saúde? BBC NEWS BRASIL, 2025. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c15wep4kq71o>. Acesso em: 7 ago. 2025.

MENDUM, T.; STOLER E.; VAN BENSCHOTEN H.; WARNER J.C. Concentration of bisphenol A in thermal paper. *Green Chemistry Letters and Reviews*, v. 4, p. 81-86, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17518253.2010.502908>. Acesso em: 07

ago. 2025.

MOLINA-LÓPEZ, A. M.; BUJALANCE-REYES, F.; AYALA-SOLDADO, N.; MORA-MEDINA, R.; LORA-BENÍTEZ, A.; MOYANO-SALVAGO, R. An overview of the health effects of Bisphenol A from a One Health perspective. *Animals*, v. 13, n. 15, p. 2439, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani13152439>. Acesso em: 02 nov. 2025.

MOLINA-MOLINA, J.M.; JIMÉNEZ-DÍAZ, I.; FERNÁNDEZ, M.F.; RODRIGUEZ-CARRILLO, A.; PEINADO, F.M.; MUSTIELES, V.; BAROUKI, R.; PICCOLI, C.; OLEA, N.; FREIRE, C. Determination of bisphenol A and bisphenol S concentrations and assessment of estrogen- and anti-androgen-like activities in thermal paper receipts from Brazil, France, and Spain, *Environmental Research*, v. 170, p. 406-415, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.046>. Acesso em: 07 ago. 2025

NADERI, M.; KWONG, R.W.M. A comprehensive review of the neurobehavioral effects of bisphenol S and the mechanisms of action: New insights from *in vitro* and *in vivo* models. *Environmental International*, v. 145, p. 106078, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106078>. Acesso em: 11 abr. 2025.

PENSAMENTO VERDE. Como a bioacumulação pode prejudicar a cadeia alimentar e o homem, 2013. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/bioacumulacao-prejudicar-cadeia-alimentar-homem/>. Acesso em: 07 ago. 2025.

PUBCHEM. *Bisphenol A*. CID 6623. National Center for Biotechnology Information, 2025. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Bisphenol-A>. Acesso em: 7 ago. 2025.

REALE, E.; VERNEZ, D.; HOPF, N.B. Skin Absorption of Bisphenol A and Its Alternatives in Thermal Paper. *Annals of Work Exposures and Health*, v. 65, n. 2, p. 206-218, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/annweh/wxaa095>. Acesso em: 02 ago. 2025.

RECIBOS de cartão bancário liberam substância tóxica, diz estudo. UOL, 2014. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/saude/ultimas-noticias/estado/2014/02/27/recibos-de-cartao-bancario-liberam-substancia-toxica-diz-estudo.htm>. Acesso em: 08 ago. 2025.

RIGOPOULOS, A.T.; SAMANIDOU, V.F.; TOURAKI, M. Development and Validation of an HPLC-DAD Method for the Simultaneous Extraction and Quantification of Bisphenol-A, 4-Hydroxybenzoic Acid, 4-Hydroxyacetophenone and Hydroquinone in Bacterial Cultures of *Lactococcus lactis*. *Separations*, v. 5, n. 1, p. 12, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/separations5010012>. Acesso em: 06 ago. 2025.

ROCHA, B.R.; AZEVEDO, L.F.; GALLIBERTI, M.; CAMPIGLIA, A.D.; BARBOSA, F. Jr. High Levels of Bisphenol A and Bisphenol S in Brazilian Thermal Paper Receipts and Estimation of Daily Exposure. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, v. 38, n. 18 p. 1181-1188, 2015. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/15287394.2015.1083519>. Acesso em: 07 ago. 2025.

ROCHESTER, J.R. Bisphenol A and human health: A review of the literature. *Reproductive Toxicology*, v. 42, p. 132–155, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2013.08.008>. Acesso em: 08 ago. 2025.

ROCHESTER, J.R.; BOLDEN, A.L. Bisphenol S and F: a systematic review and comparison of the hormonal activity of bisphenol A substitutes. *Environmental Health Perspectives*, v. 123, n. 7, p. 643-650, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.1408989>. Acesso em: 08 ago. 2025.

RUSSO, G.; BARBATO, F.; GRUMETTO, L. Monitoring of bisphenol A and bisphenol S in thermal paper receipts from the Italian market and estimated transdermal human intake: A pilot study. *Science of The Total Environment*, v. 599-600, p. 68-75, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.192>. Acesso em: 06 ago. 2025.

SANTOS, B. A. *Efeitos da exposição ao bisfenol S e dieta hiperlipídica no remodelamento cardíaco*. 74 p. Tese (Doutorado em Ciências Biomédicas) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/29941>. Acesso em: 04 ago. 2025.

SEMERJIAN, L.; ALAWADHI, N.; NAZER, K. Detection of bisphenol A in thermal paper receipts and assessment of human exposure: a case study from Sharjah, United Arab Emirates. *PLOS ONE*, v. 18, n. 3, e0283675, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283675>. Acesso em: 08 ago. 2025.

SERINI, V. Polycarbonates. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim, 2000. Disponível em: https://doi.org/10.1002/14356007.a21_207. Acesso em: 08 ago. 2025.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENDOCRINOLOGIA E METABOLOGIA. Entenda o que são os desreguladores endócrinos e onde eles estão presentes, c2025. Disponível em: <https://www.endocrino.org.br/noticias-de-departam/entenda-o-que-sao-desreguladores-endocrinos/>. Acesso em: 04 ago. 2025.

THAYER, K. A.; TAYLOR, K. W.; GARANTZIOTIS, S.; SCHURMAN, S. H.; KISSLING, G. E.; HUNT, D.; HERBERT, B.; CHURCH, R.; JANKOWICH, R.; CHURCHWELL, M. I.; SCHERI, R. C.; BIRNBAUM, L. S.; BUCHER, J. R. Bisphenol A, Bisphenol S, and 4-Hydroxyphenyl 4-Isopropoxyphenylsulfone (BPSIP) in Urine and Blood of Cashiers. *Environmental health perspectives*, v. 124, n. 4, p. 437–444, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.1409427>. Acesso em: 07 ago. 2025.

TOCAR recibos do comércio contamina o corpo com substância ligada ao câncer. CORREIO24HORAS, 2025. Disponível em: <https://www.correio24horas.com.br/em-alta/tocar-recibos-do-comercio-contamina-o-corpo-com-substancia-ligada-ao-cancer-0725>. Acesso em: 23 junho 2025.

UE proíbe bisfenol A em mamadeiras, BBC NEWS BRASIL, 2010. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/ciencia/2010/11/101125_bisfenol_mamadeira_rc. Acesso em: 7 ago. 2025.

UGLEA, C. V.; NEGULESCU, I. I. *Synthesis and Characterization of Oligomers*. Boca Raton: CRC Press, 1991. Disponível em: <https://archive.org/details/synthesischaract0000ugle/page/n5/mode/2up>. Acesso em: 8 ago. 2025.

VILLALÁIN J. Bisphenol F and Bisphenol S in a Complex Biomembrane: Comparison with Bisphenol A. *Journal of xenobiotics*, v. 14, n. 3, p. 1201–1220, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jox14030068>. Acesso em: 23 abr. 2025.

VIÑAS, R.; WATSON, C.S. Bisphenol S disrupts estradiol-induced nongenomic signaling in a rat pituitary cell line: effects on cell functions. *Endocrinology*, v. 121, n. 3, p. 352-358, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.1205826>. Acesso em: 08 ago. 2025.

XU, Z.; TIAN L.; LIU, L.; GOODYER, C.G.; HALES, B.F.; BAYEN, S. Food thermal labels are a source of dietary exposure to Bisphenol S and other color developers. *Environmental Science & Technology*, v.57, n.12, p. 4984-4991, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c09390>. Acesso em: 13 abr. 2025.

5. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BIEDERMANN, S.; TSCHUDIN P.; GROB. K. Transfer of bisphenol A from thermal printer paper to the skin, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 398 p. 571-576. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00216-010-3936-9>. Acesso em: 07 ago. 2025.

CHEN, D.; KANNAN, K.; TAN, H.; ZHENG, Z.; FENG, Y.L.; WU, Y.; WIDELKA, M. Bisphenol Analogues Other Than BPA: Environmental Occurrence, Human Exposure, and Toxicity – A Review. *Environmental International*, v. 89-90, p. 212-226, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05387>. Acesso em 08 ago. 2025.

GEENS, T.; GOEYENS L.; KANNAN K.; NEELS H.; COVACI A. Levels of bisphenol-A in thermal paper receipts from Belgium and estimation of human exposure. *Science of the Total Environment*, v.435, p. 30-33, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.016/j.scitotenv.2012.07.001>. Acesso em 07 ago 2025.

GREEN Chemistry and Design: BPA in Thermal Paper. MINNESOTA POLLUTION CONTROL AGENCY, 2022. Disponível em: <https://www.pca.state.mn.us/quick-links/green-chemistry-and-design-bpa-thermal-paper>. Acesso em: 7 ago. 2025.

LASSEN, C.; MIKKELSEN S.H.; BRANDT U.K. Migration of bisphenol A from cash register receipts and baby dummies. Survey of Chemical Substances in Consumer Products, 2011. Danish Ministry of the Environment. <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2011/04/978-87-92708-93-9.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2025.

LIAO, C.; KANNAN K. Widespread Occurrence of Bisphenol A In Paper and Paper Products: Implications For Human Exposure. *Environmental Science & Technology*, v. 45, p. 9372–79, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es202507f>. Acesso

em: 07 ago. 2025.

SUBSTITUIÇÕES tóxicas ao BPA contaminam recibos de lojas e cartões de crédito. NOSSO FUTURO ROUBADO, 2024. Disponível em:

<https://nossofuturoroubado.com.br/substituicoes-toxicas-ao-bpa-contaminam-recibos-de-lojas-e-cartoes-de-credito/>. Acesso em: 1 ago. 2025.

TUZIMSKI, T.; SZUBARTOWSKI, S.; GADZALA-KOPCIUCH, R.; MITURSKI, A.; WÓJTOWICZ-MARZEC, M.; KWAŚNIEWSKI, W.; BUSZEWSKI, B. Comparison of DAD and FLD Detection for Identification of Selected Bisphenols in Human Breast Milk Samples and Their Quantitative Analysis by LC-MS/MS. *Journal of AOAC International*, v. 103, n. 4, p. 1029–1042, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsaa027>. Acesso em: 06 ago. 2025.

WOJNOWSKA-BARYLA, I.; BERNAT, K.; ZABOROWSKA, M. Plastic Waste Degradation in Landfill Conditions: The Problem with Microplastics, and Their Direct and Indirect Environmental Effects. *International journal of environmental research and public health*, v. 19 n. 20, p. 13223, 2022. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/ijerph192013223>. Acesso em: 7 ago. 2025.