



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

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

**Elisa Ferraz Silveira
Hellen Grace Silva Cerimarco
Luiza Nadalini Cantoviks
Nícolas Augusto de Lima Bagarollo**

**REAPROVEITAMENTO E RECICLAGEM DO POLIESTIRENO
EXPANDIDO PARA OBTENÇÃO DE UM PRODUTO RENTÁVEL E
PROVEITOSO**

**Piracicaba – SP
2025**

**Elisa Ferraz Silveira
Hellen Grace Silva Cerimarco
Luiza Nadalini Cantoviks
Nícolas Augusto de Lima Bagarollo**

**REAPROVEITAMENTO E RECICLAGEM DO POLIESTIRENO
EXPANDIDO PARA OBTENÇÃO DE UM PRODUTO RENTÁVEL E
PROVEITOSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado do 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

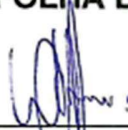
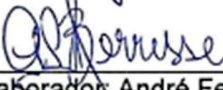
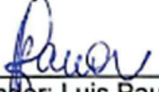
Elisa Ferraz Silveira
Hellen Grace Silva Cerimarco
Luiza Nadalini Cantoviks
Nícolas Augusto de Lima Bagarollo

REAPROVEITAMENTO E RECICLAGEM DO POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA OBTENÇÃO EM UM PRODUTO RENTÁVEL E PROVEITOSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado do 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.

Data de aprovação: 19/11/25

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	 Prof. 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

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos aos professores Wagner Ferreira e Eduardo Antedomenico, por todo o auxílio durante este trabalho.

Em seguida, um agradecimento ao auxiliar docente André Cera da Etec 'Cel. Fernando Febeliano da Costa', pelo apoio durante a realização das atividades práticas do trabalho e fornecimento do dióxido de titânio e equipamentos da escola, também ao técnico Matheus Galdino da Fatec Piracicaba - Dep. Roque Trevisan, que esteve presente nos auxiliando na parte prática final.

Por fim, agradecemos ao prof. Dr. Eduardo Mariano do laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura/Universidade de São Paulo (CENA/USP) pelo financiamento do solvente orgânico D-limoneno, que permitiu a realização deste trabalho.

"Na natureza nada se cria, tudo se copia."
Antoine Lavoisier

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo desenvolver uma tinta impermeável, sustentável e de baixo custo a partir do reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (EPS), conhecido como isopor, utilizando o D-limoneno como solvente orgânico. O estudo propôs uma alternativa ambientalmente viável para o descarte inadequado desse polímero, amplamente utilizado e de difícil reciclagem. A metodologia consistiu na preparação de amostras de tinta obtidas pela dissolução do EPS em D-limoneno, seguidas da adição de dióxido de titânio (TiO_2) como pigmento. Foram realizados testes de secagem, área de cobertura e impermeabilidade em substratos de cortiça e papelão. Os resultados demonstraram que a tinta apresentou tempo de secagem reduzido em comparação às tintas comerciais e boa impermeabilidade nas amostras 5 e 6, enquanto a área de cobertura foi inferior ao esperado, exigindo maior quantidade de produto por metro quadrado. Constatou-se, portanto, que o EPS pode ser reutilizado como matéria-prima na produção de tintas impermeabilizantes, contribuindo para a redução de resíduos plásticos e para a sustentabilidade ambiental. Recomenda-se a realização de novos estudos com variação de aditivos e aplicação em diferentes superfícies para otimizar o desempenho do produto.

Palavras-chave: poliestireno expandido; reciclagem; d-limoneno; tinta sustentável; impermeabilidade.

ABSTRACT

This Final Paper aimed to develop a waterproof, sustainable, and low-cost paint from the reuse of expanded polystyrene (EPS) waste, commonly known as Styrofoam, using D-limonene as an organic solvent. The study proposed an environmentally viable alternative for the inappropriate disposal of this polymer, which is widely used and difficult to recycle. The methodology consisted of preparing paint samples obtained by dissolving EPS in D-limonene, followed by the addition of titanium dioxide (TiO_2) as a pigment. Drying time, coverage area, and waterproofing tests were carried out on cork and cardboard substrates. The results showed that the paint exhibited a reduced drying time compared to commercial paints and good waterproofing in samples 5 and 6, while the coverage area was lower than expected, requiring a greater amount of product per square meter. Therefore, it was found that EPS can be reused as a raw material in the production of waterproof paints, contributing to plastic waste reduction and environmental sustainability. Further studies are recommended with the addition of different additives and application on various civil surfaces to optimize product performance.

Key words: expanded polystyrene; recycling; d-limonene; sustainable paint; waterproofing.

SUMÁRIO

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Justificativa	10
1.2	Problema de Pesquisa	10
1.3	Hipóteses	11
2	Objetivo Geral e Objetivos Específicos	11
2.1	Objetivo geral	11
2.2	Objetivos específicos	11
3	DESENVOLVIMENTO	12
3.1	Fundamentação Teórica	12
3.1.1.	Definição de Tintas	12
3.1.2.	Definição dos Polímeros (isômeros ópticos) e a aplicação na indústria têxtil	13
3.1.3.	Isopor (características físico-químicas), utilização industrial e descarte indevido	19
3.1.4.	Aplicações industriais do D- Limoneno (Características físico-químicas)	21
3.1.5.	Aplicação de corantes orgânicos e inorgânicos na indústria têxtil	24
3.1.6.	Corantes inorgânicos	27
3.1.7.	Importância das tintas orgânicas (solventes orgânicos/plastificantes/poder de fixação) na indústria têxtil ...	29
3.1.8.	Problemática do descarte de tintas e metais bioacumulativos (descarte indevido x descarte correto)	30
3.1.9.	Legislação para registro, comercialização e descarte de tintas	32
3.2.	Metodologia	33
3.2.1.	Preparo da Tinta	34
3.2.2.	Aplicação	36
3.2.3.	Teste de Secagem	37
3.2.4.	Área de Cobertura	38
3.2.5.	Teste de Impermeabilidade	38
3.3.	Resultados e discussão	39
4.	CONCLUSÃO	43

5. REFERÊNCIAS	44
----------------------	----

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A poluição é um mal generalizado no mundo, um dos componentes presente na grande quantidade de resíduos não reciclados é o poliestireno expandido, popularmente conhecido como isopor. De acordo com um estudo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por ano, mais de 36,6 mil toneladas do material são utilizadas no País, sendo somente 30% disso devidamente reciclado (SMURFIT, 2022).

Em 2020, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) mostrou que o isopor era o segundo tipo de resíduo plástico mais encontrado nos mares brasileiros, representando 10% de todos os plásticos presentes (BRASIL, 2021).

Essas taxas baixas de reciclagem advêm das dificuldades econômicas e de logística, pois o custo para o atual método de reciclagem do poliestireno é muito caro assim como o transporte, sendo um composto muito leve ocupa muito espaço para pouco peso dificultando a logística por trás da coleta e armazenamento do mesmo (RBJ, 2025).

Neste trabalho é pretendido desenvolver um método de reciclagem do EPS buscando deixar o processo mais barato, com o intuito de ajudar a diminuir a poluição advinda do poliestireno expandido.

Vale ressaltar que a ideia do trabalho é uma continuação de pesquisa de outros trabalhos desenvolvidos em outras ETECs.

1.2 Problema de Pesquisa

A presente pesquisa reúne dados de testes práticos com o intuito de responder ao seguinte problema de pesquisa: “Pode ser feito algo para aumentar a taxa de reciclagem do poliestireno expandido criando outro método de reciclagem possivelmente mais vantajoso? ”.

1.3 Hipóteses

Tendo analisado todos os resultados obtidos pelos testes feitos usando o EPS para o método escolhido para a reutilização do mesmo, a hipótese levantada por esta pesquisa é de que a utilização do D-limoneno misturado com o poliestireno possa produzir a base para uma tinta impermeabilizante, que renda bastante e tenha um custo vantajoso de produção, se tornando um recurso viável para a reutilização do poliestireno, tendo o intuito de produzir e no final ter uma tinta utilizável a base de EPS.

2 Objetivo Geral e Objetivos Específicos

2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem por objetivo a fabricação de um produto rentável e ecologicamente sustentável, visando solucionar o grande problema de descarte indevido do Poliestireno Expandido.

2.2 Objetivos específicos

Transformar uma resina orgânica em uma tinta impermeável à água por meio da dissolução do Poliestireno Expandido (EPS) em D-limoneno, afim de gerar um produto sustentável a partir de seu processamento.

Aplicar a tinta resultante em superfícies derivadas da madeira para testar suas propriedades e resistência e sua possível degradação em função de exposição ao ambiente.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1. Fundamentação Teórica

3.1.1. Definição de Tintas

A tinta, um material complexo e multifacetado, pode ser definida como uma dispersão coloidal de pigmentos finamente divididos em um meio líquido, que ao ser aplicada sobre uma superfície, forma uma película sólida, aderente e contínua (WICKS et al., 2007). Essa definição, embora abrangente, revela a natureza essencial da tinta como um sistema de múltiplos componentes interagindo para alcançar um propósito específico: a modificação estética e protetiva de substratos.

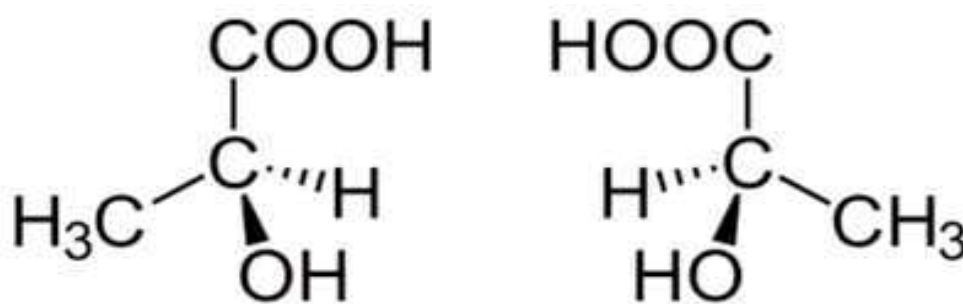
Segundo Patton (1999), a tinta é fundamentalmente composta por quatro elementos principais: o ligante (resina), o pigmento, o solvente e os aditivos. O ligante, ou resina, é o componente formador de filme, responsável por conferir coesão à tinta e adesão ao substrato (LAMBOURNE & STRIVENS, 1999). Os pigmentos, por sua vez, são partículas sólidas insolúveis que fornecem cor, opacidade e, em alguns casos, propriedades protetivas adicionais, como resistência à corrosão (SMITH, 2013). O solvente, também conhecido como veículo, atua como um meio dispersante para os outros componentes, ajustando a viscosidade da tinta para facilitar a aplicação (BIERWAGEN, 2000). Após a aplicação, o solvente evapora, permitindo a formação do filme sólido. Finalmente, os aditivos são substâncias adicionadas em pequenas quantidades para modificar propriedades específicas da tinta, como tempo de secagem, brilho, resistência a intempéries e outras características desejáveis (TAKAHASHI, 1995). A formulação de uma tinta, portanto, é um processo complexo que envolve a seleção cuidadosa de cada componente e a otimização de suas proporções para atender aos requisitos de desempenho desejados (CALVERT, 2001). A interação entre os componentes da tinta, bem como as propriedades do substrato, influenciam diretamente as características finais da película, como cor, brilho, durabilidade e resistência (NEVILLE, 2012). Em suma, a tinta é um sistema coloidal complexo, cuja definição abrange a dispersão de pigmentos em um meio líquido contendo ligantes, solventes e aditivos, resultando em uma película sólida com propriedades estéticas e protetivas. A compreensão detalhada de cada componente e suas interações é crucial para o desenvolvimento de tintas com desempenho otimizado para diversas aplicações (ASHBY & JOHNSON, 2013).

3.1.2. Definição dos Polímeros (isômeros ópticos) e a aplicação na indústria têxtil

Polímeros (do grego, significa “muitas partes”), são macromoléculas formadas pela repetição de unidades menores (monômeros), desempenham um papel crucial em diversas áreas, desde materiais de embalagem até aplicações biomédicas (STEVENSON, 1999). A estrutura molecular dos polímeros, incluindo a organização espacial dos átomos, influencia diretamente suas propriedades físicas e químicas (CALLISTER; RETHWISCH, 2010).

Nesse contexto, a isomeria, fenômeno em que moléculas possuem a mesma fórmula molecular, mas diferentes arranjos atômicos, assume um papel fundamental na determinação das características dos polímeros (ALLCOCK; LAMPE; MARK, 2003). A isomeria óptica, um tipo específico de isomeria, ocorre quando uma molécula não é sobreponível à sua imagem especular, assim como as mãos direita e esquerda (VOLLHARDT; SCHORE, 2011).

Figura 1: Isomeria ocorrida na molécula do ácido láctico



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/isomeria-Optica.htm>

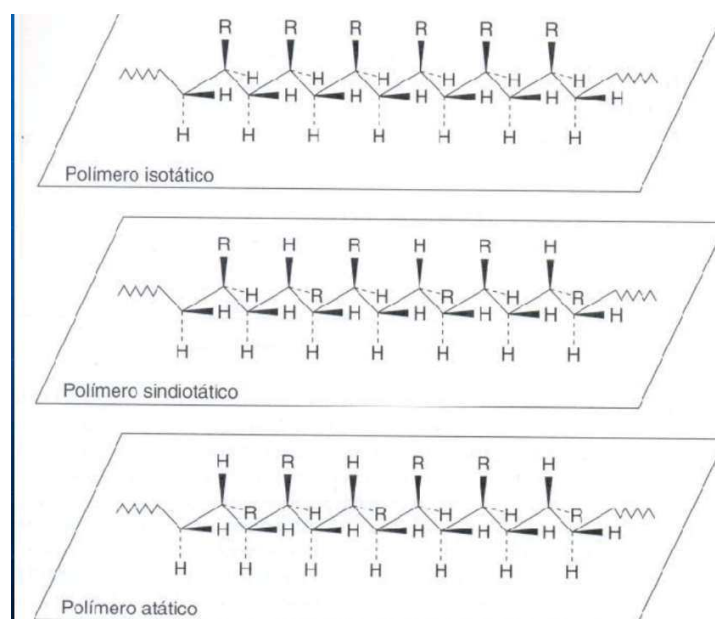
Essa propriedade, também conhecida como quiralidade, é de particular importância em polímeros, pois pode afetar significativamente suas propriedades, como cristalinidade, temperatura de transição vítrea e biocompatibilidade (ODIAN, 2004). Em polímeros, a isomeria óptica surge da presença de centros quirais ao longo da cadeia polimérica, geralmente átomos de carbono tetraédricos ligados a quatro substituintes diferentes (YOUNG; LOVELL, 2011):

Vale ressaltar que as cadeias orgânicas que apresentam isômeros ópticos ativos, de acordo com seu carbono assimétricos são divididos em dextrogiro, desvia a luz para a direita, e levogiro, desvia a luz para esquerda (KOTZ, et al., 2010).

A sequência dessas configurações ao longo da cadeia polimérica define a estereoquímica do polímero, que pode ser isotática, sindiotática ou atática (ELIAS, 2007).

Polímeros isotáticos possuem todos os centros quirais com a mesma configuração (R ou S), resultando em uma estrutura altamente ordenada e cristalina (FLORY, 1953). Polímeros sindiotáticos apresentam uma alternância regular nas configurações dos centros quirais (R, S, R, S), levando a um grau moderado de cristalinidade (NATTA et al., 1955). Polímeros atáticos exibem uma distribuição aleatória das configurações dos centros quirais, resultando em uma estrutura amorfa e propriedades distintas (COATES; CHEN, 2005).

Figura 4: Exemplos de polímero isotático, sindiotático e atático



Fonte: <https://www.passeidireto.com/arquivo/52644618/to-i-polimeros>

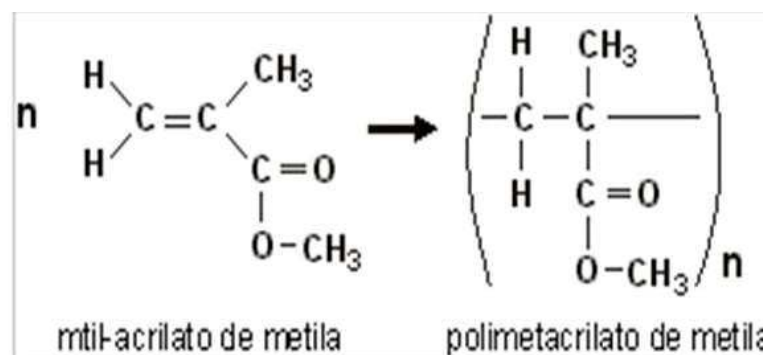
A estereoquímica de um polímero influencia diretamente suas propriedades mecânicas, térmicas e de solubilidade (RUDIN, 1999). Por exemplo, polímeros isotáticos e sindiotáticos tendem a ser mais cristalinos e resistentes do que polímeros atáticos, devido à maior capacidade de empacotamento das cadeias poliméricas (STROBL, 1997). Além disso, a isomeria óptica pode afetar a interação de polímeros com sistemas biológicos, sendo um fator crucial no desenvolvimento de biomateriais (RATNER et al., 2013).

A indústria de tintas é um setor vasto e diversificado, com aplicações que vão desde revestimentos arquitetônicos e industriais até tintas para impressão e embalagens (WICKS et al., 2007). Um dos componentes cruciais na formulação de tintas são os polímeros, que desempenham papéis multifacetados, influenciando propriedades como adesão, durabilidade, resistência a intempéries, brilho e viscosidade (LAMBOURNE & STRIVENS, 1999).

Os polímeros atuam como o principal formador de filme na tinta, ou seja, são responsáveis por criar uma camada sólida e coesa após a evaporação do solvente (Bierwagen, 2000). Essa camada polimérica protege a superfície subjacente da corrosão, abrasão e degradação por radiação UV (TAKAHARA et al., 2012). A escolha do polímero é, portanto, um fator crítico no desempenho final da tinta.

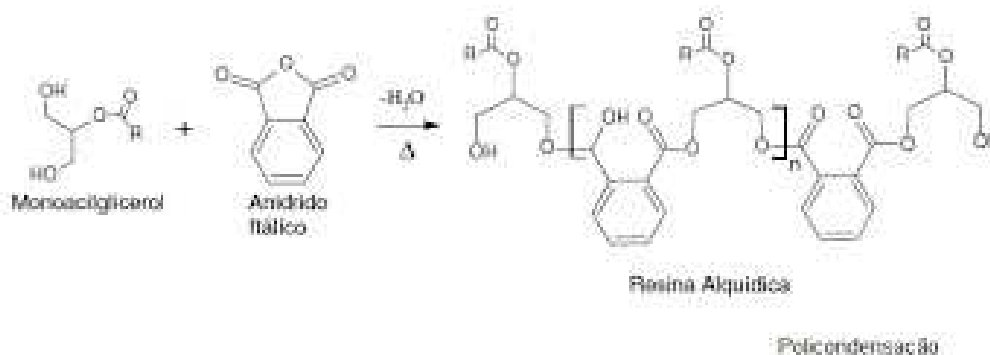
Diversas classes de polímeros são empregadas na indústria de tintas, cada uma com suas características e aplicações específicas. Polímeros acrílicos, por exemplo, são amplamente utilizados devido à sua excelente resistência a intempéries, durabilidade e versatilidade (GOETZ et al., 2004). Eles podem ser formulados para tintas à base de água ou solvente e são comuns em revestimentos arquitetônicos e industriais.

Figura 5: Polimerização do PMA



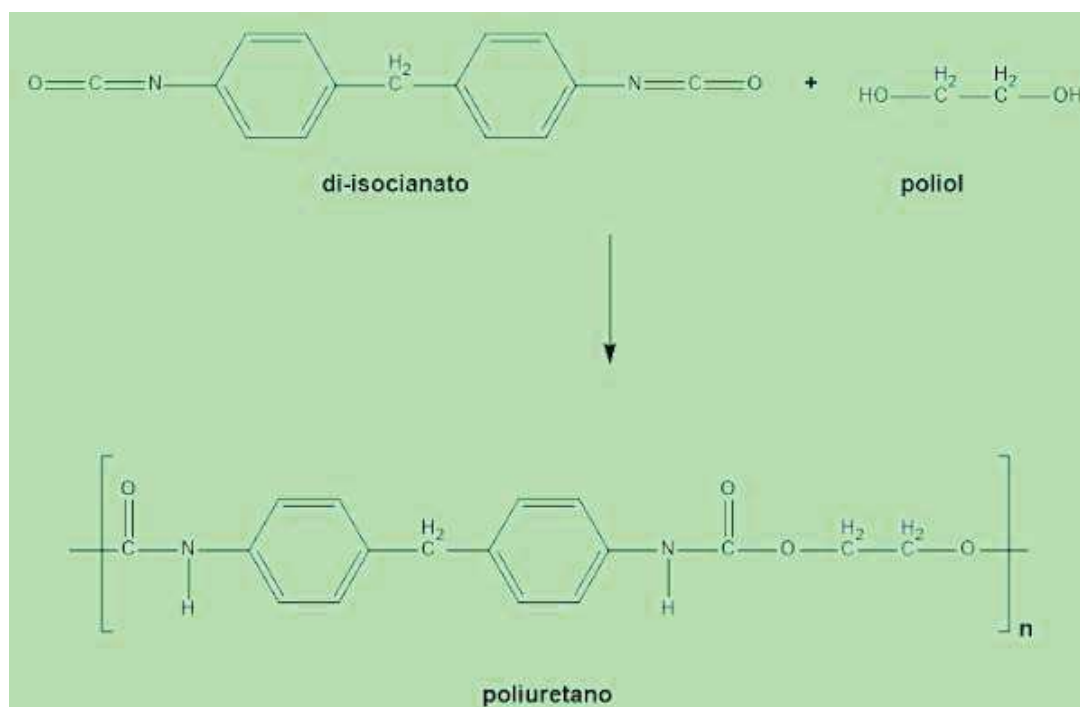
Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/1233282/>

Resinas alquídicas, por outro lado, são conhecidas por seu bom brilho, adesão e custo-benefício (VAN GORKUM & BOUWMAN, 2009). Elas são frequentemente utilizadas em tintas para madeira e metal, bem como em primers. No entanto, as resinas alquídicas podem ser suscetíveis ao amarelamento com o tempo e à exposição à luz solar.

Figura 6: Reação de formação de Resinas Alquídicas

Fonte: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/6764/1/Eduardo%20Hobold%20Kammer.pdf>

Poliuretanos oferecem alta resistência à abrasão, produtos químicos e intempéries, tornando-os ideais para aplicações exigentes, como revestimentos automotivos e industriais (WICKS et al., 2007). Eles podem ser formulados como sistemas de um ou dois componentes e oferecem excelente flexibilidade e durabilidade.

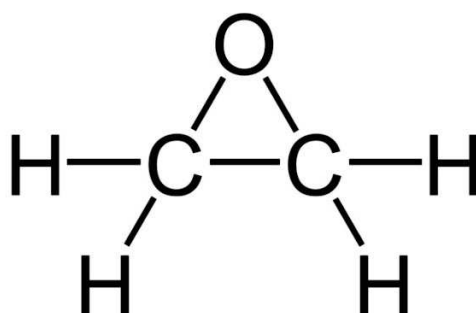
Figura 7: Reação de formação do Poliuretano

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/poliuretano-por-uma-boa-caoa.htm>

Além dos polímeros formadores de filme, outros polímeros são utilizados como aditivos em tintas para melhorar propriedades específicas. Agentes espessantes poliméricos (exemplo: associativos de poliuretano), por exemplo, controlam a viscosidade da tinta, facilitando a aplicação e evitando o escorrimento (PATTON, 1999).

Dispersantes poliméricos ajudam a estabilizar os pigmentos na tinta, evitando a sedimentação e garantindo uma cor uniforme (TADROS, 2009), na imagem abaixo há como exemplo o agente dispersante óxido de etileno:

Figura 8: Fórmula estrutural do óxido de etileno



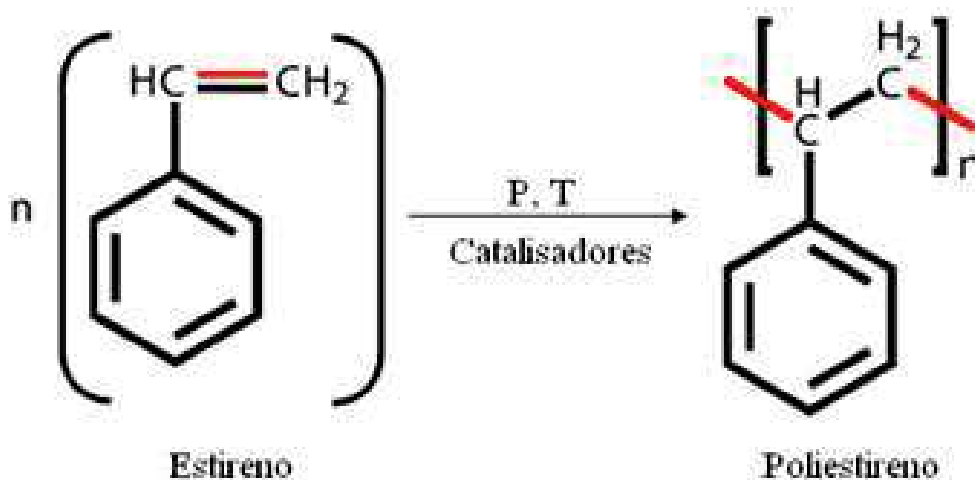
Fonte: Wikimedia Commons

A pesquisa e o desenvolvimento na área de polímeros para tintas estão em constante evolução, com foco na criação de materiais mais sustentáveis, de alto desempenho e com funcionalidades aprimoradas (LANDFESTER, 2001).

3.1.3. Isopor (características físico-químicas), utilização industrial e descarte indevido

O poliestireno expandido (EPS), popularmente conhecido como isopor, é um polímero termoplástico amplamente utilizado em diversas aplicações devido às suas propriedades únicas (MONTENEGRO; SERFATY, 2002).

Figura 9: Polimerização do Estireno



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/poliestireno.htm>

Sua estrutura celular fechada, composta por cerca de 98% de ar e 2% de poliestireno, confere ao EPS características físico-químicas notáveis, como leveza, isolamento térmico e resistência ao impacto (EUROPEAN MANUFACTURERS OF EXPANDED POLYSTYRENE, 2023).

A densidade do EPS varia tipicamente entre 10 e 40 kg/m³, o que o torna um material extremamente leve e fácil de manusear (RITCHIE, 2011). Essa baixa densidade é um fator crucial para sua aplicação em embalagens, onde o peso do material é um fator limitante (TWEDE & SELKE, 2015).

Além disso, o EPS apresenta excelente capacidade de isolamento térmico, com um coeficiente de condutividade térmica que varia de 0,030 a 0,040 W/m·K (EUMEPS, 2021). Essa propriedade o torna um material ideal para aplicações em construção civil, como isolamento de paredes e telhados, e em embalagens para produtos sensíveis à temperatura, como alimentos e medicamentos (BALL, 2007).

A resistência mecânica do EPS, embora moderada, é suficiente para muitas aplicações. A resistência à compressão varia de 50 a 200 kPa, dependendo da densidade do material (ASTM D1621, 2016). Essa característica, combinada com a capacidade de absorção de impacto, torna o EPS um material eficaz para proteção de produtos frágeis durante o transporte e armazenamento (BRISTON, 1990).

Quimicamente, o EPS é um material relativamente inerte, resistente à maioria dos ácidos, bases e soluções salinas (EHRING, 2009). No entanto, é solúvel em solventes orgânicos como acetona, limoneno (o qual será utilizado no trabalho, o d- limoneno), benzeno e tolueno, o que deve ser considerado em aplicações onde o material possa entrar em contato com essas substâncias (BRANDRUP et al., 1999).

A estabilidade térmica do EPS é limitada, com temperatura de transição vítrea em torno de 100°C e temperatura de decomposição acima de 200°C (SHAH, 2014).

As soluções de EPS em d-limoneno apresentam características reológicas complexas, exibindo comportamento não-Newtoniano e viscoelasticidade (Machado et al., 2014). A viscosidade da solução aumenta com o aumento da concentração de EPS, e a solução pode apresentar comportamento de "gel" em concentrações elevadas (Bolzan, 2014). O estudo da reologia dessas soluções é fundamental para o desenvolvimento de processos de reciclagem e reaproveitamento do EPS, bem como para a produção de novos materiais e produtos (CELLA ET AL., 2014).

Na indústria, o EPS é empregado em larga escala para embalagens de alimentos, eletrodomésticos e produtos frágeis, protegendo-os durante o transporte e armazenamento (SCHENEIDER; SCHWADE; SANTIN; ROCHA, 2015). Além disso, o EPS é utilizado na construção civil como isolante térmico e acústico, em forma de placas ou moldados para paredes e tetos (MONTENEGRO; SERFATY, 2002). A versatilidade do EPS também permite sua aplicação na produção de tintas, utilizando cascas de laranja como solvente para dissolver o poliestireno (SCHENEIDER; SCHWADE; SANTIN; ROCHA, 2015).

Apesar de suas vantagens, o descarte inadequado do EPS representa um sério problema ambiental (SCHENEIDER; SCHWADE; SANTIN; ROCHA, 2015). Por ser um material não biodegradável, o EPS pode persistir no meio ambiente por longos períodos, contribuindo para a poluição e o acúmulo de resíduos (MONTENEGRO; SERFATY, 2002). A reciclagem do EPS é uma alternativa importante para reduzir o impacto ambiental, e processos como a dissolução em D-limoneno podem ser utilizados para recuperar o poliestireno e reutilizá-lo em novas aplicações (CELLA; OLIVEIRA; MACHADO; BOLZAN, 2014).

3.1.4. Aplicações industriais do D- Limoneno (Características físico-químicas)

O D-limoneno, um hidrocarboneto terpênico moderadamente utilizado como fluido refrigerante secundário, componente de produtos de limpeza e solvente na indústria de tinta (FLORIDA CHEMICAL, 2012). É uma substância natural muito versátil, usada em diversas áreas por sua capacidade de limpar e dissolver sujeiras, especialmente gorduras e óleos. Ele é bastante eficiente na limpeza de motores, peças metálicas, equipamentos industriais e superfícies oleosas. Além disso, é um componente importante em tintas, solventes e na produção de resinas, materiais usados para fabricar diversos produtos.

Esse composto também está sendo amplamente utilizado em produtos domésticos como detergentes (KNOPPEL E SCHAUENBURG, 1989), agentes de limpeza (WOLKOFF et al., 1998), purificadores de ambiente (TICHENOR E MASON, 1988), cera para pisos (COLOMBO et al., 1991), perfumes, cosméticos e produtos de higiene pessoal, como cremes dentais e desodorantes. No setor alimentício, o D-limoneno é utilizado como flavorizante, dando sabor cítrico a alimentos e bebidas, como doces e chicletes.

Outra aplicação importante do D-limoneno é como repelente natural de insetos, usado tanto em ambientes domésticos quanto na agricultura. Na área farmacêutica, ele participa da fabricação de medicamentos e na criação de compostos que ajudam no tratamento de várias doenças.

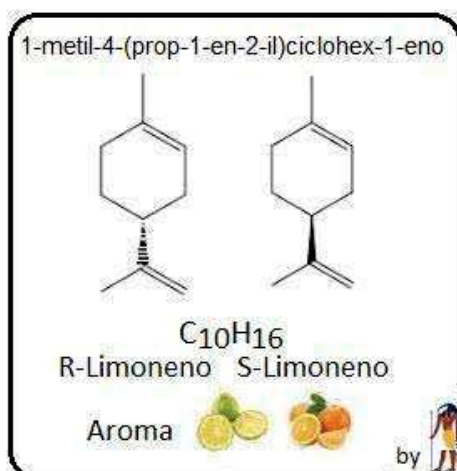
Além disso, o D-limoneno é usado para produzir plásticos biodegradáveis e resinas de politerpeno, contribuindo para soluções mais sustentáveis. Na indústria do petróleo, ele serve para limpar equipamentos, recuperar óleo de areia e rochas, e também ajuda a dispersar óleo em casos de derramamentos, facilitando a limpeza ambiental. Por fim, o D-limoneno é empregado em processos têxteis, auxiliando no tingimento e acabamento de tecidos, o que demonstra sua ampla utilidade em diferentes setores.

O Limoneno é um monoterpeno encontrado em diversas frutas cítricas, como Tangerina (94%), laranja (91%) e limão (65%) (GONZÁLEZ, MAS et al., 2019). O D-limoneno é um composto com fórmula molecular $C_{10}H_{16}$ e massa molar de 136,24 g/mol. Ele se apresenta como um líquido incolor ou levemente amarelado, com um odor marcante e agradável, semelhante ao de laranja, o que o torna facilmente reconhecível. Seu ponto de ebulição é em torno de 176 °C, e o ponto de fusão gira em torno de -75 °C, o que indica que ele permanece em estado líquido na maioria das condições ambientes.

Com densidade aproximada de 0,84 g/mL a 20 °C, o D-limoneno é mais leve que a água. Ele é insolúvel em água, mas se dissolve bem em solventes orgânicos, o que reforça sua utilidade como solvente em diversas aplicações industriais. É um composto com baixa polaridade, sendo classificado como apolar, o que também influencia sua solubilidade e afinidade por substâncias oleosas.

Uma característica importante do D-limoneno é sua alta inflamabilidade, exigindo cuidados no armazenamento e manuseio. Além disso, Possui dois Isômeros principais, sendo o D-Limoneno a principal forma ativa (ERASTO; VILJOEN, 2008) apresenta isomeria óptica: o d-limoneno (ou R-limoneno) e o l-limoneno (ou S-limoneno). O d-limoneno na natureza e possui cheiro de laranja, enquanto o l-limoneno tem aroma mais próximo ao de pinho ou terebintina.

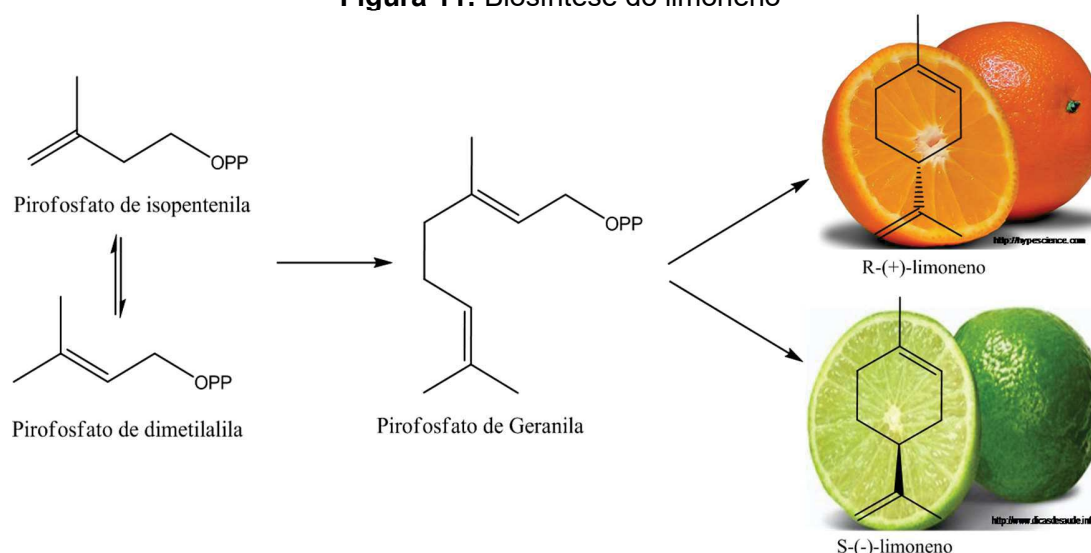
Figura 10: Fórmula estrutural do D-limoneno e L-limoneno, respectivamente



Fonte: <https://images.app.goo.gl/dCcMVoSNwS9wxo9G8>

A biosíntese do limoneno inicia através de uma molécula de pirofosfato de isopentenila (IPP), que é isomerizada por uma enzima para gerar o pirofosfato de dimetilalila (DMAP). Este processo estabelece um equilíbrio em que ambos os isômeros estão presentes. Com a ajuda de uma outra enzima, estes dois isômeros são unidos e geram o pirofosfato de geranila, que depois é ciclizado dar limoneno (BURNHAM et al. 2007).

Figura 11: Biosíntese do limoneno



Fonte: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/limonene>

3.1.5. Aplicação de corantes orgânicos e inorgânicos na indústria têxtil

Segundo a The Ecological and Toxicological Association of Dyes and Organic Pigments Manufactures (Etad), corantes são substâncias orgânicas intensamente coloridas ou fluorescentes, que conferem cor a um substrato por absorção seletiva de luz. Eles são solúveis e/ou passam por um processo de aplicação pelo qual, pelo menos temporariamente, destrói qualquer estrutura cristalina por absorção, solvatação, por retenção mecânica ou por ligações químicas, covalentes ou iônicas (COLOUR INDEX, 2015b).

Os corantes orgânicos são os mais utilizados na indústria têxtil e podem ter origem natural ou sintética. Os corantes naturais são oriundos de fontes biodegradáveis como plantas, animais e microrganismos, colorindo o tecido de forma sustentável e reduzindo a quantidade de resíduos gerados na produção. Porém, sua escala de cores é menor, a disponibilidade é limitada e, geralmente, são mais caros que os corantes sintéticos e mais difíceis de serem reproduzidos de forma que as cores fiquem iguais. Segundo Varela (2019) o tingimento natural está vindo como um resgate das tradições, além do contato e respeito à natureza, essas ações estão sendo tomadas devido a consciência sobre a indústria têxtil ser uma das maiores poluidoras do mundo e afetar diretamente o meio ambiente

Para a realização do tingimento natural é necessário que as fibras escolhidas também sejam de origem natural ou viscose de origem celulósica, isso se dá pelo fato de que essas fibras conseguem absorver as cores, diferente dos demais tecidos sintéticos. Os principais corantes naturais são:

Urucum. Extraído das sementes do urucuzeiro (*Bixa orellana*) que, após serem esmagadas, são mergulhadas em água. Por evaporação desta solução aquosa, obtém-se uma massa que proporciona cores que variam do amarelo-alaranjado ao vermelho, sendo utilizado para tingir tecidos de algodão e lã.

Açafrão (*Carthamus tinctorius*). O corante é obtido por meio da lavagem das flores amarelo-avermelhadas com água, produzindo um amarelo mais puro e mais estável.

Garança. Extraída da *Rubia tinctorum*, planta conhecida pelos nomes de ruiva-dos-tintureiros, garança ou granza. O corante está concentrado nas raízes da planta, principalmente nas raízes mais antigas. Ao arrancar as raízes, devem ser lavadas, secas e cortadas em pequenos pedaços. O corante é extraído com água e separado da solução. Em seguida é seco. A cor obtida é um vermelho intenso, também conhecido por “vermelho da Turquia”, pois era muito popular no oriente médio, tendo sido identificado em tecidos encontrados em túmulos egípcios.

Anil, também conhecido como indigo, é um corante azul extraído da anileira (*Indigofera*), planta muito presente na Ásia, principalmente na Índia. É um dos corantes mais antigos e utilizados durante a história e, atualmente, é presente em tecidos como o jeans.

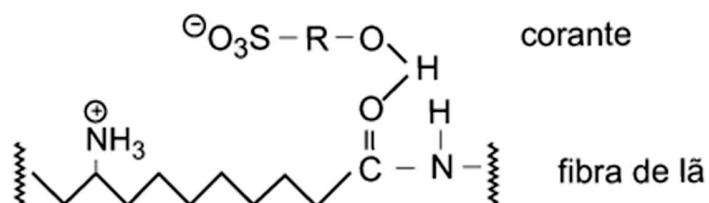
Betalaínas. Pigmentos vermelho-violeta encontrados em plantas como beterraba e cactos.

A maior parte das cores castanhas e pretas são obtidas por meio de taninos, um corante de cor castanha, que, em conjunto com sais de ferro, origina o preto. Sua principal fonte é a noz de galha.

Os corantes orgânicos sintéticos são compostos químicos produzidos industrialmente. Diferente dos corantes naturais, que vêm de fontes vegetais ou animais, os sintéticos são criados através de processos químicos, oferecendo uma vasta gama de cores e maior estabilidade, além de serem mais acessíveis e fáceis de produzir em larga escala. Porém, seu descarte irregular e os resíduos industriais são um risco ao meio ambiente e alguns corantes podem causar alergias.

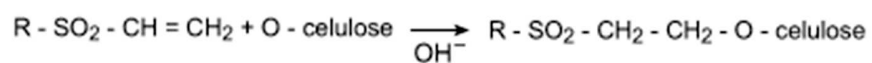
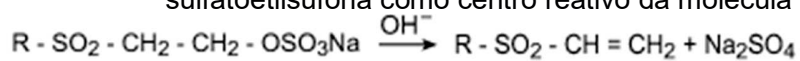
Esses corantes podem ser reativos (usados em fibras celulósicas como algodão, linho e viscose), dispersos (para fibras sintéticas como poliéster), ácidos (utilizados em fibras proteicas como lã, seda e nylon), sulfurosos (usados para tingir algodão) ou básicos (para tingir fibras acrílicas).

Figura 12: Exemplo de interação de hidrogênio entre o corante silfonado e os grupos carboxilas da fibra de lã



Fonte: SciELO Brasil - Corantes têxteis

Figura 13: Exemplo do processo de tintura de algodão com corante contendo o grupo sulfatoetilsufona como centro reativo da molécula



Fonte: SciELO Brasil - Corantes têxteis

Tabela 1: Tipos de corantes existentes e suas definições

Tipos de corantes:	Definições:
A cuba ou a tina	O têxtil é mergulhado em um banho com derivado de corante (incolor), após isso é exposto ao ar para que a oxidação faça surgir a cor, é utilizada em fibras naturais e sintéticas.
Ácidos	É um grande grupo de corantes com diversas variações, este é solúvel em água estes tipos de corantes são usados em alimentos, couro, fibras naturais, sintéticas e papel.
Ao enxofre	É um dos mais comuns para a fabricação de tintas para algodão estes são baratos, fáceis de aplicar e possuem uma boa resistência a lavagem, em geral são utilizados em fibras naturais.
Diretos	Oferecem cores inalteráveis e duradouras sem o auxílio de produtos químicos, são chamados assim por serem os primeiros corantes com afinidade com algodão se precisar de algum agente de um mordente, são solúveis em água.
A mordente	Em sua maioria são de origem mineral (alúmen, sais de ferro e/ou estanho ou cromo), estes fazem com que a tinta "morda" ou se fixe ao tecido, as técnicas de aplicação são variadas e são mais utilizados em corantes naturais para ajudar na fixação.
A cobre	O têxtil tratado em um banho de sulfato-cobre.
Na massa	Utilizado em fibras químicas (sintéticas e artificiais), é adicionado uma massa antes que o têxtil seja transformado em fios, as cores obtidas são firmes e inalteráveis.
Reativos	Passam por uma reação química com celulose antes de formarem uma reação covalente, a partir destes foi possível encontrar tons úmidos e brilhantes, é utilizado em couro, fibras (naturais e artificiais) e papel.
Azóicos	É insolúvel em água, deve ser sintetizado sobre a fibra durante o processo de tingimento, possui bastante resistência a luz e pode ser utilizado em fibras sintéticas e naturais.

Fonte: GUARANTINI; ZANONI (1999), PEZZOLO; SENAI (2012)

3.1.6. Corantes inorgânicos

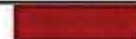
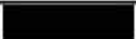
Na indústria têxtil, corantes inorgânicos são pigmentos minerais utilizados para dar cor aos tecidos. Eles se diferenciam dos corantes orgânicos por sua alta durabilidade. São frequentemente usados em tintas de impressão têxtil, oferecendo cores mais vibrantes e maior resistência. Em alguns casos, podem ser mais difíceis de aplicar ou dispersar em tecidos. Dentre os corantes inorgânicos, os mais importantes são os óxidos de ferro (amarelo, vermelho, laranja, marrom e preto), Cromato de Chumbo (Amarelo), Cromato de Ferro III (amarelo-bronze), Cromato de Molibdênio (varia do amarelo limão ao vermelho com tom azulado), dióxido de titânio (branco), sulfeto de cádmio (amarelo, laranja e vermelho) e cobalto (azul).

Tabela 2 : Óxidos de Ferro - Características

Característica	Oxidos de ferro amarelos	Oxidos de ferro vermelhos	Oxidos de ferro cinzentos e pretos	Oxidos de ferro laranjas	Oxidos de ferro castanhos
Designação química	Óxido férrico hidratado	Óxido férrico anidro	Óxido ferroso e férrico	Amarelo+Vermelho	Vermelho+amarelo+preto
Fórmula	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Fe_2O_3	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O} + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
Peso Molecular	88,85	159,69	231,55	N.A.	N.A.
Densidade	3,8-4,4	4,6-5,3	4,6-5,2	4,5-5,0	4,5-5,3
Forma das partículas	Prismática e Acicular	Esférica	Esférica	Irregular	Irregular
Dimensão das partículas médias, micron	Prismática: 0,1x0,7 Acicular: 0,05x0,9	0,09-0,9	0,15-0,6	0,1x0,6 1,2	0,1x0,6 1,2
Absorção de óleo, g/100 g	25-60	15-35	15-38	18-57	12-35
Superfície Específica, (BET) m ² /g	9-24	11-27	5-8	6-20	10-12
Índice de Refracção	2,26-2,40	2,78-3,22	2,42-3,10	2,56-2,84	2,61-2,90
Temperatura máx. em serviço, °C	105	300	140	105	140
Designação CI	PV 42 e 43	PR 101 e 102	PBk 11	PV 42 + PR 101	PBr 6
Color Index (1975)	77492	77491	77499	77491+ 77492	77491+ 77499 + 77492
CAS	20344-49-4	1309-37-1	1317-61-9	20144-49-4	52357-70-7
EINECS	257-098-5	215-168-2	235-442-5	243-746-4	257-870-1

Fonte: Pigmentos Inorgânicos - Tipos | Ciência e Tecnologia da BorrachaCiência e Tecnologia da Borracha

Tabela 3: Pigmentos de Cádmio, Propriedades e Características

Característica	Pigmento Amarelo	Pigmento Laranja	Pigmento Vermelho	Pigmento Preto
Padrão de cor				
Fórmula	CdS	Mistura de CdS e CdSe	Mistura de CdS e CdSe	CdSe
Peso molecular	144,48	-	-	191,4
Densidade	4,50-4,82	4,70-5,10	5,00-5,50	5,816
Índice de refração	2,510-2,529	-	2,384-2,770	2,500
Absorção de Óleo, g/100 g	15-25	16-23	16-23	-
Estabilidade à temperatura de, °C	>400	>400	>400	-
Designação CI	Pigment Yellow 37	Pigment Orange 20	Pigment Red 108	-
Color Index	77199	77196	77202	-
CAS	1306-23-6	12656-57-4	58339-34-7	1306-24-7
EINECS	215-147-8	235-758-3	261-218-1	215-148-3

Fonte: Pigmentos Inorgânicos - Tipos | Ciência e Tecnologia da BorrachaCiência e Tecnologia da Borracha

3.1.7. Importância das tintas orgânicas (solventes orgânicos/plastificantes/poder de fixação) na indústria têxtil

A indústria têxtil moderna depende fortemente de corantes e pigmentos orgânicos para conferir cor e funcionalidade aos tecidos (CRISTEA & VILAREM, 2006). As tintas orgânicas, em particular, desempenham um papel crucial nesse processo, e sua aplicação envolve uma variedade de componentes, incluindo solventes, plastificantes e agentes de fixação, cada um contribuindo de maneira específica para o resultado final (HUNGER, 2003).

Os solventes orgânicos são utilizados para dissolver ou dispersar os corantes e pigmentos, permitindo sua aplicação uniforme sobre as fibras têxteis (SHORE, 1995). A escolha do solvente é crítica, pois ele deve ser compatível com o corante e com o tipo de fibra, além de apresentar características como volatilidade adequada e baixa toxicidade (ASPLAND, 1997). Solventes como água, álcoois, ésteres e hidrocarbonetos são comumente empregados, cada um com suas vantagens e desvantagens em termos de solubilidade, custo e impacto ambiental (HOLME, 2000).

Os plastificantes são adicionados às formulações de tintas para aumentar a flexibilidade e a durabilidade do filme de tinta sobre o tecido (KULKARNI et al., 2012). Eles atuam reduzindo a temperatura de transição vítrea do polímero ligante, tornando a tinta mais maleável e resistente a rachaduras e descamação (TASCIOGLU, 2013). Ftalatos, adipatos e fosfatos orgânicos são exemplos de plastificantes utilizados na indústria têxtil, embora a preocupação com seus efeitos na saúde e no meio ambiente tenha levado à busca por alternativas mais sustentáveis (NETO et al., 2018).

O poder de fixação, ou seja, a capacidade da tinta de aderir permanentemente às fibras têxteis, é um fator determinante na qualidade do produto final (BROADBENT, 2001). Agentes de fixação, como resinas e polímeros, são frequentemente adicionados às formulações de tintas para promover a ligação entre o corante e a fibra, garantindo a resistência da cor à lavagem, à luz e ao atrito (LEWIS, 1992). A escolha do agente de fixação depende do tipo de corante, do tipo de fibra e das condições de aplicação, sendo essencial otimizar a formulação para obter o máximo desempenho (SMITH, 2005).

Em resumo, as tintas orgânicas desempenham um papel fundamental na indústria têxtil, e a seleção cuidadosa de solventes, plastificantes e agentes de fixação é essencial para garantir a qualidade, a durabilidade e o desempenho dos produtos têxteis (CHRISTIE, 2001). A pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias e materiais mais sustentáveis são cruciais para minimizar o impacto ambiental da indústria têxtil e atender às demandas de um mercado cada vez mais consciente (ROCHA et al., 2016).

3.1.8. Problemática do descarte de tintas e metais bioacumulativos (descarte indevido x descarte correto)

O descarte inadequado de tintas e materiais contendo metais bioacumulativos representa uma crescente preocupação ambiental e de saúde pública em escala global (SMITH, 2020). Tintas, amplamente utilizadas em diversos setores, frequentemente contêm pigmentos e aditivos à base de metais pesados como chumbo, cádmio e mercúrio, conhecidos por seus efeitos tóxicos e persistência no meio ambiente (JONES, 2018). A bioacumulação desses metais em organismos vivos, incluindo seres humanos, pode levar a sérios problemas de saúde, como danos neurológicos, renais e câncer (Brown, 2019).

O descarte indevido de tintas, seja em aterros sanitários comuns, cursos d'água ou solos, contribui para a contaminação ambiental e a exposição humana a esses metais tóxicos (GARCIA, 2021). A lixiviação de metais pesados de tintas descartadas incorretamente pode contaminar o solo e as águas subterrâneas, afetando a qualidade da água potável e a saúde dos ecossistemas aquáticos (LEE, 2017).

Além disso, a incineração inadequada de tintas pode liberar gases tóxicos na atmosfera, contribuindo para a poluição do ar e problemas respiratórios (SILVA, 2022).

Em contrapartida, o descarte correto de tintas e materiais contendo metais bioacumulativos envolve a adoção de práticas de gestão ambientalmente adequadas, como a coleta seletiva, o tratamento e a reciclagem (OLIVEIRA, 2015). A coleta seletiva permite a separação de tintas e materiais contaminados de outros resíduos, facilitando o tratamento e a destinação adequados (SANTOS, 2019).

O tratamento de tintas pode envolver processos de estabilização, que visam reduzir a solubilidade dos metais pesados, ou processos de recuperação, que permitem a reutilização de pigmentos e outros componentes (FERREIRA, 2020). A reciclagem de embalagens de tintas e outros materiais também contribui para a redução do consumo de recursos naturais e a minimização da geração de resíduos (PEREIRA, 2018).

A implementação de políticas públicas eficazes, como a legislação sobre a responsabilidade estendida do produtor, é fundamental para promover o descarte correto de tintas e materiais contendo metais bioacumulativos (COSTA, 2016). A conscientização da população sobre os riscos do descarte inadequado e os benefícios do descarte correto também desempenha um papel crucial na mudança de comportamento e na proteção da saúde humana e do meio ambiente (MARTINS, 2017).

Em resumo, a problemática do descarte de tintas e metais bioacumulativos exige uma abordagem integrada que envolva a indústria, o governo e a sociedade civil. A adoção de práticas de descarte correto, aliada a políticas públicas eficazes e à conscientização da população, é essencial para mitigar os impactos negativos desses materiais no meio ambiente e na saúde humana.

3.1.9. Legislação para registro, comercialização e descarte de tintas

A indústria de tintas, essencial para diversos setores da economia, enfrenta um complexo cenário regulatório no Brasil, abrangendo desde o registro e a comercialização até o descarte adequado de seus produtos (ABNT, 2018). A legislação brasileira, em consonância com as normas internacionais, busca garantir a segurança do consumidor, a proteção da saúde pública e a preservação do meio ambiente (BRASIL, 1996). O registro de tintas é um processo fundamental para assegurar a conformidade dos produtos com os padrões de qualidade e segurança estabelecidos (ANVISA, 2012).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é o órgão responsável por regulamentar e fiscalizar a produção e comercialização de tintas no país, exigindo o cumprimento de requisitos específicos para cada tipo de produto (BRASIL, 1976).

A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 56/2012, por exemplo, dispõe sobre os requisitos técnicos para a regularização de tintas imobiliárias, vernizes e produtos afins (ANVISA, 2012).

A comercialização de tintas no Brasil é regida por diversas normas, que visam garantir a informação adequada ao consumidor e a segurança no manuseio e aplicação dos produtos (ABNT, 2014). A Lei nº 8.078/1990, conhecida como Código de Defesa do Consumidor (CDC), estabelece os direitos básicos do consumidor, incluindo o direito à informação clara e precisa sobre as características, composição, riscos e forma de utilização dos produtos (BRASIL, 1990).

Além disso, a ABNT possui normas técnicas específicas para tintas, que estabelecem os requisitos de desempenho, segurança e rotulagem (ABNT, 2014). O descarte inadequado de tintas e seus resíduos pode causar sérios danos ao meio ambiente e à saúde humana (CETESB, 2017).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, incluindo a logística reversa de embalagens e resíduos de tintas (BRASIL, 2010). A PNRS também hierarquiza as ações de gerenciamento de resíduos, priorizando a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento antes da disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Em suma, a legislação brasileira para registro, comercialização e descarte de tintas é abrangente e complexa, envolvendo diversos órgãos e normas (MMA, 2002). O cumprimento da legislação é fundamental para garantir a qualidade e segurança dos produtos, a proteção da saúde pública e a preservação do meio ambiente (FIESP, 2019). A indústria de tintas deve estar atenta às constantes atualizações da legislação e investir em práticas de produção e gestão ambientalmente responsáveis (ABRAFATI, 2020).

3.2. Metodologia

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa fundamental, com abordagem quantitativa, conforme os objetivos propostos.

O experimento foi realizado em 4 etapas, além de duas localidades a Etec Cel. "Fernando Febeliano da Costa" e Fatec Deputado Roque Trevisan, que correspondem a:

- Preparo da tinta, onde foi realizada a mistura dos componentes formadores da tinta: Poliestireno Expandido, TiO_2 e D-limoneno.
- Aplicação, feita com pincel pequeno e palito de churrasco.
- Teste de secagem, onde mediu-se o tempo e análise visual da tinta
- Área de cobertura, onde foi medido o rendimento da tinta (m^2/L).
- Teste de impermeabilidade, onde foi testada a impermeabilidade da tinta em teor de umidade absorvido pelo papelão.

3.2.1. Preparo da Tinta

Primeiramente, para a formulação da base da tinta foi utilizado o EPS previamente quebrado manualmente em formato de flocos e medindo a sua massa em garrafas PET cortadas pela metade e pote plástico.

Figura 14: EPS em formato de flocos



Fonte: Autoria própria

A massa de EPS foi medida em balança semi-analítica.

Figura 15: Balança semi-analítica utilizada na pesagem



Fonte: Autoria própria

O EPS teve massas de 7, 8,05 e 12 g para o teste. Além do EPS, foi utilizado o solvente orgânico D-limoneno, medido em proveta um volume de 14, 17 e 24 mL. O D-limoneno foi obtido por fornecimento do professor Dr. Eduardo Mariano do Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

Figura 16: Recipiente da Destilaria Bauru de D-Limoneno



Fonte: Autoria Própria

Após a medição da massa de EPS e volume de D-limoneno, ocorreu a mistura com espátula até a dissolução completa. A dissolução foi realizada em 3 etapas.

A próxima etapa da mistura consistiu na adição do pigmento inorgânico Dióxido de Titânio (TiO_2), obtido na ETEC Cel. “Fernando Febeliano da Costa”, na concentração de 5%_(m/v), seguido da sua dissolução com espátula/bastão de vidro, no teste final mediu-se a massa de 3,632 g em balança analítica.

Figura 17: Dióxido de Titânio (Anatase) e **Figura 18:** Balança Analítica utilizada para a pesagem do TiO_2



Fonte: Autoria própria

Inicialmente foram feitos testes para a mistura de EPS e D-limoneno.

O primeiro teste foi pesado 0,5 gramas de EPS em béquer de massa conhecida para 1 mL de D-limoneno e misturado com espátula até sua completa dissolução.

No segundo teste foi pesado 1 grama de EPS em garrafa PET de massa conhecida para 2 mL de D-limoneno e misturado com espátula até sua completa dissolução.

No terceiro teste foi pesado 5 g de EPS para 10 mL de D-limoneno em garrafa PET de massa conhecida e misturado com espátula até sua completa dissolução. Após a mistura foi pesado 0,6881 g de TiO_2 , adicionado ao produto e dissolvido com espátula.

Para o quarto e último teste foi pesado 7,33 g de EPS em béquer e depois transferido para pote de plástico, seguido da adição de 15 mL de D-limoneno, como ocorreu uma secagem da tinta anterior, não foi possível determinar a massa de TiO_2 que restou, a mistura foi realizada com espátula até completa dissolução.

3.2.2. Aplicação

Para testes iniciais foi aplicada a mistura em pedaços de rolha de cortiça .

No primeiro teste foi aplicada a tinta (que corresponde ao segundo teste da mistura) em apenas um pedaço de rolha de cortiça.

No segundo teste foi aplicado o produto (terceiro teste da mistura) em dois pedaços de rolha de cortiça, um de massa 3,08 g e outro com 3,43 gramas de massa.

A aplicação do produto final foi feita por meio de um pincel pequeno previamente limpo com álcool na superfície de 3 pedaços de rolha de cortiça que 2,80 g a partir de uma média realizada.

3.2.3. Teste de Secagem

O teste de secagem foi realizado com o objetivo de verificar se a superfície da amostra estava suficientemente seca, bem como determinar o tempo necessário para a secagem. Os procedimentos foram conduzidos em temperaturas de 26 e 28°C e foram realizadas duas demãos.

Os resultados foram avaliados por meio de uma análise visual da superfície e por meio do toque. A avaliação da secura foi feita com base na observação do brilho, pois superfícies ainda úmidas apresentavam brilho enquanto superfícies secas adquiriram um aspecto fosco. Ao observar sinais de secura, a amostra foi tocada para avaliar se estava de fato seca.

O tempo de secagem foi cronometrado com a função cronômetro oriunda do celular, desde a aplicação até o momento em que a superfície apresentou aspecto fosco e ausência de umidade visível em todas as partes da amostra de forma homogênea.

3.2.4. Área de Cobertura

O teste de cobertura de tintas, ou teste de poder de ocultação: foi feito aplicando a tinta em um pedaço de rolha de cortiça com um padrão preto desenhado para averiguar a cobertura da tinta, foi realizada com uma estrutura feita de palitos de churrasco, para obter uma película com espessura o mais uniforme possível (SUVINIL; TINTASMIXULTRA, 2025;).

A medição da área de um pedaço de rolha de cortiça de 10 cm² foi realizada com paquímetro de 15 cm, foi usado de tinta, aplicamos 2 demãos da tinta experimental. Anotou-se a quantidade exata de tinta que foi utilizada para cobrir essa área. Dividiu-se a área total pintada pela quantidade de tinta utilizada para encontrar o rendimento em cm²/g, para depois ser convertido para m²/kg (SUVINIL; TINTASMIXULTRA, 2025).

3.2.5. Teste de Impermeabilidade

Para este teste foi necessário realizar outro preparo da tinta por conta da secagem da mesma, entretanto não foi possível realizar outra pesagem do TiO₂ por falta de tempo,

O teste de impermeabilidade foi realizado utilizando 6 pedaços de papelão de área 10 cm², 3 tiras sem a tinta (controle) e 3 pedaços com uma demão da tinta, aplicada com palitos de churrasco para teste de absorção de umidade na temperatura de 25°C no primeiro dia, e 27°C no segundo dia.

O teste consistiu em aplicar água por borrifamento, simulando a água de chuva em uma superfície, a partir de 5 borrifadas.

Para ser considerada impermeabilizante foi estipulada. uma porcentagem de umidade menor ou igual a 5%

Mediu-se a massa do papelão com e sem a água e após a aplicação para fins de cálculo. O cálculo de umidade por amostra foi realizada de acordo com a equação abaixo:

$$U\% = \frac{\text{massa úmida} - \text{massa seca}}{\text{massa úmida}} * 100$$

3.3. Resultados e discussão

Como citado anteriormente neste trabalho, foram feitos cinco preparos apresentando um aumento progressivo nas quantidades de EPS e D-limoneno ao longo dos testes com o intuito de averiguar se com o aumento da quantidade não se alterariam as proporções do processo, que se apresentaram como sendo 1g de EPS para 2 ml de D-limoneno. Constatamos que não ocorreram alterações e as proporções permaneceram as mesmas, como mostra a tabela abaixo:

Tabela 4: Composição da tinta nos testes 1, 2, 3, área de cobertura e impermeabilidade

	Volume de D-limoneno	Massa de EPS	Massa de TiO_2
Teste 1	1 mL	0,5 g	Não foi adicionado
Teste 2	2 mL	1 g	Não foi adicionado
Teste 3	10 mL	5 g	0,6881 g
Teste de Área de Cobertura	54 mL	27,05 g	3,6328 g
Teste de Impermeabilidade	15 mL	7.33 g	Massa desconhecida

Fonte: Autoria própria

Figura 19: Tinta preparada no Teste de Área de Cobertura



Fonte: Autoria própria

A partir do terceiro teste, foi incorporado o pigmento TiO_2 a 5% (m/m), com o objetivo de avaliar seu impacto na coloração e no tempo de secagem. Após sua adição, a única alteração na mistura foi sua coloração, que adquiriu uma cor branca. Todas as amostras apresentaram uma consistência densa, sendo mais grossa do que as tintas impermeabilizantes convencionais. Concluímos que isso advém da falta dos aditivos, que não foram adicionados pois eram inacessíveis para o grupo.

O teste de secagem mencionado anteriormente foi realizado, em primeira análise, na amostra sem a adição de dióxido de titânio, visando de comparar o tempo de secagem com e sem a presença do pigmento.

Tabela 5: Tempo de secagem do teste 2

	Tempo de secagem
Teste 2	1h5min

Fonte: Autoria própria

Tabela 6: Tempo de secagem do teste 3

	Tempo de secagem da demão 1	Tempo de secagem da demão 2
Tira 1	45 min	44 min
Tira 2	1h09min	1h07min

Fonte: Autoria própria

O tempo de secagem após a adição do pigmento não sofreu grandes alterações, assim provando que a adição de pigmento não prejudica no processo de secagem da tinta e não causa reações químicas indesejadas. Além disso, o tempo de secagem não apresentou variações significativas entre as duas demãos.

Tabela 7: Tempo de secagem do teste final

	Tempo de secagem da demão 1	Tempo de secagem da demão 2
Tira 1	1h20min	18h45min
Tira 2	1h17min	18h46min
Tira 3	1h15min	18h47min

Fonte: Autoria própria

No teste final, o grupo deixou as amostras secando por 18 horas na segunda demão, pois no dia anterior não havia tempo para espera, logo não é possível afirmar com exatidão o momento em que as amostras secaram.

Foi feito o teste de área de cobertura usando três pedaços de 10cm² de rolha de cortiça onde a tinta foi passada, calculamos a área passada em centímetros quadrados pela quantidade usada da mistura em gramas, passamos então o resultado para metros quadrados por quilo, afim de averiguar seu rendimento. Foram passadas duas demãos, que se provaram ser o suficiente para cobrir a superfície aplicada. Os resultados obtidos seguem na tabela abaixo:

Tabela 8: Massa de tinta utilizada nas demãos

	Massa (kg) de tinta utilizada na demão 1	Massa (kg) de tinta utilizada na demão 2
Tira 1	0,00165 kg	0,00123 kg
Tira 2	0,00169 kg	0,00186 kg
Tira 3	0,00127 kg	0,00137 kg

Fonte: Autoria própria

Tabela 9: Área de cobertura do teste final

	Área de cobertura (m ² /kg) da demão 1	Área de cobertura (m ² /kg) da demão 2
Tira 1	0,6060 m ² /kg	0,813 m ² /kg
Tira 2	0,5917 m ² /kg	0,5376 m ² /kg
Tira 3	0,7874 m ² /kg	0,73 m ² /kg

Fonte: Autoria própria

Figura 20: Tiras de cortiça, antes e após a secagem da demão 2

Fonte: Autoria própria

Concluimos que os resultados obtidos no teste de cobertura foram inferiores ao esperado pois o rendimento está abaixo do que seria vantajoso quando aplicado em uma superfície maior.

As três primeiras tiras (tiras 1 a 3) citadas na tabela abaixo representam as amostras de controle, ou seja, amostras que contém apenas papelão sem a aplicação da tinta e as tiras 4 a 6 correspondem às tiras de papelão onde a tinta foi aplicada para averiguar sua impermeabilidade.

Tabela 10: Umidade por tira de papelão

	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	% de Umidade da amostra
Tira 1	5,46	4,9	10,2564%
Tira 2	6,1	4,83	20,8196%
Tira 3	5,87	4,83	17,7172%
Tira 4	7,77	6,90	11,1969%
Tira 5	7,78	7,47	3,9845%
Tira 6	7,76	7,46	3,8659%

Fonte: Autoria própria

Figura 21: Tiras de papelão antes e após a secagem da tinta

Fonte: Autoria própria

Constatou-se que a tinta possui caráter impermeabilizante pois a porcentagem de umidade das amostras após a aplicação de uma demão de tinta, com exceção da tira 4, que provavelmente por erros de aplicação da tinta, obteve uma porcentagem de umidade menor a 5%, comparada até a amostra 1, que não continha tinta. Os dados das amostras 5 e 6 sugerem que a tinta atua como uma barreira eficaz contra a absorção de água pelo papelão.

4. CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo desenvolver uma tinta impermeável e com boas propriedades de uso a partir de resquícios do poliestireno expandido (EPS), por meio de sua dissolução em D-limoneno.

A partir dos testes realizados, observou-se que a tinta obteve um bom tempo de secagem, significativamente inferior ao das tintas comerciais em cada demão. A área de cobertura, entretanto, obteve um resultado abaixo do esperado, sendo necessária uma grande quantidade de tinta para cobrir 1 m². Por fim, a tinta nas amostras 5 e 6 obtiveram uma boa impermeabilidade, com exceção apenas a amostra 4.

Esses resultados demonstram a viabilidade do poliestireno expandido como matéria-prima para uma tinta sustentável e para o aproveitamento de polímeros para outros fins após o descarte.

Após a realização deste trabalho, recomenda-se a realização de novos estudos para testes em outras superfícies civis e uso de aditivos como plastificantes e dispersantes para melhor aderência as superfícies.

Concluí-se, portanto que o desenvolvimento de novas técnicas que utilizam o EPS para produção de tinta é uma alternativa viável para reciclagem do material e produto para a população.

5. REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Normas técnicas para gestão ambiental**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/es/Vitrine/implantacao-da-norma-abnt-nbr-iso-14001-2015-sistema-de-gestao-ambiental,ee7bdb17607c2810VgnVCM100000d701210aRCRD#:~:text=FAVORITAR->

,O%20que%20é?,garante%20uma%20produção%20mais%20limpa.. Acesso em: 10 jul, 2025

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Normas técnicas para tintas**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: https://line.eng.br/wp-content/uploads/2021/09/dokumen.tips_nbr-13245-11pdf.pdf . Acesso em: 10 jul. 2025

ABRAFATI. Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas. **Relatório anual do setor de tintas**. São Paulo, 2020. Disponível em: https://abrafati.com.br/wp-content/uploads/2021/04/ARTE_RELATORIO_DE_GESTAO_2020_1PAGINA.pdf?utm_source=chatgpt.com . Acesso em: 20 abr. 2025

ALLCOCK, H. R.; LAMPE, F. W.; MARK, J. E. **Contemporary Polymer Chemistry**. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2003. Disponível em: <https://archive.org/details/contemporarypoly00allc> . Acesso em: 10 mai. 2025

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 56/2012. **Dispõe sobre os requisitos técnicos para a regularização de tintas imobiliárias, vernizes e produtos afins**. Brasília, 2012. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2012/rdc0056_16_11_2012.html . Acesso em: 15 mai. 2025

Aspland, J. R. . **Textile dyeing and coloration. American Association of Textile Chemists and Colorists**, 1997. Disponível em: <https://archive.org/details/textiledyeingcol0000aspl/page/n9/mode/2up> . Acesso em: 05 mai. 2025

Ashby, M. F., & Johnson, K. **Materials and design: The art and science of material selection in product design**. Butterworth-Heinemann, 2016. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/materials-and-design-the-art-and-science-of-material-selection-in-product-design-pdf-free.html> . Acesso em: 05 jun. 2025

ASTM D1621. **Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics**. ASTM International, 2016. Disponível em: <https://store.astm.org/d1621-16.html> . Acesso em: 10 jun. 2025

Ball, R. **Thermal insulation**. Butterworth-Heinemann, 2007. Acesso em: 02 mai. 2025

BIOTECC. **Do citrus à indústria: a versatilidade técnica do D-limoneno em aplicações**. Biotecc, 2024. Disponível em: <https://www.biotecc.com.br/post/do-citrus-a-industria-a-versatilidade-tecnica-do-dlimoneno-em-aplicacoes> . Acesso em: 8 ago. 2025.

BRASIL. **Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990. Código de Defesa do Consumidor**. Brasília, 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078compilado.htm . Acesso em: 15 jul. 2025

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Lei de Crimes Ambientais**. Brasília, 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm . Acesso em: 15 jul. 2025

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm . Acesso em: 16 jul. 2025

BRASIL. **Estudo mostra que 70% dos resíduos do mar brasileiro são plásticos**. Agência Brasil, 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-03/estudo-mostra-que-70-dos-residuos-do-mar-brasileiro-sao-plastico> . Acesso em: 01 nov. 2025.

Briston, J. H. (1990). **Plastic films**. Longman Scientific & Technical. Acesso em: 20 mai. 2025

BIERWAGEN, G. P. **Organic coatings: science and technology**. Progress in Polymer Science, v. 25, n. 7, p. 1003–1004, 2000. Acesso em: 25 abr. 2025

Brandrup, J.; Immergut, E. H.; Grulke, E. A.; Abe, A.; Bloch, D. R. **Polymer handbook**. John Wiley & Sons, 1999. Disponível em: https://ptabdata.blob.core.windows.net/files/2016/IPR2016-01905/v11_Exhibit%201011%20-%20Polymer%20Handbook.pdf . Acesso em 22 abr. 2025

Broadbent, A. D. **Basic principles of textile coloration**. Society of Dyers and Colourists, 2001. Disponível em: https://www.academia.edu/90004714/Basic_Principles_of_Textile_Coloration . Acesso em: 18 abr. 2025

Brown, A. **Toxic effects of heavy metals on human health**. Environmental Health Perspectives, v. 127, n. 6, 66001, 2019. Acesso em: 20 jun. 2025

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 10. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2017. Disponível em: [https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/TEKNOLOGI%20REKAYASA%20MATERIAL%20PERTAHANAN/Materials%20Science%20and%20Engineering%20An%20Introduction%20by%20William%20D.%20Callister,%20Jr.,%20David%20G.%20Rethwish%20\(z-lib.org\).pdf](https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/TEKNOLOGI%20REKAYASA%20MATERIAL%20PERTAHANAN/Materials%20Science%20and%20Engineering%20An%20Introduction%20by%20William%20D.%20Callister,%20Jr.,%20David%20G.%20Rethwish%20(z-lib.org).pdf) . Acesso em: 15 abr. 2025

Calvert, P. **Ink jet printing for materials and devices**. Chemistry of Materials, v. 13, n. 10, p. 3299–3305, 2001. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cm0101632> . Acesso em: 26 abr. 2025

CAMEO CHEMICALS. **Limonene**. NOAA, 2024. Disponível em: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/20568>. Acesso em: 8 ago. 2025.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual de gerenciamento de resíduos sólidos**. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/sigor-mtr/tag/manuais> . Acesso em: 20 jul. 2025

Christie, R. M. **Colour chemistry**. Royal Society of Chemistry, 2015. Disponível em: <https://www.daryatamin.com/wp-content/uploads/2019/12/Colour-Chemistry.pdf> . Acesso em: 30 abr. 2025

Costa, R. **Extended producer responsibility for paint waste**. Journal of Cleaner Production, v. 133, p. 111–119, 2016. Acesso em: 25 jul. 2025

COATES, G. W.; CHEN, E. Y.-X. **Discrete metal-based catalysts for the synthesis of polymers**. Chemical Reviews, v. 105, n. 4, p. 1431-1471, 2005. Acesso em: 20 mai. 2025

Cristea, D.; Vilarem, G. **Improving light fastness of natural dyes on cotton yarn**. **Dyes and Pigments**, v. 70, n. 3, p. 238–245, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143720805001282> . Acesso em: 10 jun. 2025

Ehring, R. **Polymeric materials: Structure, properties, applications**. Hanser Gardner Publications, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/3258373_Polymeric_materials_-_structure_properties_applications_Book_Review . Acesso em: 21 abr. 2025

ELIAS, H.-G. **An Introduction to Polymer Science**. Weinheim: Wiley-VCH, 2007. Disponível em: <https://archive.org/details/introductiontopo0000elia> . Acesso em: 21 abr. 2025

European Manufacturers of Expanded Polystyrene (EUMEPS). **EPS facts**, 2021. Acesso em: 21 abr. 2025

European Manufacturers of Expanded Polystyrene (EUMEPS). **What is EPS?**, 2023. Acesso em: 21 abr. 2025

FAPESP. **Composto bioativo presente no limão e na laranja ajuda a reduzir o ganho de peso**. Agência Fapesp, 2024. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/composto-bioativo-presente-no-limao-e-na-laranja-ajuda-a-reduzir-o-ganho-de-peso/41270>. Acesso em: 20 jul. 2025.

Ferreira, S. **Treatment technologies for paint waste**. Waste Management, v. 102, p. 80–92, 2020. Acesso em: 06 mai. 2025

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Guia de legislação ambiental para a indústria**. São Paulo, 2019. Acesso em: 20 jul. 2025

FLORACHEM. **Decoding limonene: benefits and applications**. Florachem, 16 maio 2024. Disponível em: <https://florachem.com/2024/05/16/decoding-limonene-benefits-and-applications/> . Acesso em: 23 jul. 2025.

FLORY, P. J. **Principles of Polymer Chemistry**. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1953. Disponível em: <https://archive.org/details/dli.ernet.286013> . Acesso em: 22 abr. 2025

Garcia, M. **Environmental contamination from improper disposal of paints**. Science of the Total Environment, v. 754, 142222, 2021. Acesso em: 20 jul. 2025

Goetz, L. A.; Klein, A.; El-Aasser, M. S. **Emulsion Polymerization and Emulsion Polymers**. John Wiley & Sons, 2004. Acesso em: 25 abr. 2025

Harper, C. A. **Handbook of plastics, elastomers, and composites**. McGraw-Hill, 2002. Disponível em: <https://scispace.com/papers/handbook-of-plastics-elastomers-and-composites-1ndftlnldx> . Acesso em: 25 abr. 2025

Holme, I. **Textile dyeing**. Society of Dyers and Colourists, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9781855733855500147?via%3Dihub> . Acesso em: 26 abr. 2025

Hunger, K. **Industrial dyes: chemistry, properties, applications**. Wiley-VCH, 2003. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/3527602011> . Acesso em: 01 mai. 2025

IUPAC. **Nomenclature of Organic Chemistry, Sections A, B, C, D, E, F and H**. Oxford: Pergamon Press, 1979. Copyright 1996 IUPAC. Disponível em: <https://iupac.qmul.ac.uk/bibliog/blue.html> . Acesso em: 15 abr. 2025

Jones, B. **Heavy metals in paints: A review of environmental and health impacts.** Environmental Pollution, v. 235, p. 1025–1038, 2018. Acesso em: 10 jul. 2025

Kulkarni, A. A.; Chavan, S. B.; Machewad, G. M. **Effect of plasticizers on the properties of emulsion based pressure sensitive adhesives.** International Journal of Adhesion and Adhesives, v. 37, p. 1–6, 2012. Acesso em: 30 abr. 2025

Lambourne, R.; Strivens, T. A. **Paints and surface coatings: Theory and practice.** Woodhead Publishing, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9781855733480/paint-and-surface-coatings> . Acesso em: 29 abr. 2025

Landfester, K. **Polyreactions in Miniemulsions.** Macromolecular Rapid Communications, v. 22, n. 10, p. 896–936, 2001. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Polyreactions-in-mini-emulsions.-Landfester/b2b7ba1c341acabed00be62b8d0419695aa83981> . Acesso em: 02 mai. 2025

Lee, C. **Leaching of heavy metals from paint waste.** Journal of Hazardous Materials, v. 324, p. 471–479, 2017. Acesso em: 23 jul. 2025

Lewis, D. M. **Wool dyeing.** Society of Dyers and Colourists, 1992. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/toc/14784408b/1992/108/9> . Acesso em: 02 mai. 2025

Martins, P. **Public awareness and behavior towards paint waste disposal.** Resources, Conservation and Recycling, v. 125, p. 1–8, 2017. Acesso em: 25 jul. 2025

MAY, Paul. **Limonene – Molecule of the Month.** Molecule of the Month – School of Chemistry, University of Bristol, 2025. Disponível em: <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/limonene/limonenejm.htm> . Acesso em: 27 jun. 2025.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Legislação ambiental brasileira.** Brasília, 2002. Disponível em: [https://antigo.mma.gov.br/auditorias/item/401-legislação.html](https://antigo.mma.gov.br/auditorias/item/401-legisla%C3%A7%C3%A3o.html) . Acesso em: 25 jul. 2025

MONTENEGRO, R.; SERFATY, M. **Aspectos Gerais do Poliestireno.** Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), 2002. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2350> . Acesso em: 19 abr. 2025

NATTA, G. et al. **Stereospecific Polymerization of α -Olefins.** Journal of the American Chemical Society, v. 77, n. 6, p. 1708–1710, 1955. Acesso em: 15 mai. 2025

Neto, A. S.; Campaniço, A.; Santos, L. **Phthalates in textiles: a review on their occurrence, toxicity, and alternatives**. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 1, p. 1–18, 2018. Acesso em: 17 mai. 2025

Neville, A. **Paints and coatings: A concise introduction**. Elsevier, 2012. Acesso em: 03 mai. 2025

ODIAN, G. **Principles of Polymerization**. 4. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2004. Disponível em: [https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/Properties/Books/George%20odian%20-%20Principles%20of%20Polymerization-Wiley-Interscience%20\(2004\).pdf](https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/Properties/Books/George%20odian%20-%20Principles%20of%20Polymerization-Wiley-Interscience%20(2004).pdf) . Acesso em: 17 abr. 2025

ÓLEOS ESSENCIAIS. **Limoneno**. Óleos Essenciais, 2024. Disponível em: <https://www.oleosessenciais.org/limoneno/> . Acesso em: 27 mai 2025.

Oliveira, N. **Sustainable management of paint waste**. *Waste Management & Research*, v. 33, n. 10, p. 883–892, 2015. Acesso em: 29 abr. 2025

Patton, T. C. **Paint flow and pigment dispersion: A rheological approach to coating and ink technology**. John Wiley & Sons, 1999. Acesso em: 07 mai. 2025

Pereira, L. **Recycling of paint packaging**. *Journal of Environmental Management*, v. 217, p. 68–76, 2018. Acesso em: 04 mai. 2025

QUINARI. **Limoneno e suas aplicações na indústria e aromaterapia**. Quinari, 2024. Disponível em: <https://www.quinari.com.br/limoneno-e-suas-aplicacoes-na-industria-e-aromaterapia/> . Acesso em: 20 abr. 2025.

CELLA, R. F.; OLIVEIRA, P. F.; MACHADO, R. A. F.; BOLZAN, A. **Reologia de soluções de espuma semirrígida de poliestireno dissolvida em D-limoneno**. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ 2014. São Paulo: Blucher, 2015. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 2, p. 8172-8179. Disponível em: [10.5151/chemeng-cobeq2014-1088-21098-181919](https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-1088-21098-181919). Acesso em: 30 jul. 2025

Ritchie, B. **Engineering materials: Properties and selection**. Butterworth-Heinemann, 2011. Acesso em: 19 mai. 2025

Rocha, G. O.; Freire, M. G.; Coutinho, J. A. P. **Aqueous biphasic systems: a powerful tool for sustainable chemistry**. *Green Chemistry*, v. 18, n. 17, p. 4838–4868, 2016. Acesso em: 23 mai. 2025

RATNER, B. D. et al. **Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2013. Disponível em: <https://biomateriali.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/10/biopolimere-dispense.pdf> . Acesso em: 02 jun. 2025

RBJ – **Setor ambiental alerta para impactos do isopor no meio ambiente de Palmas.** Disponível em: <https://rbj.com.br/setor-ambiental-alerta-para-impactos-do-isopor-no-meio-ambiente-de-palmas/#:~:text=A%20cidade%20de%20Palmas%2C%20Sul,mercado%20da%20reciclagem%2C%20explicou.&text=Além%20da%20dificuldade%20comercial%2C%20o,para%20reduzir%20o%20impacto%20ambiental> . Acesso em: 01 nov. 2025.

RUDIN, A. **The Elements of Polymer Science & Engineering**. 2. ed. San Diego, CA: Academic Press, 1999. Disponível em: <https://archive.org/details/elementsofpolyme0000rudi> . Acesso em: 19 abr. 2025

Santos, F. **Selective collection of paint waste**. Environmental Science & Technology, v. 53, n. 15, p. 8721–8729, 2019. Acesso em: 07 mai. 2025

SBQ QNINT. **Visualização da molécula limoneno**. Sociedade Brasileira de Química, 2024. Disponível em: https://qnint.sbq.org.br/qni/popup_visualizarMolecula.php?id=7zA_rLEjcuDvR58Tfp6EkoE7hKlpSt74wAMKPrF03jGpuPsXRZfVHsDt6ytFWPmqJ2IVV6GC9ICW6ylY_gpQVg%3D%3D . Acesso em: 15 jun. 2025.

Scheirs, J. **Recycling of polystyrene**. John Wiley & Sons, 2020. Acesso em: 16 abr. 2025

SCHLÜTER, A. D. **Synthesis of defined macromolecules: concepts and strategies**. Acta Polymerica, v. 51, n. 10, p. 523–535, 2000. Acesso em: 09 mai. 2025

SCHENEIDER, Gabriela; SCHWADE, Paula; SANTIN, Cristiane; ROCHA, Tatiana. **Produção de Tinta com Cascas de Laranja e Poliestireno Expandido (EPS)**. Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 6. ed., 2015. 9 p. (digitalizado). Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/1034> . Acesso em: 25 jun. 2025.

SCIENCE IN SCHOOL. **Citrus science: limonene**. Science in School, 2022. Disponível em: <https://www.scienceinschool.org/article/2022/citrus-science-limonene/> . Acesso em: 3 ago. 2025.

Shah, V. **Handbook of plastics testing and failure analysis**. John Wiley & Sons, 2014. Disponível em: <https://archive.org/details/handbookofplasti0000shah> . Acesso em: 14 jun. 2025

Shore, J. **Cellulosics dyeing**. Society of Dyers and Colourists, 1995. Disponível em: <https://www.rexresearch1.com/TextilesLibrary/BatchwiseDyeingWovenCellulosicFabricsBadaras.pdf> . Acesso em: 17 mai. 2025

Silva, D. **Air pollution from incineration of paint waste**. Atmospheric Environment, v. 270, 118877, 2022. Acesso em: 13 jun. 2025

Smith, C. B. **The chemistry of dyeing**. Springer, 2005. Acesso em: 28 abr. 2025

Smith, M. J. **Organic coatings: Their properties, uses, and durability**. Cambridge University Press, 2013. Acesso em: 12 mai. 2025

Smith, J. **Global challenges in paint waste management**. Environmental Challenges, v. 1, 100004, 2020. Acesso em: 07 jul. 2025

SMURFIT KAPPA. **Impacto ambiental: quais os índices de utilização de isopor no Brasil**. Disponível em: <https://www.smurfitkappa.com/br/newsroom/blog/impacto-ambiental-quais-os-indices-de-utilizacao-de-isopor-no-brasil> . Acesso em: 01 nov. 2025.

STEVENS, M. P. **Polymer Chemistry: An Introduction**. 3. ed. New York: Oxford University Press, 1999. Disponível em: <https://archive.org/details/polymerchemistry0000stev> . Acesso em: 18 abr, 2025

STROBL, G. **The Physics of Polymers: Concepts for Understanding Their Structures and Behavior**. 2. ed. Berlin: Springer, 1997. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286530577_The_Physics_of_Polymers_Concepts_for_Understanding_Their_Structures_and_Behavior . Acesso em: 26 abr. 2025

SUVINIL. **Um litro de tinta pinta quantos metros quadrados?** Disponível em: <https://www.suvinil.com.br/blog/um-litro-de-tinta-pinta-quantos-metros-quadrados> . Acesso em: 28 set. 2025.

Tadros, T. F. **Polymer Adsorption and Dispersion Stability**. Advances in Polymer Science, v. 219, p. 1–220, 2009. Disponível em: <https://dokumen.pub/polymer-adsorption-and-dispersion-stability-9780841208209-9780841210684-0-8412-0820-4.html> . Acesso em: 06 mai. 2025

Tascioglu, S. **The effect of plasticizers on the mechanical properties of polymers**. In: Plasticizers. IntechOpen, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23520360> . Acesso em: 11 mai. 2025

Takahashi, K. **Polymeric additives for high solids coatings**. Federation of Societies for Coatings Technology, 1995. Acesso em: 02 jun. 2025

Takahara, A.; Fujihara, T.; Ishizone, T. **Polymer Films and Coatings: Synthesis, Properties, and Applications**. John Wiley & Sons, 2012. Acesso em: 06 mai. 2025

TINTASMIXULTRA. **Saiba como calcular o rendimento e economize**. Disponível em: <https://tintasultramix.com.br/dicas/saiba-como-calcular-o-rendimento-e-economize> . Acesso em: 20 set. 2025.

Twede, D.; Selke, S. E. M. **Cartons, crates and corrugated**. DEStech Publications, Inc., 2015. Disponível em: https://www.destechpub.com/wp-content/uploads/2015/01/Cartons-Crates-and-Corrugated-Board-2nd-Ed-preview.pdf?srsId=AfmBOorZSV0B16Q8D6i_cWJJ8v5yDIE-EKyjk0qDjSvsXcbE5o3GufRV . Acesso em: 08 jun. 2025

van Gorkum, R.; Bouwman, E. **Alkyd Resins: Synthesis, Properties and Applications**. Elsevier, 2009. Acesso em: 03 mai. 2025

VOLLHARDT, K. P. C.; SCHORE, N. E. **Organic Chemistry: Structure and Function**. 1. ed. New York: W. H. Freeman, 1999. Disponível em: https://www.mdpi.com/1420-3049/4/10/316?utm_source=researchgate . Acesso em: 15 abr. 2025

WECANN ACADEMY. **Limoneno**. WeCann Academy, 2024. Disponível em: <https://wecann.academy/vocabulario/limoneno/> . Acesso em: 05 jul. 2025.

WEEDY. **Compreendendo o limoneno: propriedades, usos e benefícios**. Weedy, 2024. Disponível em: <https://weedy.fr/blog/pt/compreendendo-o-limoneno-propriedades-usos-e-beneficios/> . Acesso em: 25 jul. 2025.

Wicks, Z. W.; Jones, F. N.; Pappas, S. P. **Organic coatings: Science and technology**. 4 ed. John Wiley & Sons, 2007. Disponível em: <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-10210632-f0b1a9b6b0.pdf> . Acesso em 12 mai. 2025

YOUNG, R. J.; LOVELL, P. A. **Introduction to Polymers**. 3. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781439894156/introduction-polymers-robert-young-peter-lovell> . Acesso em: 18 abr. 2025

ZHANG, Q.; CRESSWELL, D. J. **Glass transition in polymeric systems**. Journal of Polymer Science, v. 52, n. 3, p. 231–245, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pol.201600001> . Acesso em: 03 ago. 2025.