

Estudo sobre a incorporação de polietileno reciclado em impermeabilizante

André Luis Gabrielli

Fatec Campinas, andregabrielli@hotmail.com

Gabriel Aparecido Martins

Fatec Campinas, gabriel.aparecido.martins@gmail.com

Nelson Maniasso

Fatec Campinas, nelson.maniasso@fatec.sp.gov.br

RESUMO

O descarte incorreto de sacolas e embalagens plásticas (polietileno) no meio ambiente pode ocasionar diversos danos ao planeta, entre eles, a impermeabilização dos solos – que diminui a infiltração da água da chuva - devido, principalmente, às propriedades mecânicas e químicas do plástico, que por ser apolar, não se dissolve na água, agindo assim como uma espécie de barreira à passagem d'água. Nesse contexto, a propriedade impermeabilizante do polietileno atua como uma vilã, porém essa atuação maléfica é consequência das práticas inadequadas de descarte do polímero no meio ambiente, o que pode ser consertado através de reciclagens e conscientização da população. Aliando, agora de forma benéfica, a questão do descarte incorreto com a ação impermeabilizante que o polietileno possui, o presente trabalho traz a ideia de fornecer embasamento teórico para a síntese de um produto impermeabilizante à base de polietileno reciclado, atribuindo mais uma forma de reciclagem, com posterior uso do plástico em uma nova cadeia produtiva, de forma a aumentar a durabilidade de materiais que necessitam de impermeabilização e também contribuir com a preservação ambiental.

Palavras Chave: polímero; polietileno; impermeabilizante; testes; reuso

Data do recebimento do artigo: 21/09/2022

Data do aceite de publicação: 15/06/2023

Data da publicação: 30/06/2023

Study on the incorporation of recycled polyethylene in waterproofing

ABSTRACT

The incorrect disposal of plastic bags and packaging (polyethylene) in the environment can cause several damages to the planet, among them, the waterproofing of the soil - which reduces the infiltration of rainwater - mainly due to the mechanical and chemical properties of the plastic, that because it is non-polar, it does not dissolve in water, thus acting as a kind of barrier to the passage of water. In this context, the waterproofing property of polyethylene acts as a villain, but this harmful action is a consequence of inappropriate practices of disposing of the polymer into the environment, which can be fixed through recycling and public awareness. Combining, now in a beneficial way, the issue of incorrect disposal with the waterproofing action that polyethylene has, the present work brings the idea of providing theoretical basis for the synthesis of a waterproofing product based on recycled polyethylene, attributing yet another form of recycling, with subsequent use of plastic in a new production chain, in order to increase the durability of materials that need waterproofing and also contribute to environmental preservation.

Key Words: polymer; polyethylene; waterproofing; tests; reuse

1 INTRODUÇÃO

A preocupação e a necessidade de encontrar meios para frear as consequências do consumo sem limites de plásticos tem sido tema de diversos trabalhos, estudos e discussões pela sociedade em geral, mas principalmente no meio acadêmico.

Segundo Derraik (2002), “a literatura sobre detritos marinhos não deixa dúvidas de que os plásticos constituem a maior parte do lixo marinho em todo o mundo”.

Assuntos como a degradação de biomassa, poluição de rios e mares, destinação incorreta de lixos, bem como a busca por alternativas mais sustentáveis de consumo, descarte ou reaproveitamento desses materiais tem feito o ser humano refletir acerca do tema com o seguinte questionamento: “Que planeta a atual geração deixará para as futuras gerações?”.

Para Gouveia (2012), “o manejo adequado dos resíduos é uma importante estratégia de preservação do meio ambiente, assim como de promoção e proteção da saúde”.

A reflexão e a prática da educação ambiental não são resultados exclusivos das políticas públicas. Todavia, elas estabelecem as orientações e impulsionam projetos, programas, formação continuada de professores, material didático e outras estratégias,

com maior ou menor sistematização e sucesso, inclusive nos cursos de formação de professores nas universidades (TEIXEIRA; TORALES, 2014).

A reciclagem é essencial para mantermos uma sociedade sustentável, pois através dela podemos destinar corretamente os materiais que seriam descartados no meio ambiente, podendo dar-lhes uma nova forma de utilização. Um bom exemplo de material que quando descartado indiscriminadamente pode trazer sérias consequências ao planeta é o polietileno, grupo responsável por grande parte dos polímeros produzidos, ou seja, grupo importante do que é popularmente conhecido como plástico. As sacolas plásticas são grandes vilãs dos processos de descarte inadequado de resíduos (DEUS; AFONSO; AFONSO, 2014).

Polímeros são macromoléculas de alta massa molar com estrutura formada pela repetição de moléculas simples (monômeros) unidas por ligações covalentes. Estudos apontam que polímeros são utilizados desde 1000 anos a.C., sendo a região chinesa a pioneira no assunto, devido ao fato de na época o povo chinês extrair verniz de uma árvore chamada *Rhus Vernicflua* e posteriormente utilizá-lo como impermeabilizante (GORNI, 2003). Atualmente, os polímeros – ou plásticos – são bastante utilizados nos diversos setores da indústria, sendo muito comum encontrá-los em embalagens de alimentos, sacolas plásticas e tubos para escoamento (GORNI, 2003). Por esses e outros motivos, a reciclagem dos polímeros e sua incorporação em outras cadeias produtivas é tão necessária, importante e benéfica ao meio ambiente.

Já a impermeabilização é uma técnica antiga que visa a preservação de um determinado material ao longo do tempo. Atualmente existem várias técnicas e produtos químicos diferentes que agem na impermeabilização dos mais variados materiais a fim de conferir-lhes, além de durabilidade, menor probabilidade de proliferação de microrganismos (fungos, bactérias) advindos de locais úmidos. Os aditivos impermeabilizantes seguem esse propósito, já que reduzem a penetração de umidade sob pressão (permeabilidade) e de elementos agressivos presentes em solução aquosa (REPETTE, 2003).

Um material presente em diversos empreendimentos como casas, empresas, escolas, e que são absorventes de água é a rocha. Mármore e granitos são exemplos de rochas, diferenciando-se pela resistência e porosidade entre si, onde o granito é mais resistente e menos poroso, ou seja, menos passível de permeabilização de água e o

mármore possui mais poros e, por conseguinte, absorve mais água (FABRICATI, 2018). Por estes motivos, tais materiais necessitam de proteção e aplicação de produtos que criem esta impermeabilização, aumentando a durabilidade do material e melhorando o acabamento.

Esse trabalho surgiu inicialmente como forma de continuidade do Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Técnico em Química intitulado “Impermeabilizante Reutilizando Sacolas Plásticas”, datado de 2017, apresentado na Escola Técnica Estadual Conselheiro Antônio Prado (ETECAP), no qual o atual aluno da FATEC Campinas e membro da dupla desse estudo, Gabriel Aparecido Martins, fazia parte. A oportunidade de continuação do trabalho se deu devido as possibilidades de melhoria da formulação do impermeabilizante sintetizado e a realização de testes adicionais, o que acabou não ocorrendo, pois justamente nesse período foi decretado pelo governo do estado de São Paulo o fechamento das instituições de ensino, como forma de combate e prevenção à contaminação do vírus SARS-CoV-2, impossibilitando assim a realização dos testes práticos propostos.

Tal fato fez com que o presente estudo sofresse adequação para uma Revisão Bibliográfica seguido de uma sugestão de produção de um impermeabilizante que incorpore o polietileno (polietileno de alta densidade e polietileno de baixa densidade), utilizando a formulação e os ensaios realizados no ensino técnico como base mandatória para um trabalho futuro e assim inseri-lo em uma nova cadeia produtiva, como mais uma alternativa de reciclagem.

Como objetivo geral, iremos fornecer embasamento teórico para a produção de um impermeabilizante para aplicação em mármore, granitos e blocos de concreto em geral, a um baixo custo de fabricação e que contribua com a preservação do meio ambiente. Além de estudar a formulação de um produto impermeabilizante que tenha uma boa consistência física, odor neutro e que seja eficiente nos materiais citados, através da incorporação do polietileno na composição, como fim de reciclagem do mesmo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RECICLAGEM

De acordo com a Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, Art. 3º inciso XIV, “reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de

suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos.”

2.1.1 Tipos de Reciclagem

São três os principais tipos de reciclagem: mecânica, energética e química (Bluevision, 2019).

2.1.1.1 Reciclagem mecânica

De acordo com a Braskem, através de sua plataforma digital Bluevision.

A reciclagem mecânica é o método mais usado globalmente para dar novos usos aos resíduos, quaisquer que eles sejam. No caso dos plásticos, ela consiste em transformar, mecanicamente, esse material – seja ele oriundo de sobra industrial ou de descarte doméstico e comercial – sem alterar sua estrutura química, de forma que possa ser utilizado na produção de novos materiais.

2.1.1.2 Reciclagem energética

O grupo Braskem informa, através de sua plataforma digital Bluevision, que a reciclagem energética “consiste em transformar o plástico em energia térmica e elétrica, aproveitando, por meio da incineração, o poder calorífico armazenado nesses materiais como combustível.”.

Tabela 1 - Poder calorífico de alguns plásticos e outros combustíveis

Material	Poder calorífico (MJ/kg)
Polietileno	43,3-46,5
Polipropileno	46,5
Poliestireno	41,9
Querosene	46,5
Gasolina	45,2
Petróleo	42,3
RSU	31,8

Fonte: OLIVEIRA, 2012

2.1.1.3 Reciclagem química

De maneira resumida, a reciclagem química é um processo que consiste na transformação dos resíduos plásticos em insumos químicos, combustíveis ou matéria-prima (VGR, 2018).

Quando aplicada especificamente ao setor de materiais poliméricos, os compostos químicos produzidos por reciclagem química são obtidos por mecanismos de despolimerização (SASSE; EMIG, 1998).

2.1.1.4 Importância

A reciclagem é essencial para mantermos uma sociedade sustentável. Além do reaproveitamento do resíduo como matéria-prima de novos produtos, o que gera economia para as empresas, há outros benefícios, como (BRK Ambiental, 2019):

- redução no gasto de energia;
- redução dos gases de efeito estufa (GEE);
- preservação de fontes de matéria-prima;
- diminuição do gasto com aterros sanitários;
- geração de emprego.

2.1.1.5 Dados do Setor de Reciclagem

De acordo com os dados da Plastivida, referentes ao ano de 2010, o setor de reciclagem mecânica no Brasil empregou diretamente 18.288 pessoas, um crescimento de 0,8% quando comparado com o ano de 2009 (18.143). Também no ano de 2010, o setor teve um faturamento bruto de 1.948.000 reais, representando um aumento de 5,2% no faturamento bruto quando comparado ao ano anterior (PLASTIVIDA, 2010). Por fim, ainda no ano de 2010 e utilizando dos dados da Plastivida, observa-se um pequeno aumento na quantidade de plásticos reciclados quando comparado ao ano de 2009, com 953.000 toneladas de plástico sendo reciclado, contra 929.000 toneladas no ano anterior.

Trazendo dados mais recentes, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST), referentes ao ano de 2020, a participação na cadeia produtiva de plásticos do Polietileno de Alta Densidade (PEAD) foi de 13,2%, a do Polietileno de Baixa Densidade Linear (PEBDL) foi de 11,8% e a do Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) foi de 8%, totalizando 33%, mostrando a importância que esse polímero tem para o mundo do plástico.

2.2 POLÍMERO

Para Sebastião Canevarolo (2006), “polímero - material orgânico (ou inorgânico) de alta massa molar (acima de dez mil, podendo chegar a dez milhões), cuja estrutura consiste na repetição de pequenas unidades (meros). Macromolécula formada pela união de moléculas simples ligadas por ligação covalente.”.

2.2.1 Forças Moleculares

Antes de iniciar-se a leitura dos tópicos seguintes relacionados às forças moleculares, salienta-se que serão expostos todos os tipos de forças intra e intermoleculares para fins didáticos, porém serão expostos de maneira detalhada apenas as forças que regem a estrutura intra e intermolecular do polietileno.

2.2.1.1 Forças intramoleculares

As forças intramoleculares vão determinar o arranjo das unidades de repetição, a estrutura química e o tipo de cadeia polimérica, incluindo o tipo de configuração. Estas também vão influenciar na rigidez/flexibilidade da cadeia polimérica e,

consequentemente, do polímero, assim como na sua estabilidade (térmica, química, fotoquímica, etc.) (CANEVAROLO, 2006).

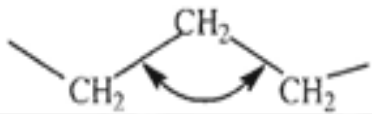
Tipos de ligações intramoleculares

Os átomos de uma molécula estão ligados entre si por ligações primárias fortes, podendo ser de quatro tipos: iônica, coordenada, metálica e covalente (CANEVAROLO, 2006).

Ligação covalente

A principal característica da ligação covalente é o compartilhamento de um ou mais pares de elétrons entre átomos, causando uma atração mútua entre eles, que mantém a molécula resultante unida (CRAVEIRO, 2013). Ligações covalentes normalmente envolvem curtas distâncias e altas energias (CANEVAROLO, 2006). A Figura 1 apresenta a conformação e a angulação do polietileno.

Figura 1 - Ângulo da ligação covalente do polietileno

Ligação	Ângulo (° “)
	109° 28”

Fonte: CANEVAROLO (2006)

2.2.1.2 Forças intermoleculares

As forças intermoleculares vão determinar decisivamente a maioria das propriedades físicas do polímero: temperatura de fusão cristalina, solubilidade, cristalinidade, difusão, permeabilidade e gases e vapores, deformação e escoamento envolvendo em todos os casos a quebra e formação de ligações intermoleculares. Quanto mais fortes forem estas forças, maior a atração entre as cadeias, tornando-se mais difícil todo e qualquer evento que envolva a separação e/ou fluxo de uma cadeia sobre a outra (CANEVAROLO, 2006).

Tipos de ligações intermoleculares

Estas podem ser de dois tipos: forças de Van der Waals e ligações de hidrogênio.

Forças de Van der Waals

Forças de Van der Waals podem ser subdivididas em: interação dipolo-dipolo, interação dipolo-dipolo induzido e forças de dispersão (CANEVAROLO, 2006).

Forças de dispersão

Em moléculas apolares, flutuações momentâneas da nuvem eletrônica podem induzir a uma polarização instantânea na molécula, provocando interação com suas vizinhas. Estas forças são utilizadas para explicar a força de atração entre moléculas alifáticas presentes nas poliolefinas (que têm caráter apolar), permitindo o estado sólido do polietileno (CANEVAROLO, 2006).

2.2.2 Classificação

Usualmente, quatro diferentes classificações são empregadas: quanto à estrutura química, quanto ao seu método de preparação, quanto às suas características tecnológicas (desempenho mecânico), e quanto ao seu comportamento mecânico (CANEVAROLO, 2006).

2.2.2.1 Quanto à estrutura química

Dentro desta classificação, analisa-se o polímero através da estrutura química do seu monômero. Duas subdivisões são possíveis em princípio: polímeros de cadeia carbônica e polímeros de cadeia heterogênea (CANEVAROLO, 2006).

Polímeros de cadeia carbônica

Tem-se oito principais classes: poliolefinas, polímeros de dienos, polímeros estirênicos, polímeros clorados, polímeros fluorados, polímeros acrílicos, polivinil ésteres e poli(fenol-formaldeído) (CANEVAROLO, 2006).

Poliolefinas

São polímeros originários de monômeros de hidrocarboneto alifático insaturado contendo uma dupla ligação carbono-carbono reativa. Dentro desta classificação temos: polietileno (de baixa e alta densidade), polipropileno (PP), polimetilpenteno (TPX), polibuteno ou polibutileno e poliisobutileno (CANEVAROLO, 2006).

2.2.2.2 Quanto ao método de preparação

De acordo com Passatore (2013), “em 1929, Carothers dividiu as polimerizações em dois grupos, de acordo com a composição ou estrutura dos polímeros. Segundo esta classificação, as polimerizações podem ser por adição (poliadição) ou por condensação (policondensação)”.

Polímeros de adição

Polímeros de adição são formados a partir de um único monômero, através de uma reação de adição. As substâncias usadas na geração de polímeros manifestam de forma obrigatória uma ligação dupla entre os carbonos (PASSATORE, 2013). Normalmente, estes polímeros têm cadeia carbônica. Exemplos: PE, PP, PVC, PMMA, etc. (CANEVAROLO, 2006).

2.2.2.3 Quanto ao comportamento mecânico

Os polímeros podem ser classificados quanto ao comportamento mecânico em: plásticos, elastômeros e fibras (CANEVAROLO, 2006).

Plásticos

Um material polimérico sólido na temperatura de utilização, normalmente a ambiente ou próxima dela. Eles podem ser subdivididos em: termoplásticos, termorrígidos e baroplásticos (CANEVAROLO, 2006).

Termoplásticos

A empresa Poliforma, em publicação no ano de 2018 através de seu site, informa que “termoplásticos são aqueles que amolecem ao serem aquecidos, podendo ser moldados, e quando resfriados ficam sólidos e tomam uma nova forma”.

Canevarolo (2006) acrescenta que “novas aplicações de temperatura e pressão reiniciam o processo, portanto são recicláveis. São solúveis e possuem cadeia linear ou ramificada. Exemplos: PE, PP, PVC, etc..

2.2.2.4 Quanto ao desempenho mecânico

Esta classificação leva em conta o desempenho mecânico do polímero quando usado em um item ou peça. Tem-se quatro principais subdivisões: termoplásticos convencionais (*commodities*), termoplásticos especiais, termoplásticos de engenharia (TE) e termoplásticos de engenharia especiais (CANEVAROLO, 2006).

Termoplásticos convencionais

São polímeros de baixo custo, baixo nível de exigência mecânica, alta produção, facilidade de processamento, etc.. Como exemplos, temos as poliolefinas (PEBD, PEAD, PP), o poliestireno (PS) e o policloreto de vinila (PVC) (CANEVAROLO, 2006).

2.2.3 Conformação de cadeias poliméricas

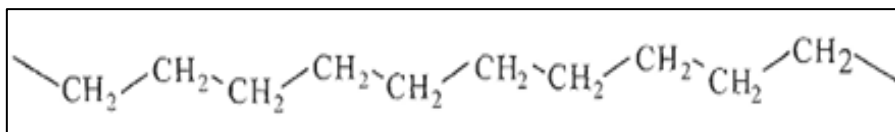
De acordo com Sebastião Canevarolo (2006),

A conformação descreve arranjos geométricos espaciais que a cadeia polimérica pode adquirir, que podem ser mudados através de rotações das ligações simples C-C, sendo, portanto, reversíveis. Esta rotação é livre, mas deve respeitar a geometria tetraédrica do carbono, mantendo-se fixos o ângulo de ligação e a distância de ligação entre os átomos. A maneira como uma cadeia polimérica vai se empacotar, formando o estado sólido, depende de suas características estruturais (estrutura química), da velocidade (taxa) de resfriamento e do meio em que ela está inserida. De uma forma geral, pode-se identificar três tipos de conformações: novelo ou aleatória ou enrodilhada, zig-zag planar e helicoidal ou hélice ou espiral.

2.2.3.1 Zig-zag planar

No estado sólido, cadeias lineares sem grupos laterais podem se empacotar de uma maneira regular, conformando-se em um tipo zig-zag. Exemplos de polímeros que apresentam este tipo de conformação são: PEBD, PEAD, náilons, PC, PET, considerando-se principalmente suas sequências etilênicas e aromáticas (CANEVAROLO, 2006). Na Figura 2 tem-se a conformação zig-zag do polietileno.

Figura 2 - Conformação zig-zag planar de uma sequência etilênica



Fonte: CANEVAROLO, 2006

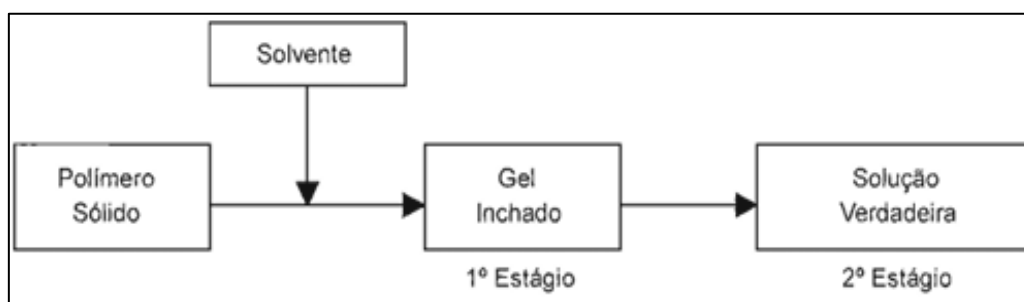
2.2.4 Solubilização de um polímero

Para Sebastião Canevarolo (2006),

A solubilização de um polímero é um processo físico reversível, que não altera a estrutura química na cadeia polimérica. Este se diferencia do ataque químico, que é um processo químico irreversível e que leva à degradação da cadeia polimérica. A solubilização é um processo lento que acontece em dois estágios.

Na Figura 3 nota-se o fluxograma genérico utilizado para descrever a sequência de etapas da solubilização de um polímero.

Figura 3 - Solubilização de um polímero mostrando seus dois estágios



Fonte: CANEVAROLO, 2006

O polímero sólido em contato com o solvente tende a inchar através da difusão das moléculas do solvente para dentro da massa polimérica, formando um gel inchado. Este estágio não acontecerá se as estruturas químicas do polímero e do solvente forem muito diferentes, se existir alta densidade de ligações cruzadas e se as interações polímero-polímero forem muito maiores que as interações polímero-solvente (CANEVAROLO, 2006).

No segundo estágio, a entrada de mais solvente leva à desintegração do gel inchado, com a consequente formação de uma solução verdadeira. Este estágio será prejudicado (mas não necessariamente inviabilizado) se na massa polimérica estiverem presentes: cristalinidade, ligações de hidrogênio, ligações cruzadas (em baixas concentrações) e se as interações polímero-polímero forem maiores que as interações polímero-solvente (CANEVAROLO, 2006).

2.2.4.1 Regras básicas (empíricas) da solubilização de um polímero

Segundo Sebastião Canevarolo (2006), existem três regras básicas,

- Deve existir semelhança química e estrutural entre o polímero e o solvente. Semelhante dissolve semelhante.

- Para um dado par polímero/solvente, a solubilidade é acrescida com o aumento da temperatura e/ou redução da massa molecular da cadeia polimérica.
- Polímeros termoplásticos altamente cristalinos apresentam solubilidade somente a temperaturas próximas à temperatura de fusão cristalina (T_m).

2.2.4.2 Efeito do tipo de cadeia polimérica na solubilização

Termoplásticos são materiais poliméricos com cadeias lineares ou ramificadas. Isso permite sua solubilização em solventes apropriados. Por outro lado, a presença de cristalinidade dificulta (mas não impede completamente) a solubilização sendo que (CANEVAROLO, 2006):

Para termoplástico semicristalino apolar, a solubilização pode somente ocorrer a temperaturas próximas a T_m . Este é o caso do polietileno que é solúvel em xileno somente a $T > 70$ °C.

2.2.5 Estrutura molecular do estado sólido

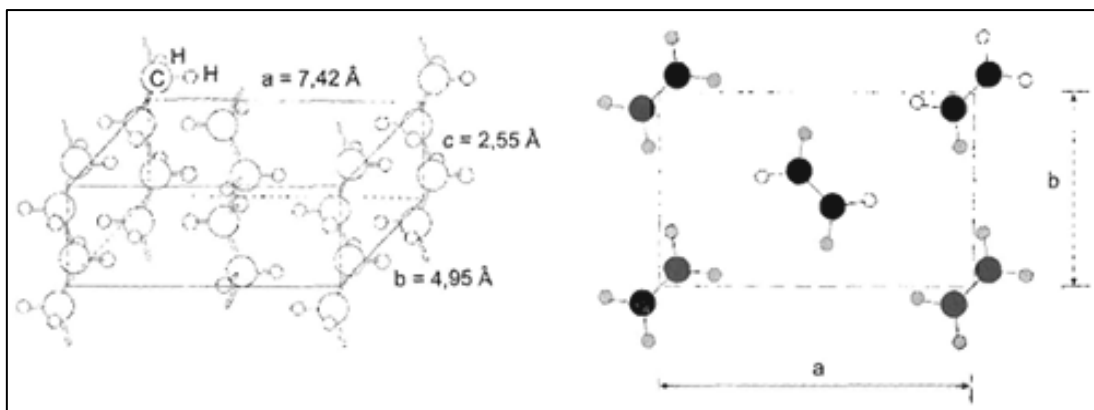
A maioria das propriedades físicas, mecânicas e termodinâmicas dos polímeros semicristalinos depende do grau de cristalinidade e da morfologia das regiões cristalinas. Quanto maior a cristalinidade, mais elevadas são as propriedades de densidade, rigidez, estabilidade dimensional, resistência química, resistência à abrasão, temperatura de fusão (T_m), temperatura de transição vítrea (T_g), temperatura de utilização, etc.. Por outro lado, reduzem-se as propriedades de resistência ao impacto, alongação na ruptura, claridade óptica, etc. (CANEVAROLO, 2006).

2.2.5.1 Célula unitária do polietileno

Para melhor visualização da cristalinidade, ou seja, do arranjo ordenado das cadeias poliméricas no cristalito, apresenta-se a seguir a célula unitária e parâmetro de rede do polietileno (CANEVAROLO, 2006).

A célula unitária do polietileno, mostrada na figura abaixo, é ortorrômbica (paralelepípedo) com parâmetros de rede como apresentados abaixo (as constantes a e b são dependentes da temperatura) (CANEVAROLO, 2006).

Figura 4 - Vista em perspectiva e de planta da célula unitária do polietileno



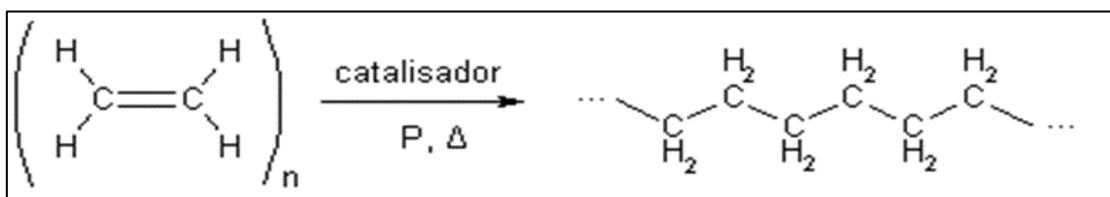
Fonte: CANEVAROLO, 2006

2.3 POLIETILENO

Polietileno é um polímero parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina (COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003).

O polietileno é um dos polímeros mais utilizados da atualidade, principalmente entre os termoplásticos, que são aqueles que se deformam com o calor. Sua temperatura de deformação e fusão é entre 110 e 115 °C (RESO, 2015). Na Figura 5 está a reação de polimerização do PE.

Figura 5 - Reação de polimerização do polietileno



Fonte: FOGAÇA – Manual da Química

Este polímero pode existir em cinco diferentes variações, que são: PEAD (polietileno de alta densidade), PEBD (polietileno de baixa densidade), PELBD (polietileno linear de baixa densidade ou PEBDL), PEUAPM (polietileno de ultra alto peso molecular) e PEUBD (polietileno de ultra baixa densidade) (COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003). Todos podem ser reciclados e comercializados como material recuperado. Aplicações:

- PEAD: Muito utilizado em embalagens de produtos de limpeza e produtos químicos. Utilizado também na fabricação de autopeças.
- PEBD: Muito utilizado em sacolas plásticas, embalagens para alimentos e produtos de higiene pessoal, tubos para irrigação, isolamento de fios, etc.

Na Tabela 2, apresenta-se as propriedades do polietileno com diferentes densidades, com destaque para a baixa permeabilidade do material polimérico.

Tabela 2 - Propriedades de quatro diferentes variações de polietileno

Testes DIN, ASTM	Propriedades	Densidade dos PE's			Peso molecular ultra elevado (PEUAPM)
		Baixa	Média	Alta	
Físicas					
D(53479)	Densidade (g/cm ³)	0,910-0,925	0,926-0,940	0,941-0,965	0,928-0,941
D(53473)	Absorção de água 24h, 3mm de espessura (%)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Mecânicas					
D(53455)	Resistência à tração (10 ³ Kgf/cm ²)	0,4-1,4	0,8-2,4	2,1-3,8	2,8-4,2
D(53455)	Alongamento na ruptura (%)	90/800	50/600	20/1000	200/500
D(53457)	Módulo de flexão (10 ⁴ Kgf/cm ²)	0,06-0,5	0,5-1,0	0,7-1,5	0,7-1,2
D256 (ASTM)	Resistência ao impacto (Kg)	Não quebra	—	—	Não quebra
D785 (ASTM)	Dureza Rockwell R	10	15	65	67
Térmicas					
D(52612)	Condutividade térmica (10 ⁻⁴ cal/s cm ² °C/cm)	8,0	8,0-10,0	11,0-12,4	11,0
D(52328)	Expansão térmica linear (10 ⁻⁵ cm/°C)	20	15	14	15
D(53461)	Temperatura de deflexão (°C)	32-42	42-50	45-55	50
Ópticas					
D542 (ASTM)	Índice de refração	1,51	1,52	1,52	—
D1003 (ASTM)	Transmitância (%)	4-50	40-50	10-50	—

Fonte: COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003

2.3.1 Conformações

2.3.1.1 Polietileno de Alta Densidade

O polietileno de alta densidade (PEAD) apresenta-se no estado sólido parcialmente cristalizado, com duas fases: a cristalina, ocupando aproximadamente 90% do volume total, e a amorfa, completando o restante, ou seja, com uma cristalinidade volumétrica média de C% = 90%. A cadeia de PE é linear, sem nenhum grupo lateral e,

portanto, consegue empacotar para formar a fase cristalina na conformação ordenada mais simples, isto é, zig-zag planar. A fase amorfa, por não ter ordem espacial, tem conformação aleatória ou em novelo (a mesma conformação apresentada pelas cadeias de polietileno no estado fundido e em solução). Assim, as cadeias do PE no estado sólido apresentam duas conformações: zig-zag planar, para os segmentos de cadeias que formam a fase cristalina, e em novelo, para os segmentos de cadeia que formam a fase amorfa (CANEVAROLO, 2006).

2.3.1.1.1 Propriedades

Na Tabela 3, apresenta-se algumas propriedades referentes ao polietileno de alta densidade, com destaque para a boa resistência a calor e baixa permeabilidade, dois fatores-chave para justificar sua inserção na síntese de um impermeabilizante.

Tabela 3 - Polietileno de alta densidade

Polímeros	Propriedades
Polietileno de alta densidade (HDPE) (Fabricante no Brasil: Braskem; Ipiranga; Politeno; Solvay)	Resistência a calor Resistência a solventes Baixa permeabilidade Boa processabilidade Baixo custo

Fonte: Adaptado de Hemais, 2003

2.3.1.2 Polietileno de Baixa Densidade

O polietileno de baixa densidade é um polímero parcialmente cristalino (50 – 60%), cuja temperatura de fusão está entre a faixa de 110 a 115 °C. Em 1940, a espectroscopia na região do infravermelho revelou que o PEBD contém cadeias ramificadas (BILLMEYER, 1984).

2.4 IMPERMEABILIZAÇÃO

Impermeabilização é uma técnica antiga que visa a preservação de um determinado material ao longo do tempo. Os romanos e os incas já empregavam albumina da clara de ovo, sangue, óleos, etc. para impermeabilizar saunas e aquedutos (VEDACIT, 6º edição). Atualmente existem várias técnicas e produtos químicos diferentes que agem na impermeabilização dos mais variados materiais a fim de conferir-lhes, além de durabilidade, menor probabilidade de proliferação de microrganismos (fungos, bactérias) advindos de locais úmidos. Os aditivos impermeabilizantes seguem esse propósito, já que reduzem a penetração de umidade sob pressão (permeabilidade) e de elementos agressivos presentes em solução aquosa (REPETTE, 2003).

Um material presente em diversos empreendimentos como casas, empresas, escolas, e que são absorventes de água é a rocha. Mármore e granitos são exemplos de rochas, diferenciando-se pela resistência e porosidade entre si, onde o granito é mais resistente e menos poroso, ou seja, menos passível de permeabilização de água e o mármore possui mais poros e, por conseguinte, absorve mais água (FABRICATI, 2018). Por este motivo, tais materiais necessitam de proteção e aplicação de produtos que criem esta impermeabilização, aumentando a durabilidade do material.

2.4.1 Normas Técnicas

As principais normas técnicas referentes à impermeabilização são:

- NBR 9574/1986: Execução de impermeabilização;
- NBR 9575/2003: Impermeabilização – Seleção e Projeto;
- NBR 9686/1986: Solução asfáltica empregada como material de imprimação na impermeabilização;
- NBR 9952/1998: Manta asfáltica com armadura para impermeabilização – Requisitos e Métodos de Ensaio;
- NBR 11905/1995: Sistema de impermeabilização composto por cimento impermeabilizante e polímeros;
- NBR 13321/1995: Membrana acrílica com armadura para impermeabilização – Especificação;
- NBR 13532/1995: Elaboração de projetos de edificações – Arquitetura;

- NBR 13724/1996: Membrana asfáltica para impermeabilização com estruturante, aplicada à quente.

2.4.2 Projeto de Impermeabilização

Para a elaboração do projeto deve-se considerar (VEDACIT, 2010):

- A estrutura a ser impermeabilizada – Tipo e finalidade da estrutura, deformações previstas e posicionamento das juntas;
- As condições externas às estruturas – Solicitações impostas às estruturas pela água, as impermeabilizações, detalhes construtivos, projetos interferentes com a impermeabilização e análise de custos x durabilidade.

2.4.3 Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Ferramentas

2.4.3.1 Equipamentos de Proteção Individual

A empresa VEDACIT (2010), grande nome no ramo de impermeabilizantes, sugere o uso dos seguintes equipamentos, através de seu manual técnico sobre impermeabilização:

- Botas;
- Luvas (PVC ou borracha);
- Capacetes;
- Óculos de segurança;
- Máscaras de proteção;
- Uniformes (calças compridas e mangas compridas).

2.4.3.2 Ferramentas

Também dentro do manual técnico sobre impermeabilização, da empresa VEDACIT (2010), encontra-se informações acerca do uso de ferramentas, como pode-se observar:

- Desempenadeira;
- Colher de pedreiro;
- Broxa;
- Trincha e pincel largo;
- Vassoura ou vassourão de pelo macio;

- Rolo para pintura.

2.4.4 Sistemas utilizados em impermeabilização

Sistema de impermeabilização é um conjunto de materiais que, uma vez aplicados, conferem impermeabilidade às estruturas. Existem basicamente dois sistemas: rígido e flexível (VEDACIT, 6º edição).

2.4.4.1 Sistema de Impermeabilização Rígido

Sistema de impermeabilização indicado para estruturas que não se movimentam ou que não sofrem deformações.

Exemplos de locais de aplicação (VEDACIT, 6º edição):

- Reservatórios, piscinas e caixas d'água (enterrados);
- Fundações (alicerces);
- Poços de elevadores;
- Subsolos;
- Pisos em contato com o solo;
- Paredes de encosta;
- Muros de arrimo.

2.4.4.2 Sistema de Impermeabilização Flexível

Ao contrário do sistema rígido, o sistema de impermeabilização flexível é indicado para estruturas sujeitas a movimentação.

Exemplos de locais de aplicação (VEDACIT, 6º edição):

- Lajes de cobertura;
- Terraços;
- Calhas de concreto;
- Áreas frias: banheiros, cozinhas;
- Áreas de serviço;
- Abóbadas;
- Reservatórios elevados.

Destaca-se que para os dois sistemas de impermeabilização apresentados existem manuais técnicos referentes ao processo de impermeabilização para cada local de aplicação, contendo informações acerca de precauções, passo-a-passo da aplicação, dicas e primeiros socorros.

2.4.5 Impermeabilizante sintético contendo polietileno reciclado

2.4.5.1 Contextualização

O objetivo inicial do presente trabalho de graduação era reproduzir laboratorialmente um impermeabilizante de composição pré-definida, de forma a testar suas características físicas, físico-químicas e químicas. Essa composição pré-definida foi estabelecida por um dos autores do presente estudo, ao qual o impermeabilizante foi produzido e brevemente testado em um trabalho de conclusão de curso anterior para a obtenção do título de Técnico em Química pela Escola Técnica Estadual Conselheiro Antônio Prado – ETECAP.

O impermeabilizante anteriormente desenvolvido possuía a seguinte composição:

- Parafina em barra;
- Polietileno reciclado;
- Querosene desodorizada;
- Xilol;
- Etanol;
- Resina acrílica;
- Essência.

Porém, devido à pandemia gerada pelo vírus SARS-CoV-2 que acometeu justamente o período do trabalho de graduação, fez-se necessário uma mudança no rumo do presente estudo, passando de algo majoritariamente prático para algo majoritariamente teórico, fundamentado em pesquisas de diferentes autores acerca do tema.

2.4.5.2 Fabricação de um impermeabilizante a partir de plástico PET, PEAD e materiais tradicionais para uso na área de construção

Buscando-se nas diversas fontes de pesquisa e conhecimento por trabalhos com propósito bem semelhante ao presente trabalho, encontrou-se um trabalho de conclusão de curso (TCC) de dois alunos equatorianos (Jorge Luis Baque Ortega; e Joshué André

Tutivén Hidalgo) acerca do tema, cujo TCC é intitulado “Fabricação de um impermeabilizante a partir de plástico PET, PEAD e materiais tradicionais para uso na área de construção”.

De posse do TCC referenciado, foi possível analisar, principalmente, a metodologia e os resultados que os alunos obtiveram, contribuindo assim com nossas pesquisas acerca do tema. A seguir têm-se expostos os principais pontos de destaque do trabalho de conclusão de curso dos alunos equatorianos.

2.4.5.2.1 Metodologia

De maneira resumida, a metodologia utilizada consiste em submeter o impermeabilizante sintetizado a testes laboratoriais, a fim de verificar as suas propriedades impermeabilizantes. Dividiu-se a metodologia em cinco diferentes linhas de investigação, sendo: investigação experimental, investigação descritiva, investigação documental, investigação quantitativa e investigação de campo.

Antes de adentrar nos materiais utilizados, ressalta-se que o impermeabilizante sintético usou como base de formulação uma argamassa tradicional usada no Equador, que tem como composição: cimento Portland, areia fina e água. A inserção de plástico nessa composição ocorreu através da troca do mesmo com a areia, em pequenas e grandes quantidades.

2.4.5.2.2 Materiais

Os materiais usados na produção dos impermeabilizantes são os seguintes: garrafa PET, cimento, PET em pó, areia, amido de mandioca e água. Ressalta-se que todo o plástico reciclado usado foi submetido a lavagem antes de serem inseridos.

2.4.5.2.3 Procedimento

Primeiramente, realizou-se diferentes pesagens para cada componente, de forma a atender os vários testes de composição que iriam ser realizados. Após as pesagens, em um recipiente de tamanho médio foi colocado cimento, já dosado, areia e o pó plástico (também já dosado), de maneira a misturá-los e assim obter uma massa homogênea. Após essa etapa, adicionou-se água aos poucos, de forma a controlar a consistência. A mistura desses insumos produziu uma massa com boa trabalhabilidade.

2.4.5.2.4 Aplicação

Os impermeabilizantes foram aplicados sobre um bloco tradicional, já contendo umidade, para que assim o bloco não absorva a água do impermeabilizante. Toda a superfície do bloco foi preenchida com o produto.

2.4.5.2.5 Ensaios

A Tabela 4 apresenta os sete ensaios e suas respectivas composições (em massa).

Tabela 4 - Ensaios e suas respectivas composições

Amostras	Materiais e Quantidades				
	Ensaio	Cimento	Areia	Água	Plástico em pó
1	250 g	750 g	140 g		
2	250 g	730 g	140 g	20 g	
3	250 g	380 g	710 g	370 g	
4	250 g	650 g	270 g	90 g	10 g
5	250 g		350 g	250 g	
6	400 g		350 g	400 g	
7	400 g	300 g	550 g	300 g	

Fonte: Adaptado de ORTEGA; HIDALGO (2020)

2.4.5.2.6 Resultados e Discussão

Após sintetizados, verificou-se a eficiência de cada um a partir de um teste de permeabilidade. Concluiu-se que os ensaios 2, 3, 4 e 5 absorveram maior quantidade de água, enquanto os ensaios 1, 6 e 7 absorveram menor quantidade de água. O ensaio 7 obteve o melhor desempenho levando em consideração a proposta do trabalho e por isso seguiu em frente nos testes.

Por fim, os autores concluíram que o ensaio 7 tem a composição de impermeabilizante mais otimizada, que o plástico em pó apresenta boas resistência e flexibilidade e que mesmo demonstrando boa eficiência, o ensaio 7 não foi totalmente impermeável

3 METODOLOGIA

Por tratar-se de uma Revisão Bibliográfica, o presente trabalho se estruturou majoritariamente em dados teóricos e qualitativos, com uma pequena e importante parte

de dados - de autoria própria - com teor prático e quantitativo. O esqueleto do trabalho originou-se através de pesquisas e leituras de diversas fontes de informação e conhecimento, como: livros, artigos científicos, teses, dissertações e sites da internet. Também se baseou no trabalho de conclusão de curso (TCC) citado, que tem total correlação e serviu de inspiração para a montagem do presente trabalho. Para a parte prática e quantitativa, a base mandatória fundamentou-se no que foi exposto no TCC intitulado “Impermeabilizante Reutilizando Sacolas Plásticas”. Diante dos dados, tornou-se possível e viável a realização dessa Revisão Bibliográfica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante da análise dos dados e informações acerca do polietileno, foi possível observar-se que o material possui propriedade impermeabilizante, com destaque para o tipo PEAD. Como apresentado no Apêndice A, o polietileno usado pelo grupo da Escola Técnica Estadual Conselheiro Antônio Prado (ETECAP) proveio de sacolas plásticas recicladas, que seriam introduzidas ao processo produtivo na forma de pequenos pedaços. Já o plástico utilizado pelos dois alunos equatorianos, apresentado na seção 2.4.5.2., proveio de garrafas PET, ao qual foram transformadas em pó, para aí serem introduzidas no processo de síntese do impermeabilizante.

A literatura informa que o rendimento da solubilização de um polímero aumenta com a diminuição da massa polimérica no meio ou com o aumento da temperatura. Pelo fato do aluno Gabriel Martins, membro da dupla do presente estudo, ter feito parte do grupo da ETECAP que sintetizou um impermeabilizante, pode-se concluir que o polietileno (sacola plástica reciclada) já picotado em pequenos pedaços apresenta boa trabalhabilidade, porém conta com um impasse, relacionado a sua quantidade em massa na composição final, que é consideravelmente menor que os outros reagentes, justamente devido ao fato do polímero ter esse impasse em sua solubilização. Diante dessa informação, a troca do polietileno picotado em pequenos pedaços pelo polietileno em pó (triturado) poderia resultar em um aumento na quantidade desse reagente na formulação, sem necessariamente alterar a eficiência do produto, o que melhoraria o índice de reuso pós-reciclagem do material polimérico. Um dos possíveis motivos dessa melhora estaria relacionado ao aumento da superfície de contato por parte do polímero em pó quando comparado ao picotado em pequenos pedaços.

Os dois trabalhos apresentados seguem o propósito de incluir material polimérico na formulação de produtos impermeabilizantes, mas só que de formas distintas, por isso não foi possível extrair muita informação, já que as formulações são totalmente diferentes.

Conforme exposto no decorrer desse estudo, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, verificou-se que a reciclagem do polietileno é de suma importância, pois geralmente, quanto mais se produz um determinado material, maior índice de descarte – correto ou incorreto – ele terá e maior ainda será o prejuízo ao meio ambiente. O polímero polietileno é amplamente utilizado no mundo todo e as sacolas plásticas estão entre seus principais derivados.

A reciclagem favorece a geração de empregos, preservação do meio ambiente, preservação de matérias-primas e a despoluição visual. Apesar de ser um tema muito debatido e com cada vez mais indagação pública, ainda caminha lentamente.

Na seção de impermeabilização, observou-se que os trabalhos, manuais técnicos e normas que tratam do assunto são voltados majoritariamente para a proteção de fundações, proteção de coberturas de edificações e também para a correção de problemas de umidade em imóveis. Esse detalhe foi um leve impasse para o presente estudo, visto que o impermeabilizante proposto segue a linha de proteger, contra os efeitos da umidade, o que são conhecidas popularmente como “pedras” ornamentais (granitos, mármore, ardósias, entre outras), utilizadas como pisos, bancadas, pias e outras aplicações.

Por fim, baseando-se nos dois trabalhos referenciados, verificou-se que há sim a possibilidade de incluir o polietileno em uma composição de impermeabilizante. O ponto de melhoria, nesse caso, seria aumentar a quantidade em massa do polietileno na composição do produto, através da substituição do polietileno picotado em pequenos pedaços pelo polietileno triturado (em pó). Já para a querosene desodorizada utilizada pelo grupo da ETECAP, sugere-se a troca pela querosene ecológica, a fim de amenizar a toxicidade do produto e ainda assim manter a eficiência. Recomenda-se também testar o xilol em menores quantidades em volume dentro da composição, por ser um reagente potencialmente tóxico. Por último, sugere-se a troca da resina poliéster pela resina acrílica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tem-se a parte de materiais e métodos, resultados e discussão e conclusão acerca do impermeabilizante sintetizado, composto de dados quali e quantitativos. A proposta inicial do presente estudo fundamentava-se na continuação do trabalho exposto, com foco na realização de diferentes testes não executados pelo autor do impermeabilizante sintético, porém, como já explicado em seções anteriores, não foi possível.

Na seção de Resultados e Discussão do Apêndice A nota-se detalhadamente as etapas de síntese do impermeabilizante à base de polietileno reciclado e os resultados práticos obtidos. Salienta-se que todos os testes foram realizados em escala laboratorial, portanto deve-se levar em consideração essa informação no momento de analisar os resultados obtidos.

No primeiro teste aplicou-se gotas d'água em diferentes pontos de um material rochoso, dividido em seções impermeabilizadas e não impermeabilizadas, onde foi possível observar que as gotas aplicadas sobre as seções impermeabilizadas ficaram visivelmente intactas, expondo que o produto teve eficiência nesse tipo de teste mais simples. A mesma metodologia de teste foi aplicada para um bloco cerâmico, onde obteve-se o mesmo resultado.

Uma problemática observada em relação ao impermeabilizante é o fato dele não apresentar resistência ao contato com materiais quentes, o que pode deixar a superfície dos materiais suscetíveis à permeabilização da água. Ainda no tópico de resultados, o grupo sugere uma forma de aplicação do produto a fim de obter melhor rendimento.

Diante de tudo que foi exposto ao longo do presente trabalho e cumprindo a função de ser uma Revisão Bibliográfica com teor sugestivo, sugere-se, a quem se aventurar nesse desafio, a realização dos seguintes testes: substituição da querosene desodorizada pela querosene ecológica; teste de pH; teste de durabilidade (comportamento ao longo do tempo quando exposto ao intemperismo); testes mais amplos de permeabilidade; substituição da resina poliéster pela resina acrílica; e testes com diferentes proporções em massa e volume dos reagentes.

REFERÊNCIAS

BILLMEYER, Fred W.. **Textbook of Polymer Science**. Disponível em: < <http://cryssmat.fq.edu.uy/ricardo/libro.pdf> >. Acesso em 18 de novembro de 2021.

BLUEVISION. **Mecânica, energética ou química? Como os tipos de reciclagem funcionam**. Disponível em: < <https://bluevisionbraskem.com/inteligencia/mecanica-energetica-ou-quimica-como-os-tipos-de-reciclagem-funcionam/> >. Acesso em 29 de novembro de 2021.

BRK Ambiental. **Qual a importância da reciclagem para uma sociedade mais sustentável?**. Disponível em: < <https://blog.brkambiental.com.br/reciclagem/> >. Acesso em 29 de novembro de 2021.

CANEVAROLO, Sebastião. **Ciência dos Polímeros**. São Paulo: Artliber, 2006.

CRAVEIRO, Alexandre Cabral. **Química Geral e Orgânica**. Disponível em: < https://www.educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/176663/2/Livro_Ciencias%20Biologicas_Qu%C3%ADmica%20Geral%20e%20Organica.PDF >. Acesso em 29 de novembro de 2021.

DERRAIK, José G.B.; **The pollution of the marine environment by plastic debris: a review**. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X02002205> >. Acesso em 02 de dezembro de 2021.

FABRICATI. **MÁRMORE E GRANITO: ENTENDA AS PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE OS MATERIAIS**. Disponível em: < <http://fabricati.com.br/marmore-e-granito-entenda-as-principais-diferencas/> >. Acesso em 02 de dezembro de 2021.

Fernanda M. B. Coutinho; Ivana L. Mello; Luiz C. de Santa Maria. Instituto de Química, UERJ. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações**. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/po/v13n1/15064.pdf> >. Acesso em 17 de outubro de 2021.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Polietileno**. Manual da Química. Disponível em: < <https://www.manualdaquimica.com/quimica-organica/polietileno.htm> >. Acesso em 25 de setembro de 2021.

GORNI, Antonio Augusto. **A Evolução dos Materiais Poliméricos ao Longo do Tempo**. Revista Plástico Industrial. Disponível em: < http://www.gorni.eng.br/hist_pol.html >. Acesso em 17 de maio de 2021.

GOUVEIA, Nelson. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. Disponível em: < <https://www.redalyc.org/pdf/630/63023390015.pdf> >. Acesso em 02 de dezembro de 2021.

HEMAIS, Carlos A.. **Polímeros e a Indústria Automobilística**. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/po/a/M7SMYkKWh9kmgPGd4D8mhLg/?format=pdf&lang=pt> >. Acesso em 17 de novembro de 2021.

Lei número 12.305, de 2 de Agosto de 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm >. Acesso em 18 de maio de 2021.

MORASSI, Odair José. **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros**. Disponível em: < http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/QUI%20541_Qu%C3%ADmica%20de%20pol%C3%ADmeros/apostila_pol%C3%ADmeros_0910082013_site.pdf >. Acesso em 17 de novembro de 2021.

OLIVEIRA, Maria Clara Brandt Ribeiro de. **“Gestão de Resíduos Plásticos Pós-consumo: Perspectivas para a Reciclagem no Brasil**. Rio de Janeiro, 2012.

ORTEGA, Jorge Luis Baque; HIDALGO, Joshué André Tutivén. **Fabricación de un impermeabilizante a partir de plástico PET, PEAD y materiales tradicionales para uso en el área de la construcción**. Guayaquil – Ecuador, 2020.

PASSATORE, Claudio R.. **Química dos Polímeros**. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/21110603-Quimica-dos-polimeros.html> >. Acesso em 17 de novembro de 2021.

Plastivida. **Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica de Plástico no Brasil (IRmP)**. Disponível em: < http://www.plastivida.org.br/images/temas/Apresentacao_IRMP2010.pdf >. Acesso em 16 de novembro de 2021.

POLIFORMA. **Tipos de Plásticos: Termoplásticos e Termofixos**. Disponível em: < <https://poliforma.ind.br/artigos-blog/termoplasticos-e-termofixos> >. Acesso em 17 de novembro de 2021.

RESO. **Polietileno, o que é, onde é utilizado?**. Disponível em: < <http://resoambiental.com/2015/07/polietileno-o-que-e-onde-e-utilizado/> >. Acesso em 18 de maio de 2021.

SASSE, Frank; EMIG, Gerhard. **Chemical Recycling of Polymer Materials**. Disponível em: < http://ibave.weebly.com/uploads/1/0/7/4/10741354/chemical_recycling_polymers.pdf >. Acesso em 16 de novembro de 2021.

TEIXEIRA, Cristina; TORALES, Marília Andrade. **A questão ambiental e a formação de professores para a educação básica: um olhar sobre as licenciaturas**. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/er/a/6pM9pBJsVKRbd6Lqg3QL5SK/?lang=pt&format=pdf> >. Acesso em 02 de dezembro de 2021.

VEDACIT. **Manual Técnico – Impermeabilização de estruturas**. Disponível em: < <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-civil-ii-1/manual-sobre-impermeabilizacao> >. Acesso em 16 de novembro de 2021.

VGR. **Reciclagem Química: como mostrar seus diferenciais para tratar esses resíduos?**. Disponível em: < <https://www.vgresiduos.com.br/blog/reciclagem-quimica-como-mostrar-seus-diferenciais-para-tratar-esses-residuos/> >. Acesso em 03 de dezembro de 2021.