

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**PATRICIA LEAL FELIZARDO**  
**SARA HAIDAR**

**REAPROVEITAMENTO DE CÁPSULAS DE CAFÉ PARA**  
**CONSTRUÇÃO DE UM FILTRO DE MEMBRANA DE VIDRO**  
**SINTERIZADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**  
**2020**

**PATRICIA LEAL FELIZARDO**

**SARA HAIDAR**

**REAPROVEITAMENTO DE CÁPSULAS DE CAFÉ PARA  
CONSTRUÇÃO DE UM FILTRO DE MEMBRANA DE VIDRO  
SINTERIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Pereira Postigo.



**PONTA GROSSA**

**2020**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná**  
Câmpus Ponta Grossa  
Curso de Engenharia Química

---



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **REAPROVEITAMENTO DE CÁPSULAS DE CAFÉ PARA CONSTRUÇÃO DE UM FILTRO DE MEMBRANA DE VIDRO SINTERIZADO**

por

**PATRICIA LEAL FELIZARDO E SARA HAIDAR**

Monografia apresentada no dia 28 de outubro de 2020 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luciano Fernandes  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Profa. Dr. Matheus Pereira Postigo  
Orientador

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Juliana de Paula Martins  
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus por fazer nossos caminhos se cruzarem por meio da amizade e por nos guiar até esse momento de conclusão de mais uma etapa da vida.

Aos nossos pais e irmãos, por nos apoiarem, dar suporte e força para que essa jornada se tornasse realidade e fosse concluída.

Ao nosso orientador Prof. Dr. Matheus Pereira Postigo, pela confiança, orientação e pela amizade que construímos ao longo do nosso trabalho

Aos nossos professores que de alguma forma nos ajudaram e apoiaram nesse caminho tornando possível essa jornada.

A Nicole, que desde o início dessa caminhada esteve ao nosso lado nos ajudando e incentivando.

E, finalmente, aos nossos amigos, pelo apoio incondicional e compreensão em nossos momentos de dificuldades.

*“Fazer mais pelo mundo do que o mundo faz por você: isso é sucesso.”*

*(Henry Ford)*

## RESUMO

FELIZARDO, Patricia Leal; HAIDAR, Sara. **REAPROVEITAMENTO DE CÁPSULAS DE CAFÉ PARA CONSTRUÇÃO DE UM FILTRO DE MEMBRANA DE VIDRO SINTERIZADO**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa.

A intensa geração de resíduos que não recebem tratamento é uma das grandes preocupações para o equilíbrio ambiental atualmente. Atrelado a isso, o consumo desenfreado das cápsulas de café intensifica essa preocupação, principalmente pelo fato de seu resíduo se tratar de um material com poucas alternativas de reciclagem bem definidas. Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo encontrar uma forma de reaproveitamento das cápsulas e do vidro descartado. Com a execução desse projeto, desenvolvemos um novo produto com tais resíduos capaz de realizar o processo de filtração com soluções aquosas.

**Palavras-chaves:** Resíduos. Cápsula de café. Filtração.

## **ABSTRACT**

FELIZARDO, Patricia Leal; HAIDAR, Sara. **REUSE OF COFFEE CAPSULES FOR CONSTRUCTION OF A SINTERIZED GLASS MEMBRANE FILTER.** 2020. Final Paper (Bachelor Degree in Chemical Engineering) – Technological Federal University of Parana – Campus Ponta Grossa.

The intense residue production which does not find any treatment is a major concern for environmental balance nowadays. Regarding that, the unrestrained consumption of coffee capsules intensifies this concern, mainly due to the fact that this residue has no well defined recycling alternatives. Thus, the present work aims to find an alternative for reusing capsules and discarded glass. With the execution of this project, we developed a new product with such residues capable of carrying out the filtration process with aqueous solutions.

**Key words:** Residue. Coffee capsules. Filtration.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável .....	17
<b>Figura 2</b> - Etapas de confecção das membranas .....	31
<b>Figura 3</b> - Molde de membranas.....	32
<b>Figura 4</b> - Molde desmontado.....	33
<b>Figura 5</b> - Molde desmontado visto de cima .....	33
<b>Figura 6</b> - Etapas de montagem do filtro .....	34
<b>Figura 7</b> - Sistema de filtração.....	35
<b>Figura 8</b> - Membranas após prensagem.....	36
<b>Figura 9</b> - Membrana mesh 100 .....	36
<b>Figura 10</b> - Membrana mesh 200 .....	37
<b>Figura 11</b> - Amostra de PET após contato com toleuno .....	38
<b>Figura 12</b> - Filtro (membrana mesh 100) .....	39
<b>Figura 13</b> - Filtro (membrana mesh 200) .....	40
<b>Figura 14</b> - Complexo de filtração.....	41



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Tempo de decomposição dos materiais .....	14
<b>Tabela 2</b> - Avaliação da solubilidade do PET em solventes orgânicos .....	37
<b>Tabela 3</b> - Eficiência da membrana .....	42

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 PROBLEMA .....	11
1.2 OBJETIVO GERAL.....	11
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
1.4 JUSTIFICATIVA .....	12
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
2.1 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E SUSTENTABILIDADE .....	13
2.2 RECICLAGEM DE MATERIAIS.....	18
2.2.1 <i>Plástico</i> .....	19
2.2.2 <i>Garrafas PET</i> .....	19
2.2.3 <i>Borra de café</i> .....	20
2.2.4 <i>Vidro</i> .....	21
2.3 MEMBRANAS E MICROFILTRAÇÃO .....	23
2.4 CÁPSULAS DE CAFÉ .....	24
<b>3 METODOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	<b>29</b>
3.1 MATERIAIS.....	29
3.2 MÉTODOS .....	30
3.2.1 <i>Produção das membranas</i> .....	30
3.2.2 <i>Montagem do filtro</i> .....	33
3.2.3 <i>Avaliação de resistência do material da cápsula</i> .....	34
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>35</b>
4.1 MEMBRANAS .....	35
4.2 AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA DO MATERIAL DA CÁPSULA.....	37
4.3 MONTAGEM DO FILTRO .....	38
4.4 TESTES DE FILTRAÇÃO.....	41
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Diante do intenso consumo de produtos que possuem embalagens com ciclo de vida útil extremamente baixo e, conseqüentemente, sendo descartados como lixo e a relevância do impacto gerado a partir do acúmulo do mesmo, alternativas e tecnologias sustentáveis se tornaram atitudes responsáveis por reestabelecer o equilíbrio entre a economia e o meio ambiente, já que diversas dessas embalagens descartadas poderiam ser tratadas como resíduos. Dessa maneira, este balanceamento possui a necessidade de constante manutenção para que a vida no planeta seja sustentável.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2016), no Brasil, aproximadamente um quinto do lixo é composto por embalagens, cerca de 25 mil toneladas de embalagens que terminam diariamente nos depósitos de lixo. Tal volume de resíduo teria a capacidade de encher mais de dois mil caminhões de lixo; se dispostos em fila ocupariam 20 quilômetros de estrada.

Quando avaliado o tempo de decomposição dos materiais, cria-se uma noção de quanto podem impactar o meio ambiente. O Ministério do Meio Ambiente (2016), afirma que embalagens de plástico e de vidro possuem o tempo de decomposição de mais de 400 anos e mais de 1000 anos, respectivamente.

Atualmente no Brasil, cerca de 80% das embalagens são descartadas após um único uso. Até então, grande parte destes resíduos não são reciclados, sendo esse volume um dos principais responsáveis pela superlotação de aterros, exigindo o surgimento de novas áreas para a deposição e decomposição destes resíduos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016).

O cenário atual demonstra que as cápsulas de café possuem uma crescente demanda, uma pesquisa feita pela Associação Brasileira da Indústria de Café, (ABIC), aponta que a consultoria Euromonitor estima que a venda de cápsulas de café no ano de 2019 representou 1,1% das vendas totais de café, número que em 2014 foi de 0,6%. Quando esses dados são convertidos em toneladas, em 2019 foram consumidos, em média, 16 mil toneladas deste produto enquanto em 2014 o total foi de 6 mil toneladas.

Considerando o tempo de decomposição e o volume dos resíduos de vidro e das cápsulas quando descartados sem nenhum tratamento, é evidenciada a importância de desenvolver uma nova alternativa para inserir tal material em um ciclo de vida mais longo e produtivo. Tais atitudes são os primeiros passos para a resolução do acúmulo desenfreado de lixo.

Em suma, foi desenvolvido uma alternativa de reaproveitamento com estes materiais, por meio da criação de um novo produto, a fim de retirar os mesmos dos descartes convencionais, prolongando o seu ciclo de vida e com isso, diminuir os impactos que estes resíduos causam ao meio ambiente.

## 1.1 PROBLEMA

Considerando a intensa onda de produção de cápsulas café e materiais de vidro, qual alternativa de reaproveitamento pode ser implementada para destinar esses resíduos?

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma alternativa para o reaproveitamento de cápsulas de café e do vidro descartado.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir membranas de vidro reciclado por meio de um método pré-estabelecido.
- Avaliar a resistência do material da cápsula em diferentes solventes.
- Elaborar um sistema de filtração com a utilização de cápsulas de café e membranas de vidro sinterizadas.
- Dispor diferentes sistemas do tipo sólido-líquido a fim de avaliar a eficiência do complexo de filtração proposto.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

O crescente consumo de cápsulas de café trouxe um conseqüente aumento da sua produção. Entretanto, o resíduo gerado pelas cápsulas não possui um destino bem definido e atualmente apresenta lacunas quando assunto é sua reciclagem. Em razão disso, é necessário buscar alternativas que possam oferecer de alguma maneira o reaproveitamento das cápsulas, a fim de amenizar essa intensa geração de resíduos que vivemos atualmente.

Além do fator reciclagem, o reaproveitamento das cápsulas possibilitará a separação dos materiais que a compõe, como o plástico, o metal e o pó de café, que serão destinados corretamente, dando oportunidade de reutilização, como por exemplo na compostagem no caso do pó de café.

Além disso, o presente trabalho está relacionado com o reaproveitamento de resíduos, uma das linhas de pesquisa do professor orientador.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E SUSTENTABILIDADE

O aumento desenfreado do consumo aderido pela sociedade desde o final do século XX atinge, atualmente, um padrão industrial de produtos que possuem um ciclo de vida útil extremamente baixo, comparado a outros que possuíam as mesmas finalidades nos séculos anteriores.

Com relação ao início da geração de resíduos sólidos promovidos por esse grande consumo, Andriguetto e Flores (2018), afirmam que todo o lixo gerado se reintegrava aos ciclos naturais, de alguma forma, até o início da Era Industrial.

O crescimento do sedentarismo na cultura dos países desenvolvidos, combinado aos fenômenos de expansão de centros urbanos, industrialização e grande aumento da população nas áreas urbanas, fez com que o lixo se tornasse uma grave complicação para as gerações futuras. Andriguetto e Flores (2018, p. 2) concluem o raciocínio dizendo que, “A sociedade atual promove, encoraja e reforça a escolha de um estilo de vida consumista, recusando outras opções culturais e moldando uma visão de mundo e um comportamento favorável ao consumismo”.

Para argumentar sobre os danos do acúmulo de resíduos sólidos, Portella e Ribeiro (2014), discorrem que o agravante ocorre quando se considera o tempo de decomposição dos resíduos gerados. A tabela a seguir traz informações sobre tal tema.

**Tabela 1 - Tempo de decomposição dos materiais**

Material	Tempo de decomposição
Papel	3 meses
Filtro de cigarro	1 a 2 anos
Gomas de mascar	5 anos
Madeira pintada	14 anos
Náilon	30 anos
Latas de alumínio	200 a 500 anos
Plásticos	400 anos
Fraldas descartáveis	600 anos
Vidro	4000 anos
Borracha	Tempo indeterminado

Fonte: Adaptado de Portella e Ribeiro, 2014

Considerando a frequência em que utilizamos os produtos listados anteriormente e, refletindo sobre a quantidade de vezes em que utilizamos os mesmos sem que eles se tornem resíduos sólidos, observa-se que grande parte deles são de utilização única. Dessa maneira, possuem um ciclo de vida útil extremamente baixo.

Produtos que são utilizados apenas uma vez e logo são descartados por não possuírem a mesma funcionalidade como no início, são a base do problema de acúmulo de resíduos sólidos atualmente. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2016), no Brasil, cerca de 20% do lixo é composto por embalagens, sendo 90% delas embalagens plásticas, as quais são destinadas ao lixo em até seis meses após a compra. Além disso, 56% do lixo plástico é constituído de embalagens que foram utilizadas apenas uma vez, como garrafas pet, cápsulas de café, embalagens de biscoito entre outras que apresentam altas taxas de consumo.

O excesso de acúmulo de resíduos sólidos, além de levar em conta o tempo de decomposição, compreende a “evolução” de alguns produtos que impulsionam um consumo e descarte imediato, gerando um grande número de resíduos sólidos produzidos.

Produtos que possuem as mesmas características básicas acabaram sendo modificados em sua forma de apresentação para venda ou maneira de preparo que geralmente não refletem em economia para o consumidor, visto que os produtos mais

“tecnologicamente desenvolvidos” possuem um alto custo comparado aos tradicionais.

O café, que vem passando pelo momento atual de produção de cápsulas, demonstra essa relação preço/números da apresentação em cápsulas quando comparado café tradicional. Considerando uma marca comercialmente disponível, uma cápsula possui 5 gramas de café e seu preço é em média R\$ 1,729, sendo capaz de produzir 40 ml de café. Uma embalagem de 500 g de café (tradicional), da mesma marca tem o preço médio de R\$ 9,28, considerando que 80 gramas dessa embalagem dão origem a 1000 ml de café, no total 6250 ml de café podem ser produzidos. Logo:

**Café em cápsula:**

$$\frac{1 \text{ cápsula}}{40 \text{ ml}} \times 1000 \text{ ml} = 25 \text{ cápsulas} \quad \text{Eq. 1}$$

**Café em embalagem tradicional:**

$$\frac{1000 \text{ ml}}{80 \text{ g}} \times 500 \text{ g} = 6250 \text{ ml} \quad \text{Eq. 2}$$

$$\frac{1 \text{ embalagem}}{6250 \text{ ml}} \times 1000 \text{ ml} = 0,16 \text{ embalagem} \quad \text{Eq. 3}$$

Assim, enquanto são necessárias 25 cápsulas para produzir 1 litro de café, para a mesma quantidade se usa apenas 16% do café da embalagem tradicional. Pode-se concluir que a viabilidade relacionada a diminuição da produção de volume de resíduo sólido tende a ser a utilização da embalagem tradicional de 500 g.

Fazendo uma análise econômica para o mesmo caso de produção de 1000 ml de café observamos que:



**Café em cápsula:**

$$\frac{1,729 \text{ reais}}{1 \text{ cápsula}} \times 25 \text{ cápsulas} = 43,225 \text{ reais} \quad \text{Eq. 4}$$

**Café em embalagem tradicional:**

$$\frac{9,28 \text{ reais}}{1 \text{ embalagem}} \times 0,16 \text{ embalagem} = 1,4848 \text{ reais} \quad \text{Eq. 5}$$

Analisando os resultados, temos que o custo para produzir 1 litro de café utilizando as cápsulas é cerca de 29 vezes o custo para produzir a mesma quantidade a partir da embalagem tradicional. Logo, a viabilidade econômica, assim como a maior produção de volume de resíduos sólidos, também se inclina a escolha do tipo de embalagem tradicional.

Escolhas como essa são as principais causadoras do aumento no acúmulo de resíduos sólidos. Sobre o impacto do desenvolvimento econômico mundial na geração deste tipo de resíduo, na obra de Thomé (2014), o especialista em direito ambiental expõe que a destinação dos dejetos e resíduos é um dos maiores problemas do desenvolvimento econômico mundial.

Atualmente, observa-se o desequilíbrio entre as variáveis de população, recursos naturais e meio ambiente causado pelas mudanças nos padrões de consumo e a expansão populacional a nível mundial. Considerando que todas as atividades humanas geram resíduos, observa-se que estes são responsáveis por grandes danos ao meio ambiente, qualidade de vida em sistemas urbanos e ecossistemas, os quais são posteriormente descartados e aglomerados, trazendo problemas de forma direta e indireta.

Os problemas diretos são relacionados à disposição a céu aberto que podem originar poluição da água, ar, solo e visual. Já os indiretos envolvem custos de energia, esgotamento de fontes de matéria-prima e dificuldade de encontrar áreas apropriadas para o descarte e separação destinada a reciclagem de tais resíduos.

Atrelados à preocupação da intensa geração de resíduos sólidos, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), são um chamado para ação contra a pobreza e proteção do planeta visando garantir que todas as pessoas possuam paz e prosperidade. Estes integram uma agenda mundial desenvolvida em setembro de 2015 e adotada durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, composta por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até 2030.

**Figura 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**



Fonte: ONU, 2015.

Neste trabalho, 8 dos 17 objetivos propostos pela ODS são contemplados, sendo eles: educação de qualidade (4), energia acessível e limpa (7), indústria, inovação e infraestrutura (9), cidades e comunidades sustentáveis (11), consumo e produção responsáveis (12), combate às alterações climáticas (13), vida de baixo d'água (14) e vida sobre a terra (15).

Dessa maneira, a necessidade do desenvolvimento de alternativas de reuso para tais causadores de problemas é de extrema importância para atingir o equilíbrio necessário para a manutenção da vida no planeta.

## 2.2 RECICLAGEM DE MATERIAIS

A reciclagem é definida por ser um conjunto de técnicas com finalidade de reaproveitar materiais descartados, criando assim, um novo ciclo produtivo. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2019), ela é uma das alternativas de tratamento de resíduos sólidos mais vantajosas, tanto do ponto de vista ambiental, quanto social. A partir da sua prática, é possível diminuir o consumo de recursos naturais, poupar água e energia, diminuir o volume de lixo e desenvolver empregos para milhares de pessoas.

Diferente de um processo industrial comum, o processo de reciclagem tem início nas residências. A separação e limpeza correta dos resíduos sólidos é parte vital da reciclagem, na qual os mesmos são encaminhados posteriormente às empresas recicladoras e órgãos responsáveis, que darão diversos destinos, todos com a finalidade de serem matéria-prima para um novo ciclo produtivo.

Dados do Sistema Nacional de informações sobre Saneamento (2017), apontam que apenas 22% dos municípios brasileiros possuem coleta seletiva eficaz e, apenas cerca de 15% dos municípios detêm de uma Associação de Catadores de Materiais Recicláveis ou Cooperativa que possua incentivo público.

Mesmo com o baixo incentivo público para as empresas responsáveis pela reciclagem dos resíduos, o Anuário da Reciclagem (2018) feito pela Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, e a Pragma Soluções Sustentáveis, entre outros contribuintes, revela a percepção da população sobre a importância do processo de reciclagem. O documento expõe que 98% dos brasileiros enxergam a reciclagem como algo importante para o futuro, porém, 39% não se preocupa em separar o lixo orgânico do reciclável. Essas informações demonstram que ainda há necessidade de inserir uma cultura sustentável no país, para que assim o processo produtivo da reciclagem seja abrangente e relevante como alternativa de alcance de equilíbrio entre o meio ambiente e o sistema industrial atual.

### 2.2.1 Plástico

Buscando proporcionar qualidade alimentícia ao produto e levando em conta a alta pressão e temperatura no funcionamento das máquinas de café, o plástico utilizado na produção das cápsulas deve ser extremamente resistente, evitando assim a exposição ou contaminação de materiais não desejáveis ao café.

A composição das cápsulas pode ser feita por diversos plásticos, sendo um dos principais o polipropileno, combinado ao politereftalato de etileno (PET) e polietileno (PE). Além disso, existe a possibilidade da utilização de aditivos, a fim de proporcionar as características necessárias para o desempenho da embalagem.

O polipropileno (PP) é um material passível de reciclagem por se tratar de um termoplástico, caracterizado por tornar-se maleável quando submetido a altas temperaturas, permitindo sua transformação em outros subprodutos.

Possui diversas vantagens com relação a sua baixa densidade e permeabilidade ao vapor d'água, o que proporciona a produção de objetos leves e de grande resistência química (RETO, 2008). Além disso, como o material é aplicado em diversas indústrias atualmente, encontrar maneiras de reciclagem e reutilização é de extrema importância.

### 2.2.2 Garrafas PET

As garrafas PET, sendo um dos tipos do plástico, são parte do nosso cotidiano, sendo utilizada para armazenar diversos tipos de líquido para consumo geral, como também em outros tipos de embalagem para matéria-prima no setor industrial.

Em específico, o PET é uma resina do tipo termoplástica, fazendo parte da família dos poliésteres, tendo como aplicação no uso de fibra sintética, resina para área da engenharia juntamente com a fibra de vidro, como também matéria-prima para diversas embalagens (ECYCLE, 2014).

Devido a sua grande aplicação e utilização, o PET é caracterizado como um dos principais poluentes encontrado atualmente nos oceanos. Apesar da cadeia de reciclagem desse material estar presente no Brasil, 80% das empresas que

desenvolvem esse ciclo estão localizadas na região sudeste, demonstrando a existência de lacunas nesse tipo de atividade no país (ECYCLE, 2014).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET (Abipet), apenas 50% do volume descartado do material no ano é reciclado, um número muito inferior se comparado a reciclagem das latas de alumínio. Nesse cenário, encontrar maneiras de reutilização desse material é de extrema importância para manter o equilíbrio ambiental.

### 2.2.3 Borra de café

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo, produzido a partir do processo de torrefação dos grãos naturais do cafeeiro, seguido do blend de café, é formada a mistura de grãos que será posteriormente moída e embalada para consumo.

De acordo com a Organização Internacional de Café – OIC, o consumo global de café foi superior à produção nos anos 2014, 2015 e 2016. A produção mundial, nesse mesmo período, foi de 148,724 milhões de sacas (2014); 151,438 milhões (2015); e 151,624 milhões em 2016. O saldo negativo de cada ano foi, respectivamente, de 3,098 milhões de sacas; 4,274 milhões; e de 3,476 milhões. Ferreira e Santos (2017), atribuem este déficit de anos sucessivos a movimentações de estoque não registrado.

No caso das cápsulas de café, a ABIC (2014), aponta que esse segmento está crescendo acentuadamente por ser servido em monodoses, evitando possíveis desperdícios e, pela praticidade que oferece ao consumidor. Entretanto, mesmo em pequenas quantidades, é importante encontrar maneiras de reutilizar esse resíduo nas cápsulas.

A borra de café é o resíduo orgânico originado do pó de café, quando descartada em lixo comum, ela se decompõe e libera gases do efeito estufa, como por exemplo o metano, que possui um efeito 20 vezes mais severo que o dióxido de carbono no aquecimento global. Para evitar a emissão de tais gases, a compostagem se torna uma alternativa simples e viável, prolongando a vida útil do resíduo do pó de café e fertilizando o solo de forma natural e ecológica (ECYCLE, 2015).

Com nutrientes importantes para a fertilização do solo, este resíduo é rico em carbono e nitrogênio, por exemplo. Como o processo de decomposição da matéria orgânica presente na borra de café pode consumir o nitrogênio do solo, não é aconselhável utilizar esta prática sem inserir previamente um fertilizante rico em nitrogênio, pois esse processo de decomposição pode anular sua função de fertilizante. Este equilíbrio pode ser resolvido de forma simples ao acrescentar no solo cascas de frutas e legumes em decomposição (ECYCLE, 2015).

Outra alternativa para a utilização da borra de café como fertilizante, de forma menos concentrada, é diluir o resíduo em uma proporção de 100 gramas de borra de café para um litro de água, também é uma alternativa viável para reutilizar de forma fácil e eficaz. Borrifar a mistura em vasos e canteiros promove a fertilização do solo e a diminuição deste resíduo em lixo comum, deixando as plantas mais produtivas e repelindo certos tipos de larvas, caracóis e lesmas (ECYCLE, 2015).

#### 2.2.4 Vidro

De acordo com Fonseca (2013), o vidro é obtido pela fusão de componentes inorgânicos a altas temperaturas, e resfriamento rápido da massa resultante até um estado rígido, não cristalino. Composto por um material não poroso que tem a capacidade de resistir a temperaturas até 1500°C (no caso do vidro comum), sem que ocorra perda de suas propriedades físicas e químicas originais.

As vidrarias de laboratório são utensílios confeccionados em vidro, geralmente compostas por borossilicato e quartzo que favorecem a não dilatação das vidrarias. O motivo da escolha deste material para a produção desses componentes laboratoriais é a sua alta resistência à choques térmicos, mecânicos e químicos. O vidro também atua como recipiente adequado para a armazenagem de produtos químicos, por serem materiais de baixo custo e resistirem ao tempo, calor, ácido e álcalis. Pugliesi (2016) afirma que uma embalagem de vidro bem vedada garante proteção total a qualquer agente externo, com exceção da luz.

Para que a indústria do vidro alcançasse as necessidades das empresas produtoras de substâncias sensíveis à luz e outras radiações, foram desenvolvidos vidros coloridos, geralmente obtidos a partir da adição de matérias-primas impuras ou

pigmentação da massa que dará origem ao produto final. Essas vidrarias não se deformam e tem a capacidade de resistir a pressões internas. As principais desvantagens apresentadas por esse tipo de embalagem estão relacionadas a fragilidade e peso elevado.

Em vista da reciclagem deste material, Fonseca (2013) argumenta que a reciclagem de vidro significa enviar ao produtor de embalagens o vidro usado para que este seja reutilizado como matéria-prima para a produção de novas embalagens. O vidro possui vantagem sobre os outros materiais considerando a quantidade de vezes que esta embalagem ou vidraria pode ser utilizada sem perder sua função original. A autora em sua obra também expõe que o mesmo se trata de um material 100% reciclável que não sofre perda de material durante o processo de fusão.

Para entender a importância de adquirir a cultura focada em reduzir, reutilizar e reciclar, e como tais hábitos podem criar um ciclo de vida para os materiais, é necessário encontrar uma alternativa distinta da espera da decomposição do mesmo.

Mesmo considerando a quantidade de gerações que o vidro leva para se decompor, Assis (2006) traz a informação de que o montante de vidro descartado (garrafas, vasilhames diversos, vidros planos da construção civil) representa, em nível mundial, algo em torno de 7,5% em peso do total de lixo doméstico gerado. Para entender melhor sobre o assunto e desenvolver uma ideia numérica do significado desta quantidade, nos Estados Unidos o consumo médio em volume de embalagens de vidro chega a ser superior à 30 kg/habitante /ano. No Brasil, estimasse que estes valores sejam em torno de 5,57 kg per capita por ano.

A tradução destes dados é o acúmulo de milhares de toneladas de vidro diariamente rejeitados e aglomerados em aterros. Evidentemente, este tem se tornado um sério problema tanto do ponto de vista financeiro, quanto ambiental, para qualquer país industrializado ou em desenvolvimento, conclui Assis (2006).

Fonseca (2013) comenta que para cada tonelada de caco de vidro limpo, obtém-se uma tonelada de vidro novo. Além disso, cerca de 1,2 tonelada de matéria-prima deixa de ser consumida, aumentando a preservação dos recursos naturais e diminuindo o volume do lixo em aterros sanitários.

Com a motivação de diminuir o volume de material vítreo descartado, Ortiz (2018), acadêmico do curso de Engenharia Química da UTFPR Câmpus Ponta Grossa desenvolveu um projeto afim de reaproveitar o vidro comum (sodo-cálcico) dando origem a uma membrana porosa por meio de processos simples destinada ao

uso laboratorial. Essa prática de reciclagem dá origem a uma membrana que pode funcionar como qualquer outra, separando uma fase sólida presente em um fluido, podendo ser vantajoso captar tanto o sólido como o líquido, com o auxílio de uma bomba de vácuo que auxilia a criar uma pressão negativa para que o fluido permeie a membrana, mas a mesma retenha o sólido que é desejável separar.

### 2.3 MEMBRANAS E MICROFILTRAÇÃO

Membranas são consideradas barreiras que tem como objetivo reter parcialmente ou totalmente a passagem de uma ou mais fases, por meio da sua superfície com o auxílio de uma força motriz, podendo ser proveniente de diversas naturezas, como gradiente de pressão, gradiente elétrico ou potencial químico.

Essa retenção é baseada no mecanismo de atuação da membrana, onde uma solução que possui partículas de diversos tamanhos, ao permear sua superfície, conseguem ou não atravessar a mesma. O deslocamento dessa solução ocorre com o auxílio da força motriz (NOBLE; STERN,1995).

As membranas podem ser caracterizadas pelo seu poder de seleção e separação de partículas na solução apresentada a ela. Dessa maneira, chama-se seletividade de uma membrana, a sua capacidade de permeação e separação (BHAVE, RAMESH;1991).

Durante muitos anos, a utilização das membranas era feita apenas em testes laboratoriais, tendo as biológicas como pioneiras. Com o avanço dos estudos na área, viu-se que existia uma grande relação entre o tamanho dos poros das membranas e a seletividade gerada por tais, o que proporcionou um aumento significativo em sua aplicação, estendendo-se em diversos segmentos, como por exemplo, no tratamento de água. Além disso, diversos materiais passaram a atender a fabricação das membranas como o acetato de celulose, utilizado na década de 50 no processo de osmose reversa por Reid e Breton (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

Sobre o ponto de vista da resistência mecânica no caso das membranas produzidas com a utilização de sal (NaCl), é importante ressaltar que quanto maior sua a quantidade na composição da membrana, menor é sua resistência (ASSIS,2006).



Assis (2006) destaca que para não comprometer essa estabilidade mecânica, deve-se levar em conta o tamanho dos poros formado na produção de membranas o qual está ligado diretamente a quantidade de cloreto de sódio presente na composição da membrana, para isso, a faixa ideal está entre 20 a 25% da massa total.

Atualmente, a separação de materiais por membranas possui aplicação em diversos processos, como microfiltração, nanofiltração, osmose inversa, evaporação osmótica, processos que se diferenciam essencialmente pelo tamanho dos poros das membranas.

A importância da microfiltração pode ser destacada principalmente por compostos orgânicos de grandes cadeias que ficam retidos nos poros da membrana, este processo tem a capacidade de reter partículas como células de micro-organismos, células somáticas e glóbulos de gordura (FAGNANI, 2016). A técnica pode ser aplicada para diversas finalidades incluindo a produção de produtos lácteos e clarificação e sanitização de bebidas.

Com a intensa geração de resíduos atualmente, a busca por novos materiais que possam ser inseridos no processo de produção das membranas para gerar o reaproveitamento, a exemplo do vidro, é de extrema importância. Aliada a isso, têm-se também a busca por melhoria na seletividade e processos de filtração com a diminuição do uso de produtos químicos.

Apesar de ainda serem muito relacionadas à osmose reversa, como em processos de dessalinização da água do mar, a aplicação na microfiltração na indústria de bebidas é de grande importância. Esse conhecimento é relacionado principalmente a capacidade de elas atuarem na retirada de componentes indesejáveis nas bebidas em geral, proporcionando melhores qualidades sensoriais ao produto final (NOBLE; STERN, 1995).

## 2.4 CÁPSULAS DE CAFÉ

As cápsulas de café se resumem a recipientes que contém café moído e são utilizadas em máquinas com o objetivo de produzir de uma xícara de café de maneira rápida e instantânea. Essa inovação ocorreu na década de 70, desenvolvida por Jean-

Paul Gaillard, especialista em gestão de negócios da Nestlé na época. A comercialização do produto, porém, só ocorreu em 1986 com o surgimento das máquinas Nespresso (ISTO É DINHEIRO, 2010).

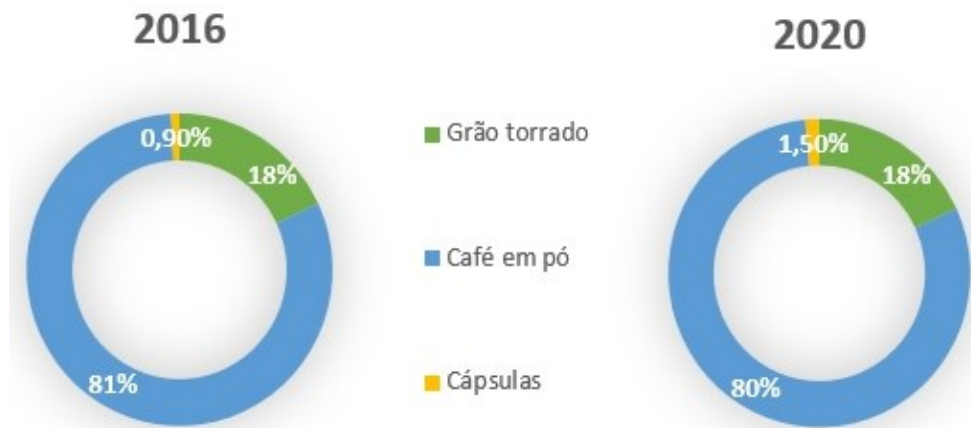
Durante muitos anos, esse nicho de produto se restringiu a um mercado de classe mais alta, onde apenas algumas marcas tinham domínio. Apesar disso, a Nestlé comercializou cerca de 20 bilhões de cápsulas em uma década (ISTO É DINHEIRO, 2010).

Entretanto, com a queda da patente da Nestlé em 2012, ocorreu um crescente aumento do consumo desse material e comercialização, ocasionado pelo surgimento de várias marcas que acabaram por gerar concorrência e, de certa forma, baratear o custo das cápsulas, dando impulso a categoria.

Atualmente, os valores do mercado do café estão acabando por atingir patamares cada vez maiores, sendo 7,7% desse crescimento gerado pela ascensão das cápsulas (EUROMONITOR INTERNACIONAL, 2015). Dessa maneira, com a crescente busca do consumidor por opções mais rápidas e fáceis no preparo da bebida, além do fato de viver-se um momento caracterizado pela busca de status que vem atrelado junto ao consumo das cápsulas, houve um grande impulso nesse mercado.

Apesar de ser conhecido como um consumidor de café coado, o brasileiro está caminhando para cada vez mais inserir-se no mercado das cápsulas. O Gráfico 1 demonstra um cenário do mercado do café em volume até 2020, onde espera-se que esse valor ganhe dois dígitos quando o assunto são as cápsulas, crescendo acima da média em sua categoria.

Gráfico 1 - Mercado do café em volume

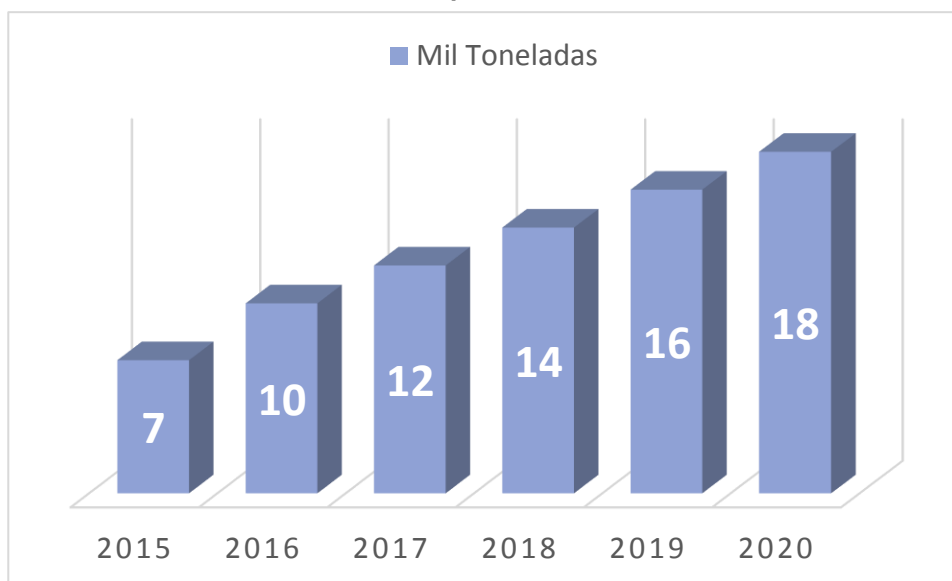


Fonte: Adaptado de Euromonitor International, Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC) (2016)

Num cenário europeu, Portugal é caracterizado como um país onde o consumo das cápsulas está cada vez mais desenfreado. Em 2018, estima-se que os portugueses tenham gastado 205,9 milhões de euros na compra do produto em diversos segmentos de venda, gerando um aumento de 9% em relação ao ano anterior, e a tendência é de que os números continuem crescendo anualmente.

No Brasil, o grande leque de opções e diversificação que as cápsulas trazem, acenderam a curiosidade no consumidor para esse mercado. O cenário visto nos varejos do país foram mudando e dando espaço para a categoria, aumentando ainda mais sua visibilidade frente ao brasileiro, produzindo um número de 8 mil toneladas do produto consumidas no Brasil só no ano de 2015 (FOLHA DE S. PAULO, 2016).

O Gráfico 2 demonstra a projeção do mercado de café em cápsulas no Brasil para 2020, esperando um aumento de 2 mil toneladas.

**Gráfico 2 - Mercado do café em cápsulas no Brasil**

Fonte: Adaptado de Euromonitor International, Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), Abril 2016.

Junto a esse cenário de constante crescimento na produção e consumo das cápsulas, surge a preocupação com base na geração desse resíduo específico e o que fazer com elas. Além disso, o setor ainda é insuficiente quando o assunto é sustentabilidade, não se responsabilizando da maneira como deveria segundo a descrição da política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) no quesito da destinação correta de seus resíduos (O GLOBO, 2016).

Pesquisas realizadas pela Associação Brasileira de Defesa ao Consumidor, Proteste, avaliando a Dolce Gusto, Nespresso e 3 Corações, as três principais marcas em vendas no Brasil, demonstram que as empresas não orientam de maneira correta seus consumidores quando o assunto é reutilização das cápsulas ou como destinar esse resíduo (O GLOBO, 2016).

Apesar de duas dessas marcas disporem de alguns pontos de coleta do resíduo pelo país, a divulgação sobre o assunto e orientação para com os consumidores apresentam lacunas. O impacto causado por essa falha de comunicação quando o assunto é reciclagem, significa um enorme volume que está sendo encaminhado, na grande maioria, para aterros, sem nenhum tratamento prévio.

Atualmente, mesmo com investimentos feitos por diversas marcas para encontrar alternativas para tratar o resíduo das cápsulas nos últimos dois anos, em 2017, só no Brasil houve um consumo de 10 mil toneladas do produto. A projeção

para 2021 é de 14 mil toneladas, dessa maneira, com a demora no acompanhamento das empresas nesse tratamento e o crescimento do consumo, a reciclagem das cápsulas ainda é um desafio (VEJA, 2018).

### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

O trabalho é caracterizado pelo método experimental e foi composto por duas etapas principais de coleta de dados: a produção de membranas de vidro sinterizado e a montagem do filtro com a utilização das cápsulas de café e das membranas, que serão descritas adiante. Além disso, possui como delineamento a pesquisa experimental, realizada em Ponta Grossa, no Paraná.

Para garantir a aderência da membrana à cápsula, foram feitos testes com diversas colas, a fim de definir qual delas apresentaria melhor adesividade ao material da cápsula.

Por fim, para analisar os dados com base na eficiência do sistema filtrante, foram dispostos dois sistemas sólidos-líquidos para definir assim em quais deles o sistema seria capaz de realizar o processo de filtração, vedação e resistência do material da cápsula quando em contato com as soluções.

#### 3.1 MATERIAIS

Os materiais que foram utilizados para a produção das membranas, montagem do filtro e avaliação da resistência da cápsula, são os indicados abaixo:

- NaCl
- Tolueno
- Hexano
- Diclorometano
- Clorofórmio
- Acetona
- Benzeno
- Béquer
- Cadinho
- Molde de membranas
- Pó de vidro sodo-cálcico (vidro comum)
- Prensa hidráulica
- Moinho de bolas
- Mufla

- Colas diversas
- Cápsulas de café usadas
- Garrafas PET

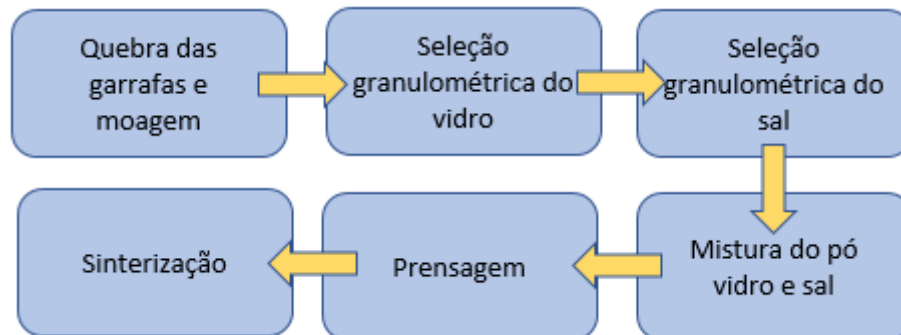
### 3.2 MÉTODOS

Para a montagem do filtro, foram executadas as seguintes etapas descritas a seguir.

#### 3.2.1 Produção das membranas

A confecção das membranas foi realizada por meio das seguintes etapas indicadas conforme o fluxograma abaixo:

**Figura 2 - Etapas de confecção das membranas**



**Fonte: Autoria própria.**

Foi utilizado o vidro tipo sodo-cálcico, original de garrafas de vidros que seriam destinadas como resíduos, para a produção do pó a ser usado nas membranas. Para a obtenção do pó mencionado, primeiramente foi realizada a higienização por meio da lavagem dupla água e sabão das garrafas de vidro, seguida de sua quebra manual, para adequação ao tamanho a ser utilizado no moinho de bolas de alumina. No moinho, os pedaços foram moídos a fim de produzir tamanhos cada vez menores.

A fim de obter-se um bom desempenho por parte do moinho, utilizou-se um volume composto de 20% de bolas de alumina, a uma rotação de 36 rpm e amostra com volume de 30%. Esse processo de moagem foi observado num intervalo de 2 em 2 horas, como forma de controlar o tamanho das partículas para a etapa de peneiramento.

Após a moagem, realizamos a segregação dos tamanhos de partículas, por meio da utilização de um agitador eletromagnético com peneiras granulométricas redondas (Bertel – AAKER) de aberturas variadas (32, 80, 100, 170 e 200 mesh). No caso do NaCl, a granulometria foi feita com peneiras de 32, 48, 60 e 100 mesh.

A mistura com o NaCl é importante para garantir a formação de poros no pó de vidro e promover melhor estabilidade mecânica, já que o sal se trata de uma fase não sinterizável. As membranas foram produzidas utilizando uma proporção de 25% de NaCl e 75% de pó de vidro em todos os mesh citados, de modo a definir qual deles apresentaria melhores resultados, obtendo um total de 1,5 g de mistura por membrana. Essa quantia foi transferida para um molde específico de aço inoxidável, produzido com base na abertura presente nas cápsulas de café, com diâmetro de 2,7 cm, conforme mostram as Figuras 3, 4 e 5.

**Figura 3 - Molde de membranas**



**Fonte: Autoria própria.**



**Figura 4 - Molde desmontado**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 5 - Molde desmontado visto de cima**



Fonte: Autoria própria.

Para realizar a compactação das membranas foi utilizada uma prensa manual, a uma pressão de 5 toneladas. Esse processo na prensa foi realizado diversas vezes, uma vez que o molde é capaz de suportar uma membrana por vez, assim, cada

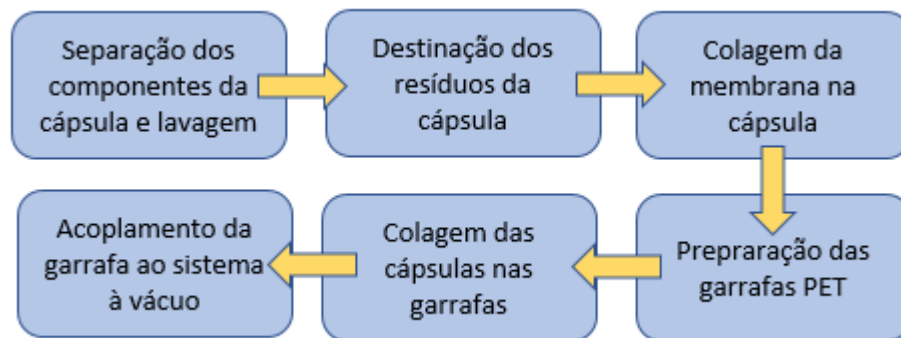
membrana foi prensada por cerca de 1 minuto. Passado esse tempo, a membrana já prensada foi retirada cuidadosamente e colocada numa superfície de cerâmica, em seguida, repetia-se a sequência, obtendo-se várias membranas.

Posteriormente, foi feito o aquecimento das amostras na mufla, a uma temperatura de 700°C, por cerca de 1 hora. Ao final desse tempo, o resfriamento das membranas foi realizado na própria mufla, até atingir temperatura ambiente.

### 3.2.2 Montagem do filtro

A montagem do filtro seguiu as etapas expostas na Figura 3:

**Figura 6 - Etapas de montagem do filtro**



**Fonte: Autoria própria.**

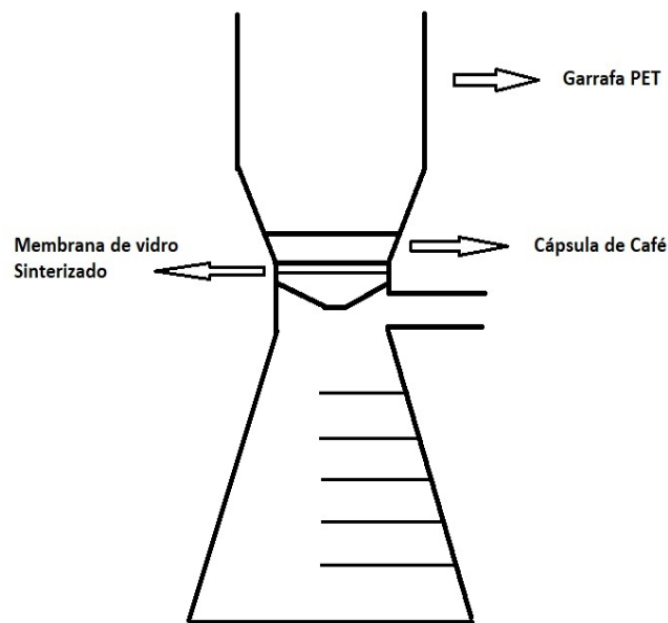
Para a confecção do filtro com a utilização das cápsulas, primeiro realizamos a separação dos componentes da mesma, seguido pela destinação correta de seus resíduos, plástico como reciclável e a borra de café como resíduo orgânico, a qual foi destinada a compostagem. Em seguida, foi realizada a lavagem dupla do recipiente da cápsula com água e sabão, com objetivo de retirar qualquer tipo de resíduo remanescente da borra.

Posteriormente, foi realizado a colagem das membranas produzidas ao fundo da cápsula, com a utilização da cola epóxi. Em paralelo, ocorreu a lavagem dupla com água e sabão de garrafas PET, seguido do seu corte para adequação ao tamanho da

cápsula, para inserção da mesma à garrafa, com o objetivo de garantir uma maior capacidade de líquido para a filtração.

Em seguida, realizou-se a colagem das cápsulas nas garrafas PET e, para garantir a adequação do pet ao formato da cápsula, utilizamos um secador como fonte de calor para moldagem. Ao fim, foi feito acoplamento ao sistema à vácuo para a filtração. A representação esquemática do sistema de filtração se encontra a seguir:

**Figura 7 - Sistema de filtração**



**Fonte: A autoria própria.**

### 3.2.3 Avaliação de resistência do material da cápsula

Para avaliar a resistência do material da cápsula, com o objetivo de expandir a utilização do filtro além das soluções aquosas, realizamos cortes na cápsula em pequenos pedaços, os quais foram submersos em solventes orgânicos em diferentes béqueres.

Nessa etapa, a resistência foi avaliada nos seguintes solventes: tolueno, hexano, clorofórmio, acetona e diclorometano.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no objetivo proposto, definiu-se, primeiramente, a montagem do sistema de filtração, capaz de suportar a pressão e que garanta vedação da cola com o material da cápsula.

Para isso, foram selecionadas duas variações de tamanho de partículas específicas de vidro na composição das membranas para realização dos testes.

Posteriormente, obteve-se um sistema filtrante eficiente, testando-o com dois diferentes sistemas particulados, de forma que ele não perdesse suas funções básicas de filtração e garantindo a resistência do material da cápsula quando em contato com tais soluções.

### 4.1 MEMBRANAS

Na confecção das membranas, através de um método pré-estabelecido, foram escolhidas duas variações de tamanho de partícula de vidro, mesh 100 e mesh 200. A primeira escolha foi devido a maior quantidade de partículas retidas (mesh de 100) e, para conseguirmos comparar as eficiências de filtragem dos sistemas, foi escolhido uma segunda opção de tamanho de partícula (mesh de 200), o qual originou uma membrana com partículas menores de vidro, possibilitando a comparação dos sistemas.

Para completarmos a confecção das membranas, usamos o NaCl de Mesh 100, por tal abertura apresentar a maior quantidade de amostra a partir do peneiramento dentre as citadas na metodologia.

Durante a execução da metodologia nas primeiras amostras, após passarem pela mufla, foi visto um aumento no volume das membranas, que poderia comprometer posteriormente o processo de encaixe nas cápsulas. Esse fato ocorreu devido a rápida perda da umidade (durante a utilização da mufla), a qual foi adquirida durante o processo. Sendo assim, adicionamos uma gota de água a mistura após a prensagem, eliminando então o problema das membranas de vidro estufadas. Na Figura 8, temos as membranas antes do processo de sinterização na mufla.

**Figura 8 – Membranas após prensagem**

Fonte: Autoria própria.

Após o processo de sinterização na mufla e, com as membranas em temperatura ambiente, para mantê-las com espessura uniforme, lixamos as mesmas até todas atingirem o tamanho desejado, o qual foi definido a partir da espessura da membrana mais fina, concluindo a confecção das membranas de vidros sinterizado, expostas nas Figuras 9 e 10:

**Figura 9 – Membrana mesh 100**

Fonte: Autoria própria.

**Figura 10 – Membrana mesh 200**

Fonte: Autoria Própria

#### 4.2 AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA DO MATERIAL DA CÁPSULA

Nessa etapa, foram dispostos em diversos béqueres com diferentes solventes orgânicos em contato com o material da cápsula a fim de avaliar sua resistência ao contato, como nas Figuras A e B.

Para todos os solventes citados na metodologia, a cápsula não apresentou nenhum tipo de deterioração ou reação, dessa maneira, concluímos sua resistência aos solventes mais comuns como satisfatória. Entretanto, como junto ao material da cápsula temos o PET, as restrições para utilização do filtro passam a ser os solventes que não reagem com o material da garrafa.

Para definir as restrições para o PET referente as testadas com a cápsulas, temos a avaliação da solubilidade do PET elaborada por Mahalingam et. al (2015) conforme a Tabela 2:

**Tabela 2 -Avaliação da solubilidade do PET em solventes orgânicos.**

<b>Solvente</b>	<b>Solubilidade do PET</b>
Acetona	Insolúvel
Clorofórmio	Insolúvel
Diclorometano	Parcial

Fonte: Adaptado de Mahalingam et al. (2015).

No caso do tolueno, O PET e o PP são plásticos insolúveis, não sofrendo alterações em contato com o solvente. (LIMA, 1999).

Para o hexano, não foram encontradas informações na literatura sobre a solubilidade do PET no solvente. Dessa maneira, para avaliar sua resistência, realizamos o mesmo teste feito com as cápsulas para o material plástico e, como resultado não houve alterações do mesmo, conforme exposto na Figura 11.

**Figura 11 - Amostra de PET após contato com tolueno**



**Fonte: Autoria própria.**

Dessa maneira, para os todos solventes em questão, a única restrição seria para o diclorometano, pelo fato de o PET ser parcialmente solúvel no mesmo.

#### 4.3 MONTAGEM DO FILTRO

O processo de montagem do filtro foi realizado conforme a metodologia, utilizando as membranas de mesh 100 e 200 para o vidro e mesh 100 para o NaCl, as quais obtiveram melhores resultado de sinterização. Desta forma, obtivemos duas montagens, uma para cada tamanho de partícula de vidro da membra, expostas na Figuras 12 e 13:



**Figura 12 – Filtro (membrana mesh 100)**



**Fonte: Autoria própria.**

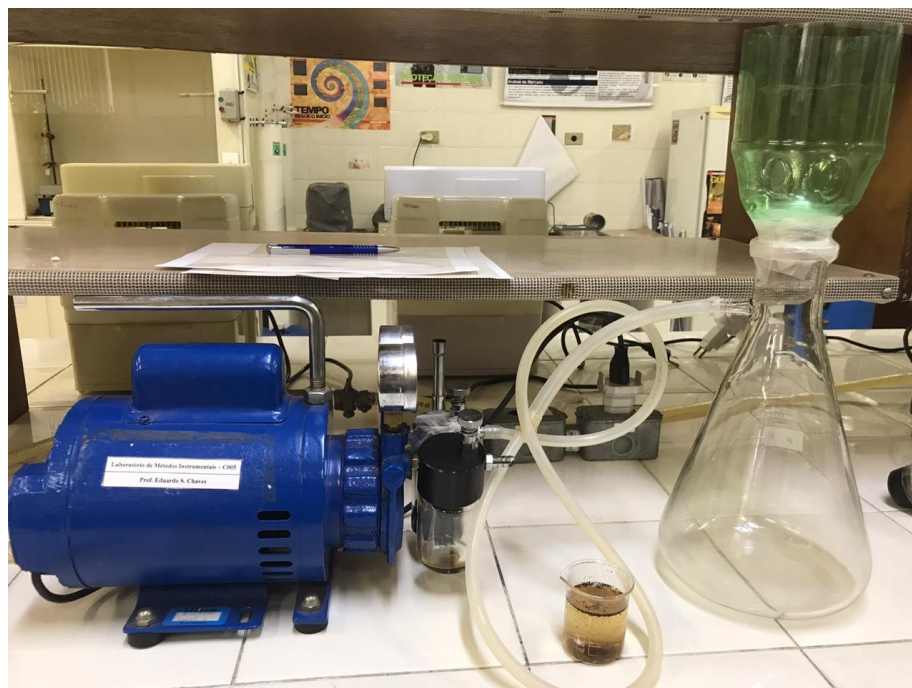


**Figura 13 – Filtro (membrana mesh 200)**



**Fonte: Aatoria própria.**

Posteriormente, cada um dos filtros foi acoplado ao kitassato utilizando filme autofusível (Parafilm®) para vedação e, em seguida ao sistema de bomba a vácuo por meio de uma mangueira conectada ao kitassato, conforme a Figura 14:

**Figura 14 - Complexo de filtração**

Fonte: Autoria própria.

#### 4.4 TESTES DE FILTRAÇÃO

A realização dos testes de filtração foi feita utilizando dois diferentes sistemas aquosos sólido-líquido, o primeiro possuindo em sua composição aproximadamente 0,13 g de café e 50 mL de água e o segundo 0,13 g de areia e 50 mL de água. Para execução do sistema, a força motriz utilizada foi a própria gravidade e o vácuo, por meio da vedação.

A fim de determinar se o sistema era eficiente, cumprindo sua função principal, (a filtração propriamente dita) testamos os dois sistemas sólido-líquido em cada um dos filtros montados.

Para os dois filtros, com membranas de mesh 100 e 200 de vidro, o sistema cumpriu sua função principal, entretanto, para definir qual das membranas possuía maior eficiência, realizamos o processo de secagem do material sólido que ficou suspenso sobre a membrana após a filtração por gravimetria. Obtemos os seguintes resultados conforme a Tabela 3:

**Tabela 3 – Eficiência da membrana**

Membrana (mesh)	Tipo de sólido	Massa de sólido (g)	Massa de sólido após secagem (g)	Eficiência (%)*
100	Café	0,1315	0,1143	86,92
	Areia	0,1323	0,1128	85,26
200	Café	0,1334	0,1037	77,74
	Areia	0,1329	0,1042	78,40

\*Em relação à massa original suspensa em água. Fonte: Aatoria própria.

Conforme os resultados obtidos, podemos perceber que a membrana de mesh 100 para o vidro foi a que apresentou melhores resultados de filtração na retenção do sólido, com valores entre 85% e 86% de eficiência.

Como comparação, Ortiz (2018), realizou testes de filtração com mistura de água e café em membranas de vidro sinterizado com granulometria de pó de vidro de mesh 170, obtendo resultados também satisfatórios desse processo por gravimetria, com uma eficiência de 87% em retenção de sólido sobre a membrana.

Ortiz (2018) destaca ainda que para sistemas onde a há uma maior quantidade de sólido para 50mL de água, existem problemas no processo de filtração, causados principalmente pelo entupimento dos poros.

## 5 CONCLUSÃO

Visando um reaproveitamento sustentável de materiais que geram grandes problemas ambientais, como o caso de plástico e vidro, o presente trabalho obteve sucesso, encontrando uma alternativa para o reaproveitamento de capsulas de café e de vidros descartados, gerando um novo produto a partir disso.

Com o reaproveitamento, produziu-se membranas de vidro reciclado e, ao final, um sistema de filtração que pudesse acoplá-las, por meio de um método pré-estabelecido. Além disso, avaliou-se a resistência do material da cápsula para diferentes solventes e a eficiência de filtração das membranas. Dessa maneira conseguiu-se ainda comprovar qual das membranas testadas obteve melhores resultado para o processo estabelecido.

Por fim, conclui-se que o trabalho cumpriu seu objetivo, provando como a partir de ideias simples pode-se criar alternativas para o reaproveitamento de matérias aparentemente não-recicláveis.

## REFERÊNCIAS

ABIC. Associação Brasileira de Indústria de Café. **Consumo interno de café mantém ligeiro crescimento em 2015**. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publicacoes/gc/gilua.exe/sys>>. Acesso em: 01 nov. de 2019.

ALVIM, MARIANA. **Pesquisas inéditas mostram que reciclagem de cápsulas de café é problemática no Brasil, 2016**. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/meio-ambiente/pesquisas-ineditas-mostram-que-reciclagem-de-capsulas-de-cafe-problematiza-no-brasil-20660567>>. Acesso em: 26 out. de 2019.

ANCAT,; PRAGMA. **Anuário da reciclagem 2017-2018**. Disponível em:<<https://ancat.org.br/wp-content/uploads/2019/09/Anua%CC%81rio-da-Reciclagem.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

ANDRIGUETTO, Gabriela.; FLORES, Carina. **Lixo e sustentabilidade: O impacto do comportamento social na geração de resíduos sólidos**. 9º Forum internacional de resíduos sólidos p. 2-5. Porto Alegre, RS: 2018.

ASSIS, Odílio B.G. **O uso de vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração**. Embrapa Instrumentação Agropecuária. Cerâmica 52, p. 105-113. S.Carlos, SP: 2006.

BARRETOS, F. R. M.; SILVA, M. C. C.; PELÁ, A. **Impactos ambientais na destinação inadequada de resíduos sólidos urbanos na cidade de Ipameri-GO: um estudo de caso**, Revista Eletronica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET, Ipameri, Goiânia, v. 17, n. 17, p. 3230 – 3239. 2013.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. Ed. 4. São Paulo: Humanitas FFLCH/USP, 2003

COSCARELLI, C. **“Quem inventou o Nespresso fui eu”**, 2010. IstoÉ Dinheiro, São Paulo. Disponível em: <<https://www.istoedinheiro.com.br/noticias/negocios/20100827/quem-inventou-nespresso-fui/39967/>> Acesso em: 22 out. de 2019.

DUARTE, et al; **Como se fazem cápsulas de café?, 2012**. FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto. Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Porto, Portugal. Disponível em:

<[https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd\\_2012\\_13/files/REL\\_1M6\\_04.PDF](https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd_2012_13/files/REL_1M6_04.PDF)> Acesso em: 22 out. de 2019.

DUARTE, Lucienir; SILVA, Grácia. **Técnicas básicas de laboratório de Química II**. Minas Gerais: Editora UFMG, 2009.

ECYCLE. **Garrafa PET: da produção ao descarte**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/231-reciclagem-de-garrafa-pet.html>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

Equipe eCycle. **Borra de café: 13 usos incríveis, 2015**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/1414-borra-de-cafe>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

EUROMONITOR INTERNATIONAL. **Tendências do Mercado de Café, 2015**. Disponível em <[http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/consumo-/Tendencia\\_do\\_Mercado\\_de\\_Cafe\\_-\\_2015\\_1.pdf](http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/consumo-/Tendencia_do_Mercado_de_Cafe_-_2015_1.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2019.

FAGNANI, R. **Microfiltração em produtos princípios e aplicações**. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/colunas/rafael-fagnani/microfiltracao-em-produtos-lacteos-principios-e-aplicacoes-99178n.aspx>> Acesso em: 1 set 2019.

FERREIRA, L. T.; SANTOS, J. **Consumo de café superou produção mundial em 2016 pelo terceiro ano consecutivo**. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/noticiasrss//asset\\_publisher/HA73uEmvroGS/content/id/21131690](https://www.embrapa.br/noticiasrss//asset_publisher/HA73uEmvroGS/content/id/21131690)>. Acesso em: 01 nov. 2019.

FONSECA, A. H. **Reciclagem: O primeiro passo para a preservação ambiental, 2013**. (p.11-12)

GUIMARÃES, ANA PAULA. **Caracterização do resíduo de cápsula de café da marca A para análise de viabilidade de reciclagem**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial – UFPR. Curitiba, 2018.

HABERT, Alberto Cláudio; BORGES, Cristiano Piacsek; NOBREGA, Ronaldo. **Processos de separação por membranas**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços editoriais, 2006.

LIMA, CRISTINA. **Identificação de Plásticos através Testes Físico-Químicos.**

Disponível

em:

<<http://educa.fc.up.pt/ficheiros/fichas/1152/Manual%20Identificacao%20de%20plasticos%20.pdf>> Acesso em: 30 out. 2020.

MAHALINGAM, S. et al. Solubility–spinnability map and model for the preparation of fibres of polyethylene (terephthalate) using gyration and pressure. **Chemical Engineering Journal**, v. 280, p. 344-353, 2015. ISSN 13858947.

MATTOS, J. C. P. **Poluição ambiental por resíduos sólidos em ecossistemas urbanos**: estudo de caso do aterro controlado de Rio Branco - AC. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais – UFAC. Acre, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Brasil. **Lixo, um grave problema no mundo moderno.**

Disponível

em:<[https://www.mma.gov.br/estruturas/secex\\_consumo/\\_arquivos/8%20%20mcs\\_lixo.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/8%20%20mcs_lixo.pdf)> Acesso em: 1 set. 2020.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL - ONU BR. **Secretário-geral da ONU apresenta síntese dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável pós-2015.** Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/secretario-geral-da-onu-apresenta-sintese-dos-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-pos-2015/>> 4 dez. 2014. Atualizado em: 01 set. 2019.

ORTIZ, Renato Abrahan Saddam Guardia. **Análise de eficiência da membrana de vidro reciclado pelo processo de sinterização produzida no câmpus Ponta Grossa da UTFPR, em diferentes sistemas químicos.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PNUD, Brasil. **O que são os objetivos do desenvolvimento sustentável?**

Disponível

em:

<<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals.html>> Acesso em: 29 out. 2019.

PORTELA, M. O.; RIBEIRO, J. C. J. **Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos.** Revista Direito Ambiental e sociedade, v. 4, n. 1, 2014 (p. 115-134).

PUGLIESI, E.: **Cartilha de orientação para usuários de laboratórios 2016**. Disponível em: <<http://www.deaea.ufscar.br/documentos-1/cartilha-para-usuarios-de-laboratorios>>. Acesso em: 01 nov. 2019.