

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**JOÃO PAULO LACERDA BARBOSA LADEIA**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FKM, FVMQ E PU NA FABRICAÇÃO DE  
PROTETORES DE RESPINGOS COMO ALTERNATIVA AOS  
COMERCIALMENTE DISPONÍVEIS NO MERCADO**

**BELO HORIZONTE**

**2019**

JOÃO PAULO LACERDA BARBOSA LADEIA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FKM, FVMQ E PU NA FABRICAÇÃO DE  
PROTETORES DE RESPINGOS COMO ALTERNATIVA AOS  
COMERCIALMENTE DISPONÍVEIS NO MERCADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Anselmo Paulo Pires

Coorientador: Marcello Rosa Dumont

BELO HORIZONTE

2019

JOÃO PAULO LACERDA BARBOSA LADEIA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FKM, FVMQ E PU NA FABRICAÇÃO DE  
PROTETORES DE RESPINGOS COMO ALTERNATIVA AOS  
COMERCIALMENTE DISPONÍVEIS NO MERCADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no  
Curso de Engenharia de Materiais do Centro Federal  
de Educação Tecnológica de Minas Gerais como  
requisito parcial para obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia de Materiais.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Anselmo Paulo Pires - orientador

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

---

Prof. Dr. Marcello Rosa Dumont - coorientador

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

---

Prof. Dra. Aline Silva Magalhães

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

---

Msc. Raíssa Ribeiro Lima Machado

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos meus familiares, em especial, ao meu irmão Pedro, meus pais Marilene e James, aos meus avós Dulce e Hécio, aos meus tios Magda e Fernando e aos meus primos Vanessa e Luiz Fernando, pelo apoio incondicional, paciência e por me incentivar sempre.

A todos os meus amigos, em especial, Ana Flávia, Breno, Giovanna, Lucas, Matheus Barbosa, Matheus Werneck, Raíssa, Thaís, Thomaz e Túlio, pela amizade, companheirismo e por estarmos sempre juntos durante essa longa jornada.

Aos meus orientadores Anselmo e Marcello, pelo apoio e orientação, ensinamentos, e todo incentivo e confiança depositados em mim ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), pela oportunidade, experiência, e ensinamentos que foram tão importantes na minha vida acadêmica/pessoal desde os meus 14 anos.

Aos funcionários e estagiários do Laboratório de Caracterização e Laboratório de Polímeros pelo auxílio e empenho em realizar as análises.

E a todos que direta ou indiretamente colaboraram com este trabalho.

*“You, me, or nobody is gonna hit as hard as life. But it ain't about how hard you hit. It's about how hard you can get hit and keep movin gforward; howmuch you can take and keep moving forward. That's how winning is done!”*

(Sylvester Stallone – Rocky Balboa)

## RESUMO

Existem diversos polímeros e elastômeros que apresentam bom desempenho em aplicações em ambientes agressivos, em particular ambientes corrosivos, mesmo em contato com agentes químicos considerados extremamente fortes, como o etanol, diesel e a gasolina. Este trabalho teve como objetivo central estudar o comportamento de elastômeros e do Poli(cloreto de vinila) após o envelhecimento causado por imersão em etanol, diesel e gasolina, que poderiam substituir atualmente empregado o PVC. Foram analisados materiais com melhores características de desempenho para substituir os atuais protetores de respingos (item exigido em todas as bombas de combustíveis desde a implantação da Norma Reguladora (NR) 20), atualmente fabricados ou produzidos de PVC flexível (rico em plastificantes). O trabalho analisou o comportamento das propriedades das amostras selecionadas, a partir do seu caráter resistente aos agentes químicos corrosivos, quando colocadas em contato direto com combustíveis, por meio do estudo de suas propriedades físicas e químicas. Foram analisados 4 tipos diferentes de materiais: o Poli(cloreto de vinila) (PVC), Fluorelastômero (FKM), Elastômero de Fluorsilicone (FVMQ) e o Elastômero de Poliuretano (PU) em quatro condições diferentes: Puro (onde as amostras não foram submergidas), submergidas em etanol, diesel e gasolina. As amostras foram imersas nos combustíveis durante 45 dias. A metodologia utilizada para acompanhar e avaliar as mudanças físicas e químicas dos materiais após imersão foi: cálculo da perda de massa, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e propriedades mecânicas como ensaio de tração e ensaio de dureza. Como resultados observou-se que o FKM e o PU obtiveram valores baixos de perda e ganho de massa, melhores valores de dureza e as fotomicrografias apresentaram que ambos materiais não tiveram alterações aparentes.

Palavras-Chave: Protetores de respingos; PVC; PU; FKM; FVMQ.

## ABSTRACT

There are several polymers and elastomers that perform well in harsh environments, particularly corrosive environments, even in contact with extremely Strong chemicals such as ethanol, diesel and gasoline. The objective of this work was to study the behavior of elastomers and PVC after aging caused by immersion in ethanol, diesel and gasoline, which could replace the currently employed, Poli(vinylchloride). Materials with better performance characteristics were analyzed to replace current splash protectors (required in all fuel pumps since the implementation of Regulatory Standard (RS) 20), currently manufactured or produced from flexible (plasticizer-rich) PVC. The work aimed to analyze the behavior of the properties of the selected samples, from their resistance to corrosive chemical agents, when placed in direct contact with fuels, by studying their physical and chemical properties. Four different types of materials were analyzed: Poly(VinylChloride) (PVC), Fluorelastomer (FKM), Fluorsilicone Elastomer (FVMQ) and PolyurethaneElastomer (PU) under four different conditions: Pure (where samples were not submerged), submerged in ethanol, diesel and gasoline. The samples were immersed in fuels for 45 days. The methodology used to follow and evaluate the physical and chemical changes of the materials after immersion was: mass loss calculation, optical microscopy (SEM) and mechanical properties such as tensile test and hardness test. As results it was observed that FKM and PU had low values of mass loss and gain, better hardness values and photomicrographs showed that both materials had no apparent changes.

Keywords: Splashguards; PVC; PU; FKM; FVMQ.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – (A) apresenta o protetor de respingos e (B) o conjunto bico, capa e protetor montado. ....	14
Figura 02 – Representação química do monômero do PVC. ....	15
Figura 03 – Representação química do ftalato DOP. ....	17
Figura 04 – Monômero do FVMQ. ....	22
Figura 05 – Exemplificação de um corpo de prova submetido a um ensaio de tração. ....	25
Figura 06 – Tensão X Deformação para polímeros (a) frágeis, (b) plásticos, (c) elastômeros. ....	26
Figura 07 – Fluxograma dos métodos a serem desenvolvidos. ....	29
Figura 08 – Amostras submersas em combustíveis: (A) Gasolina, (B) Etanol e (C) Diesel. ....	32
Figura 09 – Medição de dureza a partir do durômetro Metro Tokyo LX-A. ....	33
Figura 10 – Resultado do Teste da Provetta. ....	35
Figura 11 – Resultado do ensaio de tração para o PVC. ....	39
Figura 12 – Resultado do ensaio de tração para o FKM. ....	40
Figura 13 – Resultado do ensaio de tração para o FVMQ. ....	41
Figura 14 – Resultado do ensaio de tração para o PU. ....	42
Figura 15 – Comparativo dos resultados do teste de dureza agrupando os materiais. ....	44
Figura 15 – Resultado do MEV para o PVC. (A) representa o material sem ser submergido, (B) submergido em gasolina, (C) em diesel e (D) em etanol. ....	45
Figura 16 – Resultado do MEV para o FKM. (A) representa o material sem ser submergido, (B) submergido em gasolina, (C) em diesel e (D) em etanol. ....	46
Figura 17 – Resultado do MEV para o FVMQ. (A) representa o material sem ser submergido, (B) submergido em gasolina, (C) em diesel e (D) em etanol. ....	47
Figura 18 – Resultado do MEV para o PU. (A) representa o material sem ser submergido, (B) submergido em gasolina, (C) em diesel e (D) em etanol. ....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Propriedades dos principais ftalatos utilizados no PVC.....	18
Tabela 02 – Tabela com algumas propriedades dos materiais analisados.....	30
Tabela 03 – Valores de massa e perda de massa percentual. ....	37
Tabela 04 – Valores de dureza Shore A para todas as condições.....	43

## **LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS**

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

DOP – Di octilftalato

FKM – Fluoreslastmero

FTIR – Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

FVMQ–Elastômero de Fluorsilicone

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

NR – Norma reguladora

PE – Poli(etileno)

PET – Poli(tereftalato de etileno)

PRC – Postos Revendedores de Combustíveis

PU – Elastômero de Poliuretano

PVC – Poli(cloreto de vinila)

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVO GERAL.....	12
2.1 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 Protetores de respingos.....	14
3.2 Poli(cloreto de vinila) (PVC).....	15
3.3 Plastificantes.....	16
3.4 Combustíveis.....	18
3.5 Fluorelastômeros (FKM).....	21
3.6 Elastômeros de silicone.....	21
3.7 Elastômero de poliuretano (PU).....	23
3.8 Elastômeros de acrilitrila-butadieno hidrogenado (HNBR).....	23
3.9 Elastômero de poliacrílico.....	24
3.10 Principais ensaios realizados.....	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1 Materiais e reagentes.....	30
4.2 Métodos.....	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1 Teste da proveta.....	35
5.2 Perda de massa.....	36
5.3 Ensaio de tração.....	38
5.4 Ensaio de dureza.....	43
5.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	44
6 CONCLUSÃO.....	49
6.1 Sugestão para futuros trabalhos.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução e a necessidade da vida levaram os seres humanos a procurar novas fontes para pesquisas, para descobrir materiais mais duráveis. Dentre esses materiais estavam os polímeros e os elastômeros, pois eles possuem grande variedade de aplicações, devido às suas propriedades, funções e valor final. Eles possuem aplicações bem diversificadas, desde simples embalagens até produtos sofisticados como os utilizados nas indústrias petroquímica, automotiva, naval e aeronáutica (SEIXAS, 2013; WIEBECK, 2005).

Os polímeros e os elastômeros são compostos químicos orgânicos que possuem elementos químicos como carbono e hidrogênio, tem elevada massa molecular, densidade relativamente baixa e são obtidos por reações químicas de polimerização (de vulcanização em diversos elastômeros) Dessa forma, (SEIXAS, 2013; WIEBECK, 2005).

Peças feitas de polímeros e elastômeros em contato permanente com oxigênio, luz solar, água, álcool, ácidos e outros produtos químicos podem ter sua vida útil reduzida. A exposição do material a esses agentes pode causar uma deterioração irreversível das propriedades químicas, físicas e mecânicas desses materiais. O nome dessa deterioração por agentes externos tem o nome de degradação (NAVARRO, 2009; SEIXAS, 2013).

A degradação pode causar mudanças na estrutura dos materiais, introduzindo modificações macromoleculares e alterando as propriedades dos mesmos. A degradação pode ocorrer de forma mais intensa com a incidência constante de raios UV, que podem causar uma repolimerização dos polímeros e dos elastômeros (NAVARRO, 2009; SEIXAS, 2013).

Os elastômeros são bastante estáveis em meios líquidos (mais do que os polímeros) tais como água, soluções inorgânicas ácidas ou básicas e atmosferas agressivas, entretanto não apresentam boas propriedades em solventes orgânicos (os polímeros podem ser dissolvidos, de forma que os mesmos ressecam) (NAVARRO, 2009; SEIXAS, 2013; WIEBECK, 2005).

Dessa forma, partiu-se da hipótese de que certos materiais poliméricos são mais resistentes à ação de agentes químicos, particularmente em se tratando de meio altamente agressivo como os combustíveis veiculares como a gasolina, o etanol e o óleo diesel. Nesse caso sugere-se que os materiais fabricados em FKM e PU resistem mais ao ataque químico desses combustíveis do que os atualmente utilizados.

O interesse pelo estudo de materiais alternativos para os protetores de respingos, surgiu a partir do estudo do referencial bibliográfico sobre as propriedades dos polímeros e da experiência do autor no estágio de Engenharia de Materiais em uma rede de distribuição de

combustíveis, quando observou a curta vida útil desses produtos e a constante necessidade de substituição dos mesmos.

O fato de estudar a propriedade de materiais alternativos para a substituição dos atuais, poderá aumentar a vida útil dos protetores de respingos e com isso melhorar a segurança dos operadores e frentistas, além de proporcionar um maior intervalo na troca dos produtos nos bicos das bombas de abastecimento.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Analisar a potencialidade dos elastômeros FKM, FVMQ e o PU em substituir os atuais poli(cloreto de vinila) (PVC) flexíveis como material base para produzir protetores de respingos de combustível, atendendo a melhoria com uma relação custo x benefício dos requisitos: propriedades química, físicas e mecânicas.

### **2.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Verificar a quantidade de etanol na gasolina através do teste da proveta.
- Submergir as amostras em combustíveis diferentes (gasolina, etanol e diesel) para analisar as mudanças de cada um nos materiais.
- Medir a perda de massa, pesando antes e depois das amostras serem submergidas, para verificar a perda de plastificantes e outros produtos compostos.
- Caracterizar as amostras antes e depois de serem submergidas pelo ensaio de tração, para analisar as deformações dos materiais.
- Verificar por microscopia eletrônica de varredura (MEV) a presença de fissuras após submersão das amostras nos combustíveis.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os postos revendedores de combustíveis brasileiros caracterizam-se pela comercialização de gasolina comum e aditivada, etanol, óleo diesel e, em alguns estabelecimentos, o gás natural veicular, além de realizar outras atividades, como verificação e troca de óleo, serviços de borracharia e de lavagem de veículos. Essas tarefas são desenvolvidas por trabalhadores com as funções de chefe de pista, frentistas e caixa de pista.

Por lidarem em seu dia a dia com agentes de risco, principalmente a exposição aos vapores de combustíveis líquidos, os profissionais prestadores de serviços desses postos de combustíveis estão muito expostos aos produtos químicos, dentre eles o benzeno presente na gasolina, reconhecidamente como um agente cancerígeno para os seres humanos.

A gasolina, particularmente, possui na sua composição uma concentração de até 1% (um por cento) em volume de benzeno (CAS n°71-43-2), um hidrocarboneto aromático que possui ação mielotóxica, sendo classificado pela International Agency for Research on Canceno grupo 1, ou seja, carcinogênico para humanos, desde 1982(CONCEIÇÃO, 2019).

De acordo com os dados do Cadastro Geral de Empregados e desempregados, no Brasil, em agosto de 2018, havia 39.712 Postos Revendedores de Combustíveis (PRC) com um ou mais empregados, contabilizando-se o total de 373.206 empregados neste ramo de atividade (CONCEIÇÃO, 2019).

Ainda segundo os autores,

[...] embora já existisse uma ampla normatização relativa ao controle da exposição ocupacional ao benzeno no Brasil (MENDES et al, 2017), somente em 2016 foi publicada uma regulamentação específica para o controle desta exposição nos PRC (Portaria MTb n° 1.109, de 21 de setembro de 2016 que aprovou o Anexo 2 - Exposição Ocupacional ao Benzeno em Postos Revendedores de Combustíveis - PRC- da Norma Regulamentadora n° 9 -Programa de Prevenção de Riscos Ambientais –PPRA). (CONCEIÇÃO, 2019, p. 13).

Essa regulamentação trouxe avanços ao determinar medidas de proteção para reduzir a exposição ao benzeno dos frentistas e demais trabalhadores. Dentre essas medidas foram implementadas nos PRC's: o enchimento do tanque até o automático, a vedação com o uso dos protetores de respingos, a elaboração e implementação de procedimentos operacionais e de manutenção e a capacitação dos trabalhadores.

Nesse sentido este trabalho analisa os diversos materiais de fabricação dos protetores de respingos, propondo um aumento em sua vida útil e redução dos custos de operação na

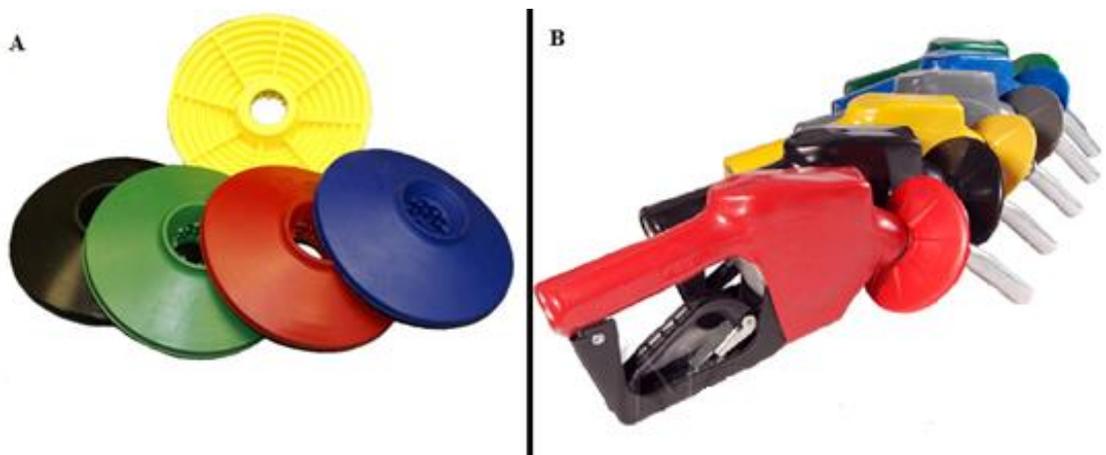
aquisição de produtos com maior resistência aos agentes químicos presentes nos combustíveis nacionais.

### 3.1 Protetores de respingos

Os protetores de respingos são produtos fabricados pelo material polimérico poli(cloreto de vinila) (PVC) flexível, de formato circular que pode ser de uma polegada (1") ou três quartos de polegada ( $\frac{3}{4}$ "), sendo que o mais utilizado é o de  $\frac{3}{4}$ ", como pode ser visto na figura 01A (BRASIL POSTOS, 2013).

Eles possuem um furo central para o encaixe do bico de abastecimento, além de ranhuras na região virada para o bico, estes têm função de absorver o combustível e são utilizados para proteger o veículo e o frentista contra respingos de combustíveis, os quais são danosos e tóxicos, durante o abastecimento, onde pode ser observado na figura 01B. Ele é obrigatório em todos postos de combustíveis de acordo com a Norma Reguladora (NR) 20 (BRASIL POSTOS, 2013; NR-20, 2019).

Figura 01 – (A) Protetor de respingos e (B) o conjunto bico, capa e protetor montado.

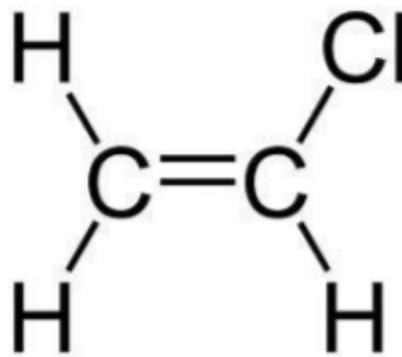


Fontes: RCOMERCIO (2019) e NETPOSTO (2019).

### 3.2Poli(cloreto de vinila) (PVC)

O poli(cloreto de vinila), mais conhecido como PVC, é obtido a partir da reação de polimerização de cloretos de vinila, seu monômero apresenta um cloro (Cl) unido à uma das ligações da cadeia de dupla ligação do carbono, vide a figura 02 (PERITO, 2011).

Figura 02 – Representação química do monômero do PVC.



Fonte: PERITO, 2011.

O PVC é um dos principais termoplásticos, onde as propriedades dos PVC flexíveis foram as estudadas neste trabalho. Ele é obtido a partir de duas vias, do cloro e insumos não renováveis, petróleo e gás natural, em que temos uma proporção de 57% do PVC a partir do cloro e 43% dos insumos (PERITO, 2011)

Segundo Perito (2011) e Braskem (2002A) o PVC possui excelente resistência química, o que lhe torna adequado para uma série de aplicações onde é necessária esta propriedade como tubos, válvulas, isolamento de fios e cabos elétricos, bolsas de sangue, entre outros. Ele pode ser rígido ou flexível (ou plastificado), eles possuem diferenças de propriedades, em que o rígido tem melhores resultados, pois tem um maior grau de pureza, já o flexível utiliza plastificantes, o mais utilizado são os ftalatos.

O PVC é um dos polímeros mais utilizados pela indústria. Juntamente ao poli(etileno) (PE) e ao poli(tereftalato de etileno)(PET), devido suas características físicas e químicas, mas tem uma grande desvantagem, durante a queima ele libera ácido clorídrico (HCl), este, além de ser tóxico, reduz as propriedades mecânicas durante o processo de reciclagem (BRASKEM, 2002A).

### 3.3 Plastificantes

Os plastificantes são um dos principais componentes da composição dos PVC flexíveis, pois com diferentes tipos desse produto podemos obter uma grande variedade de aplicações, o nível e o tipo de plastificante que é usado foi escolhido para se ter as características necessárias para cada aplicação (BRASKEM, 2002B).

De acordo com Braskem (2002B) os plastificantes são: em geral líquidos incolores e inodoros, relativamente não voláteis e que exibem baixa solubilidade em água. São em sua grande maioria ésteres ou poliésteres, incluindo outros com base em ácidos adípicos, fosfóricos, sebáceos, trimetílicos ou azeláticos.

Os plastificantes agem para diminuir a intensidade das ligações de Van der Waals presentes entre as moléculas do polímero, estas conferem aos monômeros de PVC uma rigidez extremamente alta (se comparada com outros polímeros). Com a diminuição da intensidade que os plastificantes conferem às moléculas do PVC reduz a atração intermolecular, assim, aumentando a flexibilidade da cadeia polimérica. Outras propriedades também são modificadas por esta redução de atração, tais como a dureza, temperatura de amolecimento, flexibilidade, dentre outras (BRASKEM, 2002B).

Depois que o material PVC é plastificado há três formas que o sistema pode perder plastificante, quando o sistema perde seus plastificantes, ele fica quebradiço e perde suas principais propriedades. As três principais formas de perder plastificantes são volatilização em que ocorre a perda para a atmosfera, extração quando a perda ocorre para líquidos, como óleos, água, graxas, entre outros, e migração onde a perda ocorre por transferência entre duas superfícies que estão em contato (BRASKEM, 2002A; 2002B).

De acordo com Braskem (2002B) para selecionar qual plastificante é o mais adequado, considera-se três características importantes: compatibilidade que é a atração relativa entre polímero e plastificante, ou seja, depende da configuração das moléculas, polaridade e peso molecular, permanência que depende da volatilidade e suscetibilidade à extração e a eficiência que depende do poder de solvatação.

Os plastificantes ftálicos (DOP, DIBP e DIDP) são os mais empregados nos PVC, pois possuem alta compatibilidade (considerados plastificantes primários), tem uma relação positiva de custo x desempenho, mas, dependendo das exigências, podem ser utilizados outros tipos de plastificantes, como no caso de uma necessidade de se obter uma melhor flexibilidade

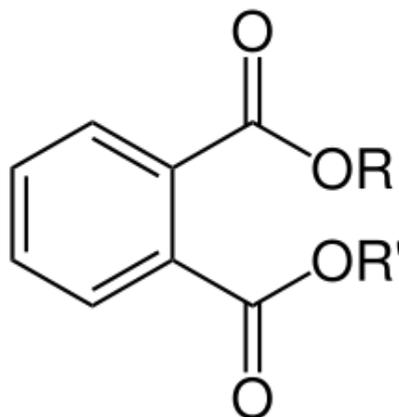
a baixas temperaturas, se deve utilizar os plastificantes do grupo dos adipatos (BRASKEM, 2002B; PERITO, 2011).

### 3.3.1 Ftalatos

Os ftalatos são a classe de plastificantes mais utilizada para combinações com resinas vinílicas, o que incluem os PVC. São utilizados largamente por apresentarem um custo baixo, em comparação aos outros plastificantes, e de fornecer boas propriedades no produto final. O problema de se utilizar o ftalato é que ele é tido como cancerígeno, podendo causar danos à alguns órgãos (fígado, pulmão e rins), anormalidades no sistema reprodutivo e alterações hormonais, como crescimento das mamas e nádegas nos homens (BRASKEM, 2002B; PERITO, 2011).

Os principais plastificadores no grupo dos ftalatos são: DOP (dioctilftalato) que é o mais utilizado no mundo, representa cerca de 50% do total de plastificantes do mundo, e pode ser utilizado em quase todas aplicações do PVC flexível, observado na figura 03 (PERITO, 2011).

Figura 03 – Representação química do ftalato DOP.



Fonte: PERITO,2011.

O DOP é utilizado em bolsas de sangue, simuladores de tecidos humanos, embalagens, calçados, tubos, perfis, entre outros; DIDP (di isoo decilftalato) é aplicado usualmente na fabricação de fios e cabos e DIBP (di isoo butilftalato) que possui uma elevada eficiência, o que facilita o processamento, mas é o que mais perde a plasticidade, por isso sua utilização

deve ser bem criteriosa e ele normalmente é utilizado juntamente ao DOP em calçados e mangueiras, algumas das suas propriedades podem ser observados na tabela 01 (BRASKEM, 2002B).

Tabela 01 – Propriedades dos principais ftalatos utilizados no PVC.

<b>PROPRIEDADES</b>	<b>DIBP</b>	<b>DOP</b>	<b>DIDP</b>
<b>Peso Molecular (g/mol)</b>	278	390	446
<b>Densidade à 25° C (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,035	0,983	0,966
<b>Viscosidade à 20° C (cP)</b>	42	85	113
<b>Ponto de ebulição 760 mmHG (°C)</b>	327	370	256
<b>Ponto de fulgor (C)</b>	177	218	232
<b>Volatilidade 105° C à 1 hora (%)</b>	0,2	0,2	-
<b>Índice de refração</b>	1,489	1,485	1,483

Fonte: BRASKEM, 2002B.

### 3.4 Combustíveis

Os principais combustíveis líquidos utilizados nos postos de combustíveis são a gasolina, gasolina aditivada, etanol e diesel. As gasolinas e o diesel têm origem fóssil (derivados do petróleo), enquanto o etanol tem origem vegetal (é extraído da cana-de-açúcar). O etanol está presente tanto na gasolina comum, quanto na gasolina aditivada, só mudando a proporção de cada uma e cada combustível e o diesel não possui etanol em sua composição, mas possui 10% de sua proporção o biodiesel, que é um combustível feito de óleos vegetais, como mamona, soja, girassol, etc. O aumento do uso de etanol e biodiesel visam deixar os combustíveis menos poluentes, pois ambos são considerados ecologicamente corretos (ANP, 2010; BRDISTRIBUIDORA 2019A; 2019B).

### 3.4.1 Gasolina

A gasolina é constituída por hidrocarbonetos (compostos orgânicos que contêm átomos de carbono e hidrogênio, normalmente  $C_8H_{18}$ ) e aditivos, no caso da aditivada possui mais aditivos e dispersantes químicos que podem ajudar na limpeza do motor, e é devido a essa composição de hidrocarbonetos podemos afirmar que ela tem caráter apolar, ou seja, ela só se dissolve em um solvente apolar, o que não é o caso da água e do etanol, que são polares (BRDISTRIBUIDORA, 2019A).

A gasolina é obtida através do refino do petróleo, que é composto por uma mistura de hidrocarbonetos. Os processos de refino possuem várias etapas que vai da destilação simples até o craqueamento catalítico, esse aproveita a nafta e o gásóleo para a produção da gasolina. O tempo para a produção da gasolina varia por alguns fatores como: tipo de petróleo, processo utilizado, da quantidade produzida e do tipo da gasolina (comum e premium) (BRDISTRIBUIDORA, 2019A).

De acordo com a BrDistribuidora (2019A) existem duas classificações de gasolina automotiva comercializadas no Brasil: a comum e a premium. A partir desses dois tipos, as distribuidoras podem ofertar gasolinas comerciais que atendam ou superem os parâmetros da categoria em que estão enquadradas. Cabe ressaltar que a gasolina conhecida como aditivada é a gasolina comum com aditivos. A gasolina premium possui uma especificação superior e única, que também recebe aditivos, mas possui maior octanagem do que a comum, sendo que a comum possui octanagem mínima de 87 e a premium tem a octanagem entre 91 e 97, fazendo com que a mesma gere menos resíduos, mas possui valor bem maior. Todas as gasolinas recebem, por força de lei federal, a adição de etanol anidro, cujo percentual atende à legislação vigente, na gasolina comum possui 27% e na gasolina aditivada possui 25%, com uma margem de erro de 1% para mais ou para menos.

### 3.4.2 Etanol

O etanol, também conhecido como álcool, é representado pela fórmula química  $C_2H_6O$  ou  $CH_3CH_2OH$ , tem a presença da hidroxila (grupo OH) faz com que ele se torne uma substância polar, por essa característica o álcool se mistura facilmente com água e outros

líquidos polares. Como o etanol é um composto orgânico faz com que ele seja encontrado mais comumente nos estados líquido e sólido (ANP, 2017A).

Segundo BrDistribuidora (2019A) o álcool é altamente inflamável, de forma que em contato com uma forma de calor a partir de 13°C pode ser inflamável, ele é altamente tóxico, sendo necessário o uso de equipamentos de proteção para o manuseio do mesmo e ele possui um poder calorífico menor que o da gasolina e do diesel, o que gera menos energia e rende menos quilômetros por litros.

De acordo com a ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) deve ter 96% de etanol e o restante de água, com uma margem de erro de 1% para mais ou para menos. Como este combustível ajuda na redução do gás carbônico, ele é considerado uma energia bem mais limpa e uma das razões da introdução do mesmo em outros combustíveis, mas esse etanol inserido deve ter 99,6% de etanol, com margem de erro de 0,1% para mais ou menos (ANP, 2017A).

### *3.4.3 Diesel*

De acordo com BrDistribuidora (2019B) o óleo diesel é composto por átomos de carbono e hidrogênio em grandes concentrações (possuindo a fórmula  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_3$  ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ )) e enxofre, nitrogênio e oxigênio em baixas concentrações. Assim como a gasolina, o diesel é derivado do petróleo, é inflamável, tóxico, volátil, límpido e com odor forte e característico. É usualmente utilizado em motores de combustão interna e ignição por compressão de automóveis, ônibus e caminhões, esses conhecidos como motores do ciclo diesel.

Ao contrário dos motores movidos a gasolina e etanol, os motores diesel têm apenas a aspiração de ar e a ignição se dá por autoignição do combustível. O ar aspirado vai para o interior do cilindro e depois é comprimido pelo pistão, essa combustão bem mais intensa do que gasolina e etanol, chegando a atingir temperaturas de 500°C. Como essa combustão é mais intensa, ela produz óxidos de enxofre, que são altamente poluentes e podem ser descarregados na atmosfera ou se transformar em ácidos na câmara de combustão. Para diminuir esses efeitos diminuem a quantidade de enxofre na mistura e/ou adicionam quantidades maiores de biodiesel na mistura final desse combustível (BRDISTRIBUIDORA, 2019B).

### 3.5 Fluorelastômeros (FKM)

Uma das borrachas flúor carbonadas mais conhecidas no mercado é o Viton, esta foi patenteada pela empresa norte-americana The Chemours Company (Du Pont) em 1938. Elas são compostas por elastômeros FKM e possuem o fluoreto de vinilideno como seu monômero, possui densidade de  $1800 \text{ kg/m}^3$  (valor mais elevado que a maioria dos elastômeros) e possui coloração preta, verde ou marrom (GOMES, 2019A).

De acordo com Grison (2010) as principais propriedades das borrachas fluorcarbonadas são excepcional estabilidade a altas temperaturas, com excelente resistência à compressão a temperaturas elevadas e boa flexibilidade a baixas temperaturas, na ordem de  $240\text{-}260 \text{ }^\circ\text{C}$ ; apresentam resistência química a hidrocarbonetos dos grupos alifáticos, aromáticos e clorados, óleos de silicone, óleos e massas minerais e combustíveis; não são resistentes a solventes com alto grau de polaridade.

As principais aplicações destes elastômeros são: vedante do tipo o-rings, tubos que suportam altas temperaturas e em contato com lubrificantes, com líquidos hidráulicos não-inflamáveis e com agentes químicos agressivos (GOMES, 2019A; GRISON, 2010).

### 3.6 Elastômeros de silicone

De acordo com Grinson (2010) os elastômeros de silicone têm como característica principal possuírem cadeias poliméricas de átomos de silício e oxigênio, onde os átomos de silício fazem o transporte dos radicais orgânicos, preferencialmente radical metilo. Os siloxanos, outra denominação para este tipo de elastômero, são também polímeros de misturas inorgânicos-orgânicos com a fórmula química  $[\text{R}_2\text{SiO}]_n$ , onde R é um radical orgânico (metilo, etilo ou fenilo) e n é o número de repetições dessa fórmula.

As principais vantagens dos Silicones é que eles possuem uma resistência à uma faixa ampla de temperaturas, variando entre  $-20$  a  $180^\circ\text{C}$ , resistem bem ao intemperismo, ozônio, radiação UV, boas propriedades químicas e possuem propriedades mecânicas intermediárias (XU, 2015).

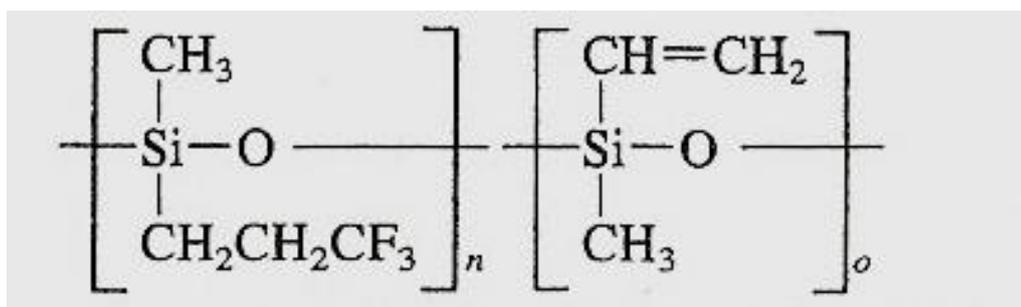
No geral os elastômeros de silicone possuem baixa resistência aos derivados de petróleo, álcalis e ácidos concentrados, mas para modificar esse cenário é utilizado a técnica de vulcanização FVMQ (Fluorsilicone) (GRINSON, 2010).

### 3.6.1 Elastômero (FVMQ)

Segundo Han (2015) o FVMQ possui a maioria das características do silicone comum, por exemplo, as borrachas de fluorsilicone têm propriedades físicas e mecânicas similares e oferece excelente resistência química para ácidos diluídos e alcalinos, aos fluidos não polares como derivados de petróleo, hidrocarbonetos, diéster e óleos de silicone. Entretanto, possuem apenas uma resistência razoável aos fluidos polares como álcoois e baixa resistência a cetonas, aldeídos, aminas e fluidos de freios (os que não são à base de petróleo).

A diferença no monômero do fluorsilicone para o silicone comum, está na presença do flúor ligado no grupo funcional, como pode ser observado na figura 04, e este flúor faz a diferença para que o silicone deixe de ser pouco resistente aos derivados de petróleo, para ter excelente resistência (HAN, 2015; XU, 2015).

Figura 04 – Monômero do FVMQ.



Fonte: GOMES, 2019D.

As principais aplicações do FVMQ são: indústria aeroespacial, indústria automotiva, o-rings, gaxetas, mangueiras, tubos, perfis, revestimento de cilindros e outras peças estáticas e dinâmicas que há necessidade de contato com combustíveis e ácidos (GOMES, 2019D).

### **3.7 Elastômero de poliuretano (PU)**

O poliuretano é um polímero que compreende cadeias de ligações uretânicas, estas com o grupo funcional de estrutura  $\text{NH}(\text{CO})\text{O}$ . Já o elastômero de poliuretano, conhecido como PU, possui dois tipos: poliéter e poliéster, sendo que as diferenças entre eles está nas suas propriedades (GOMES, 2019B; GRISON, 2010).

De acordo com Grinson (2010) as principais vantagens do PU é que ele possui alta resistência à tração, à abrasão, aos derivados de petróleo, ao ozônio e ao intemperismo. A adesão aos metais é excelente, caso os metais forem fosfatizados com fosfato ferroso e pintado com algum adesivante. A temperatura de uso do PU é recomendada um pouco abaixo dos  $100^{\circ}\text{C}$  e a cura dele é feita com peróxido de dicumila, com ou sem coagentes, a temperatura variando de  $170$  a  $180^{\circ}\text{C}$ .

As principais aplicações deste elastômero são: peças técnicas, buchas e batentes, rolos, roletes e peças de manutenção, peneiras e roldanas, rodas e esteiras, preservativos, calçados, entre outros (GOMES, 2019B).

### **3.8 Elastômeros de acrilitrila-butadieno hidrogenado (HNBR)**

Segundo Grinson (2010) os elastômeros de acrilitrila-butadieno hidrogenado, também conhecido como HNBR ou Therban (seu nome comercial mais popular), são obtidos através de um elastômero comum a acrilitrila-butadieno (NBR) pelo processo de polimerização por emulsão e após dissolução completa é feita a adição de hidrogênio gasoso que provoca uma hidrogenação seletiva, parcial ou completa, para produzir um elastômero com teor mais alto de acrilonitrila (ACN).

As principais vantagens do HNBR é que ele possui alto teor de ACN, mais de 40% de sua composição, o que lhe confere alta resistência a derivados de petróleo, ao intemperismo, a radiação UV e possui alta resistência a altas temperaturas, cerca de  $150^{\circ}\text{C}$  (GOMES, 2019C; GRISON, 2010).

As principais aplicações deste elastômero são: vedantes estáticos e dinâmicos, vedantes e juntas para o motor automotivo, vedantes e mangueiras para sistemas de combustíveis, vedantes para suspensões, tubos e correias e revestimentos para moinhos de papel (GOMES, 2019C).

### **3.9 Elastômero de poliacrílico**

De acordo com Gomes (2019E) as normas ASTM 2000 e SAE J200 definem que elastômeros de poliacrílico são um co-monômero acrílico e são polímeros de ésteres de ácido acrílico com a adição de monômeros acrilato de etilo, n-acrilato de butilo ou acrilato de 2-metoxietilo.

As principais vantagens da borracha poliacrílica, como é mais conhecida, possuem alta resistência ao calor e aos derivados de petróleo, resiste bem ao ozônio, a solventes alifáticos, mas possui pequena resistência à tração, em torno de 7 a 15 MPa. O grau de instauração, que especifica a quantidade de hidrogênio que o composto pode vincular, varia de 1,0 a 5,0%, o que é considerado baixo e a sua faixa de temperatura de uso varia entre -40 a 204°C (GRINSON, 2010).

As principais aplicações deste elastômero são: vedantes e juntas dos sistemas de transmissão automática em automóveis, o-rings, mangueiras para sistema diesel, juntas com cortiça e revestimento de rolos, este último de maneira esporádica (GOMES, 2019E).

### **3.10 Principais ensaios realizados**

Os ensaios realizados têm como função detectar e identificar as diferenças em cada uma das situações em que as amostras foram submetidas, não submersas (o que é chamado de puro) e submersos em gasolina, etanol e diesel. O ensaio de perda de massa analisa a entrada e saída de plastificantes, ensaio de tração mostra a deformação que o material suportou com determinada carga, o teste da proveta a quantidade de etanol presente na gasolina, ensaio de dureza Shore A mede a dureza de polímeros e elastômeros e o MEV verifica a presença de trincas, micro trincas, entre outras imperfeições.

#### *3.10.1 Perda de massa*

A perda de massa consiste em medir a diferença em gramas da amostra, antes e depois dos ensaios. No caso dos elastômeros e polímeros, a perda de massa pode indicar a perda de plastificantes, vaporização da água, aditivos e/ou produtos voláteis de reação ou

decomposição. Caso a perda de massa seja muito significativa, deve-se fazer ensaios mais completos para descobrir o motivo dessa perda, como o DSC (calorimetria exploratória diferencial) e o TGA (análise termogravimétrica) (GRISA, 2011; LI, 2003).

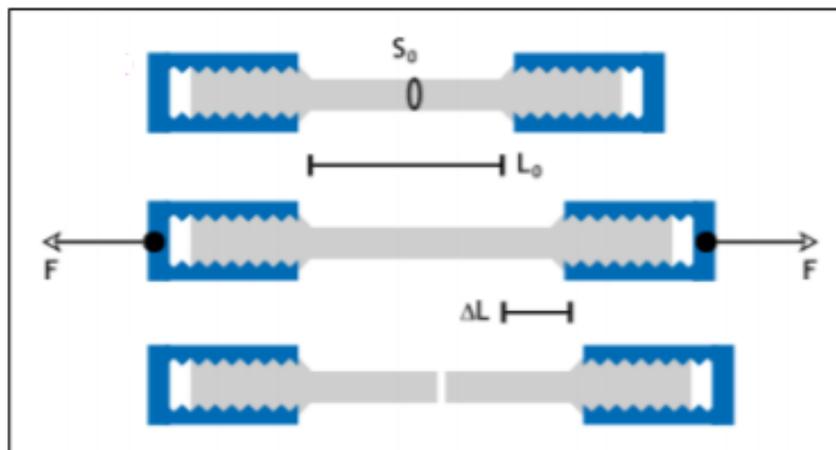
### 3.10.2 Ensaio de tração

De acordo com Mendes (2007) o ensaio de tração é bastante utilizado para o encontrar informações comuns sobre a resistência dos materiais e é um teste de aceitação de materiais a partir do confronto das propriedades determinadas pelo ensaio e os ajustes especificados no projeto. O experimento consiste na aplicação de uma carga uniaxial, ou seja, em apenas um sentido (normalmente verticalmente). Esta carga tem um valor crescente ao mesmo tempo que são medidas as variações de comprimento.

As especificações quanto à forma e dimensões dos corpos de prova, velocidade, carga inicial e afins são ditadas pela norma técnica correspondente, que para os materiais poliméricos é a ISO 37 (ZHENKUN, 2010).

No ensaio de tração, a amostra é sujeita a um esforço uniaxial (figura 05). As extremidades dos corpos de prova recebem garras do equipamento de medição, para que o mesmo fique fixo durante todo o teste (MENDES, 2007).

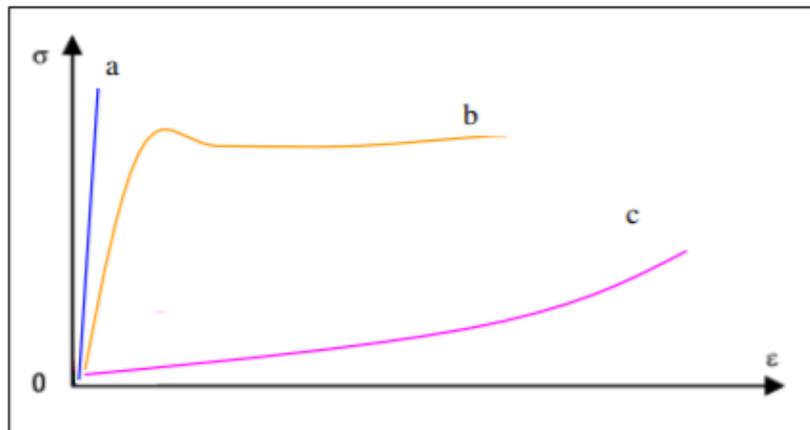
Figura 05 – Exemplificação de um corpo de prova submetido a um ensaio de tração.



Fonte: MENDES, 2007.

Com os dados das medidas de cargas e os alongamentos é construída a curva tensão xdeformação, como na figura 06, essa mostrando as diferentes curvas para tipos diferentes de polímeros, sendo que o comportamento do PVC é esperado que seja de um polímero plástico e os outros materiais tenham o comportamento de polímeros elastômeros (MENDES, 2007).

Figura 06 –Tensão xdeformação para polímeros (a) frágeis, (b) plásticos, (c) elastômeros.



Fonte: MENDES, 2007.

### 3.10.3 Teste da proveta

Teste da proveta é o teste padrão para a analisar a quantidade de etanol presente na gasolina comum, pois é usual donos de postos de combustíveis e distribuidoras fazerem adulterações na gasolina, fazendo com que ela tenha a aparência do combustível dentro das normas. É usualmente inserido solventes mais baratos (ANP, 2017B).

Desde a década de 1970, quando o programa Proálcool foi lançado pela Petrobras, atualmente esse programa foi substituído pela ANP, regularizaram que a porcentagem obrigatória de etanol anidro combustível que deva ser adicionado à gasolina deva ser de 27% do seu total no caso de gasolina comum e 25% no caso da gasolina aditivada, sendo que há uma margem de erro de 1%, para mais ou para menos (ANP, 2017B).

#### *3.10.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)*

De acordo com Dedavid (2007) a microscopia eletrônica de varredura (MEV) se baseia em um feixe de elétrons com um pequeno diâmetro para analisar a superfície do material, ponto a ponto, por linhas sucessivas e propagar o sinal do detector a uma tela catódica no qual a varredura está sincronizada com o feixe incidente. Esse feixe de elétrons é utilizado no lugar de fótons, que são empregados nos microscópios ópticos convencionais, fazendo que resolva o problema de aumento de resolução máximo em 2000 vezes dos microscópios comuns e podem ser observadas amostras com valores da ordem de 2 a 5 nanômetros, em instrumentos comerciais, chegando até a 1 nm em instrumentos de pesquisa avançada, fazendo com que o MEV seja mais utilizado do que outros microscópios.

Os aparelhos mais novos permitem aumentos de até 300 mil vezes, sendo que a maior parte é para materiais sólidos, assim, conservando a profundidade de campo harmônico com a observação de superfícies rugosas. O MEV é um aparelho que fornece informações de maneira mais rápida sobre a morfologia e identificação de elementos químicos em amostras sólidas. É bastante utilizado em diferentes áreas de conhecimento e ciências, como por exemplo: biologia, odontologia, farmácia, engenharia, química, metalurgia, física, medicina, geologia, dentre outros (DEDAVID, 2007).

Segundo Dedavid (2007) a aparência tridimensional da imagem das amostras, que é resultado direto da grande profundidade de campo, é outra característica importante, pois também permite o exame em pequenos aumentos e com grande profundidade de foco, sendo de extrema utilidade, uma vez que a imagem eletrônica complementa a informação dada pela imagem ótica.

#### *3.10.5 Dureza Shore A*

De acordo com Meththananda (2009) as medições de dureza oferecem um método rápido e fácil de testar sólidos e têm suas origens nos testes de metais. Tais testes são convenientes para fins de controle de qualidade e especificação, como, por exemplo, nas várias classes de ligas de ouro. As medições de dureza são abundantes na literatura sobre materiais compostos. Uma variedade de testes está disponível (Knoop, Brinell, Rockwell, Barcol), definidos pela geometria e dimensões do centro, e pela carga aplicada. No caso de

metais e outros sólidos, como polímeros vítreos, compósitos e tecidos calcificados, o indentador na aplicação de uma carga produz uma indentação permanente, e o número de dureza é geralmente a carga por unidade de área de superfície da indentação. A física subjacente a essas medições de indentação foi descrita em detalhes por Tabor, onde foi demonstrado que a dureza está relacionada ao esforço de escoamento na compressão. O teste de dureza também é realizado em materiais elastoméricos, por exemplo, os testes de dureza Shore e ISO. Possuindo um controle de qualidade conveniente, fácil e rápido.

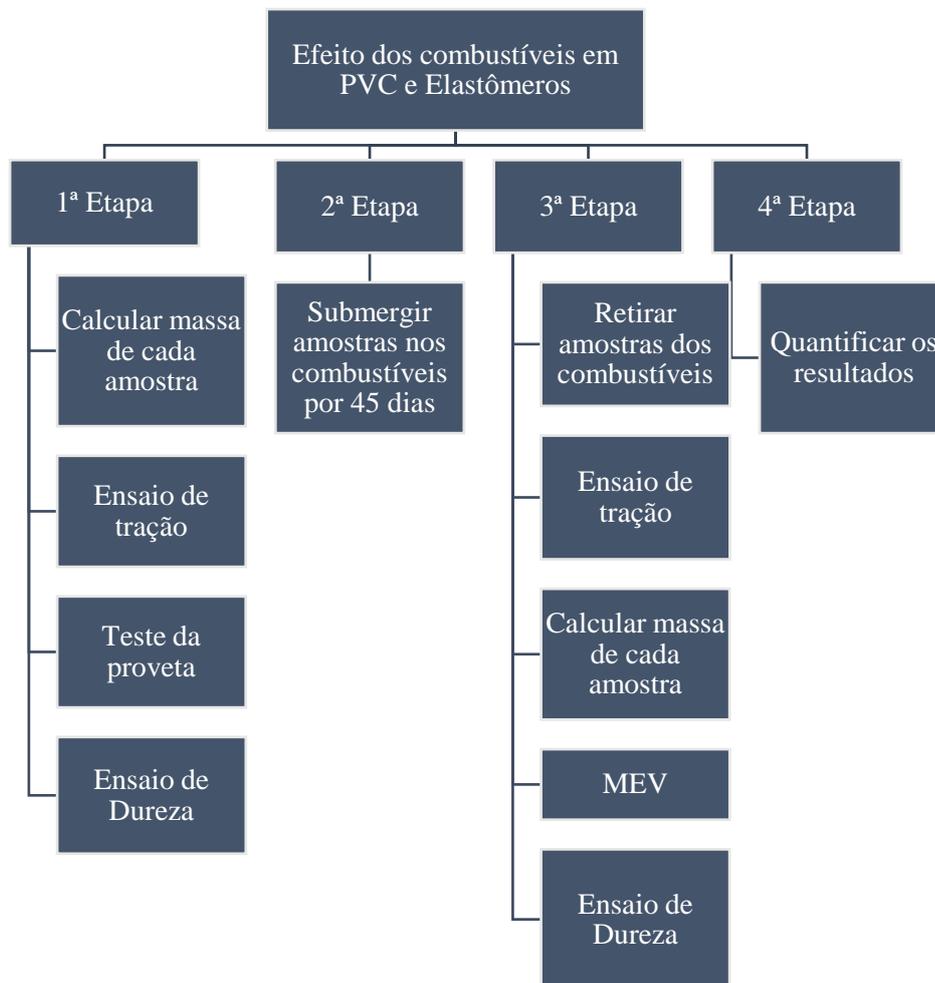
Alguns fabricantes de materiais de impressão o utilizam para caracterizar a rigidez dos materiais de impressão definidos. O recuo no caso de elastômeros é de natureza predominantemente elástica, isto é, recuperável. No teste de dureza Shore A, o indentador é de extremidade plana. Idealmente, a escala de dureza deve converter o intervalo de módulo de  $0 - \infty$  em uma escala de dureza de 0–100 (METHTHANANDA, 2009).

A dureza Shore não se reflete em outras propriedades como acontece com outros tipos de dureza, assim, não podendo ser utilizado como modo de previsão da resistência ao desgaste ou a outra propriedade mecânica. A dureza Shore avalia a resistência relativa à indentação, a qual varia com o tempo, principalmente porque os materiais usados neste tipo de ensaio possuem uma grande resiliência e uma grande capacidade para absorver a energia e de se adaptar à deformação (METHTHANANDA, 2009).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais adotados neste trabalho para o estudo dos efeitos dos combustíveis nos elastômeros e no PVC foram divididos em quatro etapas e estão representados no fluxograma da figura 07.

Figura 07 – Fluxograma dos métodos a serem desenvolvidos.



Fonte: Próprio autor.

## 4.1 Materiais e reagentes

Os materiais utilizados foram os seguintes: Composto flexível de Poli Cloreto de Vinila (PVC), 70 FKM K655 (FKM), 95 AU 925 (PU) e o MIL-DTL-25988C (FVMQ). Algumas propriedades desses materiais podem ser observadas na tabela 02.

Tabela 02 – Tabela com algumas propriedades dos materiais analisados.

<b>Propriedades/ Materiais</b>	<b>Dureza (Shore A)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Cor</b>	<b>Faixa de Temperatura de trabalho (°C)</b>
<b>PVC</b>	65	1,15	Laranja	-15 a 70
<b>FKM</b>	70	1,32	Preto	-10 a 200
<b>FVMQ</b>	80	0,95	Laranja	-70 a 180
<b>PU</b>	95	1,05	Preto	-50 a 110

Fonte: Próprio autor.

Os reagentes utilizados para submergir as amostras durante 45 dias foram: etanol comum, gasolina comum e diesel comum. Os combustíveis foram coletados no Posto R. E. M. LTDA na Avenida Amazonas, 4594 em Belo Horizonte e o posto possui bandeira da BR Distribuidora (Petrobras).

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Perda de massa

A perda de massa foi calculada em gramas, com uma pesagem antes dos corpos de provas serem submersos nos combustíveis e outra após a retirada dos mesmos após 45 dias, se utilizando uma balança analítica de precisão de 4 casas decimais BEL Engineering, modelo M214A, com capacidade de 210 gramas. Considerando-se a diferença entre a massa inicial dos materiais e a obtida no final da amostragem. Os valores de perda de massa de cada

tratamento foram obtidos através da porcentagem diferencial entre o peso inicial das amostras e o seu peso final. Onde a equação para a perda de massa (PM) é igual a diferença entre peso inicial da amostra ( $P_i$ ) pelo peso final da amostra ( $P_f$ ), dividido pelo peso inicial, multiplicando por 100 o resultado anterior, para se obter por porcentagem.

$$PM (\%) = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100$$

#### 4.2.2 Teste da proveta

O teste da proveta consiste em colocar uma mistura de cloreto de sódio (NaCl) com a gasolina em uma proveta graduada com tampa, a proveta utilizada foi a de 100 mL, sendo que 50 mL foram de gasolina comum do Posto BR e os outros 50 mL vieram de uma mistura de água ( $H_2O$ ) com NaCl, sendo que a proporção de cloreto de sódio foi de 10% do  $H_2O$ , criando uma solução aquosa.

Com a proveta tampada, misturou-se a gasolina com a solução aquosa, de modo que não se agitou a mesma, apenas fazendo o movimento de inversão da mesma por 10 vezes consecutivas. Ao final desse processo foi deixado em repouso a mistura por 15 minutos, para que a água, mais densa do que o combustível, fique na parte inferior e a gasolina na parte superior. Após o repouso, deve-se utilizar uma equação para obter a porcentagem de álcool em que a porcentagem de etanol é dada pelo volume do álcool obtido após repouso por volume inicial da gasolina e tudo multiplicado por 100, para se obter em porcentagem.

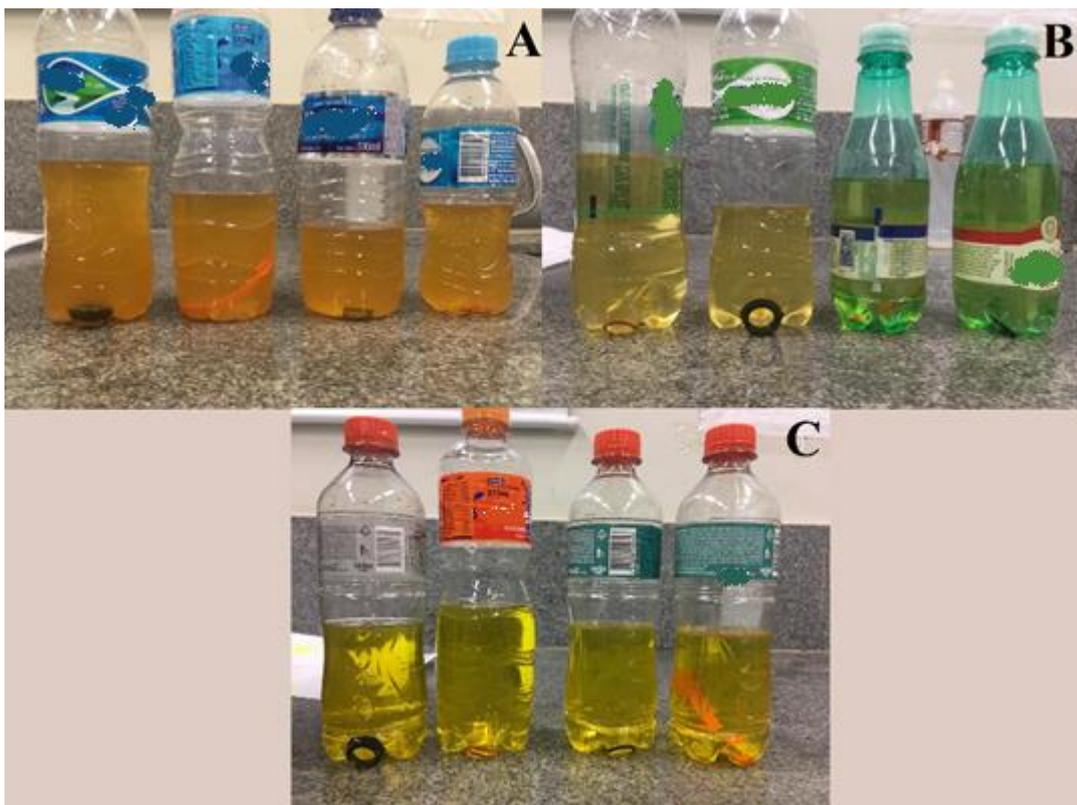
$$\% \text{ álcool} = \frac{\text{Volume do álcool obtido após repouso}}{\text{Volume inicial da gasolina}} \times 100$$

#### 4.2.3 Ensaio de degradação das amostras

No ensaio de degradação das amostras foram coletados um (1) litro de cada combustível (etanol, gasolina e diesel), doze (12) garrafas diferentes de PET, seja pela cor da tampa, tamanho e rotulo, para colocar cada uma das amostras e dos combustíveis e três (3) amostras de cada um dos materiais que foram utilizados para o experimento.

Cada um dos materiais foram colocados em uma garrafa diferente e submersos completamente pelo combustível. As garrafas com tampa azuis continham gasolina (figura 08A), com tampa verde continham etanol (figura 08B) e tampa laranja continham diesel (figura 08C).

Figura 08 – Amostras submersas em combustíveis: (A) Gasolina, (B) Etanol e (C) Diesel.



Fonte: Próprio autor.

Após quarenta e cinco (45) dias os materiais foram retirados e submetidos novamente ao cálculo de massa, ensaio de tração e ao MEV.

#### 4.2.4 Ensaio de tração

Foram realizados os ensaios de tração no Laboratório de Polímeros do CEFET-MG, através do equipamento Shimadzu, modelo Autograph AG-X. Utilizou-se velocidade de deslocamento na ordem de 500 mm/min, seguindo a Norma ASTM D 471.

#### 4.2.5 Ensaio de dureza

Os ensaios de dureza foram realizados no Laboratório de Análises de materiais da Mina do Pico – Vale S/A, em Itabirito – MG. Foi utilizado o durômetro portátil Metro Tokyo LX-A MR18974/19, com escala de 0 a 100 Shore A, em que foram medidos 3 vezes para cada material. Para utilizar o equipamento, o material no qual se quer saber a dureza é submetido a uma pressão definida a qual é aplicada por uma mola calibrada que atua sobre o endentador. Um indicador irá fornecer a profundidade da endentação, dessa forma, o valor é tido pela profundidade da penetração no material e é mostrado no visor do equipamento, conforme a figura 09.

Figura 09 – Medição de dureza a partir do durômetro Metro Tokyo LX-A.



Fonte: Próprio autor.

#### *4.2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)*

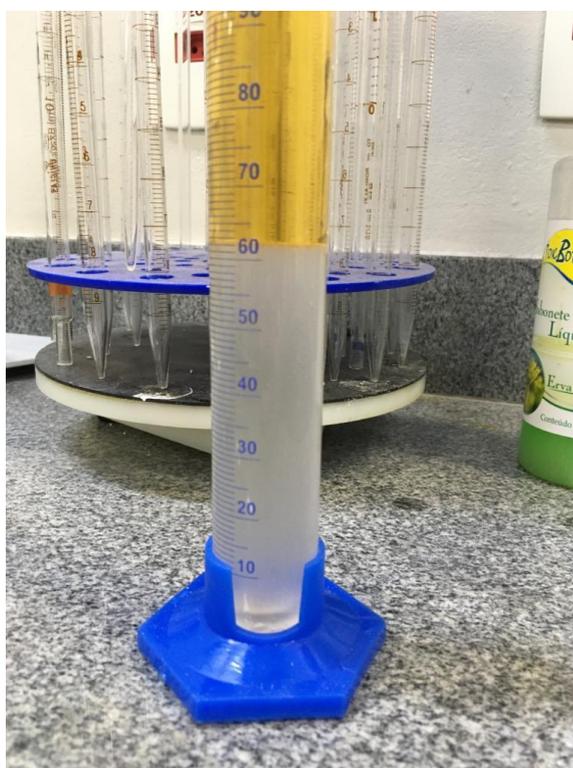
Foram realizados ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) no Laboratório de Caracterização do CEFET-MG, através do equipamento de marca Shimadzu, modelo Superscan SSX. Para o ensaio as amostras foram metalizadas com uma fina camada de ouro, por 15 minutos em cada amostra. Foram realizadas sessenta e uma fotos das amostras com diversas ampliações, entre 20 e 800 vezes.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Teste da proveta

No teste da proveta foi possível aferir que a gasolina utilizada nos experimentos possuía a quantidade de etanol adequada de acordo com as normativas da Petrobras, a norma diz que deve possuir 27% com margem de erro de 1%. Pode ser verificado, através dos cálculos descritos anteriormente e pela figura 10, que o valor do combustível é 26%.

Figura 10– Resultado do Teste da Proveta.



Fonte: Próprio autor.

A importância de determinar a porcentagem de etanol da gasolina é de identificar se a quantidade deste tipo de combustível influencia nas amostras, já que o etanol apresenta moléculas com caráter mais polar, enquanto a gasolina é apolar. Porém com os outros resultados obtidos pode-se afirmar que a quantidade deste álcool não foi preponderante para os resultados finais.

## 5.2 Perda de massa

A tabela 03 apresentou os valores encontrados da massa em três condições: antes, logo após e um dia após a submersão e os valores de perda de massa em percentual. A partir dos resultados obtidos na tabela 03, dos valores de massa e da perda percentual, foram gerados os seguintes resultados:

- O PVC em todas as situações analisadas foi o que teve as maiores perdas de carga e foi o único que em todas as situações perdeu massa;
- A diferença nos valores de massa após a submersão e a massa final, se deve ao fato das amostras estarem inchadas com a absorção dos combustíveis e após um dia descansando, parte desse combustível absorvido saiu dos polímeros ao sair do solvente;
- Nas amostras têm-se um balanço químico, entrada de combustíveis e saída de plastificantes, aqueles em que a perda de massa foi positiva, saiu mais plastificantes do que entrou de combustíveis, já aqueles que tiveram perda de massa negativa, entrou mais combustível do que saiu de plastificantes;
- Os materiais FKM e PU, tiveram pouca variação no balanço de perda de massa, muito esperado devido ao seu caráter praticamente inerte em relação aos combustíveis;
- O FVMQ teve pouca variação em relação ao diesel e ao etanol, mas teve um aumento significativo quando submerso na gasolina, isso se deve a esse tipo de combustível ser apolar e ter um pequeno tamanho de cadeia, assim, penetrando e fazendo ligações com sua estrutura mais facilmente.

Tabela 03 – Valores de massa e perda de massa percentual.

Materiais	Massa inicial (g)	Massa após submersão (g)	Massa final (g)	Perda de massa (%)
Diesel – PVC	0,8111	0,7528	0,7444	8,22
Diesel – FKM	0,4194	0,4206	0,4192	0,05
Diesel – PU	1,1272	1,2223	1,1905	-5,62
Diesel – FVMQ	0,1529	0,1502	0,1501	1,83
Etanol – PVC	0,6180	0,5498	0,5438	12,01
Etanol – FKM	0,4430	0,4232	0,4212	4,92
Etanol – PU	1,1242	1,2427	1,1418	-1,57
Etanol – FVMQ	0,1524	0,1699	0,1585	-4,00
Gasolina – PVC	0,7726	0,6299	0,6126	20,71
Gasolina – FKM	0,4189	0,4314	0,4287	-2,34
Gasolina – PU	1,1298	1,2869	1,1589	-2,58
Gasolina – FVMQ	0,1572	0,2001	0,1883	-19,78

Fonte: Próprio autor.

De acordo com Bastos (2007) De Paoli (2008) e Seixas(2013) o inchamento em solvente, no caso diesel, etanol e gasolina, será maior quanto maior for a semelhança da estrutura do solvente e do polímero, no caso do etanol (molécula polar), espera-se que quanto maior a polaridade da cadeia polimérica, maior o grau de inchamento. Moléculas pequenas como o etanol, com massa molar igual a 46,06 g/mol, têm maior facilidade em difundir no volume livre do polímero e atuar como um plastificante localizado, reduzindo as interações intermoleculares e assim diminuindo a massa final das amostras.

No caso de diesel e gasolina (moléculas apolares), possuem semelhança alta com as estruturas dos polímeros, assim, maior o grau de inchamento. O diesel possui moléculas bem maiores que o etanol, massa molar igual a 226,44 g/mol (cerca de cinco vezes maior que o etanol), dificultando ele difundir no volume livre do polímero e atuar como um plastificante localizado, mas devido sua semelhança estrutural, as cadeias atuam de forma a ligar com os hidrocarbonetos das amostras (BASTOS, 2007; DE PAOLI, 2008; SEIXAS, 2013).

Já a gasolina possui um caráter misto, pois mesmo possuindo moléculas maiores que o etanol, massa molar igual a 114,23 g/mol (cerca de 2,5 vezes maior que o etanol) ainda é considerada uma molécula pequena. Ela possui cerca de 26% de sua composição de etanol,

portanto, uma parte desse combustível atua como plastificante localizado e a maior parte atua de forma semelhante ao diesel, ligando os hidrocarbonetos aos polímeros, possibilitando a maior degradação e perda de massa entre os três (BASTOS, 2007; DE PAOLI, 2008; SEIXAS, 2013).

### **5.3 Ensaio de tração**

As amostras foram submetidas ao ensaio de tração e passaram por quatro situações diferentes, puro (situação em que o material não teve qualquer tipo de contato com os combustíveis), submerso em etanol, diesel e gasolina. Para uma maior padronização, em cada gráfico o puro ficou na cor preta, o etanol na cor vermelho, o diesel na cor azul e a gasolina na cor verde. Como cada amostra tem um diâmetro, espessura e formato diferente, cada material foi analisado individualmente e não foi possível fazer as curvas de engenharia, principalmente pelo PVC possuir formato único em cada amostra, não foi possível calcular sua área de maneira satisfatória, portanto, as curvas nos gráficos foram expressas por força (em Newtons) e deformação (em milímetros).

#### *5.3.1 PVC*

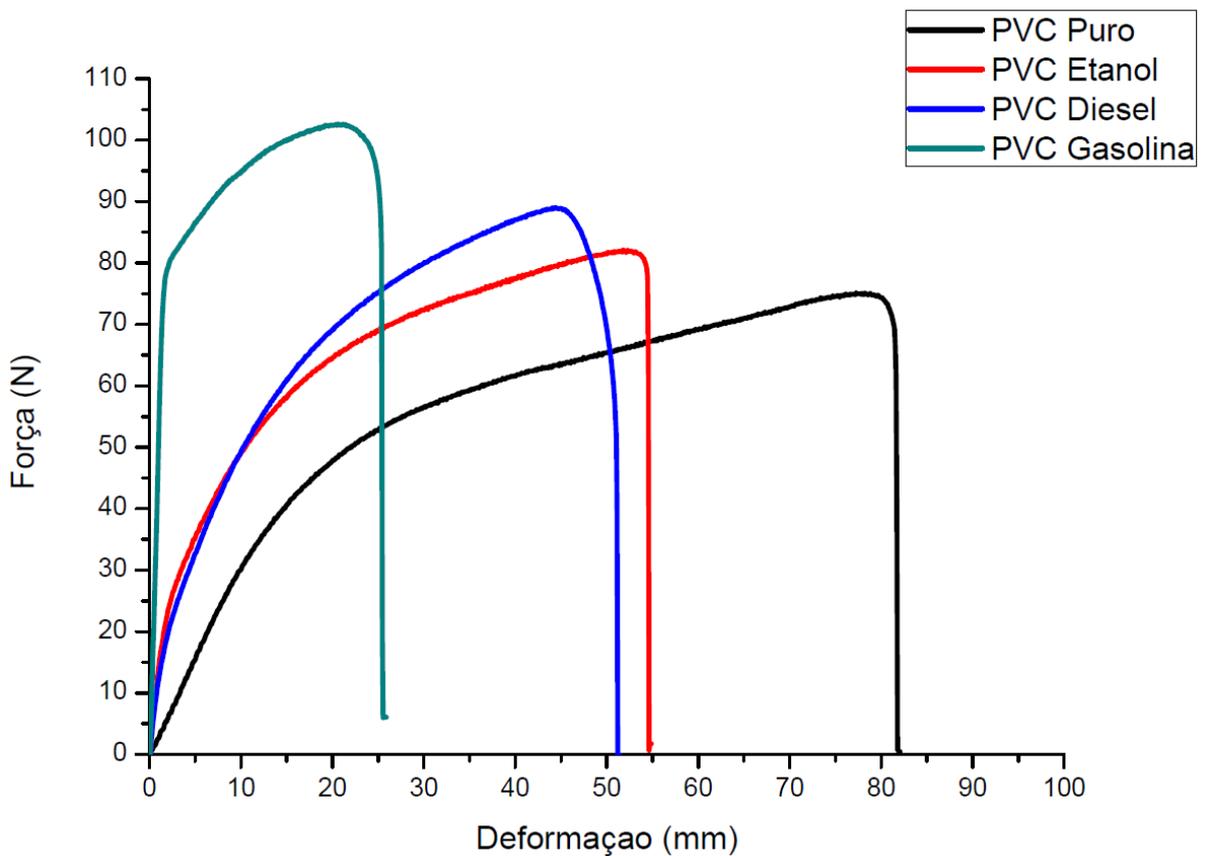
A figura 11 apresentou os resultados das quatro amostras de PVC, onde foi possível observar o comportamento do material após cada uma das condições e podemos indicar os seguintes fatores:

- O PVC Puro apresentou maior deformação e menor resistência a tensão aplicada. Na curva é possível observar a deformação elástica do material foi de aproximadamente 15 mm e sua deformação plástica foi até o ponto de 82 mm, onde ocorreu também a sua ruptura;
- O PVC Etanol e o PVC Diesel apresentaram valores intermediários de deformação e tensão aplicada mais elevados que o PVC Puro. Esse comportamento decorre à perda de plastificantes, que foi em uma proporção parecida em ambos com o diesel com uma perda um pouco maior, que faz com que o material fique menos dúctil e ressecado,

diminuindo sua deformação plástica (no ponto 54 mm no PVC Etanol e 45 mm no PVC Diesel);

- O PVC Gasolina apresentou menor deformação e maior resistência a tensão aplicada. Na curva é possível observar a deformação elástica do material foi de aproximadamente 2 mm (cerca de 86,7% menor que PVC Puro) e sua deformação plástica foi até o ponto de 25 mm (cerca de 70,2% menor que o PVC Puro), onde ocorreu também a sua ruptura. Esse comportamento se deve a grande quantidade de plastificantes que a amostra perdeu, tendo um comportamento de um polímero frágil (onde não ocorre deformação elástica e pouca deformação plástica).

Figura 11 – Resultado do ensaio de tração para o PVC.



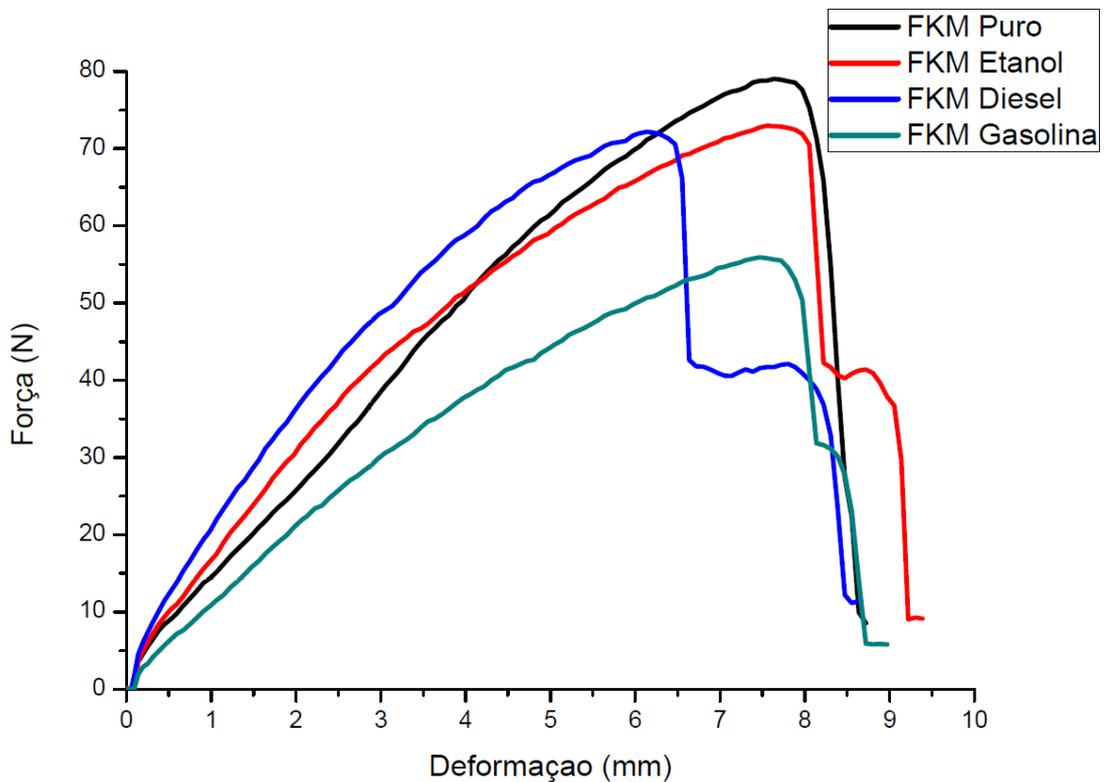
Fonte: Próprio autor.

### 5.3.2 FKM

A figura 12 apresentou os resultados das quatro amostras de FKM, onde foi possível observar o comportamento do material após cada uma das condições e podemos indicar os seguintes fatores:

- Todas as amostras possuíram valores próximos de deformação, com o FKM Diesel possuindo o menor valor (8,5 mm) e o FKM Etanol possuindo o maior valor (9,4 mm). Essa diferença mínima (cerca de 9,4%) demonstra que a submersão em combustíveis não alterou de modo significativo a capacidade de deformar o material;
- Os valores de tensão máxima do FKM Puro, Etanol e Diesel tiveram valores bem próximos (79,2 N, 73,4 N e 72,7 N respectivamente), entretanto o FKM Gasolina teve um valor menor de tensão máxima com 54,9 N. Esse menor valor de tensão máxima pode estar relacionado com a absorção maior (aumento da massa final) de combustível, enquanto os outros materiais tiveram perda de massa.

Figura 12 – Resultado do ensaio de tração para o FKM.



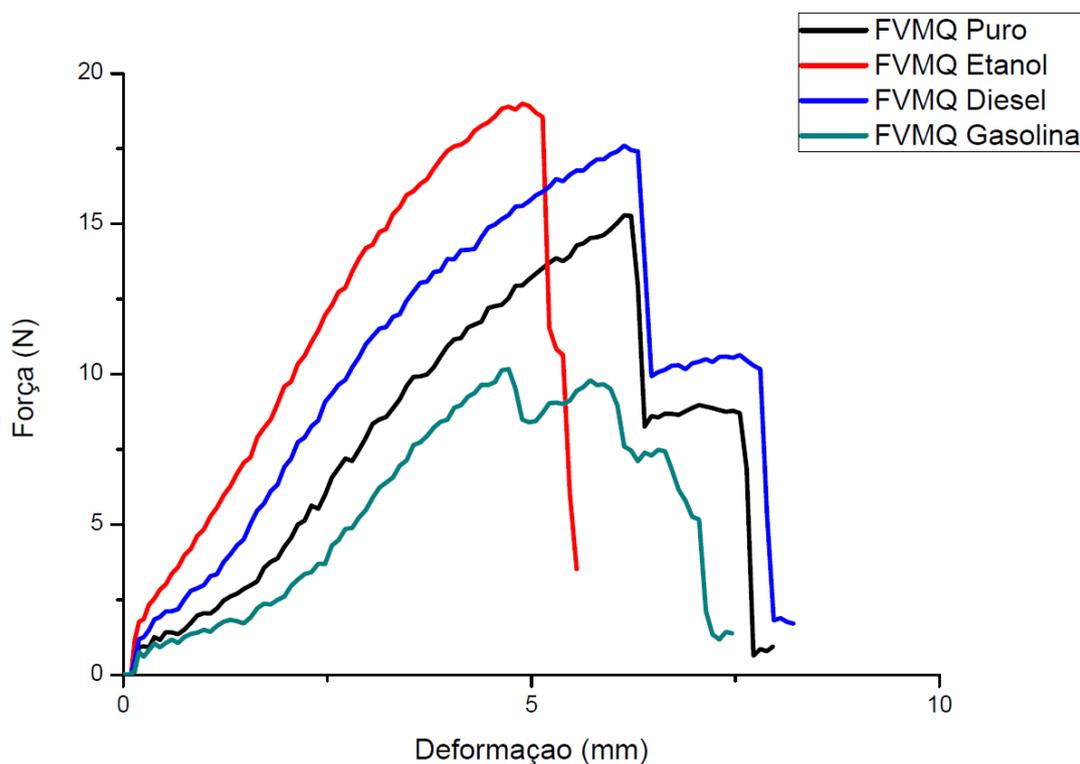
Fonte: Próprio autor.

### 5.3.3 FVMQ

A figura 13 apresentou os resultados das quatro amostras de FVMQ, onde foi possível observar o comportamento do material após cada uma das condições e podemos indicar os seguintes fatores:

- Todas as amostras apresentaram baixa deformação e tensão máxima, se comparado com os outros materiais. Isso se deve formato, espessura das amostras e massa dos FVMQ, eles possuíam massa entre 3,5 (FKM) e 7,5 (PU) vezes menor;
- Foi possível observar que o FVMQ Etanol obteve menor deformação do que as outras amostras e valores maiores de tensão máxima, em um comportamento que lembra a relação do PVC Gasolina em relação às outras amostras de PVC;
- O FVMQ Gasolina teve um valor menor de tensão máxima, esse menor valor de tensão máxima pode estar relacionado com a absorção (aumento da massa final) maior de combustível, enquanto os outros materiais tiveram menor aumento de massa (etanol) e perda de massa (diesel).

Figura 13 – Resultado do ensaio de tração para o FVMQ.



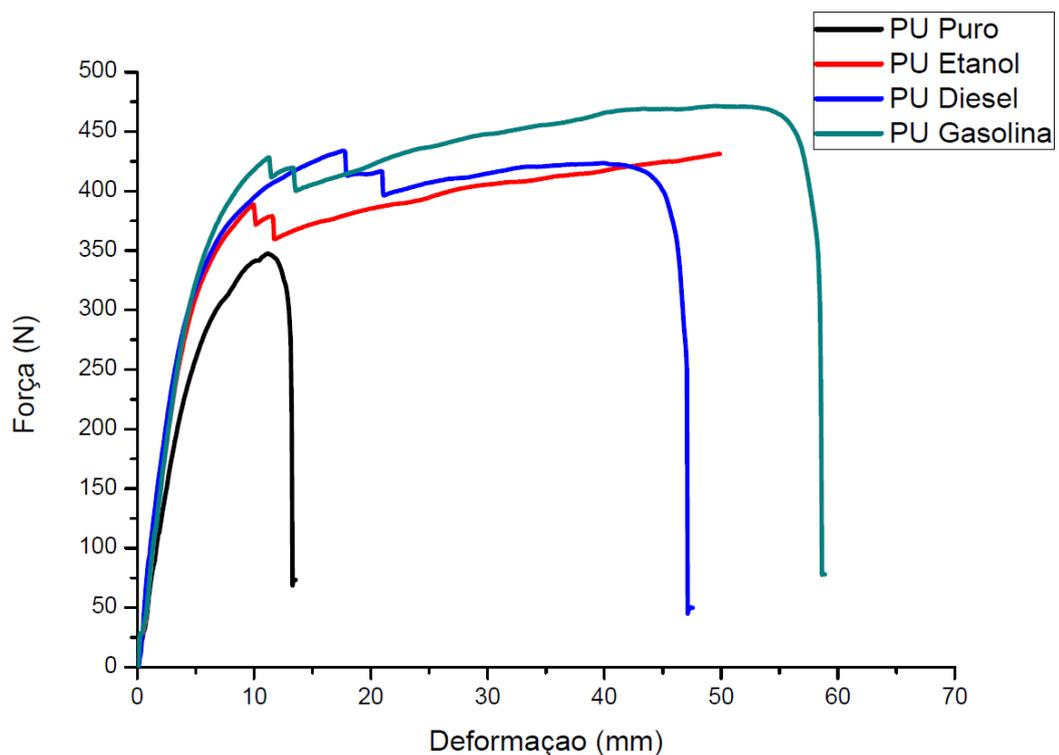
Fonte: Próprio autor.

### 5.3.4 PU

A figura 14 apresentou os resultados das quatro amostras de PU, onde foi possível observar o comportamento do material após cada uma das condições e podemos indicar os seguintes fatores:

- A amostra de PU Puro apresentou os menores valores de deformação e tensão máxima. A tensão máxima das outras amostras foram maiores, mas a deformação foi bem maior, levando a crer que a submersão teve um comportamento que favoreceu esse aumento;
- O PU Gasolina possui os maiores valores de tensão máxima (cerca de 450 N) e deformação relativa (58,6 mm);
- O PU suportou tensões maiores que os outros materiais (cerca de 4,5 vezes maior que o PVC) e possuiu deformações menores apenas que o PVC. Esse comportamento se explica pela geometria e pela massa das amostras, estas sendo as que possuíam as maiores massas.

Figura 14 – Resultado do ensaio de tração para o PU.



Fonte: Próprio autor.

## 5.4 Ensaio de dureza

De acordo com ASTM D2240(2015) o ensaio de dureza Shore A avalia as propriedades de resistência à penetração sem perfurar o elastômero e a dureza está relacionado ao módulo elástico e comportamento viscoelástico do material. Como foi possível observar nos gráficos de ensaio de tração, a deformação elástica do FKM e do FMVQ foram baixas e do PVC e do PU foram altas, o que se reflete nos valores encontrados de dureza, visto na tabela 04.

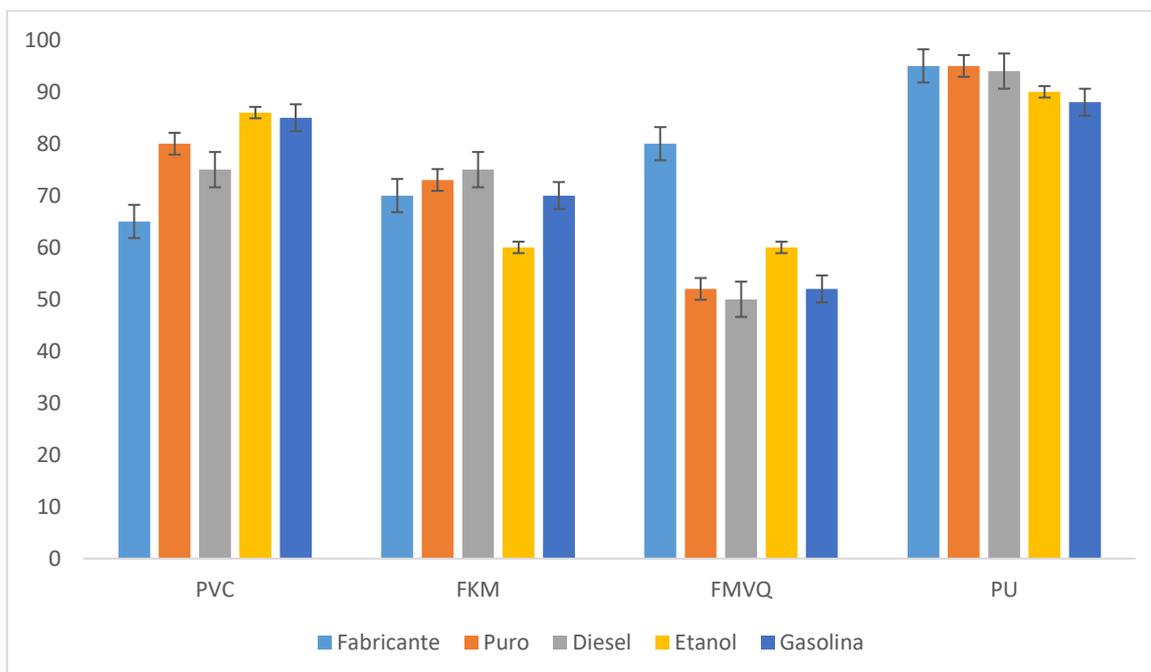
O valor da dureza do PVC de acordo com o fabricante aumenta quando é medido, pois submetido ao oxigênio ela perde plastificantes, ficando mais ressecado e menos dúctil. O FMVQ diminui bastante o valor do valor do fabricante, para as outras condições, pois a amostra não tinha a espessura mínima (6,4 mm), então sendo possível confiar nos valores medidos. A figura 15 apresenta um comparativo dos resultados do ensaio de dureza Shore A agrupando os materiais, sendo possível visualizar as diferenças encontradas em relação as condições.

Tabela 04 – Valores de dureza Shore A, para todas as condições.

<b>Material</b>	<b>Dureza (Shore A)</b>				
	<b>Fabricante</b>	<b>Puro</b>	<b>Diesel</b>	<b>Etanol</b>	<b>Gasolina</b>
<b>PVC</b>	65	80	75	86	85
<b>FKM</b>	70	73	75	60	70
<b>FMVQ</b>	80	52	50	60	52
<b>PU</b>	95	95	94	90	88

Fonte: Próprio autor.

Figura 15 – Comparativo dos resultados do teste de dureza agrupando os materiais.



Fonte: Próprio autor.

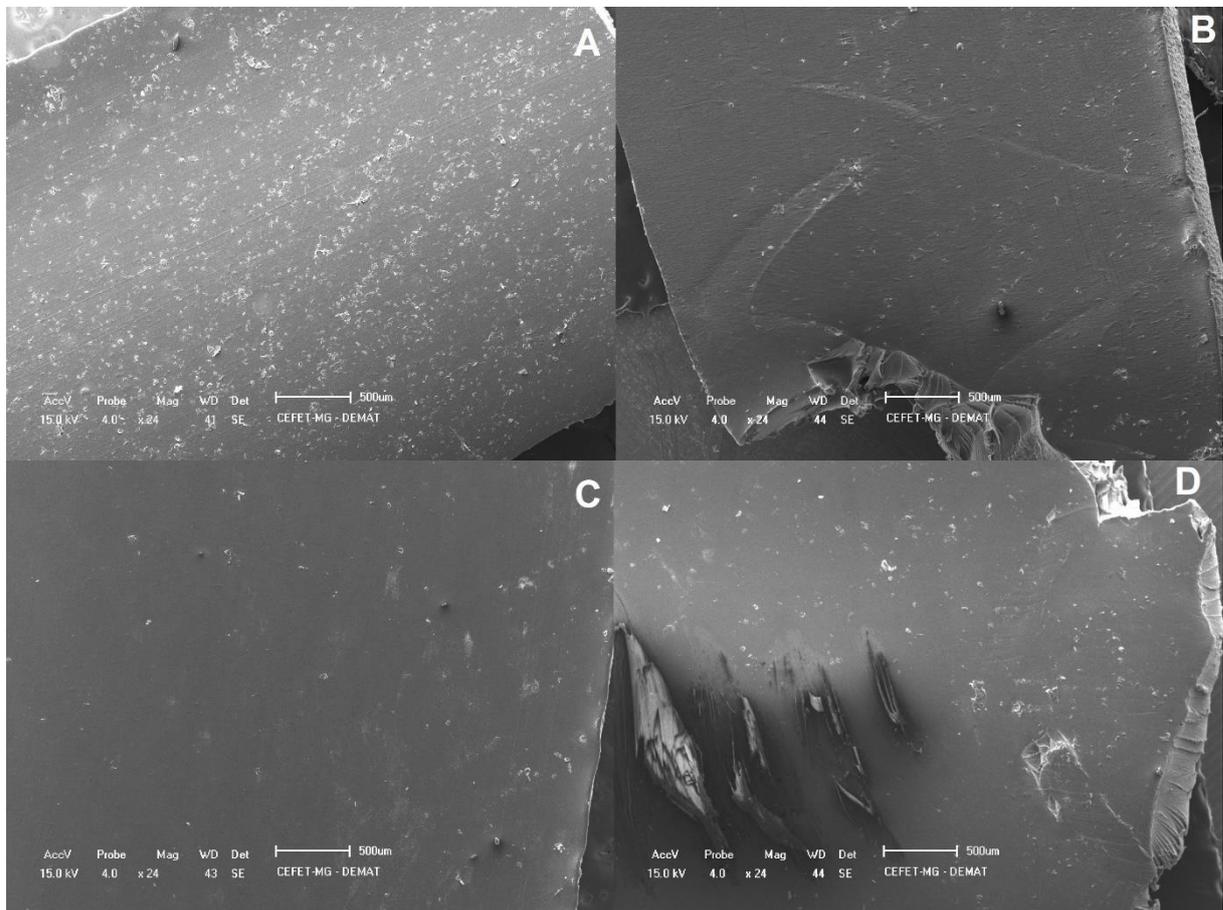
### 5.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

De acordo com Seixas, 2013, a maior parte das degradações oxidativas ocorre na superfície do polímero, devido à maior disponibilidade de oxigênio, luz, altas temperaturas e outras substâncias que podem degradar os materiais, assim, essas superfícies se tornam friáveis e é possível acompanhar as alterações morfológicas através do MEV. Os resultados foram separados em relação ao material e seguiram a mesma ordem, com A sendo o material sem ser submergido, B submergido em gasolina, C em diesel e D em etanol e as fotos foram tiradas após o ensaio de tração.

### 5.5.1 PVC

A figura 15 apresentou os resultados das quatro amostras de PVC, onde foi possível observar as alterações morfológicas do material após cada uma das condições e foi possível observar na amostra D que houve um desprendimento de uma parte do material. Os outros materiais apresentaram superfícies com poucas diferenças entre si, os pontos brancos nas amostras podem ser perda de plastificante ou resquícios de sujeira.

Figura 15 – Resultado do MEV para o PVC. (A) representa o material sem ser submergido, (B) submergido em gasolina, (C) em diesel e (D) em etanol.

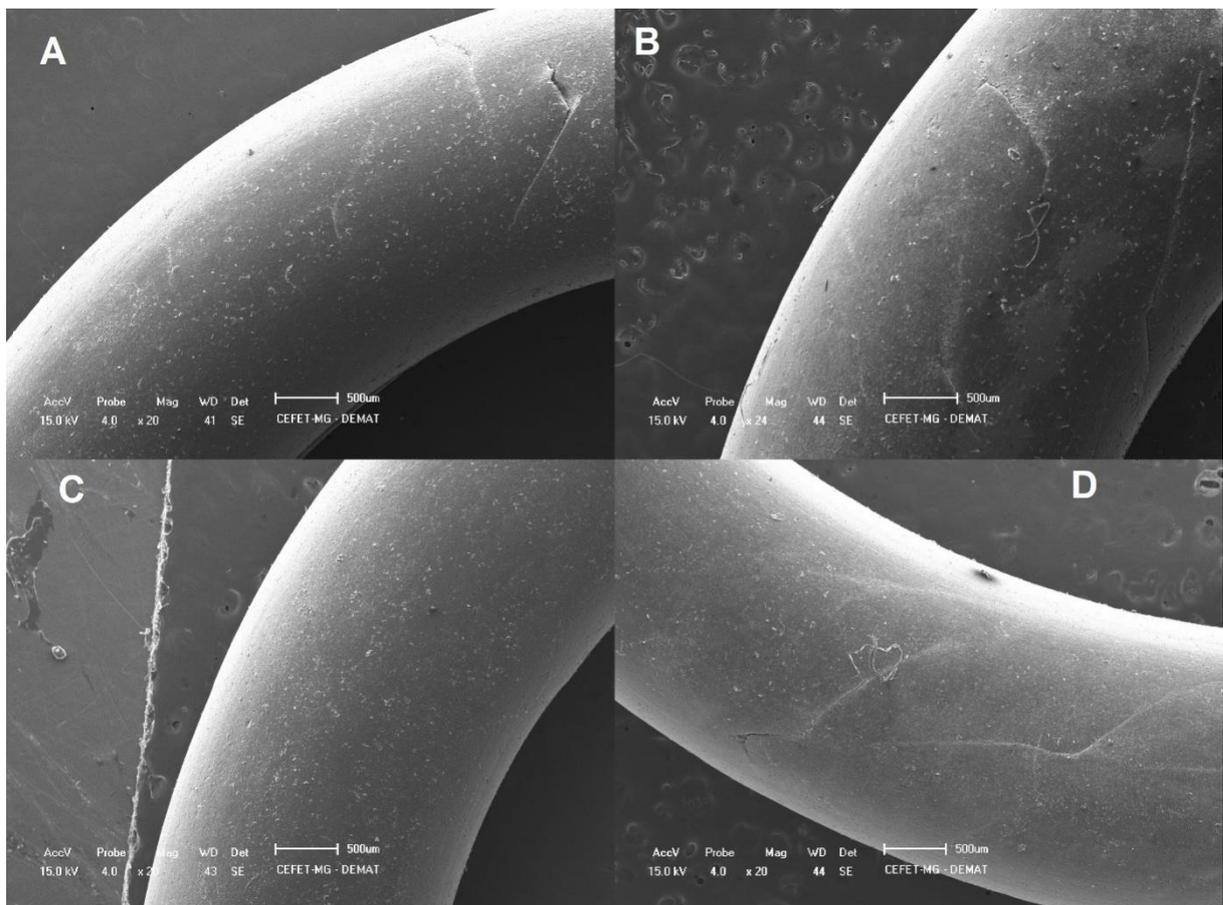


Fonte: Próprio autor.

### 5.5.2 FKM

A figura 16 apresentou os resultados das quatro amostras de FKM, onde foi possível observar as alterações morfológicas do material após cada uma das condições e foi possível observar na amostra B houve partes do material mais claras, que podem indicar que houve algum tipo de reação entre o material e o elastômero. Os outros materiais apresentaram superfícies com poucas diferenças entre si, os pontos brancos nas amostras podem ser perda de plastificante ou resquícios de sujeira.

Figura 16 – Resultado do MEV para o FKM. (A) representa o material sem ser submergido, (B) submergido em gasolina, (C) em diesel e (D) em etanol.

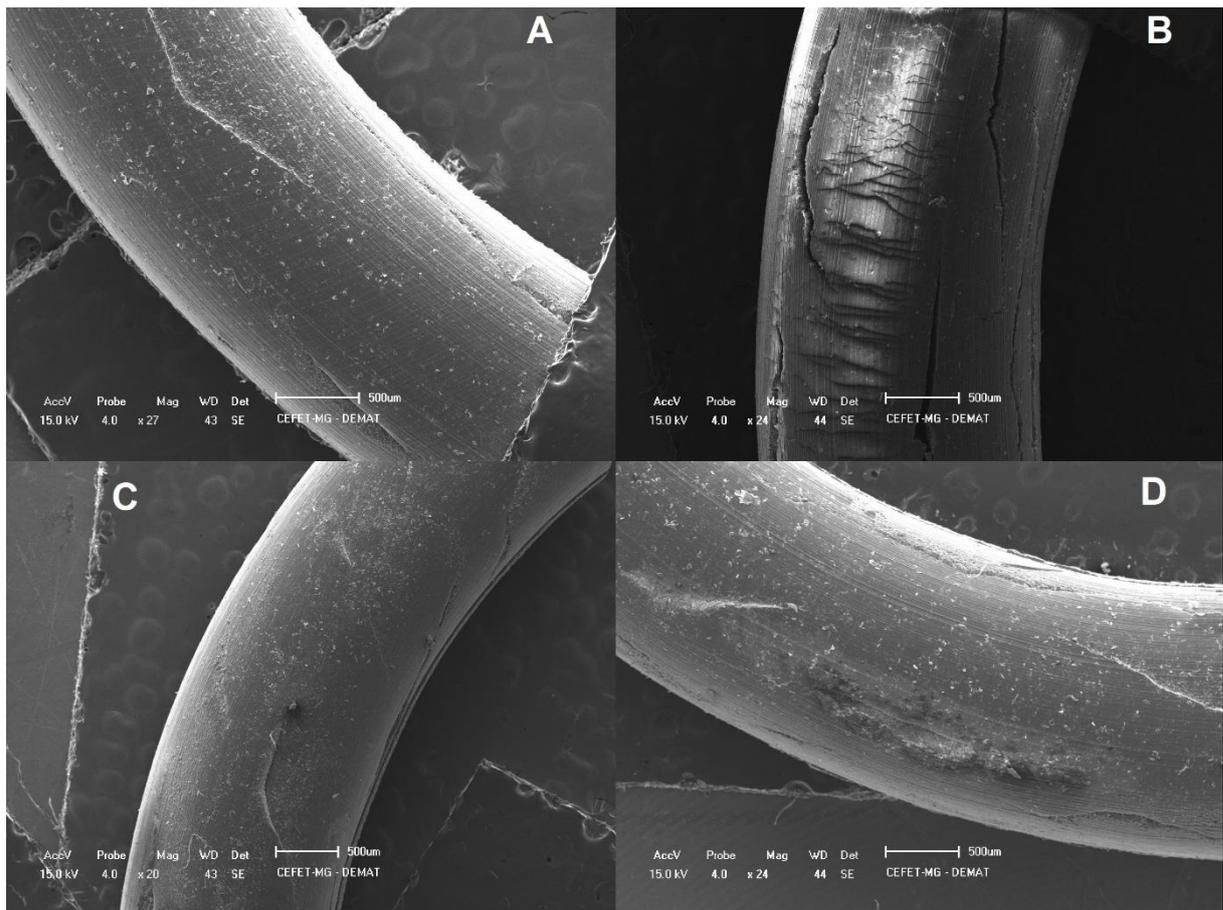


Fonte: Próprio autor.

### 5.5.3 FVMQ

A figura 17 apresentou os resultados das quatro amostras de FVMQ, onde foi possível observar as alterações morfológicas do material após cada uma das condições e foi possível observar na amostra B que houve trincas (na vertical) e microtrincas (na horizontal) e na amostra D possui uma estrutura que pode ter sido um desprendimento de material ou resquício de sujeira. Os outros materiais apresentaram superfícies com poucas diferenças entre si, os pontos brancos nas amostras podem ser perda de plastificante ou resquícios de sujeira.

Figura 17 – Resultado do MEV para o FVMQ. (A) representa o material sem ser submergido, (B) submergido em gasolina, (C) em diesel e (D) em etanol

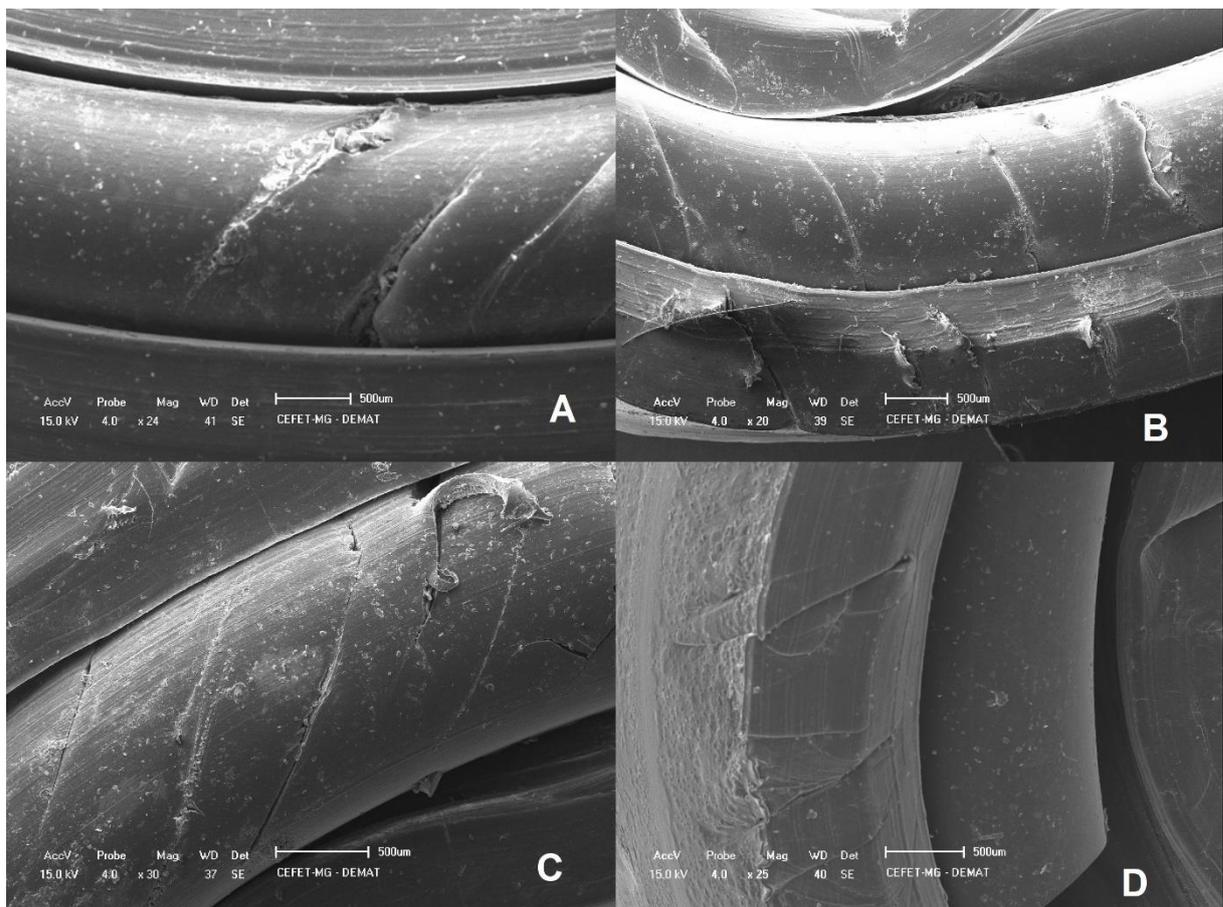


Fonte: Próprio autor.

### 5.5.4 PU

A figura 18 apresentou os resultados das quatro amostras de PU, onde foi possível observar as alterações morfológicas do material após cada uma das condições e foi possível observar nas amostras A e C que houve um desprendimento de uma parte do material e nas amostras A, B e C trincas que podem ter sido feitas pelo ensaio de tração realizado anteriormente. Os outros materiais apresentaram superfícies com poucas diferenças entre si, os pontos brancos nas amostras podem ser perda de plastificante ou resquícios de sujeira.

Figura 18 – Resultado do MEV para o PU. (A) representa o material sem ser submergido, (B) submergido em gasolina, (C) em diesel e (D) em etanol.



Fonte: Próprio autor.

## 6 CONCLUSÃO

Analisar a potencialidade dos elastômeros FKM, FVMQ e o PU em substituir os atuais poli(cloreto de vinila) (PVC) flexíveis como material base para produzir protetores de respingos de combustível, atendendo a melhoria com uma relação custo x benefício dos requisitos: propriedades química, físicas e mecânicas.

O objetivo principal da pesquisa foi alcançado, pois foi possível encontrar materiais com propriedades químicas, físicas e mecânicas boas o suficiente para substituir o PVC flexível, entretanto a relação custo x benefício desses materiais exigiria um estudo maior e mais específico, pois as empresas que produzem os elastômeros não fornecem o valor dos mesmos em gramas, apenas em toneladas ou tarugos (caso do PU).

Após submergir os materiais foi possível observar diferenças, maiores e menores, entre eles, provando que eles possuem e causam diferentes reações nos materiais poliméricos.

A perda de massa foi essencial para analisar o balanço de entrada e saída de plastificantes, principalmente no PVC, que era o material que possuía ftalatos em sua composição.

O ensaio de tração constatou que o PVC após submersão ficou mais frágil, principalmente na gasolina, que o FKM não sofreu tantas alterações, que as amostras FVMQ possuía espessura muito baixa, assim, podendo influenciar nos resultados e que o PU teve um aumento na deformação após a submersão.

Teste da proveta mostrou que a quantidade de etanol que a gasolina comum possuía estava dentro dos parâmetros que a ANP regula, assim, não mudando as análises dos materiais submersos em gasolina.

As fotomicrografias do MEV constataram que as superfícies das amostras possuíam degradações, trincas (principalmente pelo ensaio de tração), microtrincas, entre outros fenômenos que só poderiam ser observados a partir desse ensaio.

Como observou-se que o FKM e o PU obtiveram valores baixos de perda e ganho de massa, melhores valores de dureza e as fotomicrografias apresentaram que ambos materiais não tiveram alterações aparentes e o PU apresentou propriedades mecânicas melhores após serem submergidos, de acordo com o ensaio de tração, sendo assim, esse seria o material recomendado para a substituição dos protetores de respingos atuais.

## 6.1 Sugestão para futuros trabalhos

- Padronização das amostras, com mesmo diâmetro e espessura, afim de poder fazer comparações entre todas as amostras e condições.

- Fazer outros ensaios de caracterização (FTIR, DSC e TGA) e mecânicos (rasgamento e compressão), afim de obter dados mais confiáveis sobre a origem dos materiais e para análise de comportamento desses materiais em outras situações.

- Uso de outros polímeros comuns com plastificantes, não apenas elastômeros, que possam ter propriedades ideais para a finalidade de protetores de respingos e com um custo não tão elevado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS(ANP). **Procedimentos para as análises da qualidade dos combustíveis**: análise de campo na gasolina C teor de etanol anidro combustível (EAC) na gasolina. 6. ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2017. 22 p. Disponível em: [http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/cartilhas/Cartilha\\_Posto\\_Revendedor\\_de\\_Combustiveis\\_6a\\_ed.pdf](http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/cartilhas/Cartilha_Posto_Revendedor_de_Combustiveis_6a_ed.pdf). Acesso em: 28 out. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS(ANP). Resolução ANP nº 23 de 06/07/2010. **RANP 23 - 2010**, [S. l.], 2010. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=113768>. Acesso em: 28 out. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS(ANP). Resolução ANP Nº 684, DE 29.6.2017. **RANP 684 - 2017**, [S. l.], 2017. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2017/junho&item=ranp-684-2017>. Acesso em: 28 out. 2019.

ASTM D2240: **Standart test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and eletrical insulating materials**. 2015.

ASTM D471: **Standart test method for rubber property – effect of liquids**. 2016.

BASTOS, V. D. **Etanol, Alcoolquímica e Biorrefinarias**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar. 2007.

BATISTA, Francielli Rodrigues Ribeiro. **Infravermelho próximo como ferramenta auxiliar na identificação de madeiras na arte sacra**. 2013. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2013.

BRASIL POSTOS. **Protetor de respingos ou rodilha**: item obrigatório a partir de 2014. [S. l.], 3 dez. 2013. Disponível em: <https://www.brasilpostos.com.br/noticias/saude-e-seguranca-do-colaborador/protetor-de-respingos-ou-rodilha-item-obrigatorio-a-partir-de-2014/>. Acesso em: 28 out. 2019.

BRASKEM. Boletim Técnico, Nº 1 e jul/2002. **Efeito dos plastificantes na dureza dos compostos de PVC**, [S. l.], 2002. Disponível em: [https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm\\_tecnico/Plastificantes.pdf](https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Plastificantes.pdf). Acesso em: 28 out. 2019.

BRASKEM. Boletim Técnico, Nº 2 e jul/2002. **Resistência química dos compostos de PVC**, [S. l.], 2002. Disponível em: [https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm\\_tecnico/Tabela\\_de\\_Resistencia\\_Quimica\\_dos\\_Compostos\\_de\\_PVC.pdf](https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Tabela_de_Resistencia_Quimica_dos_Compostos_de_PVC.pdf). Acesso em: 28 out. 2019.

BRDISTRIBUIDORA. **Gasolina comum**: sobre a gasolina comum. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://bit.ly/2ordbQX>. Acesso em: 28 out. 2019.

BRDISTRIBUIDORA. **Óleo diesel**: sobre o óleo diesel. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://bit.ly/2BONehb>. Acesso em: 28 out. 2019.

CONCEIÇÃO, P. S. A., CAVALCANTI, V. L., BRANDÃO, J. S., RAMOS M. F. **Prevenção da exposição ocupacional ao benzeno em postos revendedores de combustíveis**: atuação da Auditoria Fiscal do Trabalho na Bahia. Laborare. Ano II, Número 2, Jan-Jun/2019, pp. 99-108 ISSN 2595847X. Disponível em <http://trabalhodigno.org/laborare>. DOI: <https://doi.org/10.33637/2595847x.2019->

DE PAOLI, M. A. - "**Degradação e Estabilização de Polímeros**", Editora Artliber, São Paulo (2008).

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura**: aplicações e preparação de amostras. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 60 p.

GOMES, M. M. **Borracha de acrilonitrilo butadieno hidrogenado (HNBR)**: tudo sobre a borracha acrilonitrilo butadieno hidrogenado. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-nitrilicahidrogenada.php>. Acesso em: 29 out. 2019A.

GOMES, M. M. **Borracha de poliacrilato (ACM)**: tudo sobre a borracha poliacrilada. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-poliacrilato.php>. Acesso em: 29 out. 2019B.

GOMES, M. M. **Borracha de poliuretano**: tudo sobre a borracha de poliuretano. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-pu.php>. Acesso em: 29 out. 2019C.

GOMES, M. M. **Borracha de silicone (Q)**: tudo sobre a borracha de silicone. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-silicone.php>. Acesso em: 29 out. 2019D.

GOMES, M. M. **Borracha fluorada (FPM, FKM)**: tudo sobre a borracha fluorada. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-fluorada.php>. Acesso em: 29 out. 2019E.

GRISA, A. M. C., SIMIONI, T., CARDOSO, V., ZENI, M.; BRANDALISE, R. N. Degradação Biológica do PVC em Aterro Sanitário e Avaliação Microbiológica. **Polímeros**, Caxias do Sul, v. 21, ed. 3, p. 210-2016, 2011.

GRISON, É. C. **Borracha e seus aditivos**: componentes, influências e segredos. Porto Alegre: Letra e Vida, 2010. 205 p.

HAN, D.; ZHU, L.; CHEN, Y.; LI, W.; WANG, X.; NING, L.. Synthesis of fluorosilicone monomer and application in hydrophobic surface of acrylic copolymer. **Journal of Applied Polymer Science**, Beijing, 2015.

LI, B. Influence of polymer additives on thermal decomposition and smoke emission of poly(vinyl chloride). **Polymer Degradation and Stability**, Harbin, v. 82, p. 467-476, 2003.

MENDES, A. M., ROSSINI, G. H., SIMON, H. J. B. D., LAHR, M., PACIONI, T. R. **Relatório de ensaio de tração com materiais poliméricos**. 2007. 18 p. Relatório (Resistência dos Materiais e Faculdade de Engenharia Mecânica) - UNICAMP, Campinas, 2007.

METHTHANANDA, I. The relationship between Shore hardness of elastomeric dental materials and Young's modulus. **Dental Materials**, Londres, p. 956-959, 10 fev. 2009.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Norma Regulamentadora nº 20, de 16 de outubro de 2018. Secretária do Trabalho. **NR 20: Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis**, [S. l.], out. 2018. Disponível em: [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-20.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-20.pdf). Acesso em: 28 out. 2019.

NAVARRO, R. **Aspectos da degradação de polímeros**. Campina Grande: Editora da Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

NETPOSTO. **Bico de abastecimento 3/4 + protetor de respingos**: Cód: 9151 / 9152. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://www.netposto.com.br/Produto/bico-de-abastecimento-34--protetor-de-respingos>. Acesso em: 28 out. 2019.

PERITO, E. D. **Estudo de plastificantes alternativos ao dioctilftalato (dop) para um composto de poli(cloreto de vinila) (PVC)**. 2011. 75 p. Mestrado (Programa De Pós-Graduação em Materiais) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/712/Dissertacao%20Eder%20Dutra%20Perito.pdf;sequence=1>. Acesso em: 28 out. 2019.

RAMESH, S.; LEEN, Koay Hang; KUMUTHA, K.; AROF, A. K. FTIR studies of PVC/PMMA blend based polymer electrolytes. **Spectrochimica Acta**, Kuala Lumpur, v. 66, p. 1237-1242, 2006.

RCOMÉRCIO. **Protetor de respingo**. [S. l.], 2018. Disponível em: <http://comerciorc.com.br/?product=protetor-de-respingo>. Acesso em: 28 out. 2019.

SEIXAS, M. **Materiais poliméricos para contato com etanol em condições agressivas**. 2013. 126 p. Dissertação (Engenharia metalúrgica e de materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

WIEBECK, H. **Plásticos de engenharia**. São Paulo: Artliber Editora, 2005.

XU, T.; LIU, H.; SONG, J.; SHANG, S.; SONG, Z.; ZOU, K.; YANG, C. Synthesis and Characterization of Novel Fluorosilicone Rubber Using Imide Modified Vinyl-Containing Fluorosilicone Resin as Cross-Linker. **Polymer Chemistry**, Beijing, 2015.

ZHENKUN, L.; QUAN, W.; YILAN, K.; WEI, Q.; XUEMIN, P. Stress transfer in microdroplet tensile test: PVC-coated and uncoated Kevlar-29 single fiber. **Optics and Lasers in Engineering**, Tianjin, v. 48, 2010.