

DENSIDADE POR IMERSÃO COM MATERIAIS ELASTOMÉRICOS MICROCELULARES

Jaqueline Coelho Pereira (Centro Universitário Padre Anchieta)

Flávio Gramolelli Junior (Centro Universitário Padre Anchieta)

RESUMO

Os elastômeros microcelulares, por possuírem densidades de 200 a 1000 Kg/m³, podem ser utilizados em várias aplicações sendo uma delas o filtro de ar de veículos automotores. Antes de iniciar o processo de aprovação da formulação no cliente é preciso avaliar sua criteriosidade para liberação e, para isso, é necessário validar alguns métodos de análise, sendo um deles o de densidade. A análise de densidade pode ser feita de várias maneiras: pelo Princípio de Arquimedes sob imersão ou área (sólido regular), assim será realizado um comparativo com duas formulações de alta e baixa densidade. O intuito é comprovar se os elastômeros microcelulares não possuem nenhuma interação com água já que o método de medida da densidade por imersão necessita de contato com o líquido e que se for realizar qualquer uns dessas análises não ocorrerá divergências nos resultados. A necessidade de realizar esses testes é avaliar qual é o método mais efetivo permitindo utilizar qualquer um deles sem discrepância nos valores. Foram feitas formulações com baixa e com alta densidade, para permitir uma melhor comparação. Os resultados indicam que para certas aplicações com densidade abaixo de 330Kg/m³ a estrutura molecular dos elastômeros microcelulares não é muito efetiva, já que a células são mais abertas, permitindo mais rapidamente a absorção de água, com o uso do método de Arquimedes.

Palavras-chave: Elastômero microcelular; Densidade; Estrutura molecular.

ABSTRACT

Microcellular elastomers, as they have densities of 200 to 1000 Kg / m³, can be used in several applications, one of which is the air filter for motor vehicles. Before starting the process of approval of the formulation at the client, it is necessary to evaluate its criterion for release and, for that, it is necessary to validate some methods of analysis, one of which is density. Density analysis can be done in several ways: by the Archimedes Principle under immersion or area (regular solid), a comparison will be made with two formulations of high and low density. The aim is to verify if the microcellular elastomers do not have any interaction with water since the immersion density measurement method requires contact with the liquid and that if any of these analyzes are to be carried out, there will be no divergence in the results. The need to perform these tests is to assess which is the most effective method allowing to use any of them without discrepancy in values. Low and high density formulations were made

to allow for a better comparison. The results indicate that for certain applications with density below 330Kg / m³ the molecular structure of the microcellular elastomers is not very effective, since the cells are more open, allowing faster absorption of water, using the Archimedes method.

Keywords: Microcellular elastomers; Density; Molecular Structure.

1. INTRODUÇÃO

Os poliuretanos (PUs) são considerados como copolímeros em bloco segmentados, formados pela reação de poliadição entre diisocianatos, polióis e extensores de cadeia. Os mesmos são constituídos por segmentos rígidos e flexíveis. A reação entre diisocianato e extensores de cadeia forma o segmento rígido, enquanto que o polioli é responsável pelo segmento flexível. (PACHECO *et al*, 2007).

Os elastômeros microcelulares de poliuretanos elastoméricos são materiais que resistem a condições severas encontradas em diversas aplicações, como em automóveis e máquinas industriais. É possível produzir PUs com propriedades variadas, o que possibilita a escolha do material mais adequado para cada aplicação, podendo-se assim optar por materiais mais elásticos e macios, ou por materiais mais duros e de estrutura reticulada. O elastômero de uretano microcelular é usado para vários absorvedores de choque elementos em suspensões de veículos, máquinas de precisão, solas de sapatos, esportes sapatos etc. (PACHECO *et al*, 2007).

Poliuretanos elastoméricos microcelulares podem ser manufacturados conforme as necessidades e aplicações específicas. Os filtros de veículos automotores possuem suas bordas fabricadas com espuma elastomérica microcelular com densidade aproximada de 250 a 600 Kg/m³. Os elastômeros, por possuírem estruturas microcelulares, têm a capacidade de recuperarem quase instantaneamente as suas dimensões originais após grandes deformações em compressão ou estiramento. Mas os elastômeros são também caracterizados por uma grande tenacidade sob tensões estáticas ou dinâmicas, grande resiliência, uma elevada resistência à abrasão, impermeabilidade à água e ao ar e, em muitos casos, uma alta resistência ao inchamento em solventes e ao ataque químico (ALEXANDRE, 2009).

O presente trabalho foi desenvolvido de acordo com o fluxograma descrito na figura 1. Para comprovar se os materiais reagidos de elastômeros não possuem nenhuma

interação com água para o método de Arquimedes, é necessário comparar as duas densidades sob imersão e pela área e como complemento analisar a morfologia dos sólidos e a tensão superficial das duas formulações líquidas.

A formação de poliuretanos se dá basicamente por ligações uretânicas. Os isocianatos podem ser aromáticos, alifáticos, ciclo-alifáticos ou policíclicos, o que permite a obtenção de diferentes compostos com propriedades físicas e químicas distintas, de acordo com as necessidades de aplicação.

O tipo de monômero utilizado e a adição ou não de substâncias modificadoras de propriedades mudam a densidade e a dureza do material. As duas propriedades são também influenciadas pelo grau de segregação das fases e da organização tridimensional e suas interações intermoleculares (VILAR, 2002).

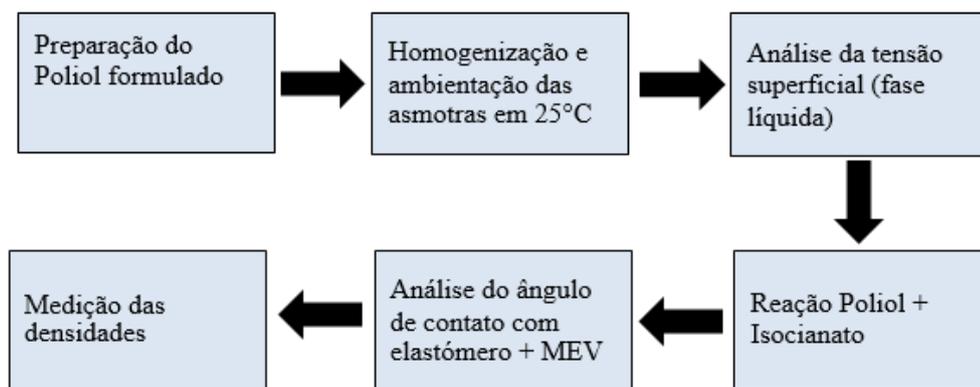


Figura 1 – Fluxograma de processo

Fonte: Dos Autores

Este trabalho busca relacionar as propriedades morfológicas, mecânicas e físico-químicas de elastômeros microcelulares. O intuito é analisar dois métodos de medida da densidade para que quando for necessário validar algum produto com esse material não ocorra alteração nos resultados apresentados. Com o princípio de Arquimedes podemos comprovar que a análise é eficiente para densidade de imersão, garantido que quando amostra estiver em contato com a água não possuirá nenhuma interação, ou seja o material não será absorvido pela água e assim evitará alteração no processo de análise.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Poliuretano elastomérico

Os materiais elastoméricos são originados da tecnologia do poliuretano, que é uma classe importante de materiais técnicos com utilização de inúmeras aplicações, desde produtos simples sem grandes especificações técnicas, até produtos de tecnologia avançada como os pneus e rodas especiais, passando por tubagens para vários tipos de líquidos, amortecedores, calçados, juntas para construção civil ou vedantes para motores. Os materiais de poliuretanos são formados por ligações uretânicas, com a junção do polioliol com o isocianato, resultando em um monômero uretano, que se repete inúmeras vezes formando o poliuretano. (SOARES, 2012).

O poliuretano é formado, então, a partir da reação de um isocianato e um polioliol, sendo sempre adicionados catalisadores, aditivos e surfactantes. Muitas vezes, substâncias modificadoras de propriedades são também adicionadas, pois o PU pode ter uma grande variedade de dureza e densidade (VILAR, 2002).

Aditivos também são utilizados e ajudam a melhorar de estabilidade química, entre outras propriedades. A formação de poliuretanos se dá basicamente por ligações uretânicas. Os isocianatos podem ser aromáticos, alifáticos, ciclo-alifáticos ou policíclicos, o que permite a obtenção de diferentes compostos com propriedades físicas e químicas distintas, de acordo com as necessidades de aplicação.

É possível produzir PU em propriedades variadas, o que possibilita a escolha do material mais indicado para cada aplicação, podendo-se assim, optar por materiais mais elásticos e macios, por tipos mais duros e de estrutura reticulada. A tabela 1 apresenta as propriedades típicas das espumas estruturais de PU em elastômeros microcelulares.

Tabela 1 – Propriedades típicas das espumas estruturais de PU em elastômeros microcelulares.

Propriedades	Unidades	Método de ensaio	Limites
Dureza Shore	A	DIN 53505	20 - 30
Tensão de Ruptura	PSI	DIN 53504	> 110
Alongamento de Ruptura	%	DIN 53504	> 100 < 120
Tensão ao rasgo	kgf/cm	DIN 53504	3 > 5
Compressão 40%	%	ISO 1856	10 < 20
Densidade	Kg/m ³	DIN 53420	200 - 1000

Fonte: Vilar (2002).

Os poliuretanos são produzidos, na sua maioria, pela reação de poliadição de um isocianato (no mínimo bifuncional) e um polioliol contendo mais de duas hidroxilas livres.

Essa reação de adição ocorre no grupo (NCO), formando ácidos ésteres carbônicos, denominados uretanos, conforme figura 2. (PACHECO, 2007).

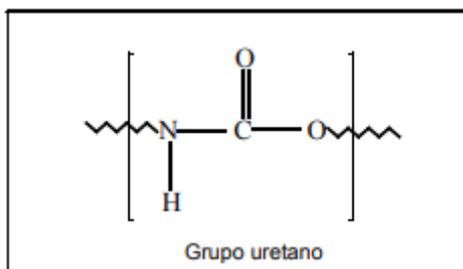


Figura 2 – Grupo característico dos uretanos
Fonte: Pacheco et al (2007)

O tipo de monômero utilizado e a adição ou não de substâncias modificadoras de propriedades mudam a densidade e a dureza do material. As duas propriedades são também influenciadas pelo grau de segregação das fases e da organização tridimensional e suas interações intermoleculares (VILAR, 2002).

2.2 Filtros de carro com elastômero microcelular

Os poliuretanos elastoméricos são utilizados como adesivos e vedantes em filtros para colar o elemento (geralmente papel pregueado) à caixa – quanto melhor a vedação, mais eficiente é o filtro. Os elastômeros podem ser também utilizados para formar a caixa. Estas vedações eficientes podem ser utilizadas em muitas aplicações incluindo lavanderia a seco, automóvel, aspiradores, filtros de pólen e filtros de partículas de alta eficiência (HEPF) para aplicações de limpeza de salas, high tech e médicas (DOW, 2015).

Assim como os humanos precisam de oxigênio para respirar, um carro precisa de oxigênio para o processo de combustão. O filtro de ar evita que insetos, poeira, partículas, areia ou detritos cheguem ao motor e garante uma boa mistura de ar e combustível para apoiar o desempenho. Os filtros de ar do carro têm diferentes formas: painéis circulares ou cilíndricos.

A maioria dos filtros de ar para carros é feita de papel plissado. As pregas aumentam a área da superfície do filtro, aumentando sua respirabilidade e vida útil. Alguns carros usam filtros semipermanentes à base de espuma, alguns dos quais exigem limpeza e lubrificação regulares. Os filtros de espuma são normalmente usados em

aplicações de alto desempenho ou uso severo e são fornecidos como acessórios para o mercado de reposição (FULSTROM, 2016).

A aplicação do elastômero microcelular é realizada por meio injeção nas bordas do filtro de papel para uma melhor vedação (figura 3) impedindo partículas impuras do ar aspiradas pelo motor, garantindo que somente o ar livre de impurezas chegue à câmara de combustão, evitando desgaste prematuro de peças móveis do motor, como pistões e biela.

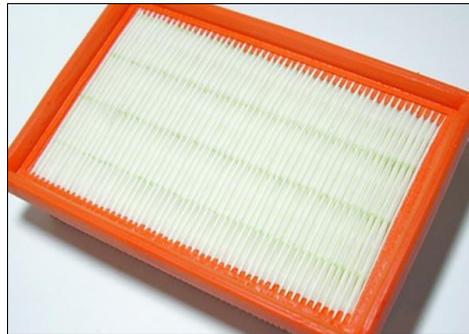


Figura 3: Filtro de ar com elastômero microcelular

Fonte: (FULSTROM, 2016)

2.3. Análise de densidade

Massa volumétrica ou densidade é a razão entre a massa de um corpo e seu volume. Enquanto que densidade relativa, que é adimensional, é a razão entre duas densidades, sendo uma de referência – geralmente água. Por exemplo, um corpo com densidade igual a 5 (cinco) representa uma massa volumétrica 5 (cinco) vezes superior à da água (no caso dos sólidos e líquidos).

Frequentemente, densidade é utilizada como densidade relativa. Nesse caso, a referência é a densidade da água a 25 °C onde a densidade, ρ , é representada matematicamente pela fórmula $\rho=m*V$ e sua unidade no Sistema Internacional de Unidades (SI) é kg/m^3 , embora comumente sejam empregadas g/mL ou g/cm^3 .

A densidade depende das massas dos átomos, ou moléculas, individuais e do volume efetivo que ocupam nos diferentes estados de agregação (OLIVEIRA, 2018). Quando uma certa quantidade fixa de matéria se expande, verifica-se uma diminuição na sua massa volumétrica. Já a contração leva ao aumento da sua densidade.

Intuitivamente é esperado que o aumento na temperatura de uma determinada quantidade de matéria leve ao aumento do seu volume, em função da dilatação

ocasionada pela maior separação dos átomos e moléculas. Ao contrário, ao se diminuir a temperatura espera-se uma contração desse volume. (GUIMARÃES, *et al.*, 2013).

A densidade absoluta é definida como a quantidade de massa em uma unidade de volume, em Kg/m³. Uma forma de calcular a densidade sobre área é por meio do cálculo da Eq.1, enquanto pela Eq.2 é feita a medição da densidade por imersão. Nesse método, numa balança de densidades, a massa volumétrica é obtida pela medida do empuxo que um corpo de densidade conhecida e suspenso por um fio sofre quando é mergulhado em um líquido. Esse método é baseado no princípio de Arquimedes.

$$\rho = \frac{m}{V} \times 10^6$$

Eq. 1: formula para cálculo da densidade por área
Fonte: DIN EN 845:2009-10

$$\rho = \frac{(Wa*d)}{(Wa-Wb)}$$

Eq. 2: fórmula para cálculo da densidade por imersão
Fonte: ASTM D792-13

Onde:

Wa = Peso do corpo de prova do ar;

Wb = peso do corpo de prova no líquido;

ρ = Densidade do líquido.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Para os estudos realizados foram utilizados reagentes e matérias primas, bem como dados de equipamentos e processos da empresa Dow Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos LTDA, onde é realizado o desenvolvimento de toda cadeia dos elastômeros e a produção de larga escala.

O processo de formulação do polioli e isocianato é o principal fator para ocorrer à reação e produzir o poliuretano. Neste experimento foram utilizados os equipamentos de medição em base nas normas e o procedimento interno da empresa (tabela 2).

Tabela 2 – Equipamentos utilizados no experimento

Equipamento	Fabricante	Modelo
Tensiômetro de Du Nouy	KRUSS	K20
Balança Arquimedes	SARTORIUS	ED 224S
Agitador	FERRARI	3000RPM
Balança	SARTORIUS	ED6202S-0CE
Balança	SARTORIUS	PRACTUM2102-10BR
Palito de madeira	-	Padrão
Copos descartáveis	-	250ml
Microscopia eletrônica de varredura	Phenom PROXY	EA 193Mi

Fonte: Dos autores.

Na figura 4, os líquidos vermelhos apresentam as formulações de polióis formulados com as mesmas matérias primas, porém com proporções diferentes principalmente de água, que influencia nas células, mais abertas ou fechadas, contribuindo para alteração na densidade. O líquido marrom é o isocianato.



Figura 4: Polioli formulado com catalisadores com alteração nas densidades (esquerda e centro) e isocianato (direita)

Fonte: Dos autores.

3.2. Métodos

O experimento é iniciado com a formulação do polioli, sendo este adicionado às matérias primas (catalisador, aditivo e surfactante) com agitação suave.

Após o polioli formulado foram realizados cálculos para a obtenção da relação dos reagentes. Esse processo é utilizado para calcular a quantidade de isocianato que irá reagir com uma determinada quantidade do polioli. Assim, depois de calculada a

quantidade, é realizada a mistura dos dois reagentes, poliol e isocianato, ocorrendo então a reação e formação de poliuretano.

3.2.1. Análise da tensão superficial

Depois de realizada a formulação do poliol foi analisada a tensão superficial no equipamento chamado tensiômetro, que é responsável por analisar a tensão das forças intermoleculares fazendo com que a maioria das moléculas presentes num líquido seja atraída em todas as direções pelas moléculas vizinhas, sendo utilizado o método de Du Nouy.

Antes de iniciar análise foi necessário homogeneizar o material e manter numa temperatura de 25C°, sendo adicionado num béquer de 10mL o poliol formulado. Depois do béquer colocado na base do tensiômetro de Du Nouy, o anel foi deslocado na superfície do líquido para que assim ocorresse a medição da força intermolecular.

O tensiômetro de Du Nouy utilizado para método do anel que consiste em medir a força necessária para arrancar um anel de diâmetro e espessura determinados, da superfície do líquido a ser analisado. O equipamento é constituído principalmente de uma balança de torção e de um anel metálico calibrado, como ilustrado na figura 5. O anel circular é imerso no líquido e, em seguida, retirado lentamente. Nesse caso, a tensão superficial é calculada a partir da medição da força máxima para levantar o anel.

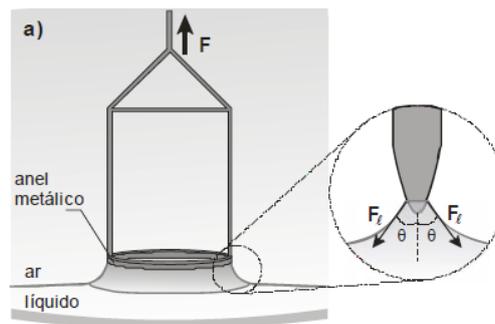


Figura 5: detalhe do anel no tensiômetro de Du Nouy.
Fonte: Do Val *et al* (2013).

O líquido é colocado num béquer com dimensão bastante superior ao tamanho do anel do tensiômetro para manter a planaridade da superfície e evitar eventuais interferências das paredes do recipiente. O anel, pendurado por um fio no braço da balança de torção, é imerso no líquido cuja tensão superficial pretende-se medir. O equipamento fornece o valor da força f necessária para arrancar o anel do líquido. A

partir desse valor, pode-se calcular a tensão superficial aparente pela relação, pela eq.3, onde ℓ é o perímetro do anel.

$$\gamma = \frac{f}{2\ell}$$

Eq. 3: fórmula para cálculo da tensão superficial.

Fonte: Do Val *et al* (2013).

Um fator corretivo levando em conta o raio do fio, o raio do anel e a densidade do líquido, deverá ser utilizado para calcular a tensão superficial real (DO VAL *et al.*, 2013). A figura 6 apresenta o tensiômetro de Du Nouy utilizado nesse trabalho.



Figura 6: Tensiômetro de Du Nouy.

Fonte: Dos autores.

3.2.2. Homogeneização do material

Os elastômeros, por conterem uma característica de não sofrer aeração e não possuir teor de água alto tem seu processo de produção realizado industrialmente por sistemas fechados com vácuo nos tanques, geralmente sendo utilizadas em máquinas de baixa pressão.

No teste experimental, em menor escala, foi utilizado o *Handmix*, uma mistura do polioli formulado com o isocianato MDI, com auxílio do agitador (figura 7) para homogeneização e posterior reação a poliuretano.



Figura 7: Agitador Ferrari de 3000 RPM para mistura do Polioli e isocianato.
Fonte: Dos autores.

3.2.3. Performance do elastômero

Depois de 20 segundos de agitação começa a ocorrer a polimerização dos dois materiais, sendo despejado num copo de plástico de 250 mL. Assim é possível analisar o tempo de crescimento por densidade livre até a sua cura final. Na figura 8 estão apresentados os corpos de provas de espumas elastoméricas das duas formulações com densidades diferentes.



Figura 8: Espuma de poliuretano elastomérica microcelular de baixa densidade (esquerda) e de alta densidade (direita).

Fonte: Dos autores.

3.2.4. MEV: microscopia eletrônica de varredura

A morfologia das amostras foi obtida em um microscópio eletrônico de varredura Modelo PHENON PROX, da Empresa Dow Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda. (figura 9). “As amostras foram fraturadas e coladas no adesivo de carbono no suporte metalizado Modelo SPECIMEN MOUNT ½”.

A imagem encontra-se com aumento 220 vezes de aproximação sendo possível observar o número de células e diâmetro médio das células. Foi utilizado o software ImageJ Tool.



Figura 9: – Equipamento MEV - Microscopia eletrônica de varredura
Fonte: Dos autores.

3.2.5. Densidade por imersão - ASTM D792-13

A análise de densidade por imersão foi realizada pelo método de Arquimedes que diz que todo corpo imerso em um fluido, sofre ação de uma força (empuxo) verticalmente para cima, cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo.

Quando um corpo mais denso que um líquido é totalmente imerso nesse líquido, observamos que o valor do seu peso, dentro desse líquido, é aparentemente menor que no ar. A diferença entre o valor do peso real (P_{real}) e do peso aparente (P_{aparente}) corresponde à força de empuxo (E) exercida pelo líquido. Assim,

$$P_{aparente} = P_{real} - E \quad (\text{Eq. 4})$$

Considere um objeto pendurado em um dinamômetro. Seja P a leitura no dinamômetro quando o objeto está no ar (peso real) e P' a leitura no dinamômetro quando ele está total ou parcialmente mergulhado em um líquido (peso aparente). Partindo-se da Eq.4, em uma situação de equilíbrio, pode-se escrever

$$P' = P - \rho g V \quad (\text{Eq.5})$$

Então, foi medido o peso aparente do objeto e o seu volume submerso na água para determinar a densidade do líquido.

Assim, os corpos de prova foram cortados no tamanho que coubessem na balança “dinamômetro”, sendo possível calcular a densidade dos sólidos. A figura 10 apresenta a balança que mede a densidade pelo método de Arquimedes utilizado nesse trabalho.



Figura 10: Balança de densidade pelo método Arquimedes.
Fonte: Dos autores.

3.2.6. Densidade pela área - DIN EN 845:2009-10

A densidade por área é obtida por meio de um sólido regular no qual, para determinar seu volume, é necessário medir com uma régua o *comprimento x altura x largura* do corpo de prova.

Assim foi realizada a medição de cinco (5) corpos de provas de cada formulação, calculando-se a densidade em Kg/m^3 .

3.2.7. Análise de Ângulo de contato

O teste foi realizado com uma seringa de 1 mL, sendo utilizado água destilada para a gota de 5 micromilímetros sob a superfície do material elastomérico. As fotos foram obtidas com um celular apropriado.

A finalidade desta análise é verificar a tendência do líquido em molhar a superfície sólida, sendo denominada de molhabilidade, que pode ser representada pelo ângulo entre o contorno da superfície da gota e a interface líquido/sólido como demonstra na figura 11.

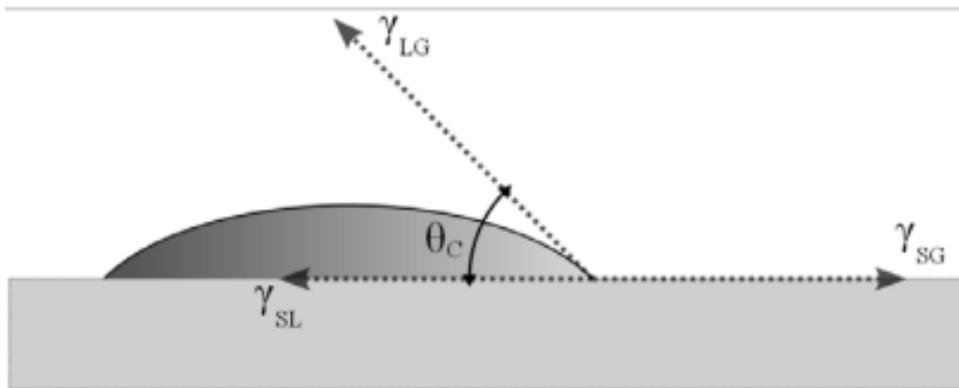


Figura 11: Ângulo de contato formado entre gota de um líquido sobre superfície sólida plana
Fonte: Strauch, 2006.

Se o espalhamento é completo, o ângulo de contato tende a zero. Se o ângulo de contato é próximo a 180° , o coeficiente de espalhamento é altamente negativo, como ilustrado na figura 12.

Ângulo de Contato	$\theta < 10^\circ$	$\theta < 90^\circ$	$\theta > 90^\circ$	$\theta > 150^\circ$
Forma da gota				
Comportamento	super-hidrofílico	hidrofílico	hidrofóbico	super-hidrofóbico

Figura 12 – Comparação entre os possíveis comportamentos de fluido em uma superfície
Fonte: Ferreira, 2013.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização é realizada por testes em máquinas ou equipamentos voltados a qualidade, mas nem todos os testes são críticos para uma aprovação de venda, após o desenvolvimento de um sistema novo é preciso avaliar os parâmetros de liberação para o controle de qualidade como a metodologia em que será usada e os ranges de liberação.

4.1 Análise da tensão superficial fase líquida

Na tabela 3 está indicados os valores da tensão superficial das formulações de baixa e alta densidade. Esse teste nos permite entender a sua diferença entre os dois líquidos e comprova que quanto mais água no polioliol formulado maior será a força de interação intermoleculares.

Tabela 3: tensão superficial das formulações.

Amostra	Padrão (mN/m)
Poliol 1 (Baixa densidade)	32.4
Poliol 2 (Alta densidade)	32.7

Fonte: Dos Autores.

4.2. Análise da densidade por Arquimedes (ASTM D792-13) e por Área (DIN ISO 845-2009-10)

Esse teste tem como finalidade comparar os dois tipos de medições uma pela área (corpo de prova regular) e o outro pelo Princípio de Arquimedes (sólido irregular), podendo-se verificar a diferença e o desvio padrão das formulações de alta e baixa densidade. Assim, foram realizadas 5 (cinco) medições de cada formulação e anotadas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Resultados para a formulação de baixa densidade pelo método Área x Imersão.

Baixa densidade	Densidade Área	Densidade Imersão Kg/m ³
1	269.95	326.5
2	300.4	321.3
3	312.97	366.3
4	296.95	324.4
5	293.17	333.4
Média	294.69	334.38
Desvio Padrão	14.04	16.45

Fonte: Dos Autores.

Tabela 5: Resultados para a formulação de alta densidade pelo método Área x Imersão.

Alta densidade	Densidade Área	Densidade Imersão Kg/m ³
1	420.12	368.1
2	427.88	358.9
3	462.66	414.4
4	404.73	411
5	384.95	409.5
Média	420.068	392.38
Desvio Padrão	25.86	23.81

Fonte: Dos Autores.

Pelos resultados obtidos nas tabela 4 e 5 foi criado um gráfico (figura 13) para compreender melhor o comportamento das densidades pelos métodos apresentados, sendo possível avaliar que a formulação de baixa densidade possui uma diferença maior entre as médias, se comparado com a alta densidade.

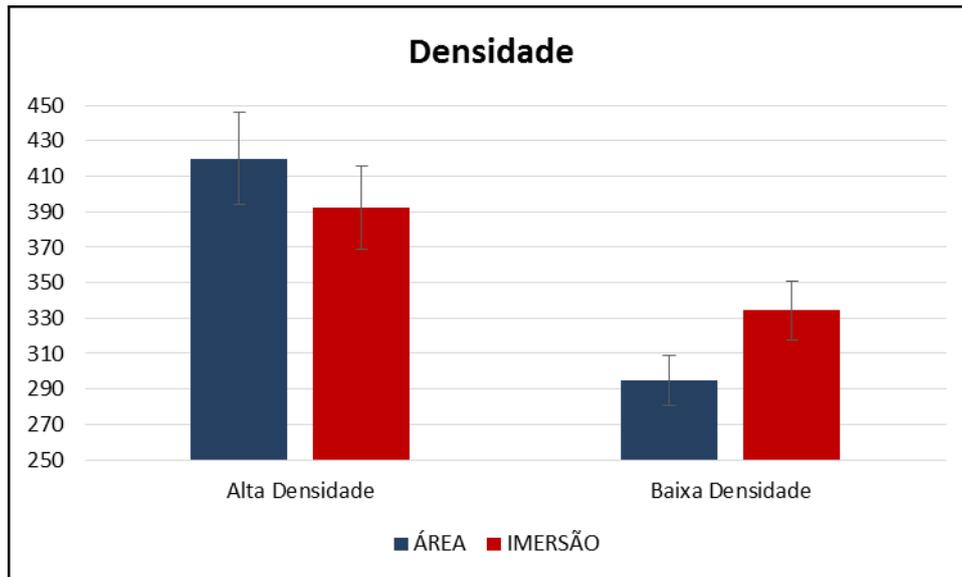


Figura 13 – Gráfico referente a densidades e desvio padrão.

Fonte: Dos autores.

4.3. MEV: Microscopia eletrônica de varredura

Esse teste consiste em analisar a morfologia dos materiais sólidos de baixa e alta densidade verificando as células e suas diferenças. Com o auxílio da ferramenta IMAGEJ é possível calcular as células e o tamanho de cada material, abaixo está representado a estrutura de cada formulação.

A figura 16 permite observar que a formulação de baixa densidade apresenta células mais abertas com estrutura anisotrópicas ao contrário da formulação de alta densidade.

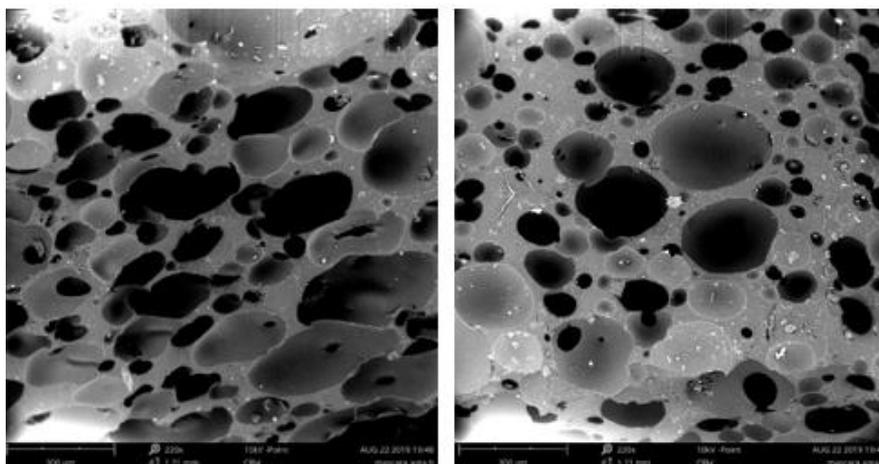


Figura 14: Estrutura morfológica – Densidade Baixa (Esquerda) Densidade Alta (Direita)

Fonte: Dos autores.

As figuras 15 e 16 apresentam os resultados obtidos pela ferramenta IMAGEJ que possibilita analisar a razão de aspecto ou seja verificar se as células são isotrópicas ou anisotrópica.

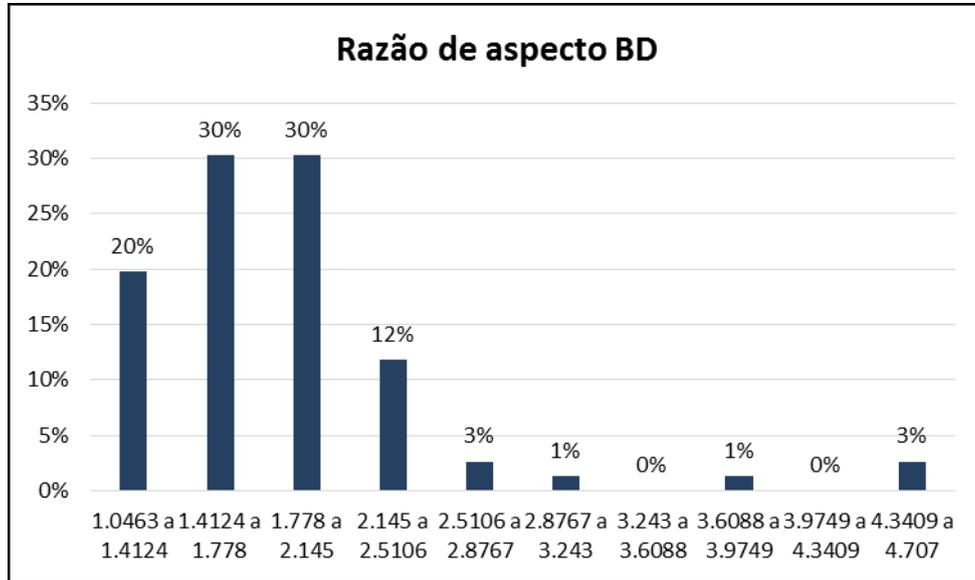


Figura 15: Razão de aspecto – Densidade Baixa (BD)
 Fonte: Dos autores.

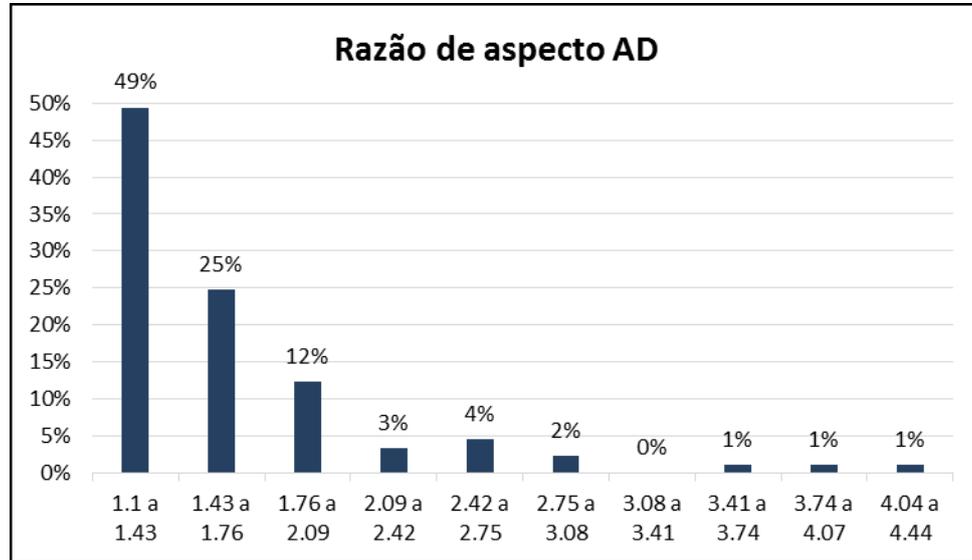


Figura 16 – Razão de aspecto – Densidade Alta (AD)
 Fonte: Dos autores.

Nota se pelos gráficos e pelas imagens que a formulação de baixa densidade possui células mais abertas e com a razão de aspecto mais disperso se comparado com a densidade alta.

4.4. Ângulo de contato

As imagens das figuras 17 e 18 foram utilizadas para a realização da análise ângulo de contato da superfície das duas formulações, para verificar se o material em contato com a água é hidrofílico ou hidrofóbico. Para melhor avaliação foi utilizada a ferramenta IMAGEJ, para medir a gota d'Água na superfície e sua interação com o material.

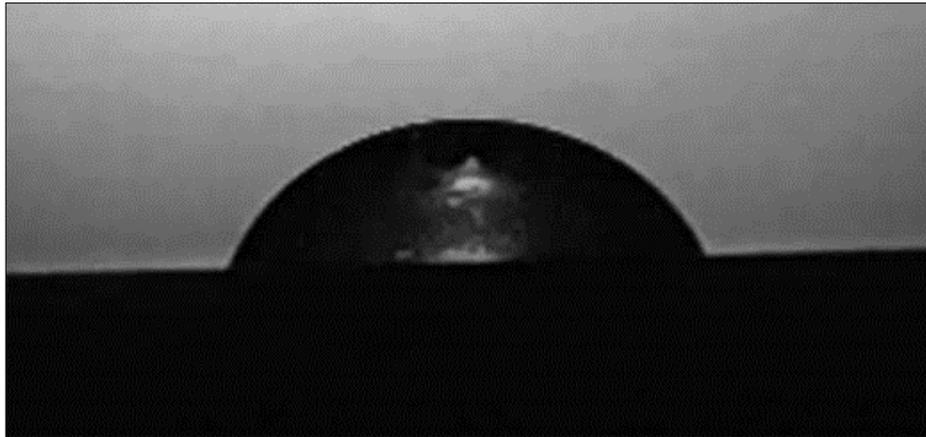


Figura 17: Ângulo de contato – Densidade Alta (AD)
Fonte: Dos autores.

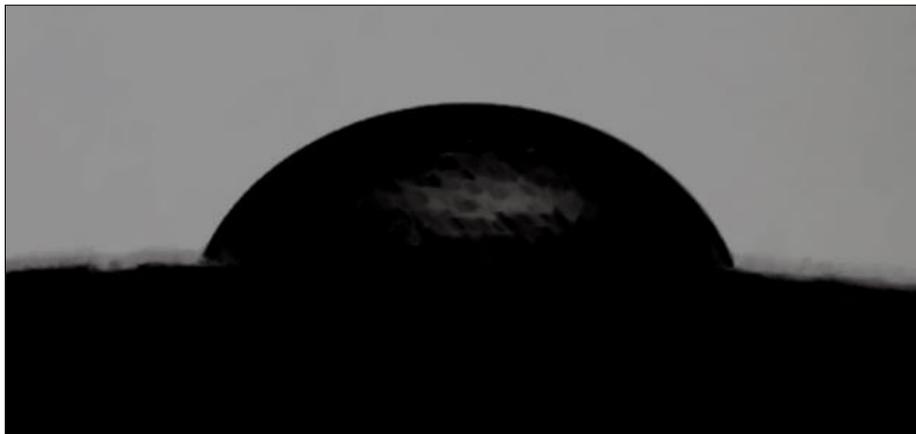


Figura 18 – Ângulo de contato – Densidade Baixa (BD)
Fonte: Dos autores

Na figura 19 estão representados os resultados das medições realizadas na ferramenta ImageJ, que tem a finalidade de analisar o comportamento da gota d'água em contato com a superfície. Os resultados comprovam que a superfície junto com a gota é hidrofílica, pois os resultados estão abaixo de 90° . Com essa análise é possível notar que a gota d'água possui interação com a superfície de elastômero.

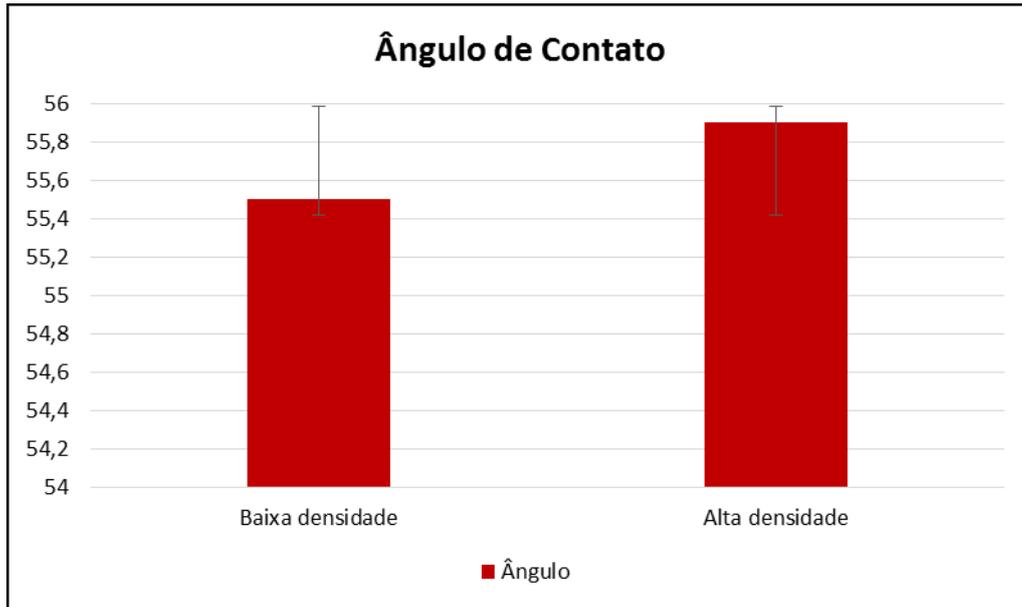


Figura 19: Gráfico do ângulo de contato.

Fonte: Dos autores

5. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que para certas aplicações com densidade abaixo de 330Kg/m^3 a estrutura molecular dos elastômeros microcelulares não é muito efetiva, já que as células são mais abertas, permitindo mais rapidamente a absorção de água, para o método de Arquimedes.

Comparando os resultados de densidade por área e imersão é possível obter uma variação de 28 Kg/m^3 para densidade alta e 40Kg/m^3 densidade baixa.

O ensaio de ângulo de contato demonstrou que a gota d'água em contato com a superfície do elastômero obteve um ângulo abaixo de 90° significando que os materiais de alta e baixa densidade são hidrofílicos.

As micrografias de MEV nos elastômeros de alta e baixa densidade evidenciaram a predominância de microcélulas fechadas e abertas obtendo comportamentos diferentes para os métodos de densidades.

Os resultados mostraram que o método por imersão possui interação com água apesar de o material ser microcelular, podendo ocorrer variáveis na análise.

Assim, para a criação de parâmetros na liberação da produção é necessário validar a metodologia desde o início do desenvolvimento com o cliente, para que não ocorra uma discrepância nos valores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, João H. P. de Almeida. **Sistemas elastoméricos de rede aleatória: caracterização molecular, estrutural e dinâmica**. Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Materiais, especialidade de Materiais Poliméricos, pela Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2009. Disponível em <<https://run.unl.pt/handle/10362/5667>>, acessado em 15 abril.2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**. ASTM D792-13, ASTM, 2013.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (Instituto Alemão de Normalização). DIN, ISO 845: **Cellular plastics and rubbers – Determination of apparent density**. Editora: CEN (COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION). DIN, 2009.

DO VAL, Amélia. M. G., DOMINGUES, Rosana. Z., METENCIO, Tulio. – Físico-Química 2 - Fenômenos de Superfície, Tensão Superficial e Adsorção – Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Minas Gerais, 2013.

DOW. **Hyperlast em filtração**, Dow Engineering Elastomers – Dow Polyurethanes, Reino Unido, 2015.

FERREIRA, L.M.V. - “Revestimentos Hidrofóbicos”, Dissertação de Mestrado, FCT / Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2013.

FULSTROM, Mike. **Como Trocar um filtro de ar**. Disponível em: <<https://www.carwash.com/change-air-filter/>>. Acessado em: 20 Junho.2019.

GUIMARÃES, F. F, RABELO, D., MARTINS. F. T. – Manual de laboratório Físico-Química Experimental I – Universidade Federal de Goiás: Setor de Físico-Química, 2013.

OLIVEIRA, Anselmo E. de. **Densidade de Líquidos**. Apostila de Físico-Química Experimental. Instituto de Química: UFG, 2018.

PACHECO, Marcos F. M.; FIORIO, Rudinei; ZATTERA, Ademir J.; ZENI, Mara; CRESPO, Janaina S. **Propriedades físico-mecânicas, químicas e morfologia de elastômeros microcelulares de poliuretano** - Polímeros: Ciência e Tecnologia, Caxias do Sul, vol.17, n3, p.234-239, 2007. Disponível em

<https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282007000300013>, acessado em 20 abril.2019.

PEREIRA, Jaqueline – **Fluxograma do processo de poliuretanos procedimento interno** – Dow Química – Brasil, Jundiaí, 2019.

SOARES, Márcio S. **Síntese e caracterização de espumas de poliuretano para imobilização de células íntegrase aplicação na síntese de biodiesel**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. Lorna: USP/EEL, 2012.

STRAUCH, Irene. **Transformada de Laplace em 9 aulas**. Notas de aula, Porto Alegre, 2006. Disponível em <http://www.mat.ufrgs.br/~dmarcon/aplicada2016-2/laplace_strauch.pdf>. Acessado em 13 março.2019.

VILAR, Walter. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 3ed. Vilar Consultoria: Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <<http://www.poliuretanos.com.br>>. Acessado em 18 abr 2019.