

CARACTERIZAÇÃO DA ESPUMA DE POLIURETANO (PU) UTILIZADA EM REFRIGERADORES DE LINHA BRANCA

João Paulo Soares Kaiser

Universidade Federal do Paraná, UFPR - Curitiba / Programa de Pós-graduação em Engenharia de Manufatura, PPGEM
joaopskaiser@ufpr.br

Harrison Lourenço Corrêa

Universidade Federal do Paraná, UFPR - Curitiba / Programa de Pós-graduação em Engenharia de Manufatura, PPGEM
harrisoncorrea@ufpr.br

João Morais da Silva Neto

Universidade Federal do Paraná, UFPR - Curitiba / Departamento de Engenharia Mecânica, DEMEC
joaomsn@ufpr.br

Resumo: As espumas de poliuretano (PU), empregadas como material isolante em refrigeradores, possuem uma vasta aplicação industrial visto que dispõem de propriedades como baixa densidade, fácil processamento, baixa condutividade térmica, absorção de som, resistência mecânica específica elevada e adesividade. As constantes evoluções no desenvolvimento de refrigeradores fizeram com que a espuma de poliuretano adquirisse mais funções além de ser apenas isolante térmico, abrangendo também uma atuação como componente estrutural. A necessidade de novas reduções de custo e resolução de problemas de engenharia requerem o aprofundamento do conhecimento das propriedades das espumas de poliuretano. O presente trabalho tem como por objetivo caracterizar, mecanicamente, as espumas de PU utilizadas em gabinetes de refrigeradores da linha branca. Para caracterização da espuma de PU foram coletadas amostras de acordo com as características do processo, do produto e dos requisitos das normas de testes. Como a espuma de PU não é homogênea ao longo do produto, se faz necessário a coleta de amostras em diferentes regiões. Assim, a coleta foi realizada em duas regiões do gabinete, sendo elas as duas extremidades do produto (o topo e a base), de acordo com o dimensional requisitado para a execução dos testes. As amostras também foram divididas de acordo com a orientação da formação da espuma no gabinete, sendo a direção (1) paralelo ao crescimento da espuma e a direção (2) normal ao crescimento da espuma. Foram coletadas 5 amostras de cada configuração (região e direção) de modo randômico. No primeiro grupo de amostras foi realizada a medição da densidade aparente segundo as normas ASTM D3575-W, também foi realizado a análise das características microestruturas da espuma de PU através do microscópio eletrônico de varredura (MEV). No segundo grupo foi realizado o teste de estabilidade dimensional de acordo com a norma ASTM D3575-S. O último grupo de amostras foi submetido ao teste de tração segundo a norma ASTM D1623. Através da densidade, microestrutura e da estabilidade dimensional define-se a espuma utilizada. O ensaio de tração apresenta as curvas tensão-deformação das amostras de acordo com a região coletada e a direção da formação da espuma. São também verificados a tensão máxima, deformação máxima e o módulo de elasticidade.

Palavras-chave: Espuma de poliuretano; Caracterização mecânica; Teste de tração em espumas; Refrigeradores.

1. INTRODUÇÃO

Os poliuretanos (PU) são um grupo de materiais poliméricos que possuem variadas aplicações. Podem ser encontrados em colchões, rodinhas de skate/patins, tintas e revestimentos, isolamentos, brinquedos dentre outros (American Chemistry Council, Inc., 2021).

Em 1937, no início da Segunda Guerra Mundial, o Dr. Otto Bayer e seus colaboradores, com o intuito de encontrar um substituto para a borracha, descobriram a reação de polimerização de adição de diisocianatos. Com esta descoberta, a utilização do poliuretano, só nos Estados Unidos, movimentava 4 bilhões de libras em 1994, quase 6 bilhões de dólares na época (Lee e Ramesh, 2004). Em 2020 este valor passou de 50 bilhões de dólares e projeta-se que ultrapasse 80 bilhões em 2028 (Fortune Business Insights, 2021).

As espumas de poliuretano possuem vasta aplicação industrial visto que dispõem de propriedades como baixa densidade, fácil processamento, baixa condutividade térmica, absorção de som, resistência mecânica específica elevada e adesividade (Kim, et al., 2017) (Lee, et al., 2017). Este mercado pode ser dividido em 5 maiores grupos sendo as espumas, os revestimentos, os elastômeros, os adesivos e outras aplicações (Peyrton e Avérous, 2021).

As constantes evoluções no desenvolvimento de refrigeradores fizeram com que a espuma de poliuretano adquirisse mais funções além de ser apenas isolante térmico, abrangendo também uma atuação como componente estrutural. A necessidade de novas reduções de custo e resolução de problemas de engenharia requerem o aprofundamento do

conhecimento das propriedades das espumas de poliuretano. A possibilidade de combinar as propriedades da espuma de poliuretano com diferentes materiais em estruturas sanduíches possibilita a aplicação em diversas áreas, como por exemplo em eletrodomésticos e na construção civil (Kapps, 2004).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Poliuretano

A obtenção de poliuretanos se dá pela reação de poliadição do poliol com o isocianato. O poliol é um composto orgânico que contém múltiplos grupos hidroxila, e o isocianato é uma molécula composta por nitrogênio, carbono e oxigênio. Visto que se tem uma grande variedade de isocianatos e polióis que podem ser utilizados para produzir os poliuretanos, uma ampla variedade de materiais e propriedades podem ser obtidas com estes (American Chemistry Council, Inc. , 2021). Em suma, as espumas de PU são produzidas usando poliol, isocianato e um agente de expansão. O agente de expansão geralmente é adicionado ao poliol junto com outros componentes. A reação de poliadição ocorre quando o poliol e o isocianato são misturados. Como esta reação de poliadição gera calor, parte dele é utilizado para evaporar líquidos voláteis como os agentes de expansão, obtendo assim a espuma (Kapps, 2004).

As espumas de PU são divididas em dois grupos: Flexíveis com células abertas e rígidas com células fechadas. Dentre os dois grupos, as espumas rígidas de PU são as utilizadas para isolamento nos refrigeradores. Além do uso em eletrodomésticos, estas são também aplicadas em construções, transportes e tubulações (Peyrton e Avérous, 2021).

A escolha das espumas de PU como isolante em refrigeradores fica evidenciado na Fig. 1. Nela, é indicada a espessura equivalente de outros materiais para atingir a mesma eficiência térmica que a espuma de PU.

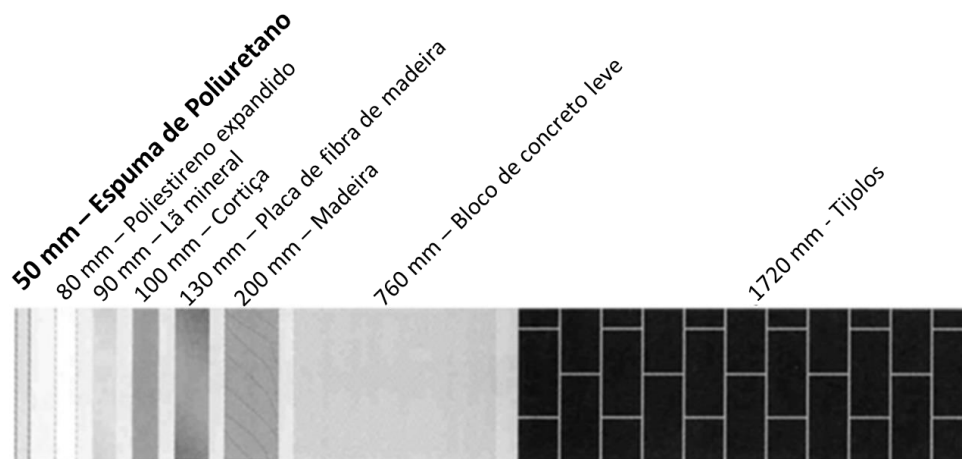


Figura 1. Espessura relativa de materiais comparados a espuma de PU (Adaptado de Lee e Ramesh, 2004)

Usualmente, as espumas são analisadas mecanicamente através de ensaios de compressão. A resistência à compressão depende da densidade do material, da homogeneidade e também do tamanho da célula, destacando assim o grupo das espumas de PU rígidas com os melhores valores para esta resistência (Peyrton e Avérous, 2021).

Inúmeros são os fatores que afetam as propriedades destas espumas. A Fig. 2 traz uma visão geral destes fatores e em quais propriedades eles atuam.

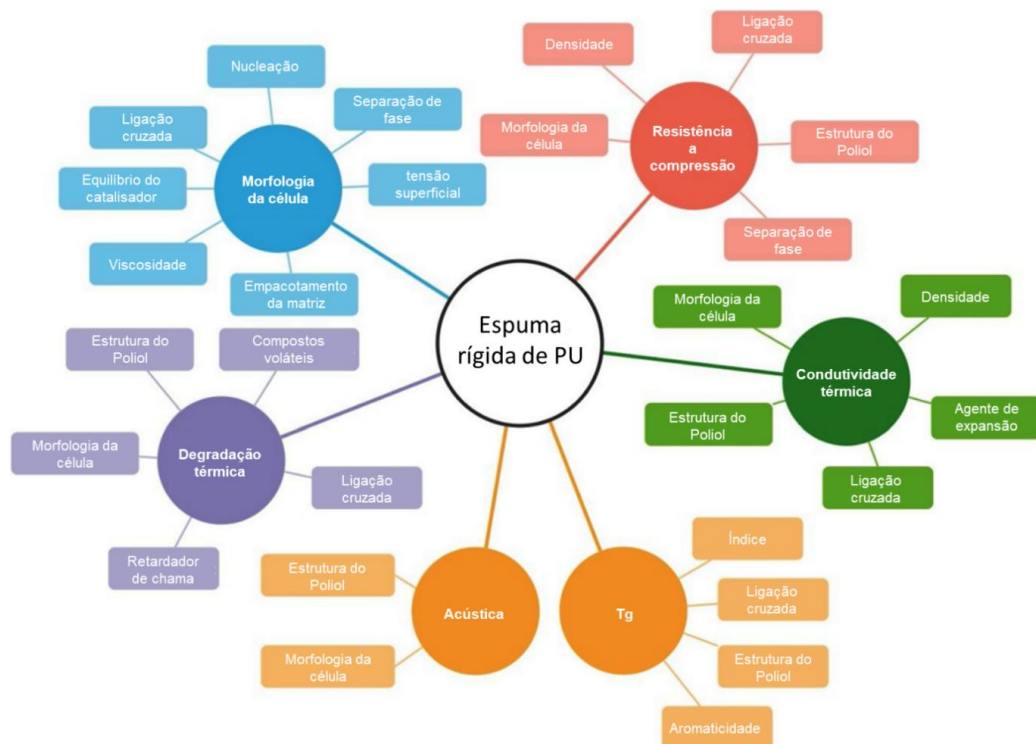


Figura 2. Visão geral dos fatores que afetam as propriedades das espumas rígidas de PU (Adaptado de Peyrton e Avérous, 2021)

2.2. Aplicação do poliuretano em refrigeradores

Os gabinetes de refrigeradores são constituídos basicamente de uma parte externa de chapa fina metálica pintada e uma região interna de plástico termoformada geralmente de poliestireno de alto impacto (HIPS) ou copolímero de acrilonitrila, butadieno e estireno (ABS). Entre esses dois materiais é injetado, logo após a mistura, o polioli e o isocianato para formação do PU (American Chemistry Council, Inc. , 2021).

Através da perspectiva da aplicação de espumas de PU em refrigeradores, evidencia-se uma alta eficiência no isolamento que proporciona utilizar espessuras menores, conforme exemplificado na Fig. 1. Como consequência, maiores volumes internos dos produtos são possíveis. Tem-se, também, uma resistência mecânica que permite utilizar menos plásticos e aços nos componentes que constituem os produtos, além da sua propriedade adesiva que auxilia na união da parte interna plástica com a externa metálica. Outra característica importante é a possibilidade de preencher os gabinetes mesmo com geometrias complexas, o que pode ser notado na Fig. 3 (Lee e Ramesh, 2004). As espumas rígidas de PU utilizadas nos refrigeradores geralmente possuem propriedades físicas com porosidade de, no mínimo 95%, baixa densidade (30 a 40 kg/m³) e alta resistência à compressão (150-200kPa) (Lee, *et al.*, 2017).

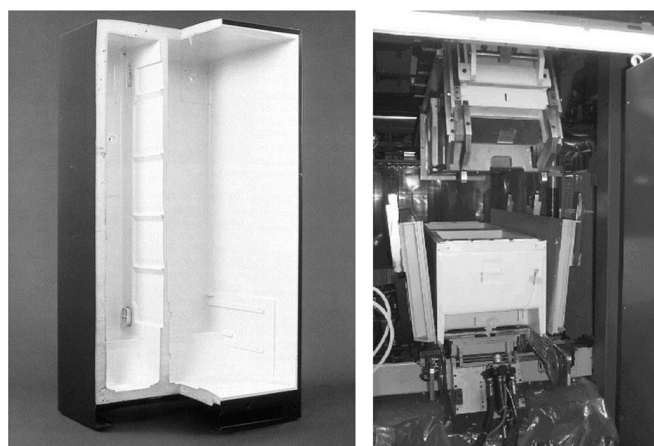


Figura 3. Exemplo de gabinete de refrigerador com a espuma de PU evidenciada (esquerda), máquina e molde de espumação para refrigeradores (direita) (Lee e Ramesh, 2004)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Coleta de amostras

Como a espuma de PU não é homogênea ao longo do produto, se faz necessário a coleta de amostras em diferentes regiões. Assim, foi feita a coleta em duas regiões do produto, topo e base, de acordo com o dimensional requisitado para a execução dos testes. Amostras representadas na Fig. 4.

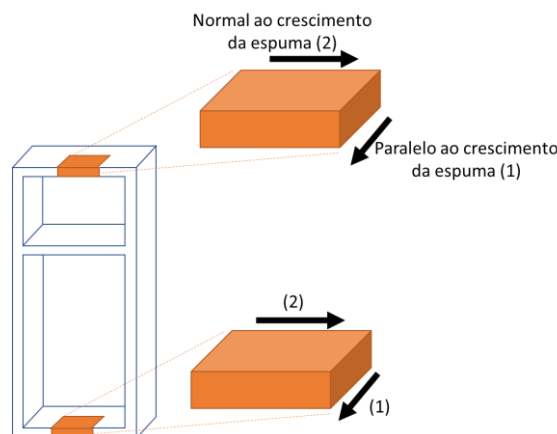


Figura 4. Representação esquemática de gabinete duas portas com a indicação da região de coleta das amostras (2022)

3.2 Análise das amostras

3.2.1 Características microestruturais da espuma de PU

Com o intuito de verificar a microestrutura das células da espuma de PU, uma amostra foi submetida à análise por microscopia semelhante ao realizado por Marvi-Mashhadi *et al.* (2020) Foram analisadas características como o tamanho médio da célula, proporção média da célula e espessura média das paredes da célula. O procedimento foi realizado no Laboratório de Imagens da UERJ/IQ com o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) SEI 10kV WD12mm SS20.

3.2.2 Densidade aparente

A densidade aparente das amostras de espuma de PU foi medida conforme as normas ASTM D3575 – W (ASTM D3575, 2020). O processo de medição consistiu em realizar a medição das massas das amostras separando-as de acordo com a região coletada (Topo e Base) e, posteriormente, submetê-las à imersão em líquido (água) medindo novamente a massa do líquido deslocado. Com os valores mensurados, o cálculo da densidade aparente seguiu conforme abaixo:

$$D = \frac{m_s}{m_l} \cdot d_l \quad (1)$$

Onde D é a densidade (kg/m^3), m_s é a massa da amostra (kg), m_l é a massa do líquido deslocado (kg) e d_l é a densidade do líquido (kg/m^3). Para maior confiabilidade, 5 amostras foram coletadas e medidas, determinando-se, então, a densidade média e o desvio padrão.

3.2.3 Teste de estabilidade dimensional

O teste de estabilidade térmica foi executado com base na norma ASTM D3575 – S (ASTM D3575, 2020). Porém, ao invés de aquecer as amostras, elas foram resfriadas. As amostras possuíam o dimensional de 100 mm x 100 mm x 25 mm.

Sendo a proposta deste trabalho compreender o comportamento das espumas de PU utilizadas em refrigeradores domésticos, não é aplicado aquecer as mostras a 70 °C conforme indicado pela norma. Logo, o procedimento de resfriar as amostras a -20 °C, de acordo com a temperatura que um refrigerador é submetido, se faz mais condizente com o objetivo.

O procedimento consistiu em realizar a medição do comprimento, largura e espessura nos locais identificados da amostra, conforme Fig. 5. Então, as amostras foram colocadas em um freezer a temperatura de $-20 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 ± 1 horas.

Posteriormente, permaneceram por 2 horas a temperatura ambiente e, então, as medições de comprimento, largura e espessura foram novamente realizadas.

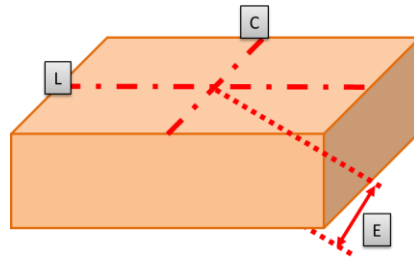


Figura 5. Representação esquemática dos locais de medição das amostras (2022)

O cálculo da variação de cada dimensão foi realizado conforme a equação abaixo:

$$\% \text{Variação Dimensional} = \frac{D_f - D_0}{D_0} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde D_0 é a dimensão inicial e D_f é a dimensão final.

Foram utilizados valores negativos para representar a redução das dimensões e positivos para crescimento das dimensões. Para maior confiabilidade, 5 amostras de cada região (topo e base) foram coletadas, determinando assim a estabilidade dimensional média de cada dimensão e o seu desvio padrão.

3.2.4 Teste de tração

Os testes de tração em espumas de PU foram conduzidos de acordo com a norma ASTM D1623 (ASTM D1623, 2017). Entretanto, com algumas alterações, sendo elas:

1-Devido às regiões dos produtos não satisfazerem as dimensões das amostras indicadas na norma, o corpo de prova padrão foi alterado conforme abaixo, mantendo a proporção de área apoiada pela secção de ruptura identificada no corpo de prova da norma.

2- Por consequência do dimensional da amostra, não foi possível a aplicação de dispositivo conforme recomenda a norma. Portanto, foi utilizado o dispositivo abaixo para fixação das amostras na máquina.

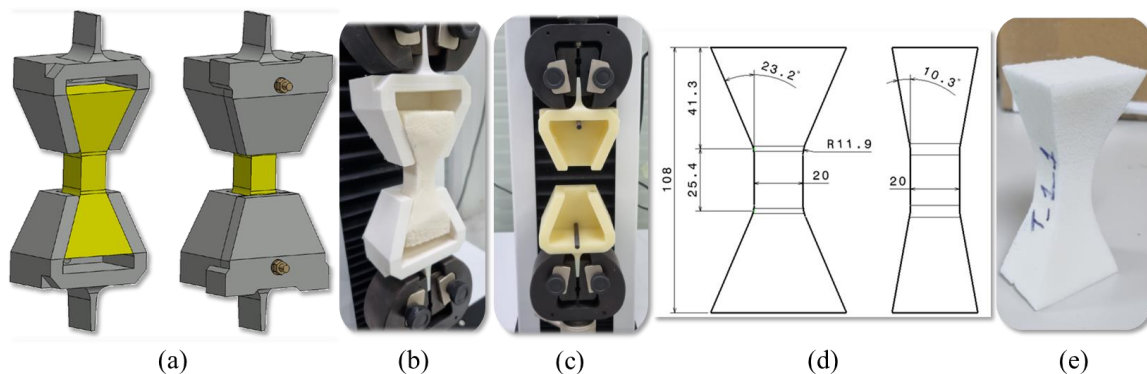


Figura 6. Dispositivo de fixação: (a) Projeto 3D, (b) Protótipo em impressão 3D, (c) Dispositivo final usinado em ABS, (d) Dimensional da amostra, (e) Amostra (2022)

A máquina utilizada para o teste é a máquina universal de ensaio Biopdi de coluna única com célula de carga de 1kN. A velocidade do teste foi de 1,3 mm/min. As amostras foram identificadas em duas direções: normal e paralelo ao crescimento da espuma, conforme representado na Fig. 4. Foram testadas 5 amostras de cada direção, árvore de amostragem indicada na Fig. 7.

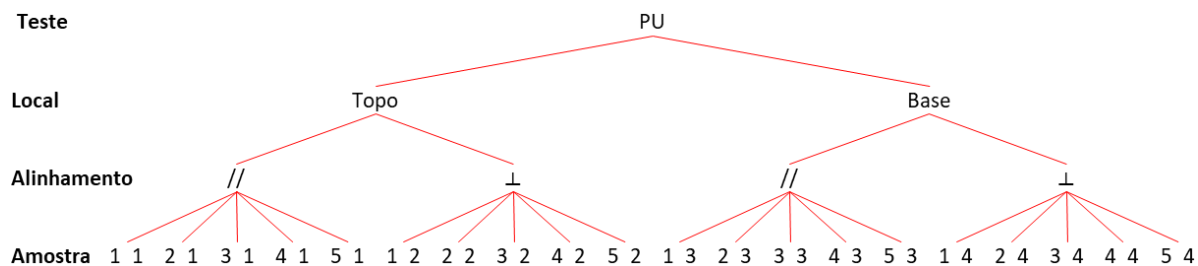


Figura 7. Árvore de amostragem para teste de tração (2022)

O procedimento consistiu em: 1. Medir a seção transversal da amostra e calcular a área; 2. Zerar o indicador de carga; 3. Posicionar a amostra no dispositivo; 4. Executar o teste e registrar os dados.

Os cálculos de tensão (σ) e deformação (ϵ) foram realizados conforme equações abaixo:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (3)$$

Onde F é a força ou carga aplicada e A_0 é a área da seção inicial da parte útil do corpo de prova;

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (4)$$

Onde ΔL é a variação de comprimento inicial e final medido entre dois pontos, L é o comprimento final e L_0 é o comprimento inicial.

O módulo de elasticidade (E) foi determinado através do ângulo da reta obtida por regressão linear dos dados de tensão e deformação.

4. RESULTADOS

4.1 Características microestruturais da espuma de PU

Abaixo as características microestruturais mensuradas da espuma de PU da amostra do topo do gabinete:

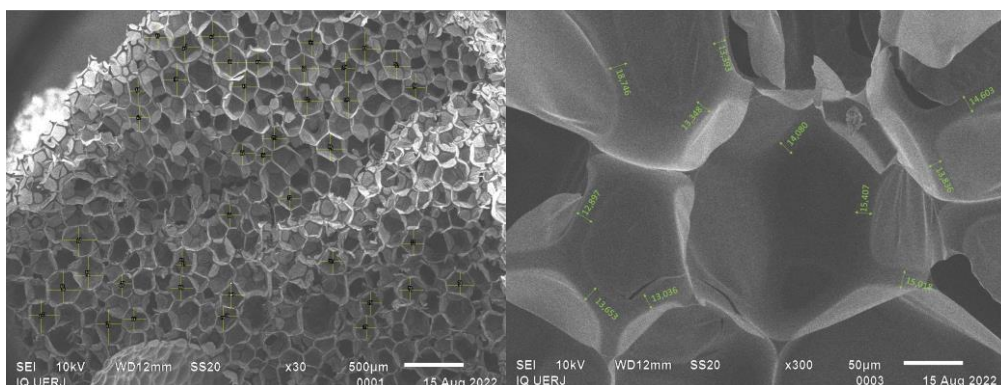


Figura 8. Imagens da microestrutura da espuma de PU (2022)

Tabela 1. Características microestruturais da espuma de PU (2022)

	Média	Desvio Padrão
Tamanho médio (μm)	216,940	39,214
Proporção média	1,133	0,200
Espessura média das paredes (μm)	14,365	1,659

4.2 Densidade aparente

Os resultados obtidos determinaram uma densidade média total (média da base e do topo) de 29,21 kg/m³ com um desvio padrão de 0,71 kg/m³. Os valores para as médias das 5 amostras do topo e base são apresentados abaixo.

Tabela 2. Densidade aparente (2022)

(kg/m ³)	Média	Desvio Padrão
Topo	29,80	0,42
Base	28,63	0,34
Total	29,21	0,71

4.3 Estabilidade dimensional

Os valores obtidos para variação dimensional das 5 amostras do topo e base são apresentados abaixo:

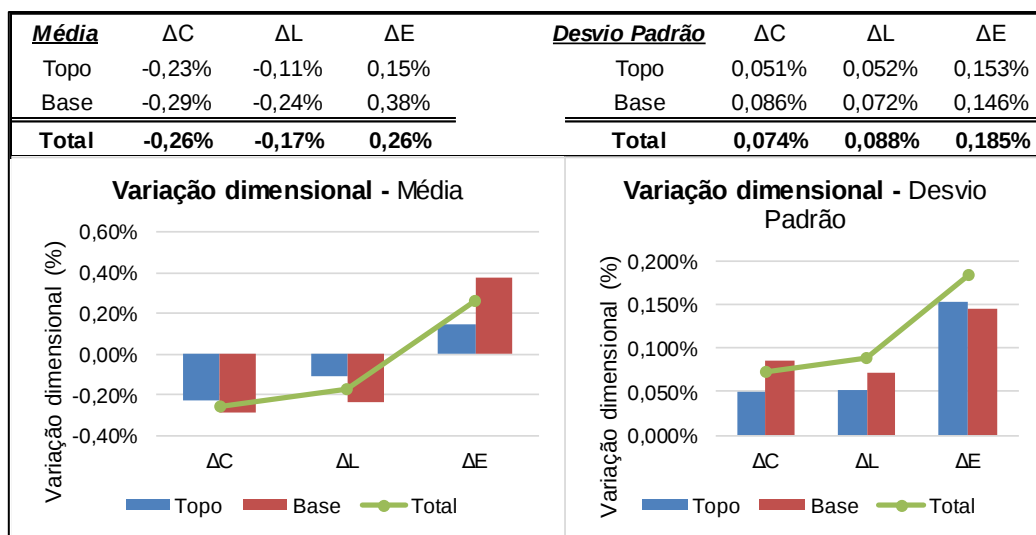


Figura 9. Média e desvio padrão das variações dimensionais (2022)

4.4 Teste de tração

As curvas obtidas nos testes de tração são resumidas na tabela abaixo, apresentando os valores para a tensão máxima, a deformação máxima e o módulo de elasticidade calculado, em conjunto com o desvio padrão (S).

Tabela 3. Tensão máxima, deformação máxima e módulo de elasticidade (2022)

		Tensão Máx (MPa)		Deformação Max (%)		Mod Elasticidade (MPa)	
		<i>Média</i>	<i>Desv.Pad.</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.Pad.</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.Pad.</i>
Topo	//	0,281	0,031	0,570	0,051	0,499	0,072
Topo	⊥	0,305	0,032	0,390	0,114	0,894	0,226
Base	//	0,233	0,035	0,512	0,106	0,489	0,136
Base	⊥	0,132	0,028	0,456	0,172	0,327	0,162
Total		0,24	0,07	0,48	0,13	0,55	0,26

5. ANÁLISE

Referente às características microestruturais da espuma de PU, constata-se: Para o tamanho da célula, o valor encontrado de 216,94 μm para a densidade de 29,21 kg/m³, está alinhado com os valores encontrados por Linul e Marsavina (2017) para espumas de PU com 100, 145 e 300 kg/m³ que possuíam respectivamente 120, 88 e 68 μm . Ou seja, o tamanho da célula é inversamente proporcional à sua densidade. A amostra apresenta uma proporção média de 1,133, alongamento referente à direção do crescimento da espuma.

Quanto à densidade aparente, foi constatado que todos os valores de densidade das amostras retiradas do topo dos produtos apresentaram maiores valores quando comparados aos valores das amostras da base.

Ao analisar a estabilidade dimensional das espumas de PU, nota-se que nas três dimensões analisadas, a base apresentou a maior variação dimensional. Importante ressaltar que todas as amostras apresentaram o mesmo comportamento durante o teste, o qual consistiu em reduzir seu comprimento e largura, e aumentar sua espessura.

Os comportamentos apresentados nos testes descritos acima, quando comparados a base e topo, podem ser justificados pela maior presença de vazios devido ao acúmulo de gás de expansão, os quais foram verificados durante a preparação das amostras e são retratados na Fig. 10.



Figura 10. Amostra de PU da base e do topo (2022)

Para o teste de tração, os valores de tensão máxima, deformação máxima e módulos de elasticidade serão analisados através de duas perspectivas: A primeira, uma avaliação entre amostras da base e do topo e, a segunda, entre amostras normais ao crescimento da espuma e paralelas.

A primeira, representado na Fig. 11, verifica-se que as amostras do topo apresentam valores superiores para a tensão máxima e com menor dispersão. Este comportamento é repetido no módulo de elasticidade, visto que a deformação não apresentou variação significativa entre topo e base.

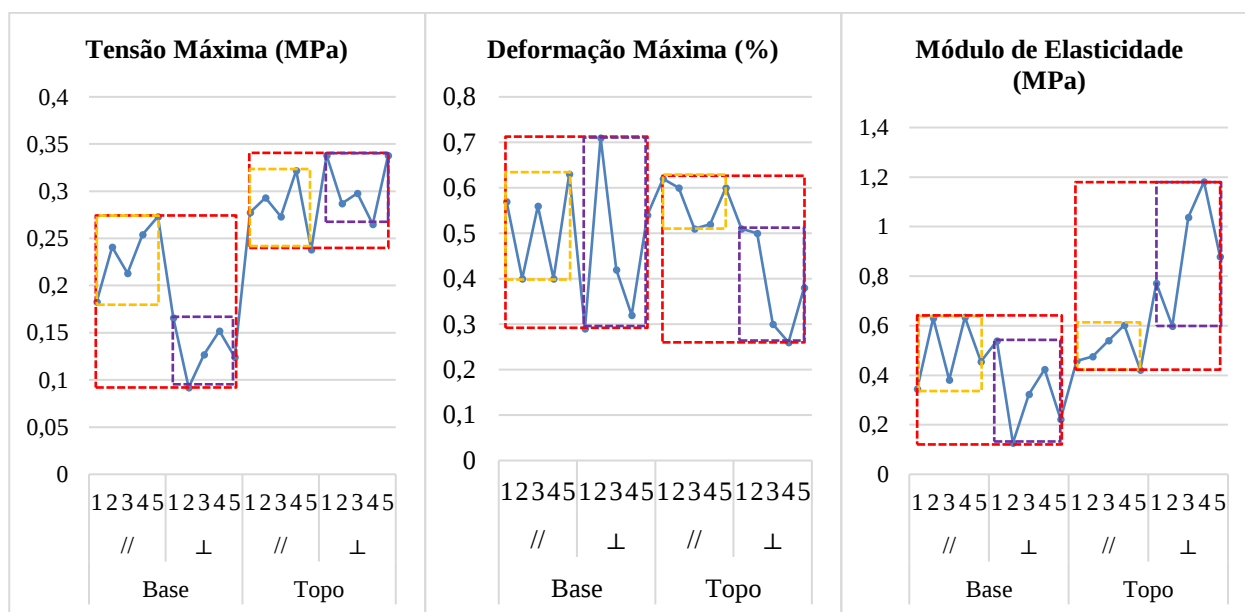


Figura 11. Valores dos testes de tração: Base e topo (2022)

Na segunda, Fig. 12, evidencia-se que as amostras paralelas ao crescimento da espuma apresentam valores próximos, tanto para a base como para o topo. Porém, para os valores das amostras perpendiculares ao crescimento das espumas, verifica-se que o topo apresenta aumento na tensão máxima e, a base, redução, o que novamente é refletido no módulo de elasticidade.

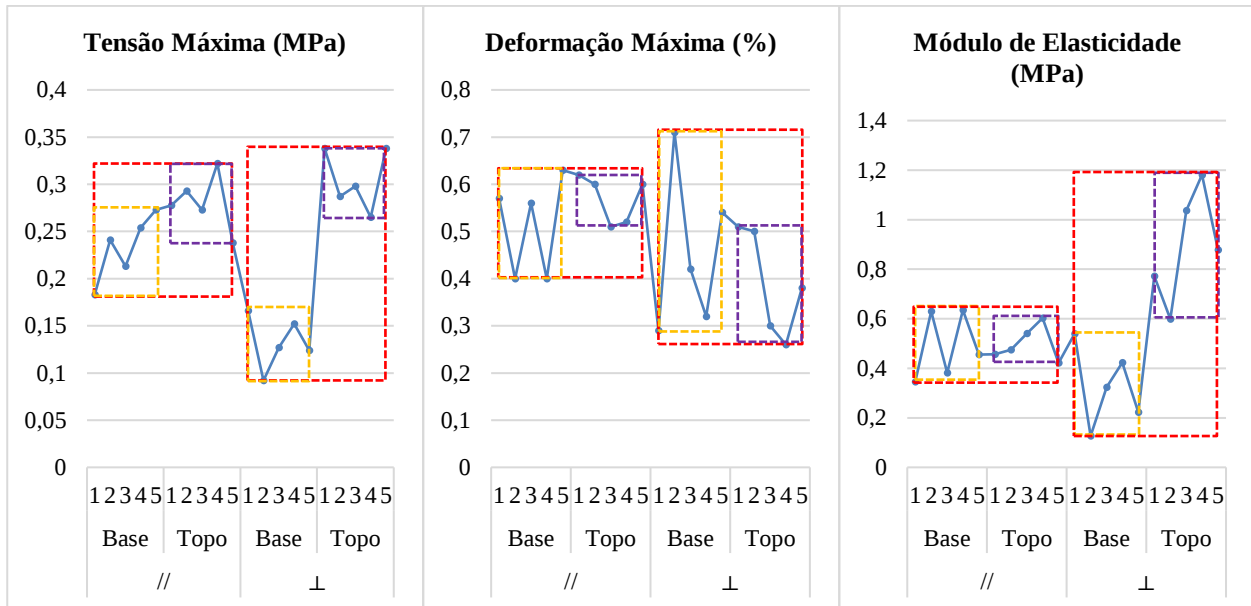


Figura 12. Valores dos testes de tração: Paralelo (//) e Normal (⊥) ao crescimento da espuma de PU (2022)

Portando, com base nos módulos de elasticidade, pode-se converter os comportamentos acima descritos em 5 retas (Média e os 4 grupos analisados), apresentadas na Fig. 13.

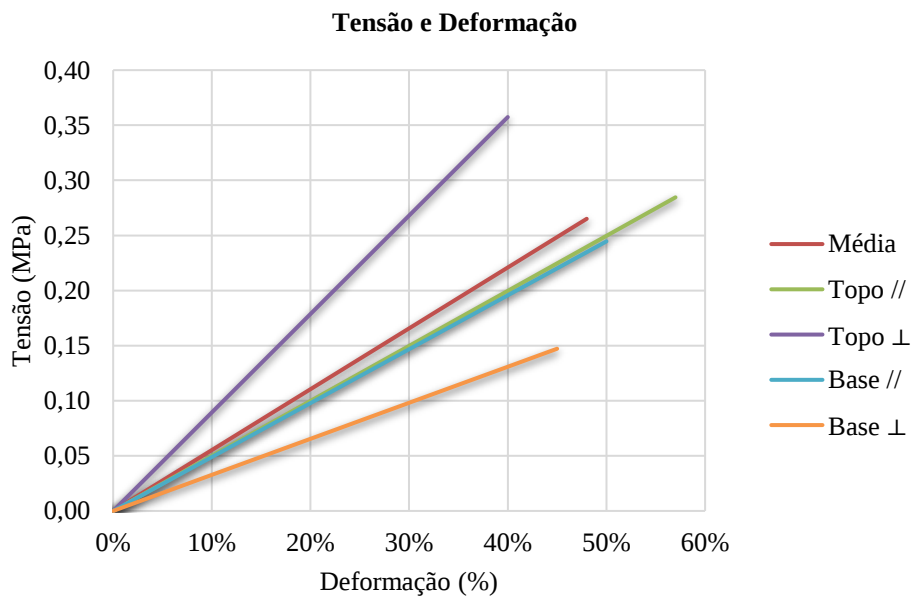


Figura 13. Tensão e deformação das espumas de PU: Média, topo e base (2022)

É comprovado que o comportamento mecânico da espuma de PU se dá em função da direção de crescimento da espuma e do local no gabinete do refrigerador. Porém, através da análise da média do módulo de elasticidade das amostras verifica-se que a maior variação ocorre entre topo e base, quando comparados a anisotropia (paralelo e normal ao crescimento da espuma).

6. CONCLUSÃO

Neste estudo verificou-se que as espumas rígidas de PU com densidade 29,21 kg/m³, células de tamanho médio 216,94 μm, espessura de parede de 14,365 μm e proporção de 1,133, apresentam o comportamento mecânico indicado abaixo.

Em termos de valores médios entre os 4 grupos indicados (topo, base, normal e paralelo ao crescimento da espuma) tem-se que:

- Quando submetidas a temperaturas de -20°C apresentam contração em comprimento e largura de $-0,26\%$ e $-0,17\%$, respectivamente, e expansão de $0,26\%$ em sua espessura.
- Quando submetidos a tensões referentes à tração, apresentam os seguintes valores: tensão máxima de $0,24\text{ MPa}$, deformação máxima de 48% e módulo de elasticidade de $0,55\text{ MPa}$.
- Seu comportamento mecânico em função da localização no gabinete e anisotrópico.

Estudos futuros são necessários para identificar o efeito da anisotropia no comportamento mecânico aplicado em refrigeradores. Além destes, futuros trabalhos são indicados abaixo:

- Aplicar o material caracterizado em modelo matemático para análise via elementos finitos;
- Expandir a metodologia aplicada no artigo para as seguintes características:
 - Outras regiões do gabinete (laterais, travessas e fundo) e portas dos produtos;
 - Mapear variáveis do processo e ambiente de modo a verificar e quantificar os efeitos destas nas propriedades das espumas;
 - Estender estudo também para outros tipos de processos de injeção, assim como com outros polióis e isocianatos utilizados na indústria de refrigeradores;
 - Verificação e quantificação do efeito da dimensão do produto e sua configuração (*top freezer*, *bottom freezer*, *side-by-side*, *dentre outros*.);

7. AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Dr. Harrison Lourenço Corrêa e ao professor coorientador Dr. João Moraes da Silva Neto, pela orientação, apoio e confiança.

Aos colegas de trabalho Julio Zanetti, Rodrigo A. Silva, Eduardo Palhano, Marcelo Campani, Rodrigo Pagnozzi e Débora de Almeida pelas discussões frutuosas e pelo suporte na execução dos testes.

À professora Dr. Ana Maria Furtado de Sousa do Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (IQ/UERJ) pela execução da análise via MEV das amostras.

8. REFERÊNCIAS

- American Chemistry Council, Inc., 2021. Center for the Polyurethanes Industry (CPI). 1 Mar. 2022 <<http://bit.ly/3DOKJQi>>.
- ASTM, 2017. American Society for Testing and Materials D1623 - Standard Test Method for Tensile and Tensile Adhesion Properties of Rigid Cellular Plastics.
- ASTM, 2020. American Society for Testing and Materials D3575 - Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials Made From Olefin Polymers.
- Fortune Business Insights, 2021. Polyurethane Market to Reach USD 81.74 Billion by 2028. 1 Mar. 2022 <<http://bit.ly/3UJck2y>>.
- Kapps, D. M., 2004. The production of rigid polyurethane foam. *Insulation - Technical Information*, p. 46.
- Kim, Tae-Rim; Shin, Jong Ki; Goh, Tae Sik; Kim, Hyung-Sik; Lee, Jung Sub; Lee, Chi-Seung, 2017. Modeling of elasto-viscoplastic behavior for polyurethane foam under various strain rates and temperatures. *Composite Structures*, p. 686-695.
- Lee, Jeong-Ho; Kim, Seul-Kee; Park, Sungkyun; Park, Kang Hyun; Lee, Jae-Myung, 2017. Unified constitutive model with consideration for effects of porosity and its application to polyurethane foam. *Composites Part B*, p. 87-100.
- Lee, S. e Ramesh, N., 2004. Polymeric foams : mechanisms and materials. *Washington, D.C.:CRC Press LLC*.
- Linul, E. e Marsavina, L., 2017. Experimental Determination of Mixed-Mode Fracture Toughness for Rigid Polyurethane Foams. *Fracture at all Scales*, p. 221-237.
- Marvi-Mashhadi, M., Lopes, C. S. e LLorca, J., 2020. High fidelity simulation of the mechanical behavior of closed-cell polyurethane foams. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, Vol. 135.
- Peyrton, J. e Avérous, L., 2021. Structure-properties relationships of cellular materials from biobased polyurethane foams. *Materials Science and Engineering R Reports*. 5 Abr. 2021.

9. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

CHARACTERIZATION OF POLYURETHANE (PU) FOAM USED IN WHITE-GOODS REFRIGERATORS

João Paulo Soares Kaiser

Federal University of Paraná, UFPR - Curitiba / Postgraduate Program in Manufacturing Engineering, PPGEM
joaopskaiser@ufpr.br

Harrison Lourenço Corrêa

Federal University of Paraná, UFPR - Curitiba / Postgraduate Program in Manufacturing Engineering, PPGEM
harrisoncorrea@ufpr.br

João Morais da Silva Neto

Federal University of Paraná - Curitiba / Department of Mechanical Engineering, DEMEC
joaomsn@ufpr.br

Abstract. Polyurethane foams (PU), used as an insulating material in refrigerators, have a wide industrial application since they have properties such as low density, easy processing, low thermal conductivity, sound absorption, high specific mechanical resistance, and adhesiveness. The constant evolutions in the development of refrigerators made the polyurethane foam acquire more functions than just being a thermal insulator, also covering an action as a structural component. The need for further cost reductions and solving engineering problems requires a deeper understanding of the properties of polyurethane foams. The present work aims to mechanically characterize the PU foams used in white - goods refrigerator cabinets. For the characterization of the PU foam, samples were collected according to the characteristics of the process, the product and the requirements of the test standards. As the PU foam is not homogeneous throughout the product, it is necessary to collect samples in different regions. Thus, the collection was carried out in two regions of the cabinet, being them the two ends of the product (the top and the base), according to the dimensional required for the execution of the tests. The samples were also divided according to the orientation of foam formation in the cabinet, with direction (1) parallel to foam growth and direction (2) normal to foam growth. Five samples of each configuration (region and direction) were randomly collected. In the first group of samples, the apparent density was measured according to ASTM D3575-W, and the analysis of the microstructure characteristics of the PU foam was also carried out using a scanning electron microscope (SEM). In the second group, the dimensional stability test was performed according to the ASTM D3575-S standard. The last group of samples was subjected to the tensile test according to ASTM D1623. Through density, microstructure and dimensional stability, the foam used is defined. The tensile test presents the stress-strain curves of the samples according to the region collected and the direction of foam formation. The maximum stress, maximum strain and modulus of elasticity are also verified.

Keywords: Polyurethane foam; Mechanical characterization; tensile test on foams; refrigerators.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.