

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS VIDRO E LATÃO APLICADOS NO *BOX* DE BANHEIRO

Priscilla Lacerda de Assis Barbosa¹

Alexandra Pitombeira Cavalcanti²

Pedro Henrique de Lima Menezes³

Vanessa Limeira Azevedo Gomes⁴

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

O diagrama de tensão-deformação é o elemento essencial para identificar as propriedades dos materiais, podendo ser classificado como dúctil ou frágil. O material é dito dúctil quando é submetido a grandes deformações específicas inelásticas antes de fraturar, enquanto o material frágil apresenta uma deformação muito pequena antes de romper. Neste contexto, este artigo, por meio da revisão bibliográfica, tem como objetivo descrever o diagrama de $\sigma \times \epsilon$ de um material dúctil e de um material frágil presentes no *box* de banheiro, latão e vidro, respectivamente, apresentando os limites e os cálculos da tensão e da deformação. Para isso, as propriedades mecânicas do vidro e do latão são apresentadas. Como resultados, observa-se que os limites de elasticidade, de escoamento, de resistência a tração e de ruptura são bem definidos no latão, enquanto no vidro, por ter comportamento frágil, o limite de resistência se iguala ao limite de ruptura.

PALAVRAS-CHAVE

Diagrama Tensão-Deformação. Box de Banheiro. Lei de *Hooke*.

ABSTRACT

The stress-strain diagram is the essential element to identify the properties of the materials, which can be classified as ductile or fragile. The material is said to be ductile when subjected to large specific inelastic deformations before fracturing, while the fragile material has very little deformation before breaking. In this context, this article, through a bibliographic review, aims to describe the $\sigma \times \epsilon$ diagram of a ductile material and a fragile material present in the bathroom stall, brass and glass, respectively, presenting the limits and the stress calculations and deformation. For this, the mechanical properties of glass and brass are presented. As a result, it is observed that the limits of elasticity, flow, tensile strength and rupture are well defined in brass, while in glass, due to its fragile behavior, the limit of resistance is equal to the limit of rupture.

KEYWORDS

Stress-strain diagram. Bathroom box. Hooke's Law.

1 INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas dos materiais são fundamentais em muitas tecnologias, sejam elas emergentes ou tradicionais. Na produção de aviões, as ligas de alumínio ou os compósitos reforçados com carbono usados em componentes aeronáuticos devem ser leves, resistentes e capazes de suportar cargas mecânicas cíclicas durante longos períodos. Os aços utilizados na construção de estruturas, como edifícios e pontes, devem ter resistências adequadas, de modo que não comprometam a segurança das edificações. Os plásticos empregados na fabricação de tubos, válvulas, pisos e outros elementos estruturais também devem ter resistência mecânica apropriada (ASKELAND; WRIGHT, 2019). Esses exemplos mostram a importância das propriedades mecânicas nas aplicações em que está presente a função estrutural.

Segundo Callister e Rethwisch (2018), é atribuição dos engenheiros compreenderem como as várias propriedades mecânicas são medidas e o que essas propriedades representam. Elas podem ser necessárias para o projeto de estruturas e componentes que utilizam materiais predeterminados, a fim de evitar que ocorram níveis inaceitáveis de deformação e/ou falhas.

Nesse contexto, o estudo do comportamento mecânico dos materiais pode ser obtido pelo diagrama tensão (σ) *versus* deformação (ϵ). O diagrama é uma representação gráfica onde as abcissas representam as deformações específicas e as ordenadas representam as tensões correspondentes a um corpo de prova esbelto e sujeito a diversos valores de carga (UGURAL, 2009).

Assim, este estudo é uma revisão bibliográfica realizada durante a disciplina de mecânica dos sólidos para entendimento do diagrama tensão *versus* deformação em materiais dúcteis e frágeis. Logo, o propósito do artigo é descrever o diagrama de $\sigma \times \epsilon$

de um material dúctil e de um material frágil presentes no *box* de banheiro, latão e vidro, respectivamente, apresentando os limites e os cálculos da tensão e da deformação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO ($\sigma \times \varepsilon$)

As curvas representadas nos diagramas de tensão *versus* deformação são utilizadas para explicar o comportamento mecânico comumente empregados em estruturas e máquinas da engenharia. Os dados necessários para a construção desses diagramas podem ser determinados por meio de um ensaio de tração ou de compressão.

O ensaio de tração mede a resistência de um material a um carregamento mecânico estático ou aplicado lentamente e fornece dados do limite de escoamento, do limite de resistência, do módulo de elasticidade ou de *Young* e da ductilidade dos materiais (ASKELAND; WRIGHT, 2019).

A resistência de um material é obtida a partir da tensão nominal aplicada, dada em Pascal ou N/m^2 , que é definida pela razão entre a carga aplicada (F), dada em Newton (N), e a área, dada em m^2 , original da seção transversal do corpo de prova (A), conforme Equação (1).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Equação (1)}$$

Calcula-se, completando o diagrama, a deformação do material (ε), que é definida pelo quociente da variação do comprimento (ΔL) e o comprimento inicial (L_0), conforme Equação (2). As unidades de comprimento podem ser em milímetros, centímetros ou metros.

$$\varepsilon = \frac{\ell_i - \ell_0}{\ell_0} = \frac{\Delta L}{\ell_0} \quad \text{Equação (2)}$$

A lei de *Hooke* é a relação entre a tensão de engenharia e a deformação de engenharia para uma deformação elástica (tração e compressão). O grau a que uma estrutura se deforma depende da magnitude da tensão imposta. Para a maioria dos metais submetidos a uma tensão de tração em níveis relativamente baixos, a tensão e a deformação são proporcionais entre si segundo essa relação (CALLISTER; RETHWISCH, 2018), ver Equação (3).

$$\sigma = \varepsilon \times E \quad \text{Equação (3)}$$

Na Equação (3), a constante de proporcionalidade E (com unidades de GPa ou psi) é o *módulo de elasticidade*, ou *módulo de Young*. Para a maior parte dos metais típicos, a magnitude desse módulo varia entre 45 GPa ($6,5 \times 10^6$ psi), para o magnésio, e 407 GPa (59×10^6 psi), para o tungstênio.

2.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS E CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

As propriedades mecânicas são aquelas que mostram como se espera que o material se comporte quando submetido às condições variadas de cargas e ambiente. Essas características são determinadas por meio de técnicas de ensaios padronizados descritos pela *American Society for Testing of Materials* (ASTM). O completo entendimento das propriedades dos materiais permite ao analista e ao projetista selecionar o material e determinar as dimensões, a forma e o método de fabricação dos elementos estruturais e de máquinas (UGURAL, 2009).

Um material se comporta de modo dúctil se ele puder ser submetido a grandes deformações específicas inelásticas (ou plásticas) antes de fraturar. Os materiais dúcteis, entre os quais se inclui o aço estrutural (um aço de baixo carbono ou aço doce), muitas das ligas de outros metais (latão) e o náilon, são caracterizados por sua habilidade de escoar a temperaturas ambientes. O inverso se aplica aos materiais frágeis. Isto é, um material frágil (por exemplo, o ferro fundido, vidro ou o concreto) apresenta uma deformação muito pequena antes de romper e, como resultado, falha bruscamente sem uma indicação visível (UGURAL, 2009).

Neste trabalho, as propriedades e características dos materiais latão e vidro, presentes em *boxes* de banheiros, são apresentadas e, posteriormente, os diagramas com os cálculos das tensões e deformações.

2.2.1 Vidro

O vidro é uma substância rígida, amorfa e inorgânica, geralmente transparente e quebradiça, fabricada por meio da fusão a altas temperaturas, seguida de rápida solidificação, de uma mistura de silícios (areia) e carbonatos (MICHAELIS, 2020).

O vidro é um material cerâmico, sendo assim classificado como frágil, pois, exibe pouco ou nenhum escoamento antes da falha e possui ligações iônicas. Possui grande resistência à ruptura, na região elástica se comporta como o aço. Além disso, possui uma ótima dureza, durabilidade, baixa condutividade elétrica e é perfeitamente elástico. Em temperatura ambiente, ele não se deforma plasticamente e ao passar seu limite de resistência se rompe (KAWABATA NETO, 2017).

Os vidros inorgânicos comuns, usados para recipientes, janelas, vitrines, divisórias, entre outros, são vidros à base de sílica, aos quais foram adicionados outros óxidos, tais como CaO e Na_2O (CALLISTER; RETHWISCH, 2018). Os vidros aplicados em *box* de banheiro têm a mesma composição, devendo ser laminados ou temperados, conforme norma 14207. A NBR 14207 especifica os requisitos mínimos, em termos de segurança, para os materiais utilizados no projeto e na instalação de *boxes* de banheiro fabricados a partir de painéis de vidro de segurança para uso em apartamentos, casas, hotéis e outras residências (ABNT, 2009). A Figura 1 apresenta o vidro aplicado no *box* de banheiro e estrutura de latão.

Figura 1 – *Box* de banheiro com portas de vidro e estrutura em latão

Fonte: Alumínios Cometa (2020).

2.2.2 Latão

O latão é uma liga metálica de cobre (Cu) e zinco (Zn) com percentagens de zinco entre 3% a 45%, a depender do tipo de latão. Por exemplo, um latão que possui em sua composição química, 70% de cobre e 30% zinco, apresenta resistência mais elevada que um latão com 90% de cobre e 10% zinco; portanto, esse aumento de 20% no teor de zinco eleva as propriedades de resistência mecânica da liga. Pode-se ainda adicionar outros metais a esta liga metálica, variando a quantidade e a proporção, gerando assim alteração nas propriedades da liga (METALOPÉDIA, 2020).

Segundo Callister e Rethwisch (2018), o latão possui um ponto de fusão relativamente baixo, podendo ser fundido facilmente em pequenos fornos especializados. Apresenta cor amarelada semelhante à do ouro e é consideravelmente resistente às manchas, sua aplicabilidade tende a ser cada vez maior devido às propriedades de alta resistência mecânica e à corrosão, tornando-o ainda mais funcional quando comparado às demais ligas metálicas.

As ligas de latão são largamente usadas nas indústrias fabricantes da construção civil, como, por exemplo, na produção de fechos, dobradiças, fechaduras, dentre outros objetos. A Figura 2 apresenta o detalhe do uso do latão em um *box* de banheiro.

Figura 2 – Detalhe da estrutura em latão para *box* de banheiro



Fonte: Alumínios Cometa (2020).

3 METODOLOGIA

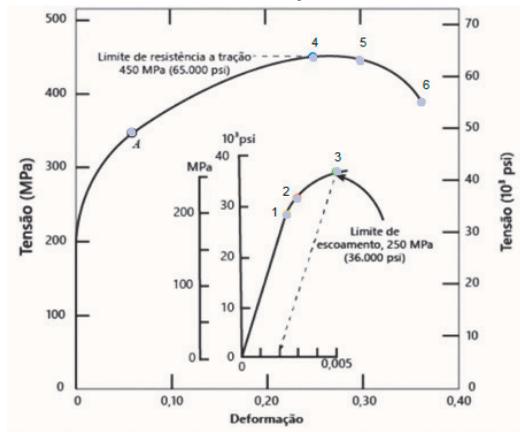
A metodologia deste trabalho refere-se ao estudo das propriedades mecânicas do vidro e latão aplicados em *boxes* de banheiro, com a descrição do diagrama tensão *versus* deformação e os cálculos utilizando as Equações (1), (2) e (3). Este estudo é uma revisão bibliográfica realizada durante a disciplina de mecânica dos sólidos para entendimento do diagrama tensão *versus* deformação em materiais dúcteis e frágeis. Logo, os ensaios de tração e compressão, para obtenção dos gráficos, foram obtidos em Callister e Rethwisch (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DOS DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO LATÃO E DO VIDRO

O diagrama de tensão *versus* deformação do latão pode ser observado na Figura 3. A curva é típica de um material dúctil, cujas marcações em pontos numerados referem-se aos limites com as características gerais da relação entre a tensão de engenharia e a deformação específica de engenharia (UGURAL, 2009).

Na Figura 3, o limite de proporcionalidade (1) é o limite no qual as tensões são diretamente proporcionais às deformações, ou seja, após ele a deformação deixa de ser proporcional à carga aplicada. Na prática, considera-se que o limite de proporcionalidade e o limite de elasticidade são coincidentes. O ponto (2) representa o limite elástico, que é o momento em que termina o regime elástico e se inicia o regime plástico. Na fase elástica, os metais obedecem à lei de *Hooke*. Suas deformações são diretamente proporcionais às tensões aplicadas. Se o ensaio for interrompido antes deste ponto e a força de tração for retirada, o corpo volta à sua forma original, como faz um elástico.

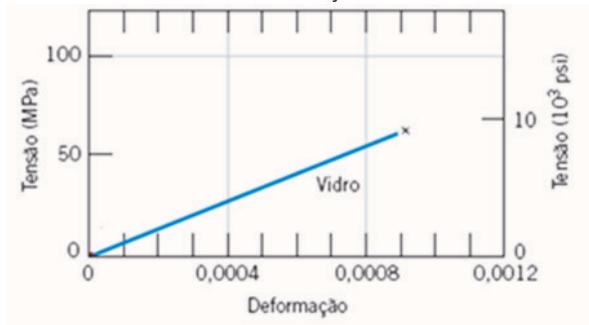
Figura 3 – Diagrama tensão *versus* deformação do latão

Fonte: Adaptado de Callister e Rethwisch (2018).

O limite de escoamento é representado pelo ponto (3), Figura 3, que corresponde ao momento em que a deformação no corpo de prova se torna irreversível. O escoamento caracteriza-se por uma deformação permanente do material sem que haja aumento de carga, mas com aumento da velocidade de deformação.

O limite de resistência a tração (4) corresponde à tensão máxima que pode ser sustentada por um material sob tração. Após essa tensão máxima, uma pequena contração começa a se formar, e toda a deformação após esse ponto fica mais facilitada, pois reduz a área resistente e cria um concentrador de tensões nesta região. O ponto (5), na Figura 3, representa o fim do regime plástico e o início da fase de ruptura. Por fim, o limite de ruptura (6) é o momento final do ensaio de tração, onde o corpo de prova se rompe, dividindo-se em dois. A tensão no limite de ruptura é menor que no limite de resistência, devido à diminuição da área que ocorre no corpo de prova depois que se atinge a carga máxima.

O diagrama tensão-deformação do vidro pode ser observado na Figura 4, onde o ponto destacado com um "x" representa o limite de resistência que se iguala ao caso dos materiais frágeis ao limite de ruptura.

Figura 4 – Diagrama tensão *versus* deformação do vidro

Fonte: Adaptado de Callister e Rethwisch (2018).

4.2 CÁLCULOS DE TENSÃO E DEFORMAÇÃO DOS MATERIAIS ESTUDADOS

A Tabela 1 mostra o módulo de elasticidade do vidro e do latão que foram utilizados para os cálculos presentes no estudo.

Tabela 1 – Módulo de Elasticidade (E) do vidro e do latão

Material	Módulo de Elasticidade (E)	
	GPa	10 ⁶ psi
Vidro	69	10
Latão	97	14

Fonte: Adaptado de Callister e Rethwisch (2018).

Para o cálculo da tensão, a força aplicada em um corpo de prova produzido com liga de latão é igual a 20 kN. A área da seção transversal, considerando geometria quadrada, é igual a $1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Assim, utilizando a Equação (1), tem-se que a tensão suportada pela estrutura de latão, presente no *box* de banheiro, é igual a 200 MPa e a deformação, aplicando o módulo de elasticidade (E) do latão, conforme Tabela 1 e Equação (3), é de aproximadamente 0,00206 (0,206%).

Para o cálculo do vidro, considera-se um comprimento inicial de 2,100 m e um comprimento instantâneo de 2,101 m. Nesse caso, aplicando a Equação (2), a deformação desse material é igual a 0,00048 (0,048%). A tensão obtida, considerando $E=69$ GPa, é igual a 33,12 MPa. Esse ponto representa o limite elástico, que é o momento em que termina o regime elástico e se inicia o regime plástico, conforme apresentado no diagrama da Figura 4.

5 CONCLUSÕES

Como conclusões, pode-se observar comportamentos distintos em função da classe do material, sendo o vidro um material cerâmico com característica frágil e o latão, liga metálica, com comportamento dúctil, conforme literatura.

O diagrama tensão-deformação do vidro sodocálcico, por meio do ensaio de tração, mostra pequena deformação (0,00048%) no limite elástico, e para cargas acima de 60 MPa, ocorre a sua fratura. No caso do latão, por ser um material dúctil, apresenta os limites elástico e plástico bem definidos, com o limite de resistência a tração aproximadamente igual a 450 MPa.

Por fim, observa-se que a força aplicada em ambos os corpos não produziria uma deformação significativa, uma vez que estaria dentro da fase de comportamento elástico dos materiais, ou seja, cessada a força, o material recuperaria suas dimensões iniciais. Com isso, entender e aplicar o diagrama de tensão *versus* deformação é de extrema importância em projetos de engenharia.

REFERÊNCIAS

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. Tradução da 4ª edição norte-americana. Boston, EUA: Editora Cengage, 2019.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14207:2009** Boxes de banheiro fabricados com vidros de segurança. Rio de Janeiro, 2009.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais – Uma Introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. p. 154-156; 159; 167; 453; 467.

KAWABATA NETO, M. **Introdução ao vidro e sua produção**. 2017. Disponível em: https://wikividros.eesc.usp.br/introducao_ao_vidro_e_sua_producao/materias-primas. Acesso em: 27 maio 2020.

LATÃO. **METALOPÉDIA**. Disponível em: <https://sites.google.com/a/catim.pt/metalopedia/metalurgia/ligas-metalicas/latao>. Acesso em: 20 set. 2020.

UGURAL, ANSEL C. **Mecânica dos materiais**. Tradução e revisão técnica Fernando Ribeiro da Silva. Rio de Janeiro: LTC, 2009. p. 26; 78-80.

VIDRO. **MICHAELIS**. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/vidro>. Acesso em: 29 ago. 2020.

Data do recebimento: 22 de novembro de 2020

Data da avaliação: 9 de dezembro de 2020

Data de aceite: 12 de dezembro de 2020

1 Acadêmica do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: priscilla.lacerda@souunit.com.br

2 Acadêmica do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: alexandra.pitombeira@souunit.com.br

3 Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: pedro.henrique01@souunit.com.br

4 Professora dos Cursos de Engenharia do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: vanessa.limeira@gmail.com