Propriedades mecânicas

PARTE 1

1 Introdução

As leis da natureza estão escritas em uma linguagem matemática. Essa linguagem matemática é muito utilizada na física e é essencial para a compreensão de fenômenos biomecânicos associados à prática odontológica. A matemática e a física fazem uso frequente de gráficos, pois, com esse recurso, conseguem compactar muitas informações em uma única imagem. Um dos objetivos da aula é fazer com que os estudantes consigam extrair as informações contidas nas curvas tensão x deformação dos materiais.

2 Conceitos básicos.

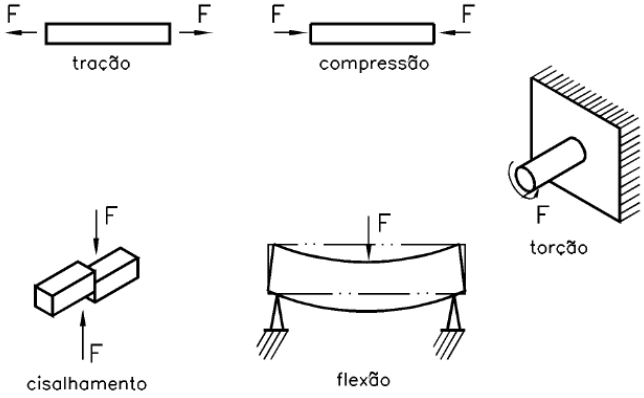
Os conceitos apresentados nessa aula são associados à disciplina de Mecânica dos Sólidos. O comportamento mecânico dos líquidos (inclusive os líquidos viscosos, densos) apresenta algumas particularidades que não serão abordadas nesse momento.

2.1 Força ou carga (Kgf ou N):

Grandeza física (vetorial; tem módulo, direção e sentido) que tende a tirar um corpo do seu estado de inércia ou tende a mudar sua forma ou dimensões. Pode ser medida por instrumentos como o dinamômetro ou célula de carga.

2.1.1 Tipos de força:

- Tração (aumenta a dimensão do corpo na linha de ação da carga).
- Compressão (diminui a dimensão do corpo na linha de ação da carga).
- Cisalhamento (força cortante: duas paralelas de sentido contrário em planos contíguos).
- Torção (provoca deslocamento angular relativo de planos vizinhos, transversais a um eixo).
- Flexão (tende a curvar um eixo longitudinal perpendicular à força).



Usar a força como referência de resistência de um material é tão impreciso como usar o peso para saber se a pessoa é magra ou gorda. Portanto, a força aplicada para romper um objeto

não deve ser utilizada como indicador da resistência de um material, porque é um parâmetro muito dependente das dimensões do objeto. Assim, o estudo da mecânica dos sólidos é fundamentado em outros parâmetros, em especial, nas tensões e deformações que surgem no material ao ser submetido a um determinado esforço mecânico.

2.2 Tensão

O conceito de tensão é mais difícil de ser expresso, de forma precisa, sem cair no erro de aprofundar na teoria da mecânica mais do que o necessário para um estudante de Odontologia. Felizmente, para os objetivos deste capítulo, o conceito de tensão pode ser encarado como uma extensão do conceito de pressão, com unidade de N/mm^2 ou MPa.

$$Pressão\ (Pa) = \frac{Força\ (N)}{Área\ (m^2)} \qquad Tensão\ (Pa) = \frac{Força\ (N)}{Área\ (m^2)}$$

Assim, para determinar a tensão em um corpo, é importante definir inicialmente a área de interesse. Em seguida, é possível calcular as tensões, segundo esta área de interesse.

2.2.1 Tipos de tensão

As tensões podem ser classificadas em cisalhantes e normais, sendo que esta última pode ser ainda subdividida em tensão de tração e de compressão:

- **Tensão de tração**: tensão normal à área de interesse, que tende a afastar os átomos.
- **Tensão de compressão**: tensão normal à área de interesse, que tende a aproximar os átomos.
- **Tensão de cisalhamento:** tensão paralela à área de interesse, que tende a gerar deslizamentos entre planos atômicos.

A tensão é uma grandeza mais coerente para caracterizar a resistência à ruptura de um material do que a força (adequada para expressar a resistência de um objeto).

2.2.2 Concentração de tensões

A tensão pode estar concentrada em regiões específicas, que ficam mais vulneráveis à fratura. A presença de defeitos (como poros, bolhas, ranhuras) ou descontinuidades geométricas (furos, entalhes, locais onde varia a seção transversal) funcionam como concentradores de tensão. Como o próprio nome sugere, a presença de concentradores de tensões promove um aumento localizado na tensão.

Assim, a tensão máxima que o material suporta é atingida primeiramente em locais de concentração e com um carregamento menor do que em uma condição em a tensão está uniformemente distribuída. A concentração de tensões é mais crítica em materiais frágeis, que são mais vulneráveis à propagação da trinca (materiais dúcteis são capazes de se deformar plasticamente em locais próximos à trinca, dificultando sua propagação).

2.3 Deformação (ε).

A deformação está associada às alterações dimensionais de um sólido e corresponde à razão da variação do comprimento gerada pelo carregamento em relação ao comprimento inicial do corpo.

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

($\Delta L = variação\ dimensional = comprimento\ final - comprimento\ inicial;\ L_0 = comprimento\ inicial$)

2.3.1 Tipos de deformação.

Assim como as tensões, as deformações podem ser classificadas em deformação de tração, compressão e cisalhamento.

Existe uma outra chave de classificação bem importante para essa aula, que divide as deformações em dois tipos:

- Elástica: alteração dimensional que desaparece com a retirada da força.
- Plástica ou permanente: alteração dimensional que não desaparece depois de removida a carga. O mais habitual é que, concomitantemente com as deformações plásticas, ocorra também um pouco de deformação elástica, motivo pelo qual se fala em "regime elasto-plástico".

Líquidos viscosos também sofrem deformações permanentes, mas essas deformações permanentes não devem ser chamadas de plásticas (que é o termo utilizado para deformações permanentes em sólidos). Em líquidos viscosos utilizamos o termo deformações viscosas, que são diferentes das deformações plásticas dos sólidos em vários aspectos, inclusive por ser dependente da taxa de aplicação da carga.

2.3.2 Indução e libertação de tensões:

Em algumas situações, as deformações elásticas podem ficar "aprisionadas" no material, mesmo após a remoção da carga. Vocês vão ver no próximo semestre que esse fenômeno ocorre ao deformar godivas insuficientemente aquecidas, ou aquecidas de modo não homogêneo. A libertação de tensões induzidas por erros técnicos durante o ato da moldagem é, por exemplo, uma causa comum de aparecimento de distorções em moldes e, por isso, deve ser evitada.

Para baixar o pdf com os slides da parte 1, clique aqui.

PARTE 2

3 Propriedades associadas à curva tensão x deformação.

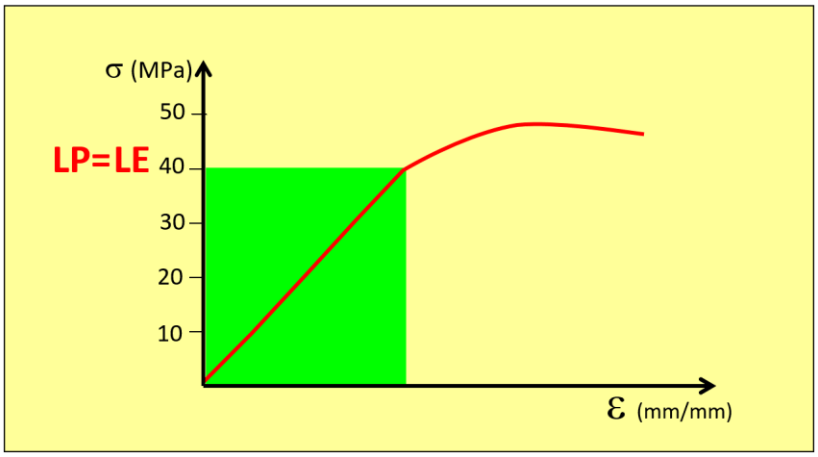
Na curva tensão-deformação de um sólido padrão como, por exemplo, muitos metais, é possível identificar dois comportamentos distintos: um correspondente à porção linear da curva e outro correspondente a uma região que se afasta da linearidade.

Na região linear da curva as deformações costumam ser exclusivamente elásticas (regime elástico) e a linha reta expressa a proporcionalidade entre tensão e deformação. Nas porções não lineares da curva o regime de deformação é chamado de plástico, ou sendo mais precisa, elastoplástico. Nesse segundo regime coexistem os dois tipos de deformações (elásticas e plásticas) e a relação entre tensão e deformação é não-linear.

De modo geral, os materiais dentários, especialmente os restauradores, devem trabalhar apenas no regime elástico, pois uma restauração não deve apresentar deformação permanente durante o uso. Em alguns casos, como em próteses fixas extensas, mesmo as deformações elásticas devem ser minimizadas, o que pode tornar necessário utilizar materiais mais rígidos ou formatos estruturais que dificultem a deformação. Em outros casos, como em materiais restauradores de lesões cervicais não cariosas, é interessante que o material seja pouco rígido, para o material restaurador se deformar mais facilmente, acompanhar a deformação do dente quando carregado e evitar assim o descolamento da interface dente-restauração já que, nestes casos, o "elo mais fraco da corrente", que precisa ser protegido, seria a união adesiva dente – restauração.

3.1 Limite de proporcionalidade (LP):

Corresponde à tensão máxima em que é mantida a proporcionalidade entre tensão e deformação. Ou seja, corresponde à parte reta da curva tensão –deformação.

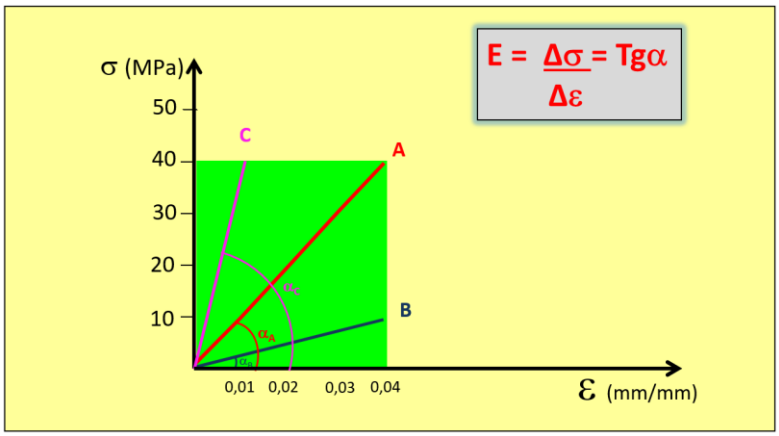


3.2 Limite de elasticidade (LE):

Corresponde à tensão máxima em que a deformação é exclusivamente elástica; ou seja, o espécime volta a apresentar a dimensão original quando a carga é removida. Para efeitos práticos, nessa disciplina vamos considerar que o valor de LE é coincidente ao LP. Mas saibam que às vezes o LE pode ser um pouco maior que o LP.

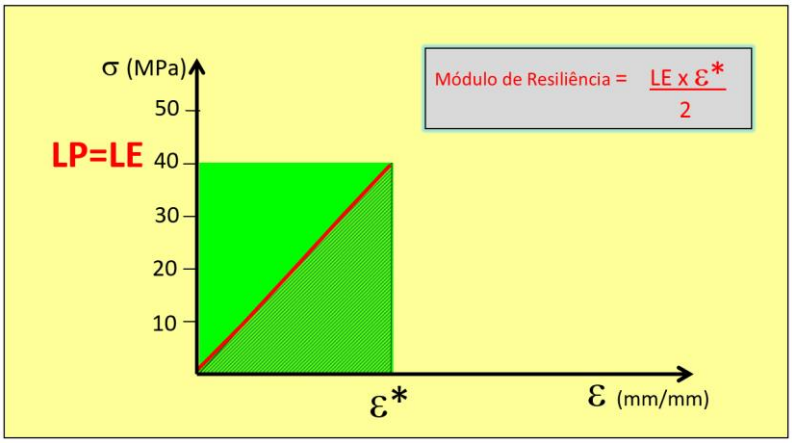
3.3 Módulo de elasticidade:

Expressa a rigidez do material. É uma medida restrita ao regime elástico, calculada pela razão entre a variação de tensão e a correspondente variação de deformação (tangente do ângulo alfa formado entre a porção linear da curva e o eixo da deformação). $E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$= tg(α).



3.4 Módulo de resiliência:

Máxima energia de deformação que um material pode absorver por unidade de volume de material sem ocorrer deformação plástica (inclui todo o regime elástico, e apenas ele). É proporcional à área do gráfico na porção elástica da curva: (LE x deformação)/2.



3.5 Resistência à fratura:

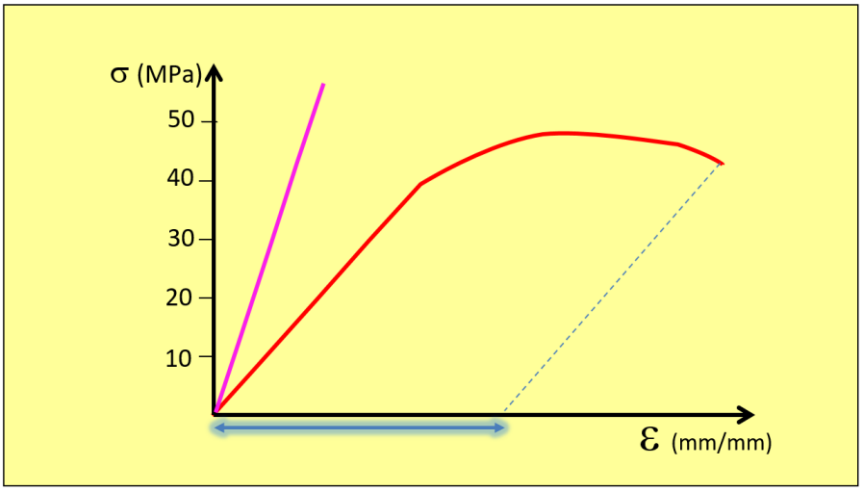
Resistência à fratura - Corresponde à tensão que o material apresenta no momento da fratura, ou seja, no ponto final da curva tensão-deformação. Quando a curva tensão-deformação é traçada em um teste de tração, a resistência à fratura é também denominada de resistência à tração.

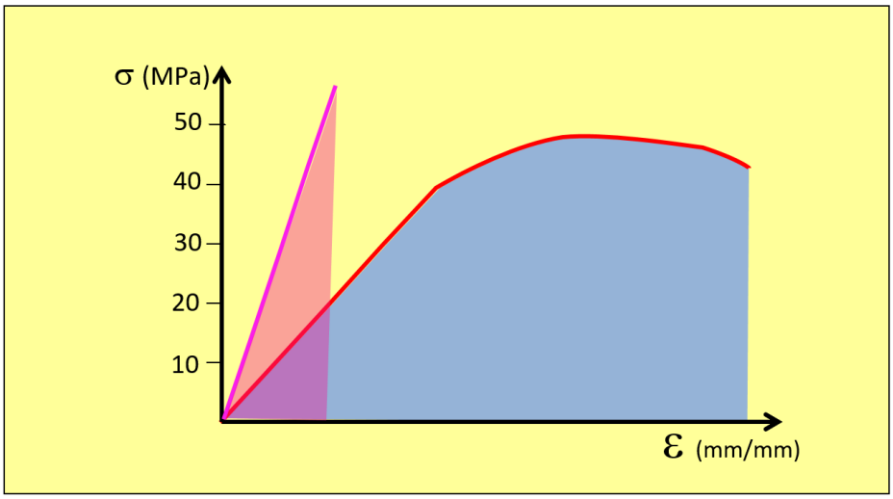
3.6 Módulo de tenacidade:

Corresponde ao total de energia absorvida por unidade de volume do material até o ponto de fratura (portanto, sempre será maior ou igual ao módulo de resiliência). É proporcional à área total do gráfico sob a curva, englobando o regime elástico e elastoplástico. Em um material que não apresenta regime plástico, a tenacidade será igual à resiliência.

3.7 Ductilidade e Fragilidade:

Ductibilidade corresponde à capacidade do material em se deformar plasticamente sob tensão de tração. Portanto, com materiais dúcteis é possível formar fios. Fragilidade: Corresponde à incapacidade do material em se deformar plasticamente. Quanto maior é a deformação plástica, mais dúctil é o material. Alguns materiais apresentam apenas o regime elástico, fraturando com nenhuma deformação plástica, ou seja, fraturam quando atingem o LE (ou LP). Nestes casos, dizemos que o material é frágil. Na prática, reconhecemos que um material é frágil quando não há aquela estricção mostrada no vídeo, assim ao juntar os fragmentos, é possível visualizar o formato original.





4 Propriedades fora da curva tensão x deformação

4.1 Resistência à compressão:

Corresponde à tensão que o material apresenta no momento da fratura em um teste de compressão. Análoga à resistência à tração, mas obtida em um teste de compressão.

4.2 Maleabilidade:

Corresponde à capacidade do material de deformar plasticamente sob tensão de compressão, para formar lâminas. Análoga à ductibilidade, mas obtida em um teste de compressão.

4.3 Tenacidade à fratura (MPa$\sqrt{m}$):

Indica a capacidade de um material resistir à propagação de uma trinca. Valores altos indicam que o material tem a capacidade de impedir a propagação de uma trinca pré-existente, de determinado tamanho. Assim, a unidade é expressa em MPa$\sqrt{m}$, ou seja, tensão multiplicada pelo comprimento da trinca inicial.

Vale ressaltar que tenacidade à fratura é diferente de tenacidade (ou módulo de tenacidade) e é obtida em um teste mecânico específico.

4.4 Resistência à fadiga:

Quando o material é submetido a carregamentos cíclicos, a sua fratura tende a ocorrer com níveis de tensões inferiores aos valores de resistência à fratura estática deste material. Nestes casos, dizemos que o material fraturou por fadiga. A resistência a fadiga é a capacidade de um material suportar carregamentos cíclicos com um mínimo de redução na resistência à fratura e por um maior número de ciclos.

4.5 Dureza:

Existem conceitos diferentes de dureza, dependendo da área de interesse. Para uso em odontologia considera-se que a dureza corresponde a resistência à deformação permanente por penetração de uma ponta de formato padronizado numa superfície polida

5 Considerações finais

Utilizamos no dia-a-dia muitos termos mecânicos, mas atribuindo um significado diferente. Neste capítulo é muito necessário realizar redefinir alguns termos, para a correta compreensão de algumas propriedades mecânicas dos materiais que serão exploradas no item seguinte:

5.1 Frágil ≠ fraco –

Um material pode ter alta resistência mecânica (suportar altas tensões antes de fraturar) e ainda assim ser frágil. Como exemplo, o material A da Figura 4-7 é o mais frágil e o mais resistente.

5.2 Rígido ≠ duro

A rigidez corresponde à relação entre tensão e deformação no regime elástico. O oposto de “rígido” = “flexível”). Já a dureza corresponde a resistência à deformação permanente produzida por penetração ou por riscos (oposto de “duro” = “mole”). Quando pegamos um bastão fino de um determinado material e ao tentar dobrá-lo não conseguimos nenhuma deformação visível, podemos concluir que o material é rígido, ou seja, apresenta alto módulo de elasticidade. Neste caso não podemos inferir nada sobre a dureza do material.

5.3 Tenacidade à fratura ≠ módulo de tenacidade

Os nomes são bem parecidos e ambas as propriedades têm relação com a energia absorvida pelo material, mas são grandezas diferentes (com unidades distintas), obtidas por métodos diferentes. O módulo de tenacidade pode ser calculado usando a curva tensão deformação, mas a tenacidade à fratura não. A tenacidade à fratura é uma propriedade muito utilizada para avaliar o comportamento mecânico de cerâmicas odontológicas.

Para baixar o pdf com os slides da parte 2, clique aqui.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Referências complementares

- Anusavice, K. Phillips Materiais Dentários. Elsevier, 12a ed, 2013 (capítulo 4).
- Powers, JM; Sakaguchi, RL. Craig - Materiais Dentários Restauradores. Elsevier, 13a ed, 2012 (cap. 4).

Glossário

Palavra/termo	Explicação
Corpo de prova/espécime	Para testar as propriedades dos materiais, o material precisa ser conformado em formato padronizado, de acordo com o ensaio mecânico de interesse. Este objeto de formato padronizado é chamado de corpo-de-prova ou espécime.
Godiva	É um exemplo de material de moldagem em casos de pacientes sem dentes, para a confecção de uma prótese total (coloquialmente denominada de dentadura)
Líquido viscoso – massa plástica	A maioria dos materiais odontológicos no momento da sua manipulação comportam-se como uma massa plástica (alguns falam em estado plástico, mas na classificação de estado da matéria não existe estado plástico. Existem os estados sólido, líquido e gasoso). Esses materiais se comportam como líquidos viscosos, que não escoam facilmente de modo a adquirir o formato do recipiente no qual está contido, como os líquidos convencionais, mas quando pressionados conseguem copiar a região de interesse. A deformação sofrida pelo material ao ser pressionado para a obtenção da cópia de interesse é permanente, mas não deve ser chamada de plástica (que é o termo utilizado para deformação permanente em sólido); o termo correto é deformação viscosa (característica de líquidos viscosos)
Material de moldagem	Material utilizado para realizar uma cópia do dente ou arcada do paciente. O material de moldagem é inserido em um estado que consegue escoar e copiar a região a ser moldada e depois "endurece" de modo a manter a cópia realizada, mesmo após a sua remoção da boca.