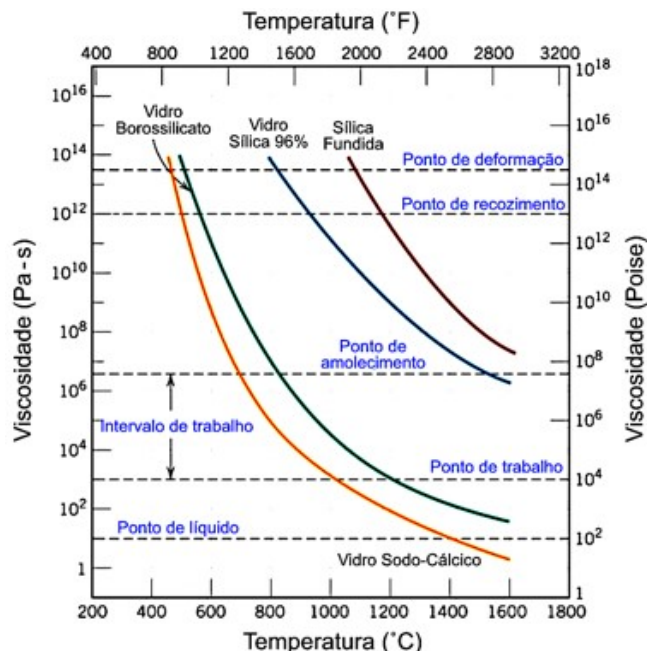


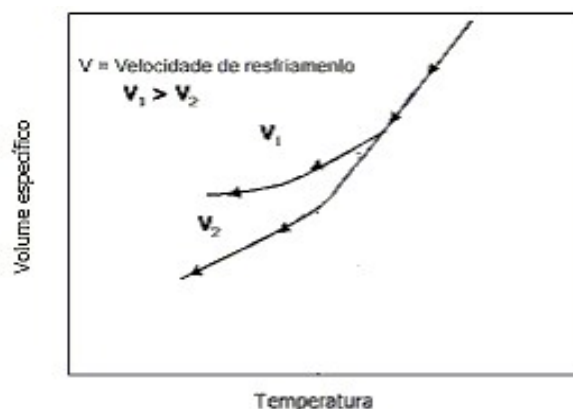
1. Num vidro, a deformação pode ocorrer por meio de um escoamento isotrópico viscoso se a temperatura for suficientemente elevada. Grupos de átomos, como, por exemplo, cadeias de silicato, podem se mover uns em relação aos outros pelo efeito da tensão aplicada, permitindo a deformação. A resistência a uma tensão aplicada é devida à atração entre esses mesmos grupos de átomos. Essa resistência pode ser relacionada à viscosidade  $\eta$  do vidro por meio da equação:

$$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{E_\eta}{RT}\right),$$

onde  $\eta_0$  depende do material,  $E_\eta$  é a energia de ativação do fluxo viscoso (relacionada com a facilidade com a qual os grupos de átomos do material se movem uns em relação aos outros),  $R = 8,314 \text{ J/mol.K}$  é a constante universal dos gases e  $T$  é a temperatura absoluta. Com base na figura acima e considerando  $\eta_0 = 8,926 \times 10^{-9} \text{ Pa.s}$  para a sílica fundida, calcule o valor da energia de ativação  $E_\eta$  para esse material no ponto de recozimento (*annealing point*).



2. Considerando a figura dada no Exercício 1, explique qual é a principal dificuldade de conformação da sílica fundida em relação ao vidro de borossilicato.
3. Com base na figura ao lado, explique como pode ser produzido o vidro temperado.



4. Por que os materiais cerâmicos cristalinos geralmente não podem ser fabricados como os materiais poliméricos e os materiais metálicos? Quais são os processos de fabricação utilizados na fabricação de materiais cerâmicos cristalinos?

5. Responda às afirmações abaixo, que se referem à distribuição de Weibull, com falso (F) ou verdadeiro (V).
- a) Nos materiais dúcteis, a dispersão estatística da resistência mecânica é pequena e em geral não obedece à uma distribuição gaussiana. ( )
  - b) Nos materiais frágeis, a dispersão estatística da resistência mecânica é grande e em geral obedece à distribuição de Weibull. ( )
  - c) O módulo de Weibull ( $m$ ) é uma medida da dispersão do parâmetro medido como, por exemplo, a resistência mecânica de um material. ( )
  - d) Um tijolo refratário de alumina (cerâmica tradicional) apresenta módulo de Weibull mais elevado que uma peça de mesmas dimensões de alumina de alta pureza e isenta de poros. ( )
  - e) A resistência mecânica medida, por exemplo, num ensaio de flexão de um material cerâmico é praticamente independente das dimensões do corpo de prova. ( )
6. Responda às afirmações abaixo, que se referem ao processamento, comportamento e aplicações de materiais cerâmicos, com falso (F) ou verdadeiro (V).
- a) As cerâmicas de avançadas de alta tecnologia utilizam matérias primas mais puras, têm processamento e microestrutura mais controlados, propriedades superiores e preços mais altos do que as cerâmicas tradicionais. ( )
  - b) A porosidade residual no produto cerâmico influi fortemente no seu desempenho mecânico, pois os poros reduzem da área efetiva de resistência e atuam como de pontos de concentração de tensão. ( )
  - c) As temperaturas de queima (sinterização) das cerâmicas tradicionais são em geral mais altas do as temperaturas de sinterização das cerâmicas avançadas. ( )
  - d) As cerâmicas tradicionais em geral apresentam menor fração volumétrica de porosidade do que as cerâmicas avançadas. ( )
  - e) A presença de fase vítrea ou amorfa é mais frequente em uma cerâmica tradicional do que em uma cerâmica avançada. ( )
  - f) A microestrutura das cerâmicas tradicionais, como tijolos, telhas, azulejos e sanitários, é constituída de fases cristalinas, fases vítreas (amorfos) e de poros. ( )
  - g) Pias e azulejos são em geral produzidos por colagem de barbotina. ( )
  - h) Xícaras e pratos são em geral produzidos por torneamento. ( )
  - i) Os óxidos  $ZrO_2$ ,  $ZnO$ ,  $SnO_2$  e  $Fe_2O_3$  são muito usados como biomateriais na fabricação de próteses e implantes. ( )
  - j) As cerâmicas  $Al_2O_3$ ,  $TiC$ ,  $TiN$  são muito usadas como ferramentas de corte. ( )
  - k) As cerâmicas  $SiC$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Si_3N_4$  são muito usadas na fabricação de turbinas, turbo-compressores e trocadores de calor que operam em altas temperaturas. ( )

Lista de Exercícios 09 / 2019	<b>Materiais Cerâmicos</b>
<i>Resolução</i>	

**Exercício 1**

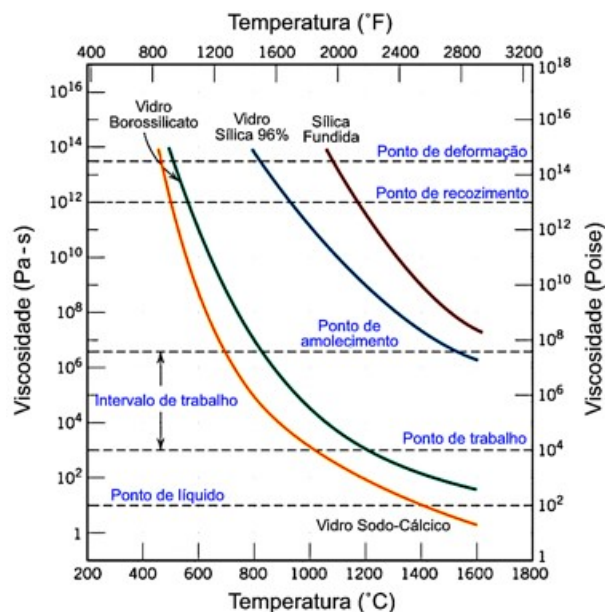
Pode-se observar no gráfico que no ponto de recozimento  $\eta$  é igual a  $10^{12}$  Pa.s e que para a sílica fundida a temperatura correspondente é aproximadamente igual a 1180 °C, ou seja, 1453 K. Como o valor de  $\eta_0$  é dado, basta entrar com os valores na equação e fazer os cálculos.

$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{E_\eta}{RT}\right)$	$10^{12} = (8,926 * 10^{-9}) \exp\left(\frac{E_\eta}{8,314 * 1435}\right)$
$\ln(1,120 * 10^{20}) = \left(\frac{E_\eta}{8,314 * 1435}\right)$	$E_\eta = 558 \text{ kJ/mol}$

**Exercício 2**

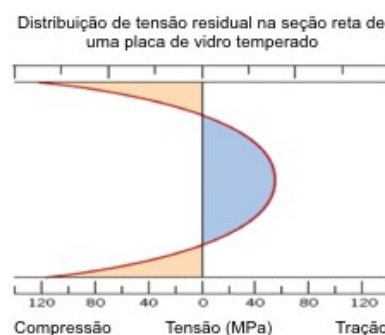
A principal dificuldade de conformação da sílica fundida com relação aos outros vidros de sílica se deve a sua alta viscosidade (baixa fluidez) mesmo em temperaturas muito elevadas (temperaturas de trabalho acima de 1800 °C). Desta forma, este material não pode ser trabalhado facilmente.

Já o vidro de borossilicato apresenta viscosidade que permite a sua conformação relativamente fácil entre as temperaturas de 800°C a 1200 °C.



**Exercício 3**

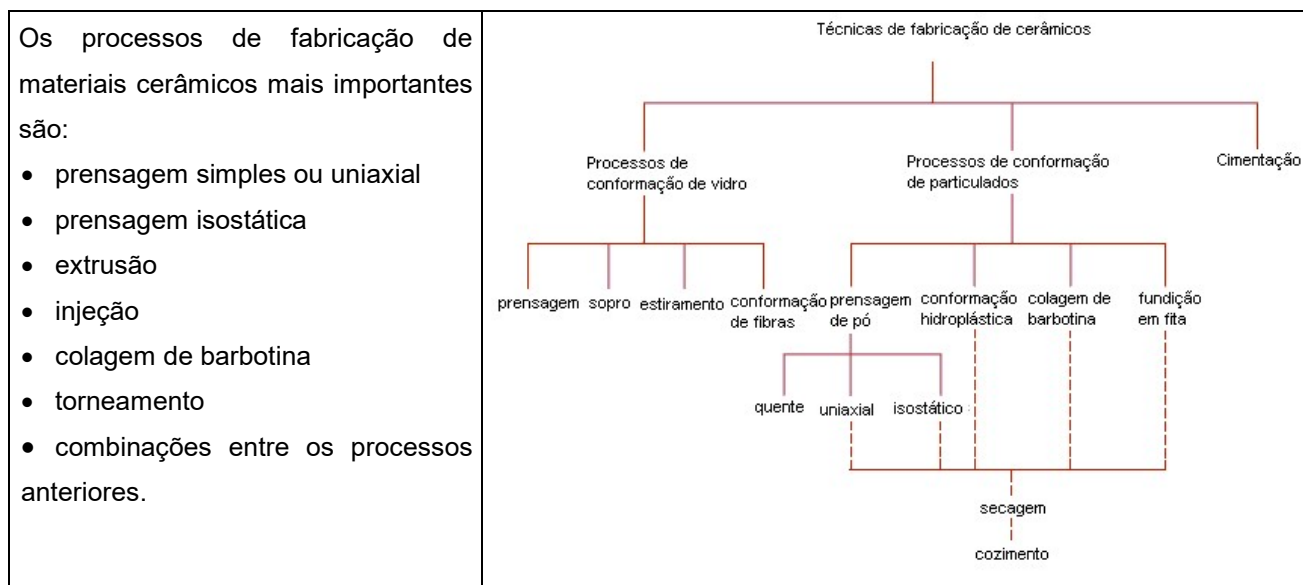
O vidro temperado pode ser obtido pelo aquecimento da peça de vidro conformada a uma temperatura abaixo do ponto de fusão, seguido de um resfriamento superficial rápido. Quanto **maior a velocidade de resfriamento, menor é a densidade final do vidro (volume específico maior)**. Existe uma diferença de velocidade de resfriamento entre a superfície e as regiões interiores do vidro, que resfriam mais lentamente, porque o vidro é um mau condutor de calor, o que leva ao aparecimento de uma **tensão residual**. A



solidificação da região externa do vidro ocorre com o interior ainda plástico, cujo resfriamento mais lento tenta contrair o material em grau maior do que aquele que lhe permite a região externa do vidro já rígida. Desta forma, a superfície do vidro fica sob compressão em relação ao seu interior e é esse fato que leva à melhora das propriedades mecânicas do vidro temperado. O comportamento mecânico do vidro é fortemente influenciado por seus defeitos superficiais. Estando a superfície sob compressão, é mais difícil ocorrer a propagação de trincas, e, desta forma, as propriedades mecânicas são melhoradas.

#### Exercício 4

Os materiais cerâmicos cristalinos apresentam alto ponto de fusão e baixa ductilidade. Desta forma, não podem ser fundidos ou amolecidos a temperaturas ordinárias e não podem ser deformados a frio. Os processos de fabricação necessitam então de uma via alternativa onde o pó das matérias primas é misturado a um fluido (como a água) e esta suspensão viscosa (que, de acordo com a viscosidade pode ser chamada de massa ou pasta, quando se trata de misturas com comportamento plástico, ou ainda de barbotina, no caso de suspensões fluídas) apresenta plasticidade ou fluidez suficiente para ser conformada.



5. Responda às afirmações abaixo, que se referem à distribuição de Weibull, com falso (F) ou verdadeiro (V).

- a) Nos materiais dúcteis, a dispersão estatística da resistência mecânica é pequena e em geral não obedece à uma distribuição gaussiana. ( F )
- b) Nos materiais frágeis, a dispersão estatística da resistência mecânica é grande e em geral obedece à distribuição de Weibull. ( V )
- c) O módulo de Weibull (m) é uma medida da dispersão do parâmetro medido como, por exemplo, a resistência mecânica, em um material. ( V )
- d) Um tijolo refratário de alumina (cerâmica tradicional) apresenta módulo de Weibull mais elevado que uma peça de mesmas dimensões de alumina de alta pureza e isenta de poros. ( F )
- e) A resistência mecânica medida, por exemplo, num ensaio de flexão de um material cerâmico é praticamente independente das dimensões do corpo de prova. ( F )

6. Responda às afirmações abaixo, que se referem ao processamento, comportamento e aplicações de materiais cerâmicos, com falso (F) ou verdadeiro (V).
- a) As cerâmicas de avançadas (de alta tecnologia) utilizam matérias primas mais puras, têm processamento e microestrutura mais controlados, propriedades superiores e preços mais altos do que as cerâmicas tradicionais. ( **V** )
  - b) A porosidade residual no produto cerâmico influi fortemente no seu desempenho mecânico, pois os poros reduzem da área efetiva de resistência e atuam como de pontos de concentração de tensão. ( **V** )
  - c) As temperaturas de queima (sinterização) das cerâmicas tradicionais são em geral mais altas do as temperaturas de sinterização das cerâmicas avançadas. ( **F** )
  - d) As cerâmicas tradicionais em geral apresentam menor fração volumétrica de porosidade do que as cerâmicas avançadas. ( **F** )
  - e) A presença de fase vítrea é mais frequente em uma cerâmica tradicional do que em uma cerâmica avançada. ( **V** )
  - f) A microestrutura das cerâmicas tradicionais, tais como tijolos, telhas, azulejos e sanitários, é constituídas de fases cristalinas, fases vítreas (amorfas) e de poros. ( **V** )
  - g) Pias e azulejos são em geral produzidos por colagem de barbotina. ( **F** )
  - h) Xícaras e pratos são em geral produzidos por torneamento. ( **V** )
  - i) Os óxidos  $ZrO_2$ ,  $ZnO$ ,  $SnO_2$  e  $Fe_2O_3$  são muito usados como biomateriais na fabricação de próteses e implantes. ( **F** )
  - j) As cerâmicas  $Al_2O_3$ , TiC, TiN são muito usadas como ferramentas de corte. ( **V** )
  - k) As cerâmicas SiC,  $Al_2O_3$ ,  $Si_3N_4$  são muito usadas na fabricação de turbinas, turbo-compressores e trocadores de calor que operam em altas temperaturas. ( **V** )