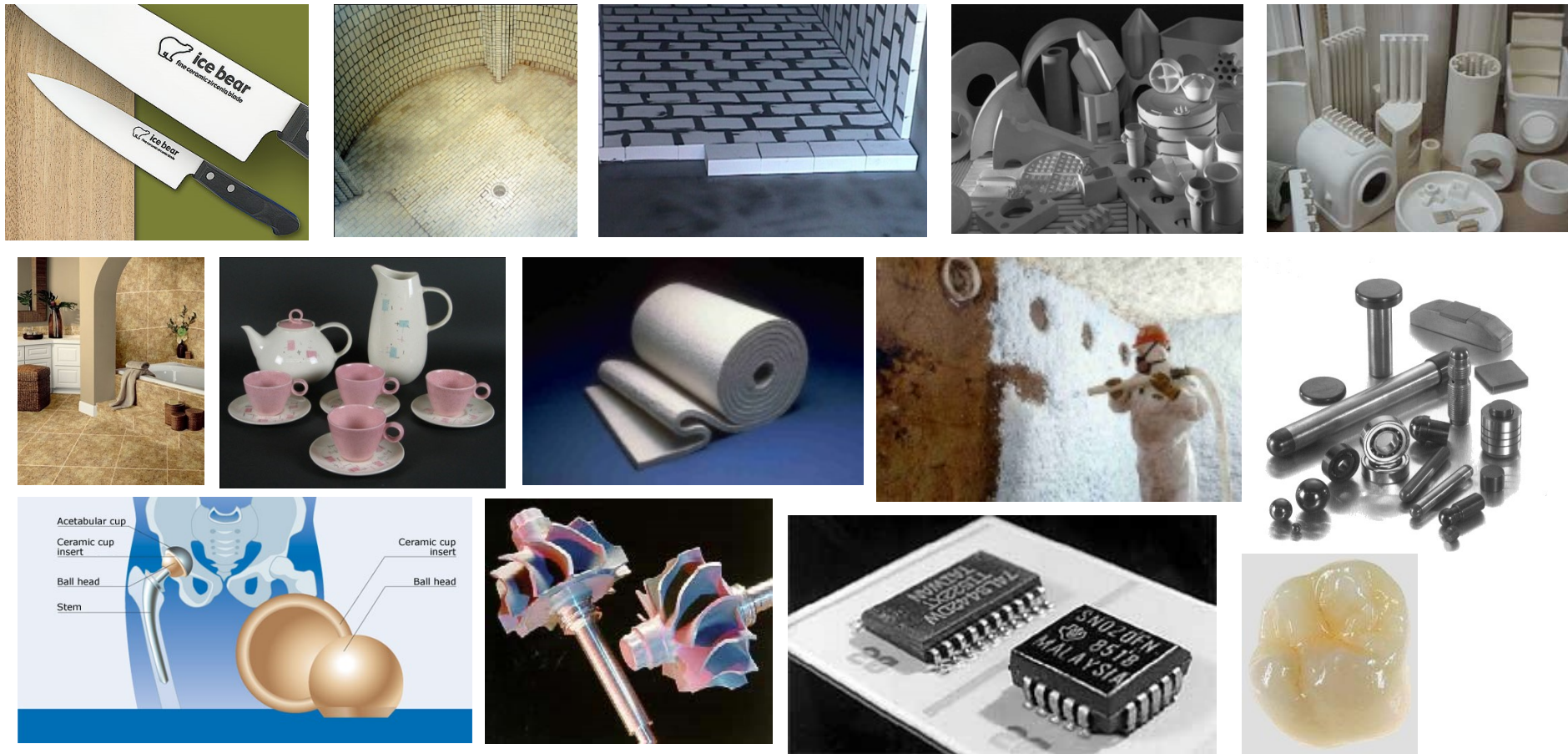


Materiais Cerâmicos

Processamento – Formação de Vidros

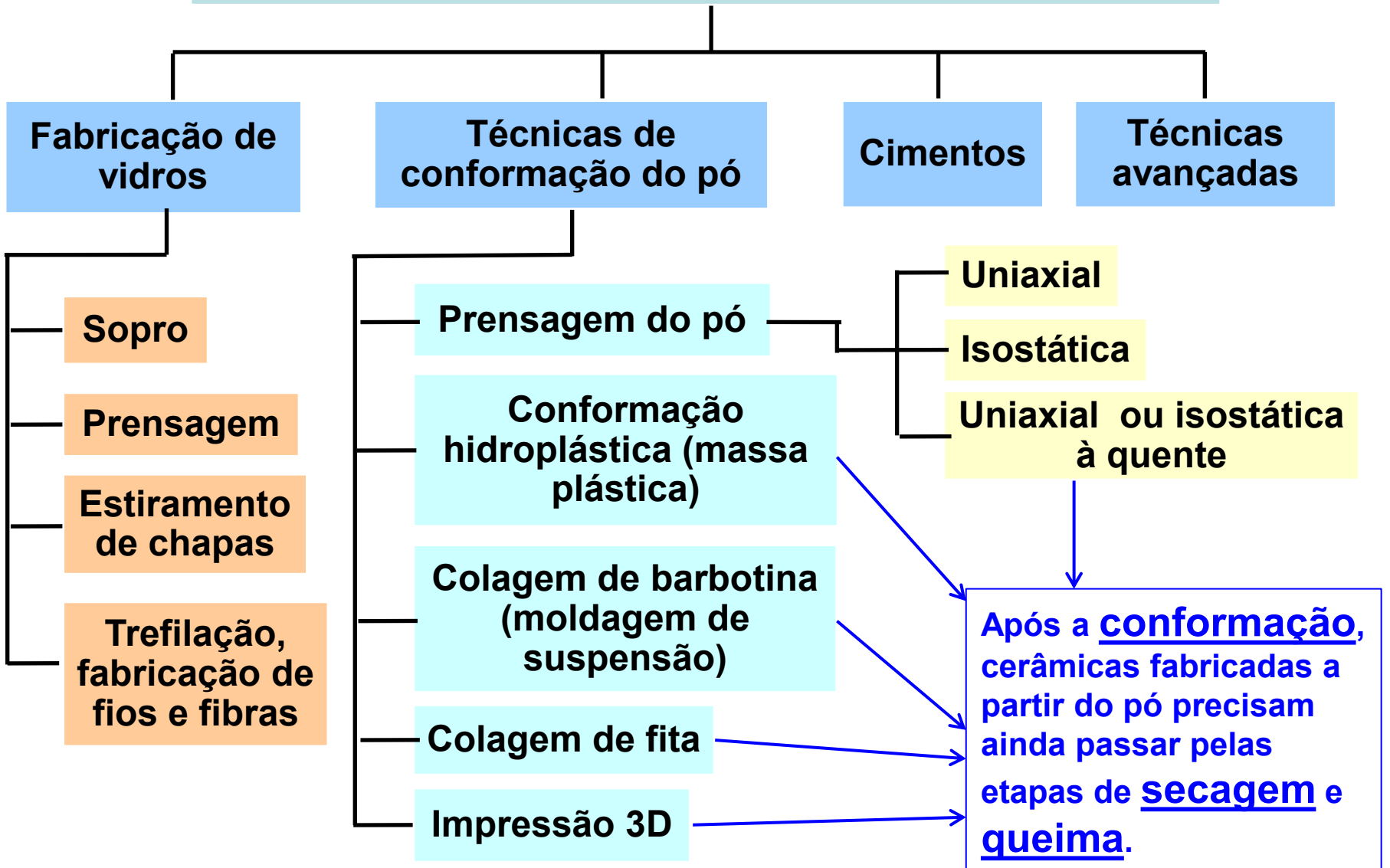


SMM0194 - Engenharia e Ciência dos Materiais 2
Prof. Eduardo Bellini Ferreira

Cerâmicas podem ser classificadas com base nos processos de fabricação e produtos gerados (abaixo um exemplo muito resumido)

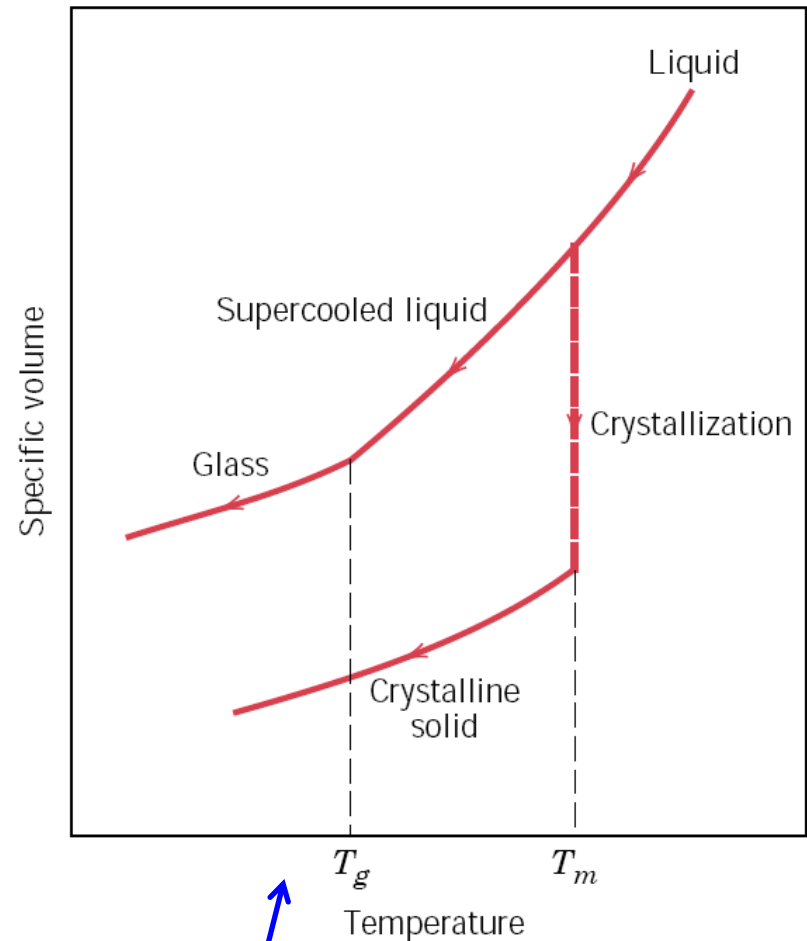
- **Fabricação de vidros**
 - Vidros & vitrocerâmicas para diferentes aplicações
- **Fabricação pela conformação do pó**
 - Produtos estruturais, louças, porcelanas, isolantes elétricos, etc.
 - Refratários
 - Abrasivos
- **Cimentos** (cimentos & concretos)
- **Processos avançados** (semicondutores, etc.)

Técnicas de conformação cerâmica (exemplos principais)



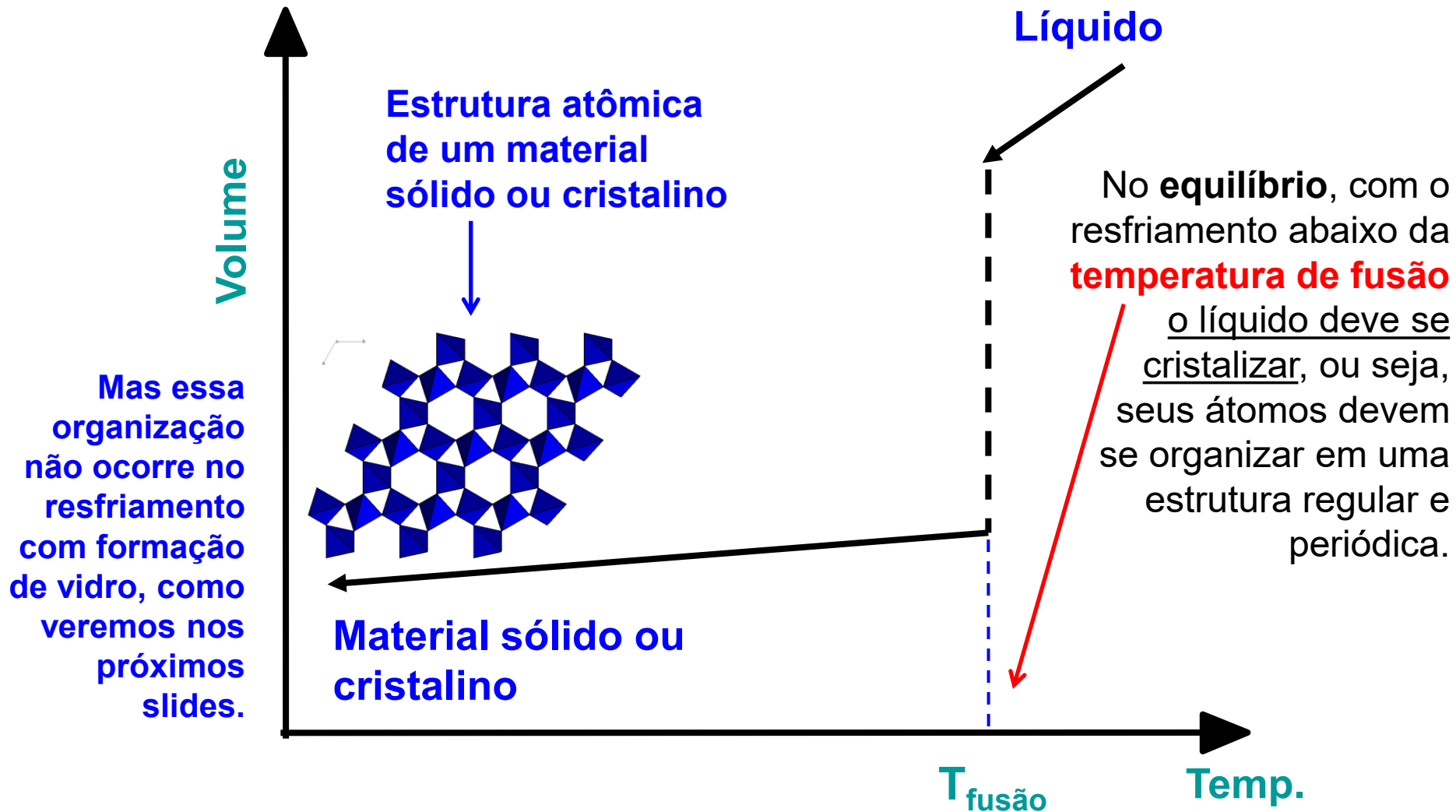
Para entender os processos de fabricação de vidros, é necessário entender a natureza da formação de vidros

- Vidros são fabricados pela **fusão total da matéria-prima e posterior resfriamento**.
- Mas os **vidros não solidificam** no mesmo sentido que os materiais cristalinos.
- A formação de vidros pode ser entendida com base no gráfico ao lado, do **volume específico em função da temperatura**.



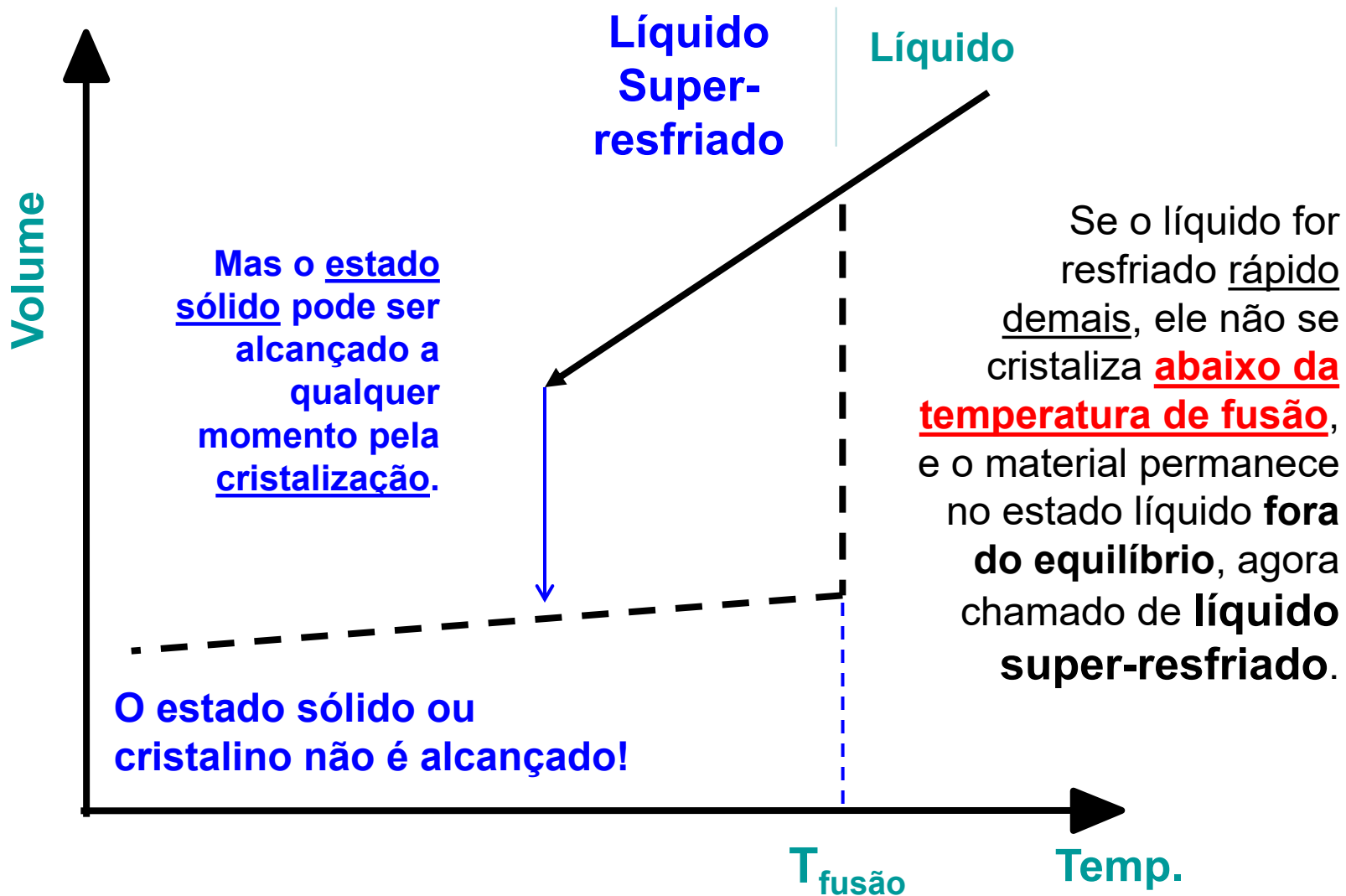
Nos próximos slides vamos percorrer passo a passo os diferentes caminhos de resfriamento com base nesse gráfico.

Resfriamento lento de um líquido

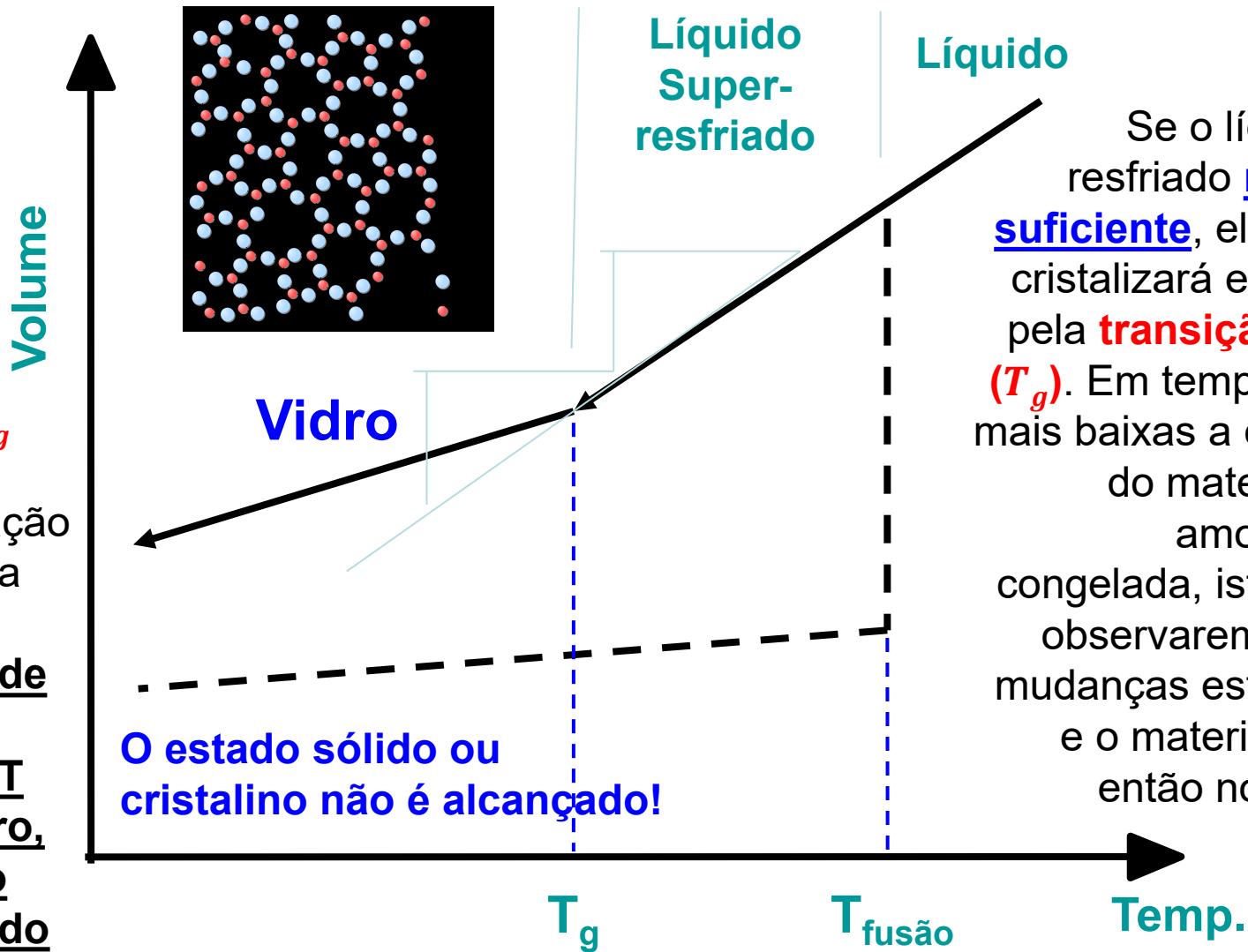


P.S. Sólido e cristalino são semelhantes, o estado sólido só é alcançado pela cristalização.

Resfriamento rápido de um líquido



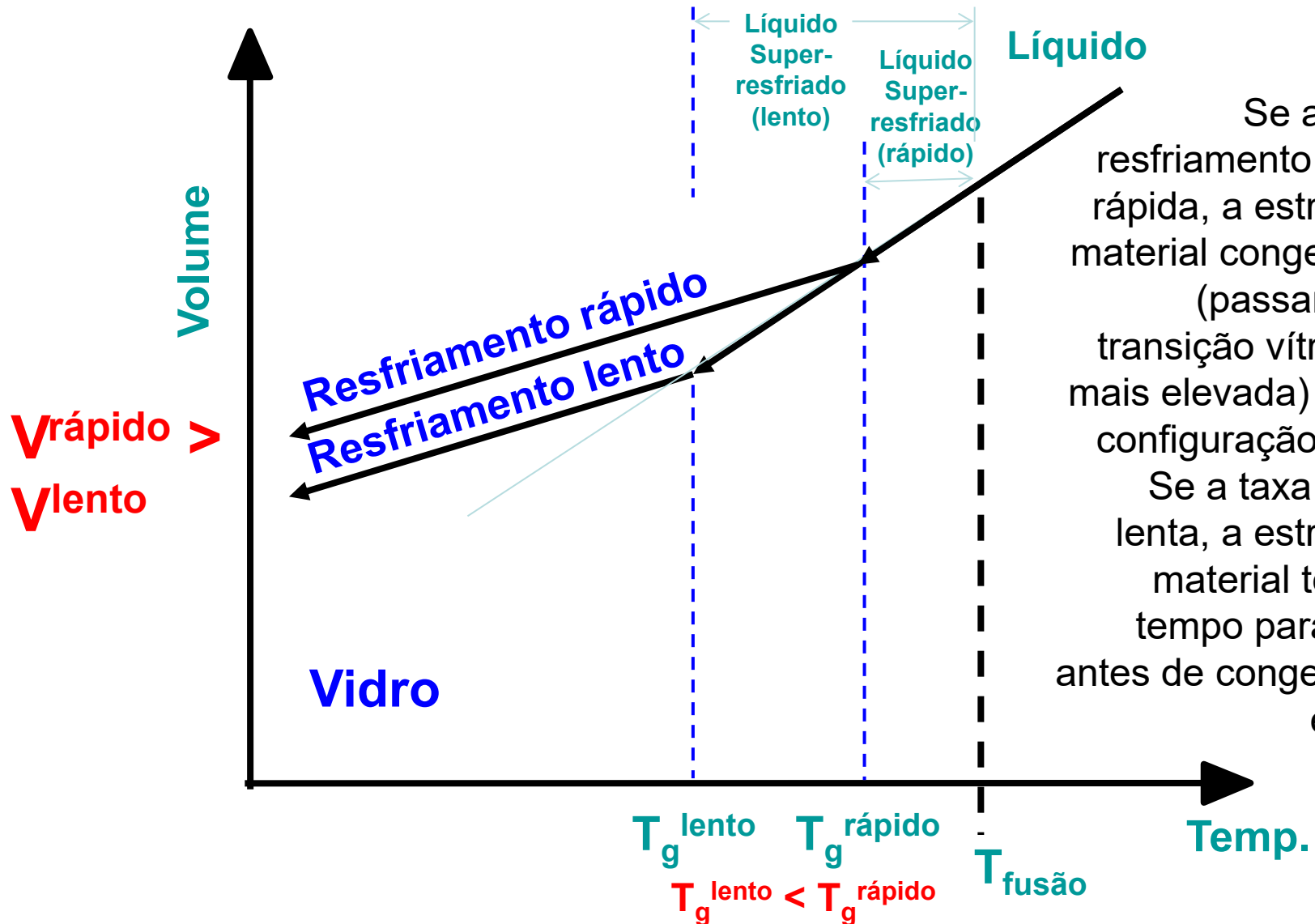
Resfriamento rápido de um líquido



Se o líquido for resfriado rápido o suficiente, ele não se cristalizará e passará pela **transição vítrea (T_g)**. Em temperaturas mais baixas a estrutura do material será amorfa, mas congelada, isto é, não observaremos mais mudanças estruturais, e o material estará então no **estado vítreo**.

Abaixo de T_g observamos apenas retração térmica, dada por um coeficiente de expansão térmica, CET ou α do vidro, diferente do CET do sólido cristalino.

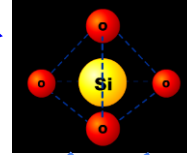
Efeito do resfriamento na formação de vidros: *lento vs. rápido*



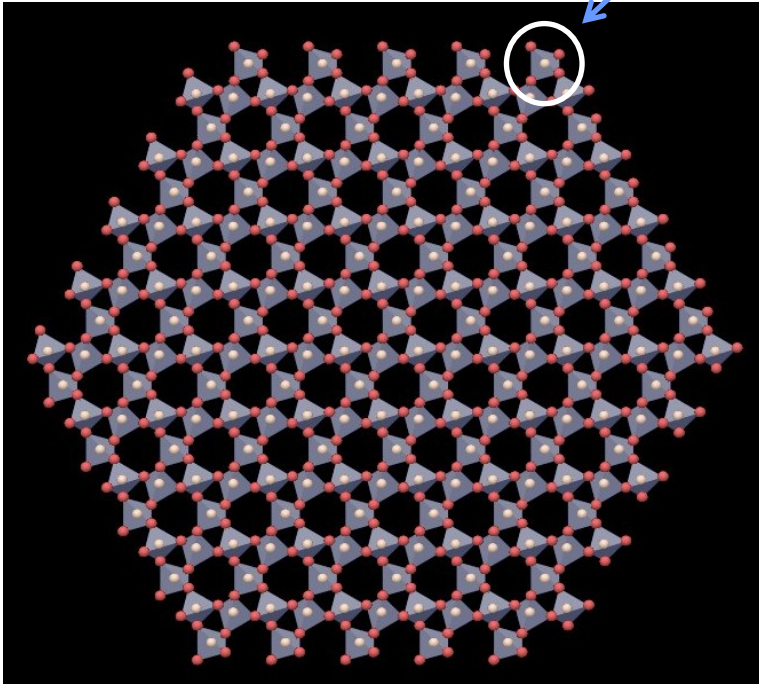
Se a taxa de resfriamento for mais rápida, a estrutura do material congela antes (passando pela transição vítrea em T_g mais elevada) em uma configuração amorfa. Se a taxa for mais lenta, a estrutura do material terá mais tempo para relaxar antes de congelar, e T_g é menor.

Entendendo a diferença entre as estruturas atômicas de um material no estado cristalino e no vítreo – Ex. SiO_2

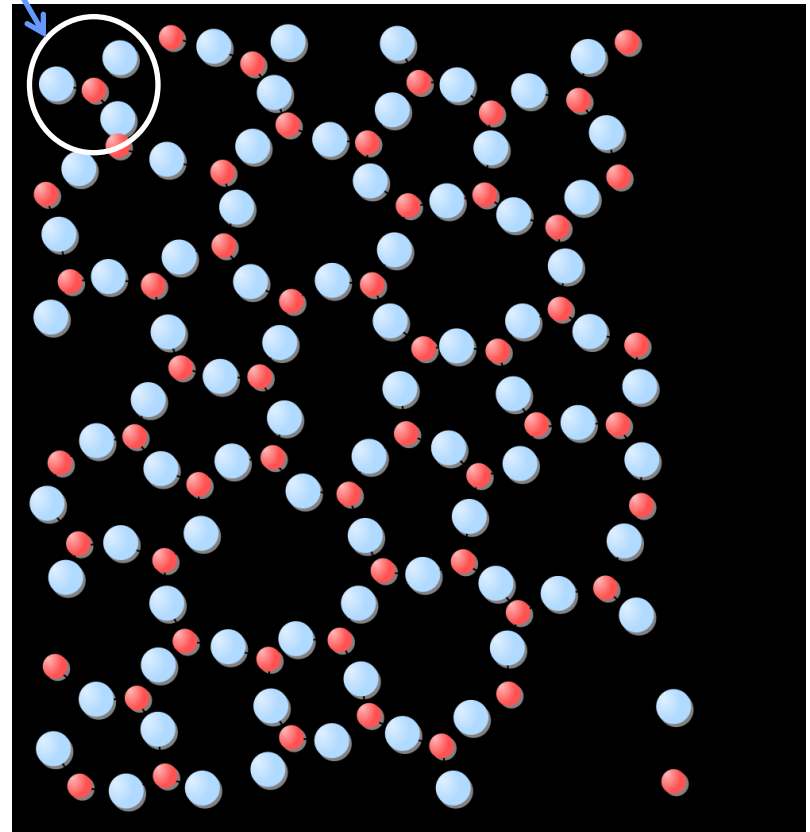
Observe que os **tetraedros de SiO_2** se repetem em ambas estruturas, mas a da esquerda é **regular e periódica**, e a da direita é desorganizada: **amorfa**.



A estrutura **amorfa** é típica de líquidos, mas no **estado vítreo** ela está **congelada**, ou seja, não se movimenta.



Quartzo – **estrutura cristalina: regular e periódica**



Representação *bidimensional* da sílica **vítrea: amorfa**.

O estado vítreo

- É um **estado**, e não um material!
- **Qualquer material pode ser obtido no estado vítreo**, se for **resfriado rápido o suficiente para não cristalizar abaixo da temperatura de fusão e passa pela transição vítrea no resfriamento**.
- Além dos vidros inorgânicos não metálicos convencionais, existem muito **vidros orgânicos** (bala soft, poliestireno – o plástico da caneta BIC, etc.) e mesmo **metálicos** (https://www.google.com/search?q=metallic+glass&client=firefox-b-d&source=lnms&tbm=vid&sa=X&ved=2ahUKEwjA18qJ_MnoAhWxH7kGHSYABMMQ_AUoBHoECBEQBg&biw=992&bih=470).

Alguns tipos de vidros inorgânicos não metálicos

Tabela 13.1 Composições e Características de Alguns Vidros Comerciais Comuns

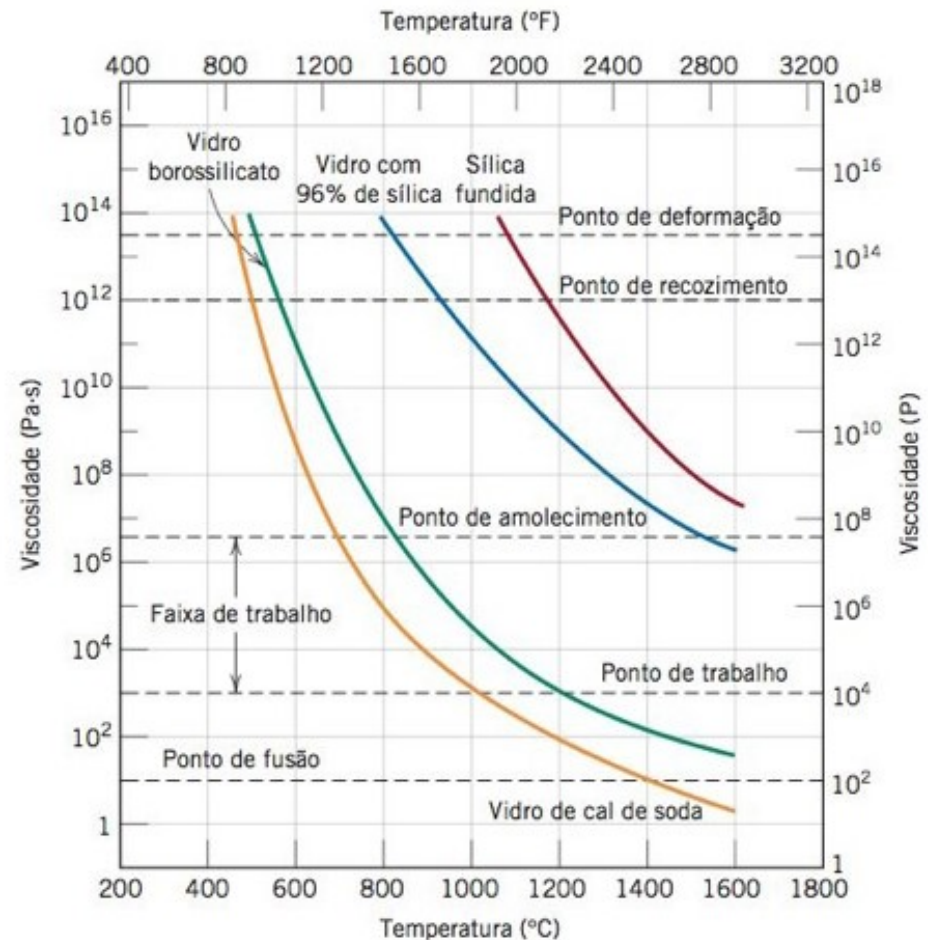
| Tipo de Vidro | Composição (%p) | | | | | | Características e Aplicações |
|---------------------------|------------------|-------------------|-----|--------------------------------|-------------------------------|--|---|
| | SiO ₂ | Na ₂ O | CaO | Al ₂ O ₃ | B ₂ O ₃ | Outros | |
| Sílica fundida | >99,5 | | | | | | Elevada temperatura de fusão, coeficiente de expansão muito pequeno (resistente a choques térmicos) |
| 96% de Sílica (Vycor) | 96 | | | | 4 | | Resistente a choques térmicos e a ataques químicos – vidrarias de laboratório |
| Borossilicato (Pyrex) | 81 | 3,5 | | 2,5 | 13 | | Resistente a choques térmicos e a ataques químicos – usado em vidros para fornos |
| Recipientes (cal de soda) | 74 | 16 | 5 | 1 | | 4 MgO | Baixa temperatura de fusão, facilmente trabalhável e também durável |
| Fibra de vidro | 55 | | 16 | 15 | 10 | 4 MgO | Facilmente estirada na forma de fibras – compósitos de fibras de vidro e resina |
| Sílex óptico | 54 | 1 | | | | 37 PbO, 8 K ₂ O | Alta massa específica e alto índice de refração – lentes ópticas |
| Vidrocerâmica (Pyroceram) | 43,5 | 14 | | 30 | 5,5 | 6,5 TiO ₂ , 0,5 As ₂ O ₃ | Facilmente fabricada; resistente; resiste a choques térmicos – vidros para fornos |

Processo tradicional de fabricação de vidros

1. Fusão
2. Conformação do vidro
 - Prensagem
 - Sopro (peças ocas, garrafas)
 - Estiramento de placas
 - Trefilação de fios e fabricação de fibras
3. Recozimento (eliminação de tensões residuais)
4. Tratamentos térmicos especiais
 - Têmpera e fabricação de vidros temperados
 - Cristalização e fabricação de vitrocerâmicas

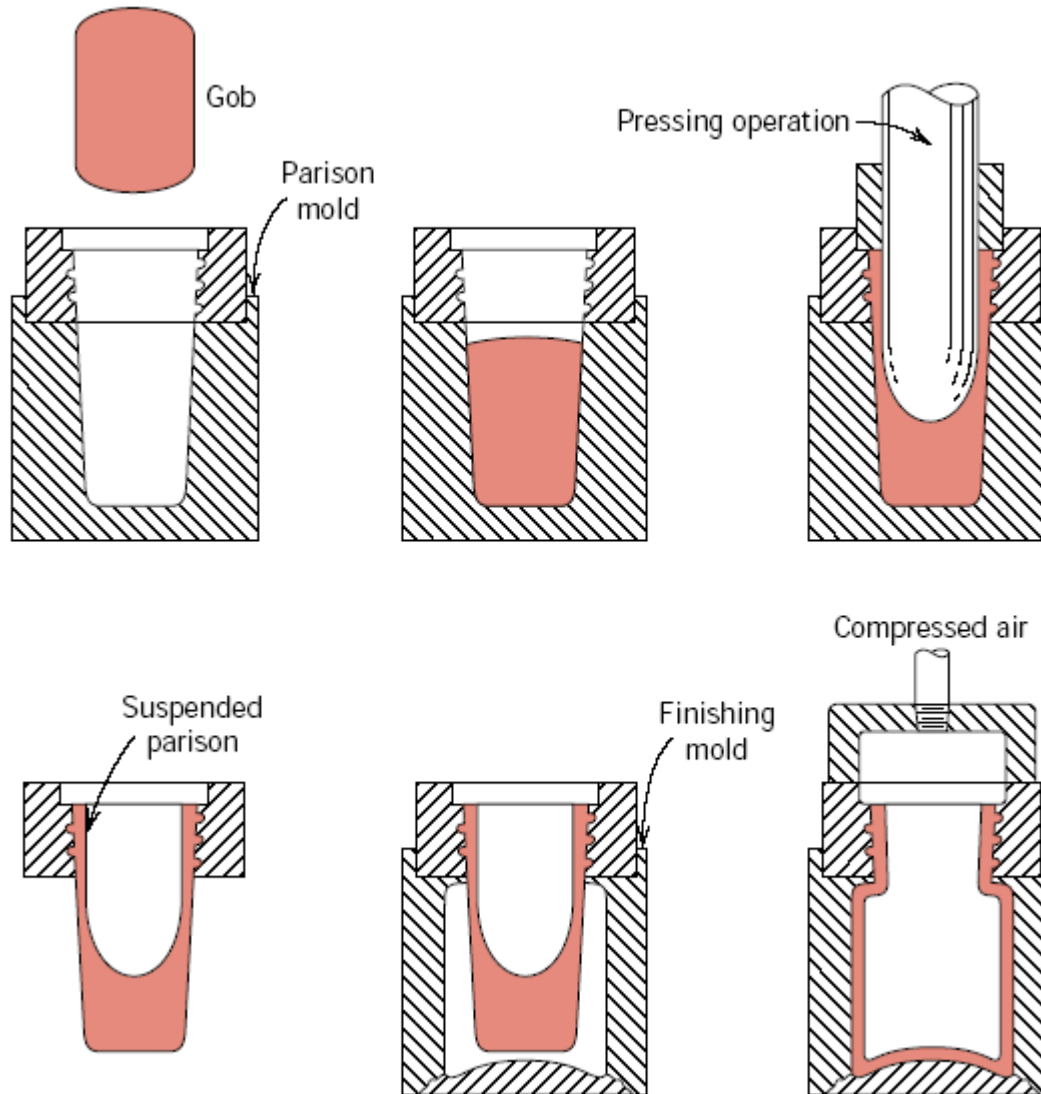
Processo de fabricação de vidros

- É importante controlar a viscosidade em função da composição química e temperatura.
- Vidros com diferentes composições têm as mesmas etapas de processo em temperaturas diferentes.

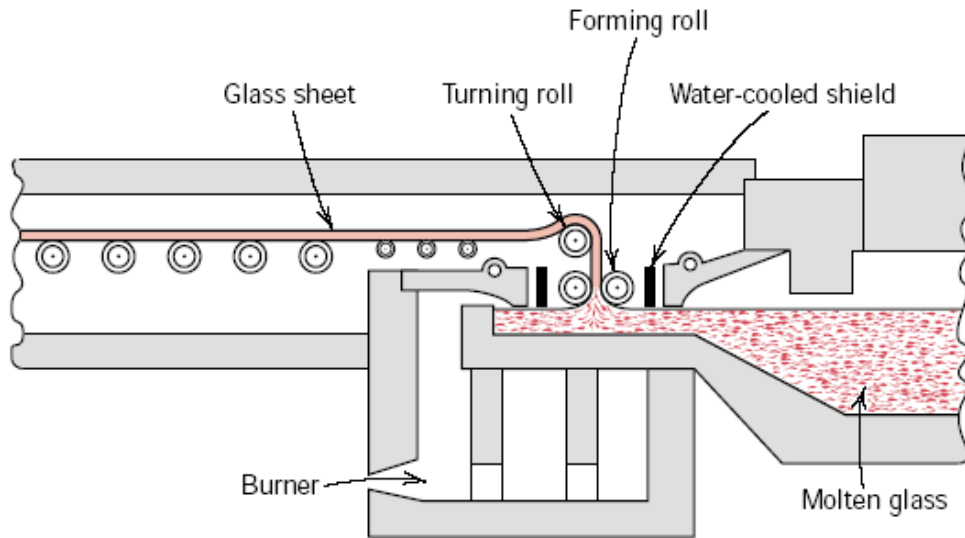


Processo de conformação de vidros

Prensagem e sopro

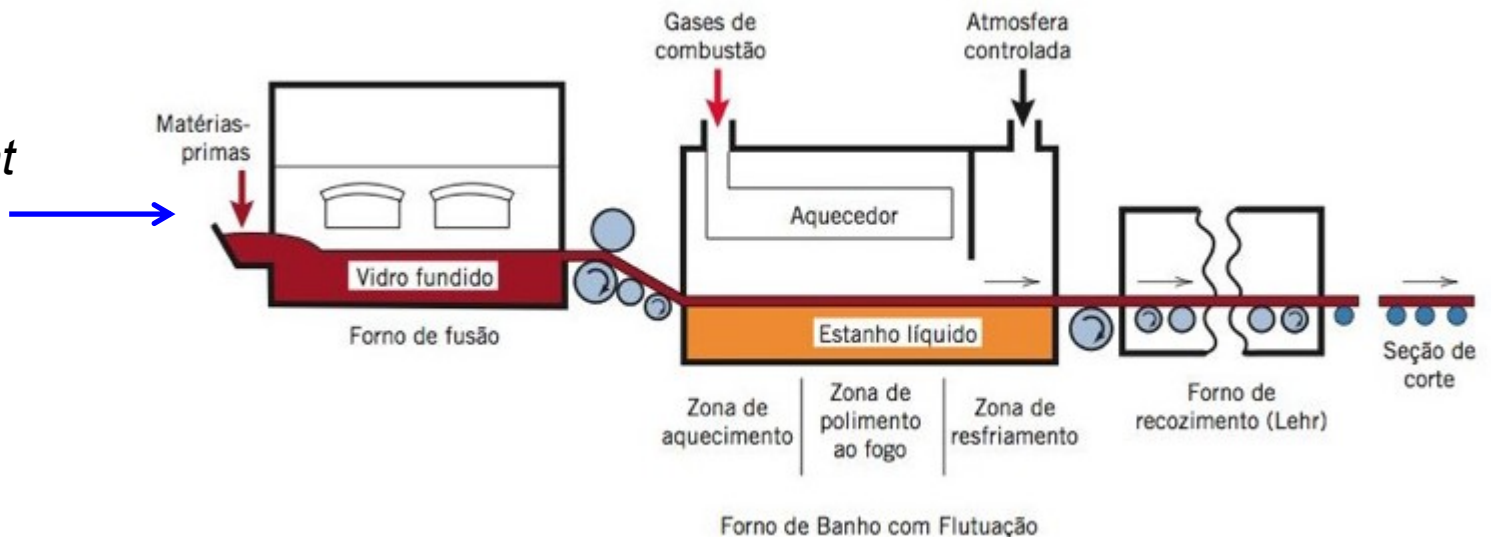


Processo de conformação de vidros estiramento de placas

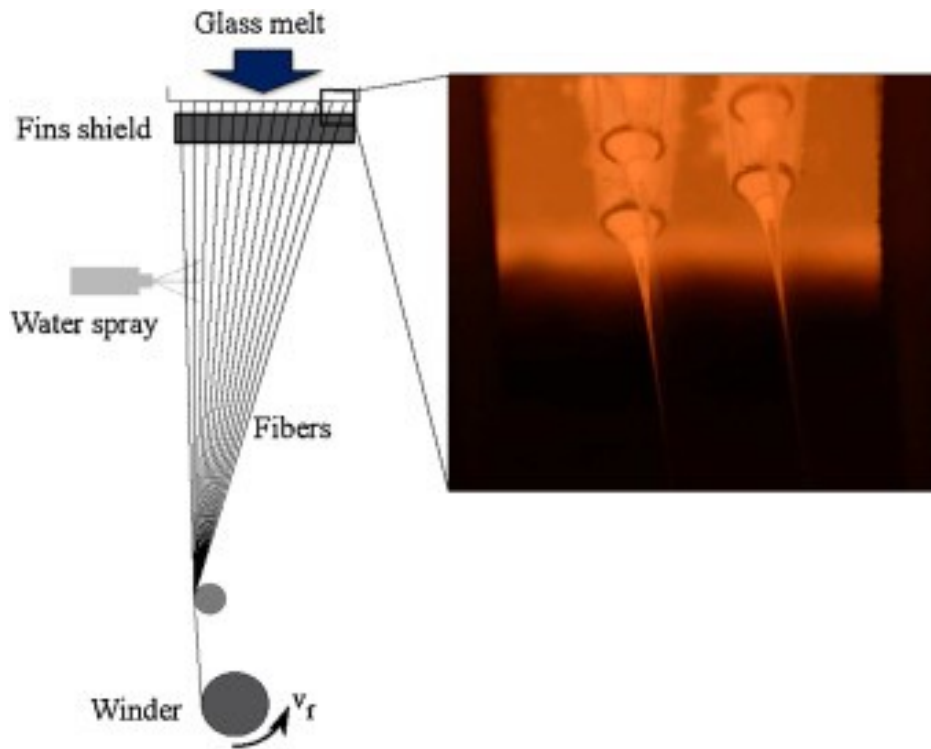


← Processo por estiramento

Processo *float*
(ou por flutuação)



Conformação de fibras para reforço

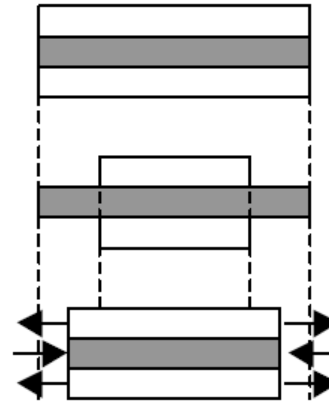


<https://www.phelpsgaskets.com/cdn/photos/1200x600/phelps-style-7700-v1-1485042817.png>

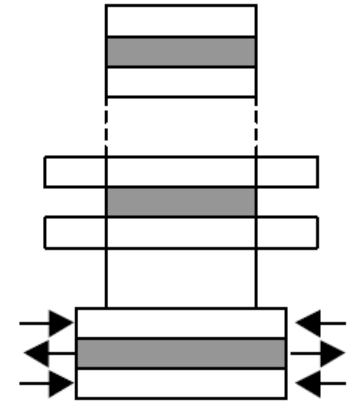
<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S092401361530234X-gr1.jpg>

https://www.valmiera-glass.com/data/glass_fiber_operator/glass-fiber-operator---copy.jpg

Tensões residuais vs. Recozimento

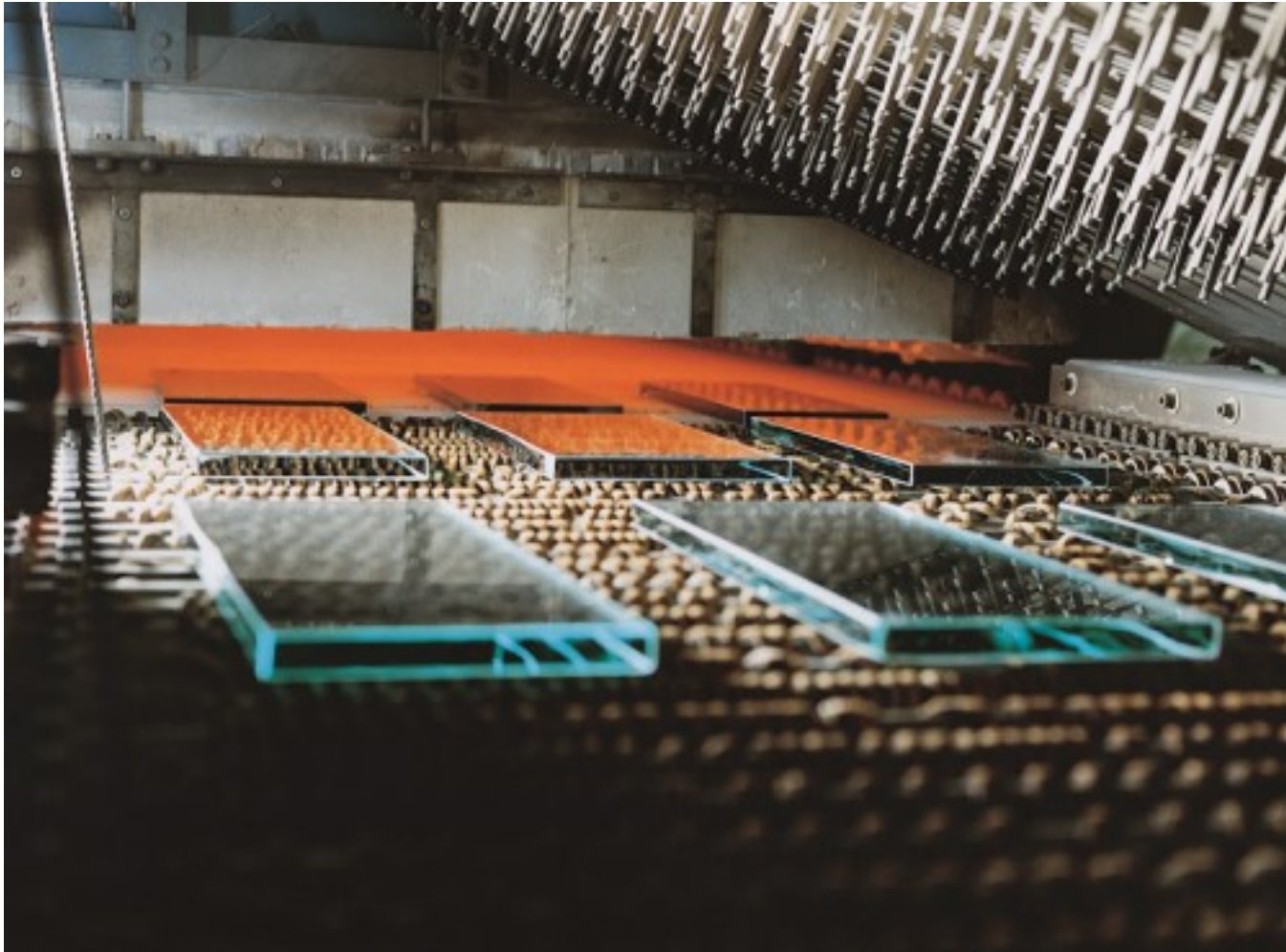


resfriamento

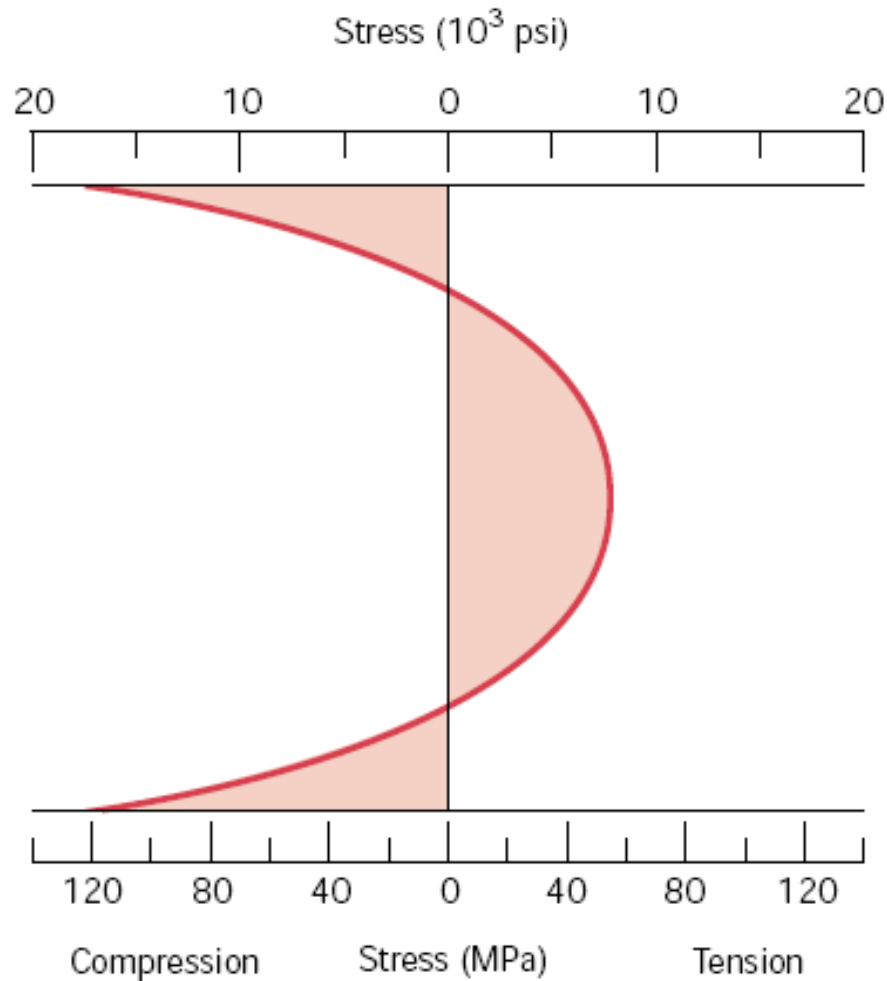


aquecimento

Têmpera térmica

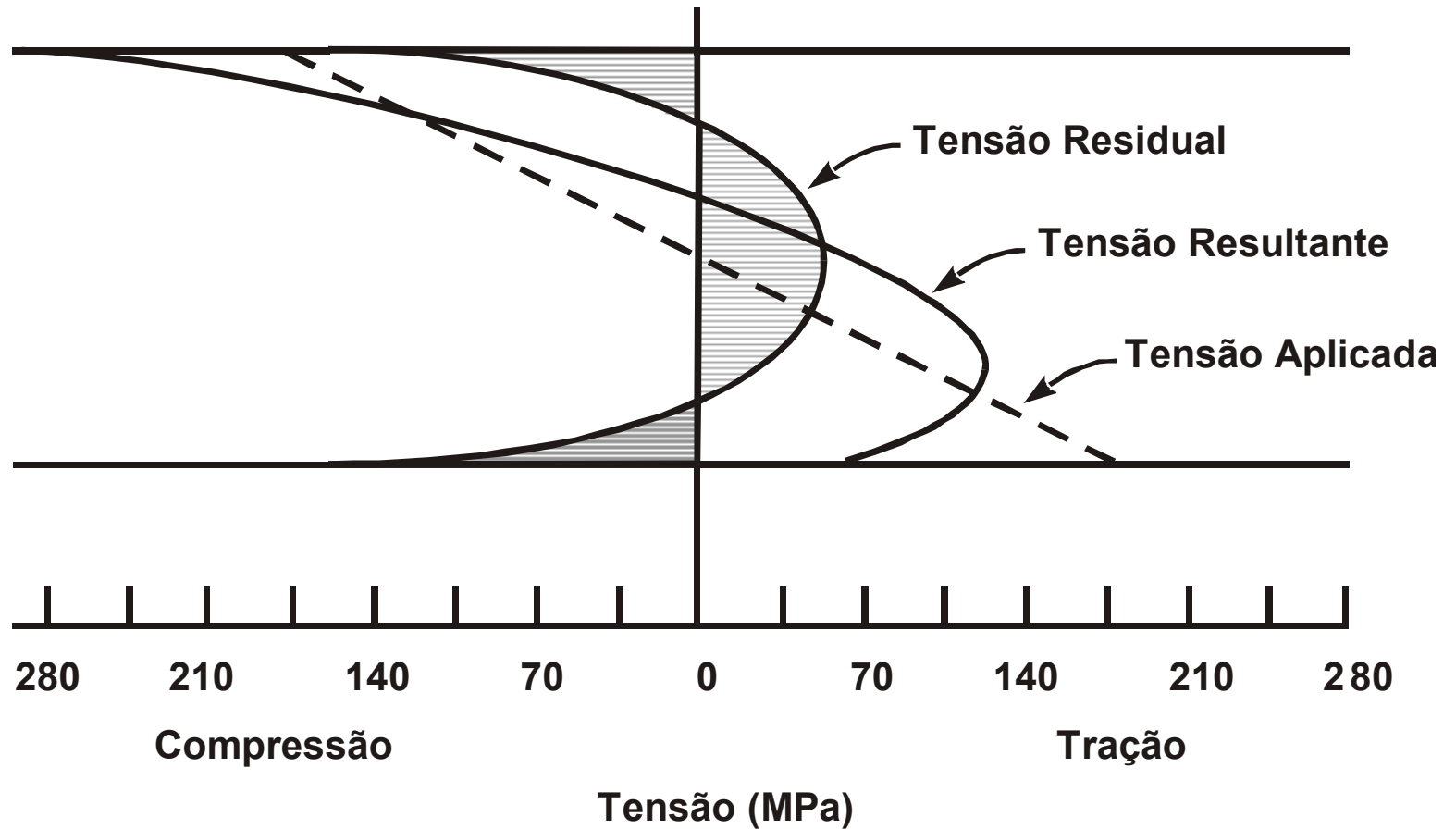


Técnicas de fabricação – vidros



Têmpera de vidros (resfriamento rápido da superfície): produz um estado de compressão superficial que aumenta sua resistência mecânica (50 a 100%)

Tenacificação de Vidros



Têmpera térmica

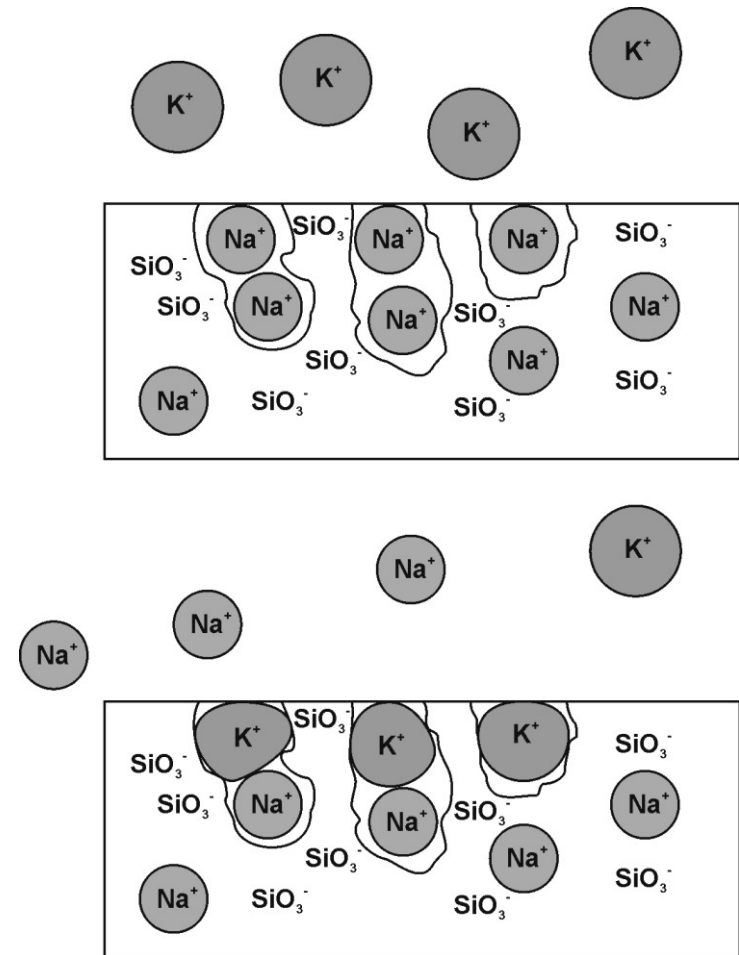


Legal!!!

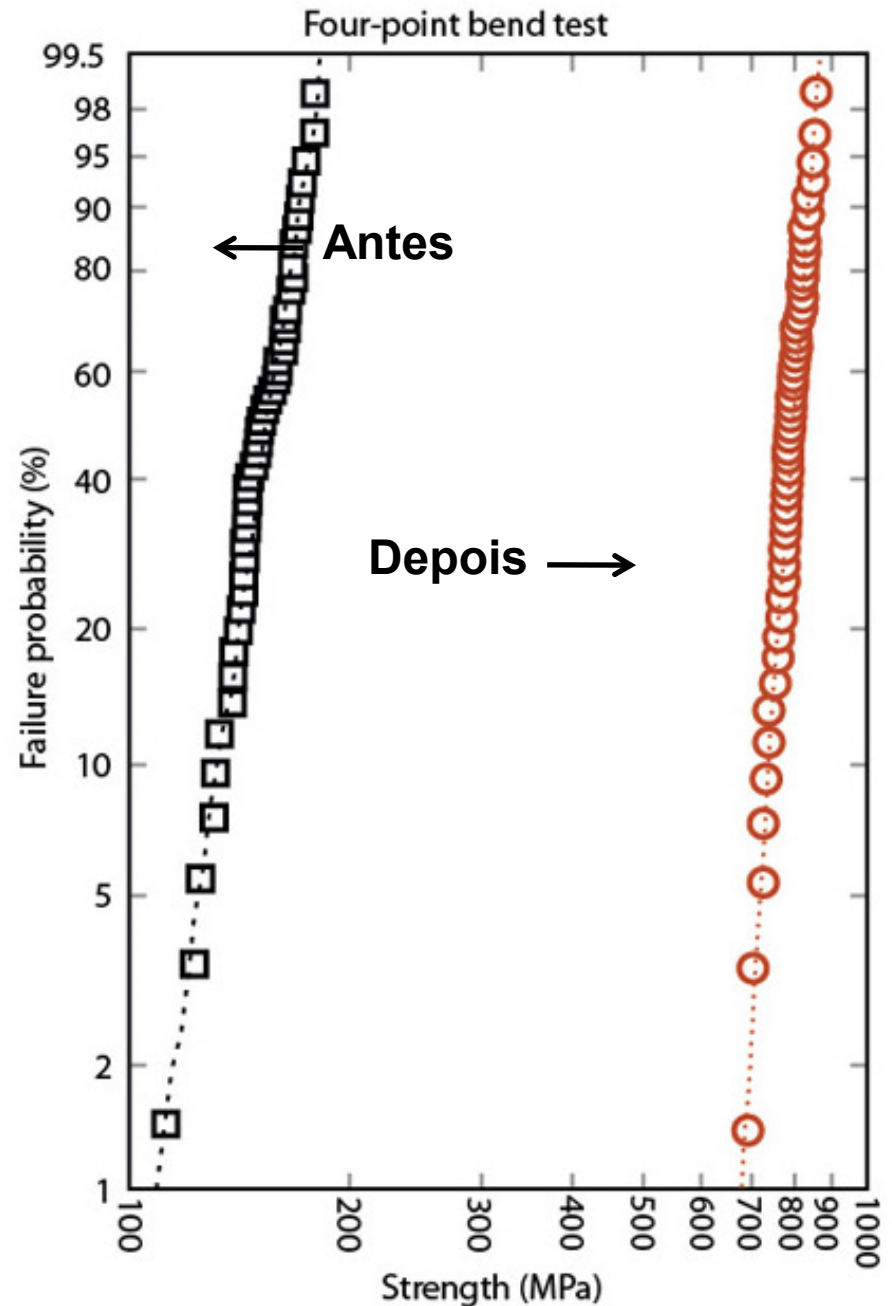
- Assistam ao vídeo!
- <https://www.youtube.com/watch?v=xe-f4gokRBs>

Têmpera química

- Troca iônica na superfície por íons (álcalis) de maior raio iônico:
- **Na⁺** (116 pm) no lugar de **Li⁺** (90 pm)
- **K⁺** (152 pm) no lugar de **Na⁺** (116 pm)
- Temperatura abaixo da transição vítrea

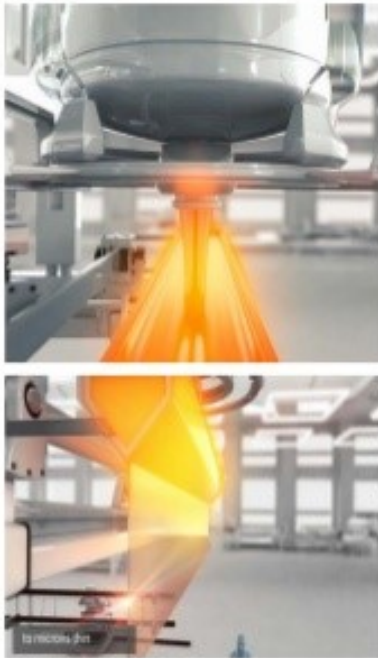


- Vidro (T_g)
 - de janela (550°C)
 - $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$ (800°C)
- Varshneya (SGT):
 - **650 MPa a 1 GPa**
 - **1 mm de espessura!**

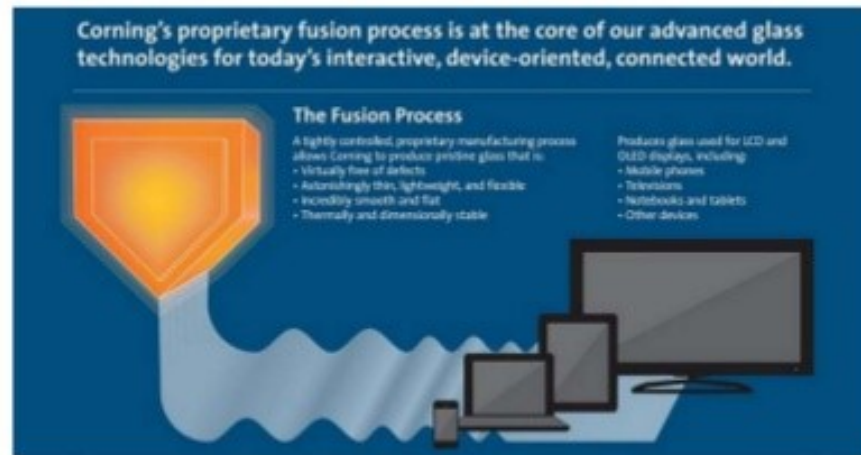


Gorilla Glass

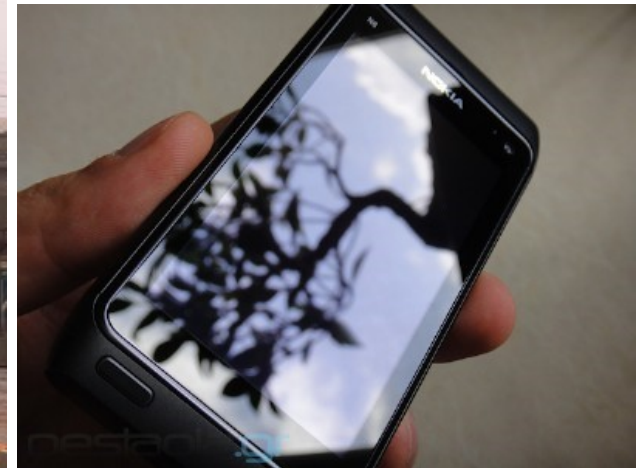
Fusion process – designed by Corning



- This same fusion process is at the heart of Corning's industry-leading LCD glass.
- The composition of Corning® Gorilla® Glass enables a deep layer of chemical strengthening through an ion-exchange process where individual glass parts are cut from the "mother sheet" & undergo an ion-exchange process.



Aplicações



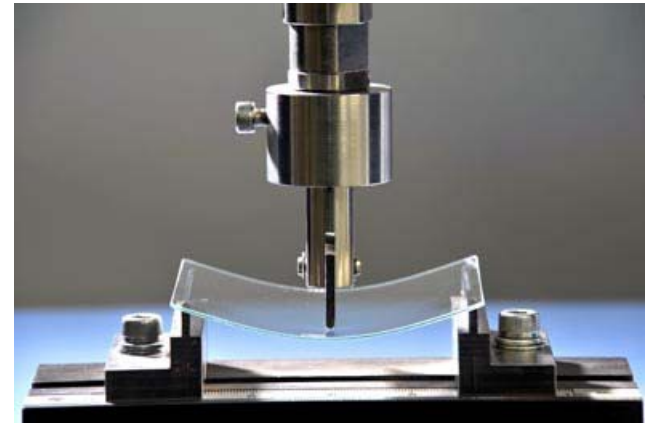
Proteção balística de alta segurança
Janelas em carros, trens, aviões
Janelas a prova de furacões



Têmpera química



Gorilla® glass – Corning/EUA



Dragontrail® glass – Asahi/Japão

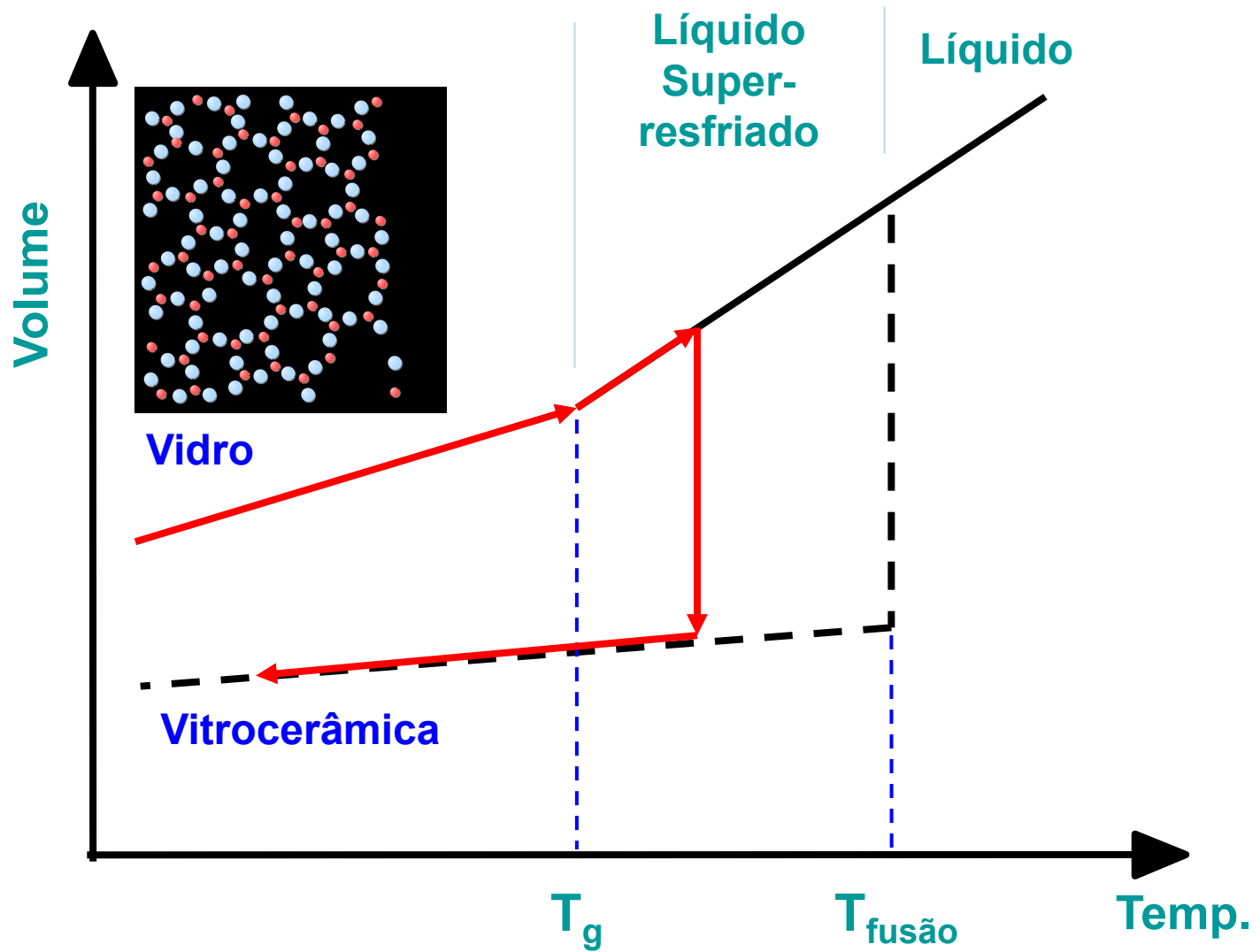
USP 3.790.430 (1974): “ALKALI ALUMINOSILICATE GLASS ARTICLE HAVING AN ION-EXCHANGED SURFACE LAYER”

<http://www.csmonitor.com/Business/new-economy/2010/0802/Gorilla-glass-invented-in-US...>

<http://www.robaid.com/gadgets/asahi-glass-company-introduces-dragontrail-scratch-proof-glass.htm>

<http://www.youtube.com/watch?v=WpbOoQpwAFs>

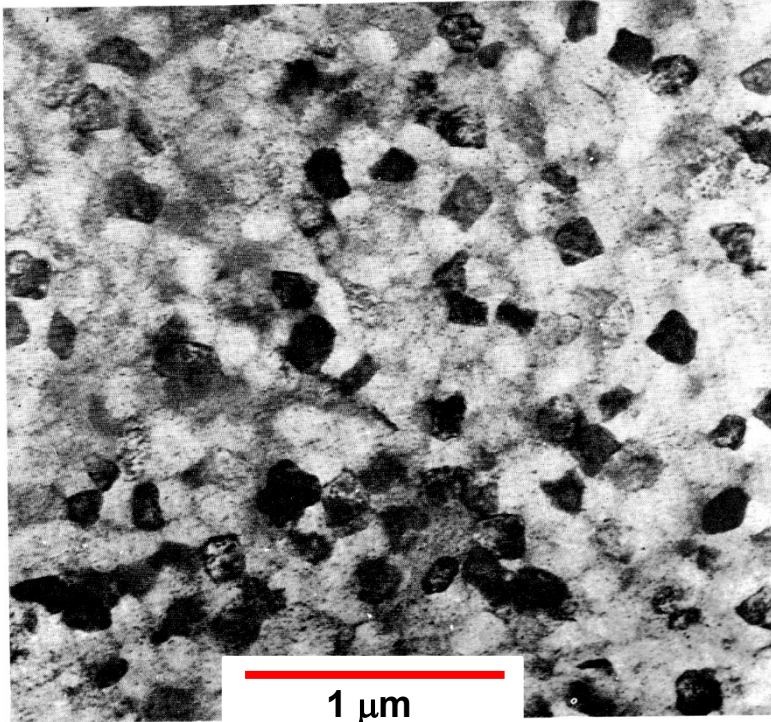
Cristalização controlada do vidro → vitrocerâmicas



Vitrocerâmicas

- Cerâmicas obtidas por cristalização controlada de vidros
- Nucleação e crescimento

Muitos núcleos →



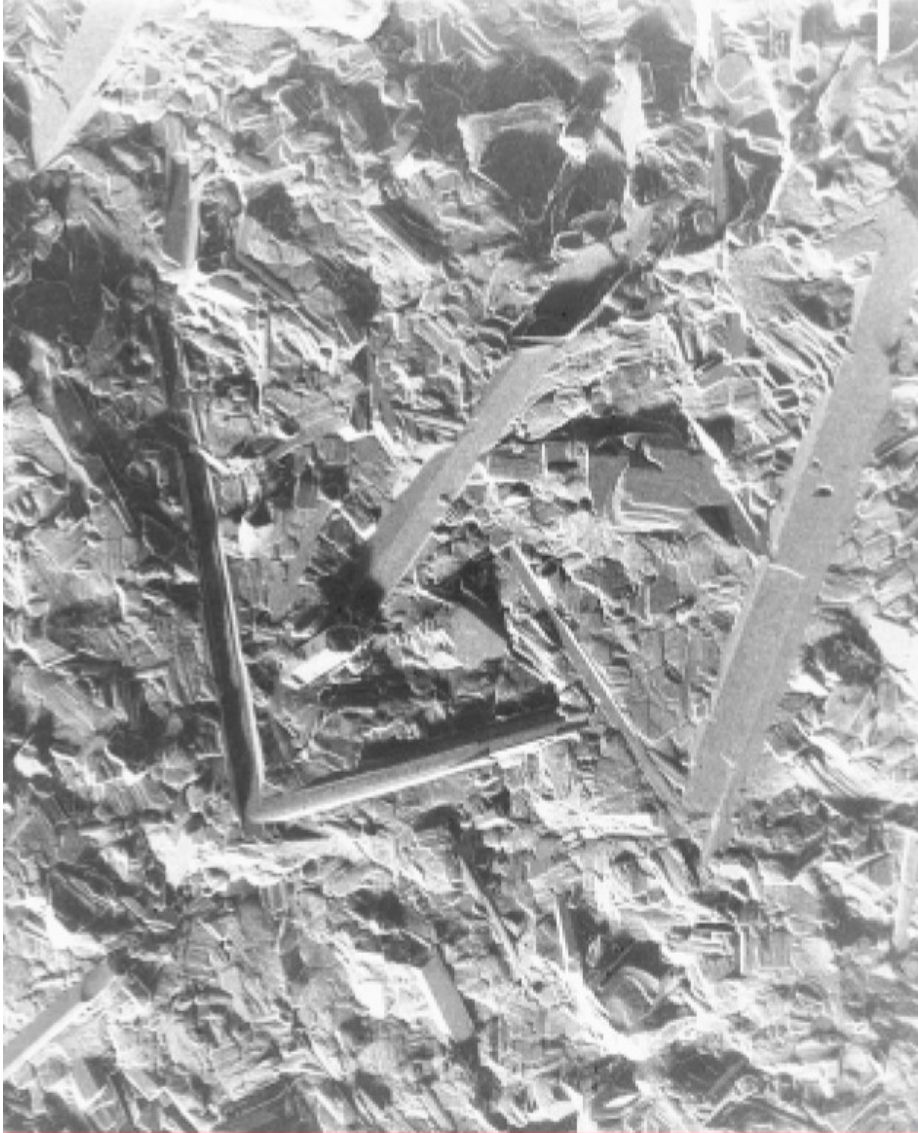
Vitrocerâmica de composição $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ tratada em 775°C por 2 h e 975°C por 2 min.



Poucos núcleos

A mesma aquecida rapidamente à 875°C por 25 min.

Microestrutura cerâmica – vitrocerâmica



Scanning electron micrograph showing the microstructure of a glass-ceramic material. The long acicular blades yield a material with unusual strength and toughness. 65,000 \times . (Photograph courtesy of L. R. Pinckney and G. J. Fine of Corning Incorporated.)