

Materiais

Estrutura e Propriedades de Vidros

M. Clara Gonçalves

clara.goncalves@ist.utl.pt

<http://web.ist.utl.pt/ist12456>

Tel. 3934

Sala 4-1.4A (4º Piso Torre Química)

Lisboa, 2019

Os Engenheiros fazem coisas – e estas coisas são feitas
de **Materiais!**

Sem Materiais não há engenharia!

Questões a abordar

O que é um material vítreo?

- vidros tradicionais
- vidros não tradicionais
- vidros metálicos

Estrutura e Propriedades

- T_g
- propriedades físico-químicas
- propriedades mecânicas

Processos de fabrico

- fusão e arrefecimento rápido
- vidro oco, vidro *float*

Vidro Tradicional

Embalagem



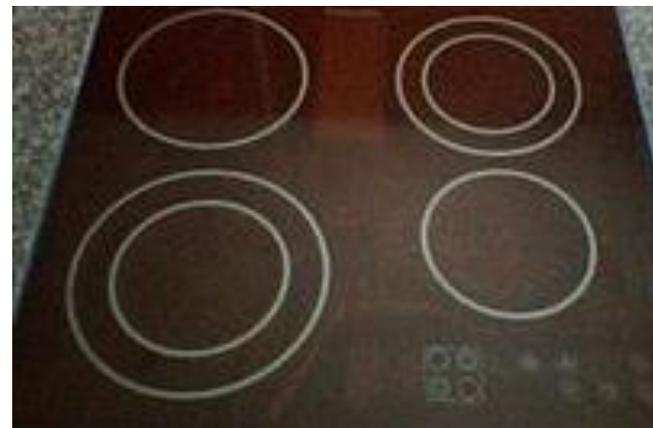
Hotelaria/doméstico



Vitrocerâmico



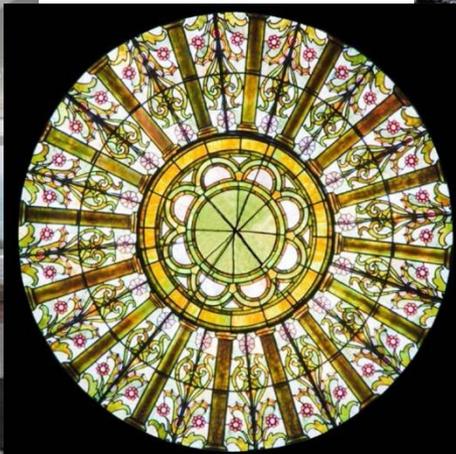
Lentes, óculos



Construção Civil



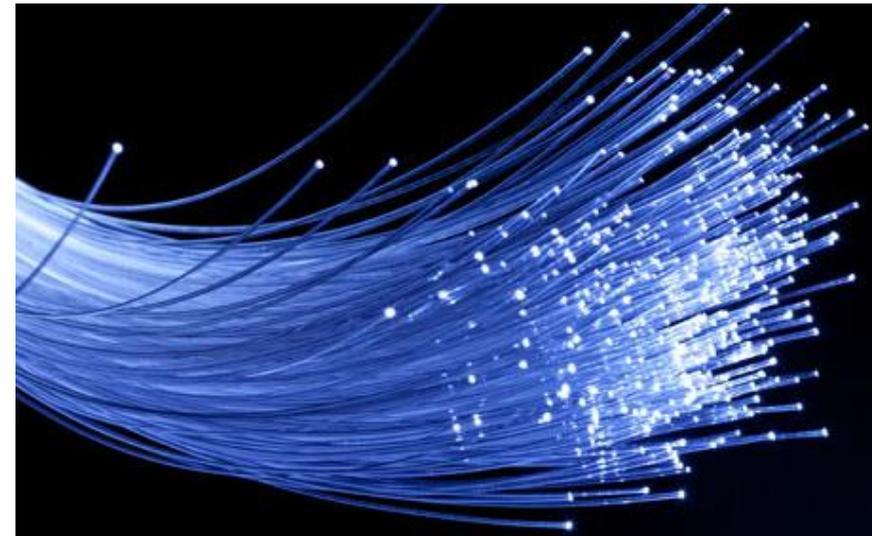
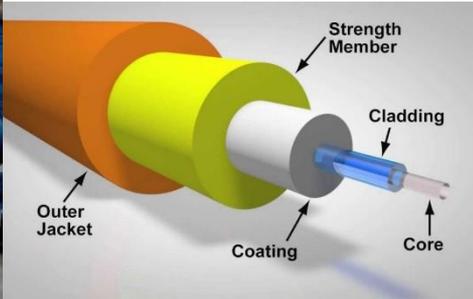
Vitral



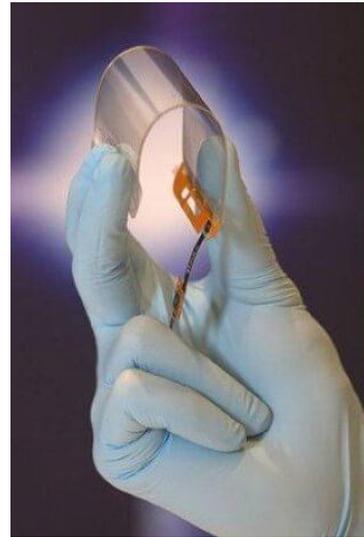
Transportes
Automóvel, aeronáutica,
combóio, barco



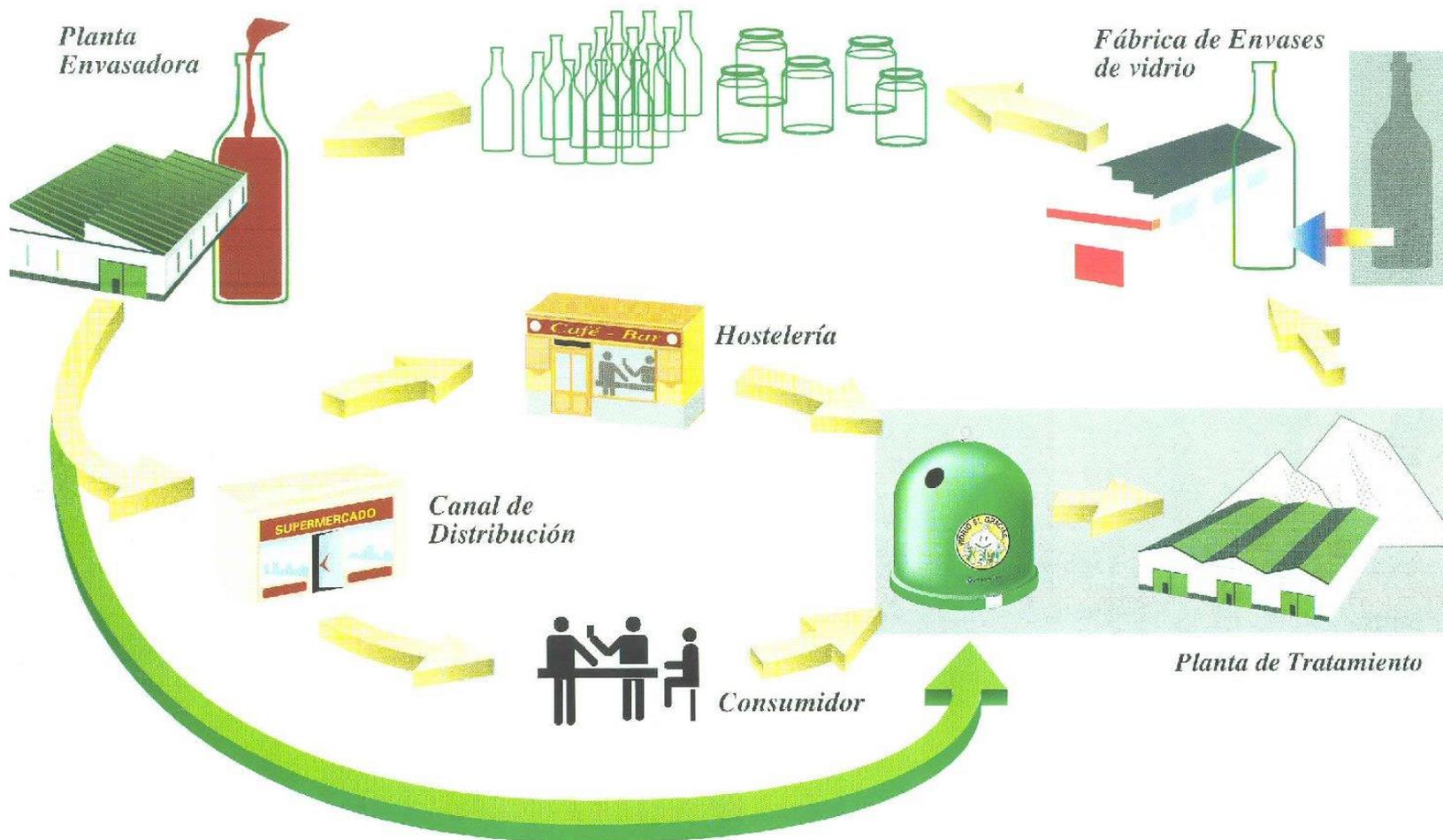
Vidro Técnico



VidroTécnico



Ciclo de Vida do Vidro



Considerações ambientais

MATÉRIAS PRIMAS **óxido de silício** (SiO_2) é o composto maioritário da crosta terrestre (75 %WT)

EXTRACÇÃO alteração da paisagem

ENERGIA uso intensivo de energia

SEGURANÇA baixa possibilidade de presença de metais tóxicos

RECICLABILIDADE **100% RECICLÁVEL**

Propriedades

Os vidros distinguem-se dos sólidos cristalinos por um número de **propriedades físicas características**:

Transparência no visível
Superfície lisa e brilhante

Elevada estabilidade química (elevada resistência à corrosão)

Temperatura de transição vítrea (T_g)
Baixas condutibilidades térmica e elétrica
Baixo coeficiente de dilatação

Não dúctil (não pode ser estirado em fios) / frágil
Baixa resistência mecânica (aumenta por têmpera)
Densidade inferior à dos cristais de idêntica composição química

Características Estruturais

Ausência de limites de grão

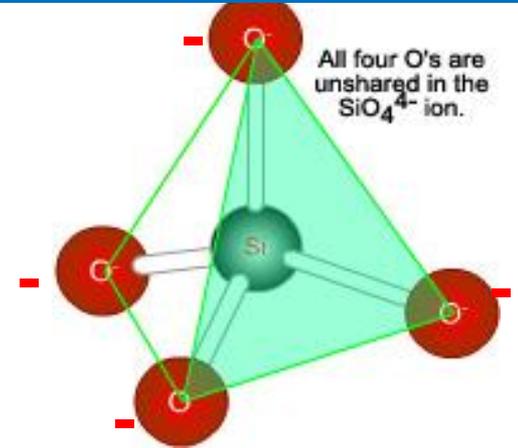
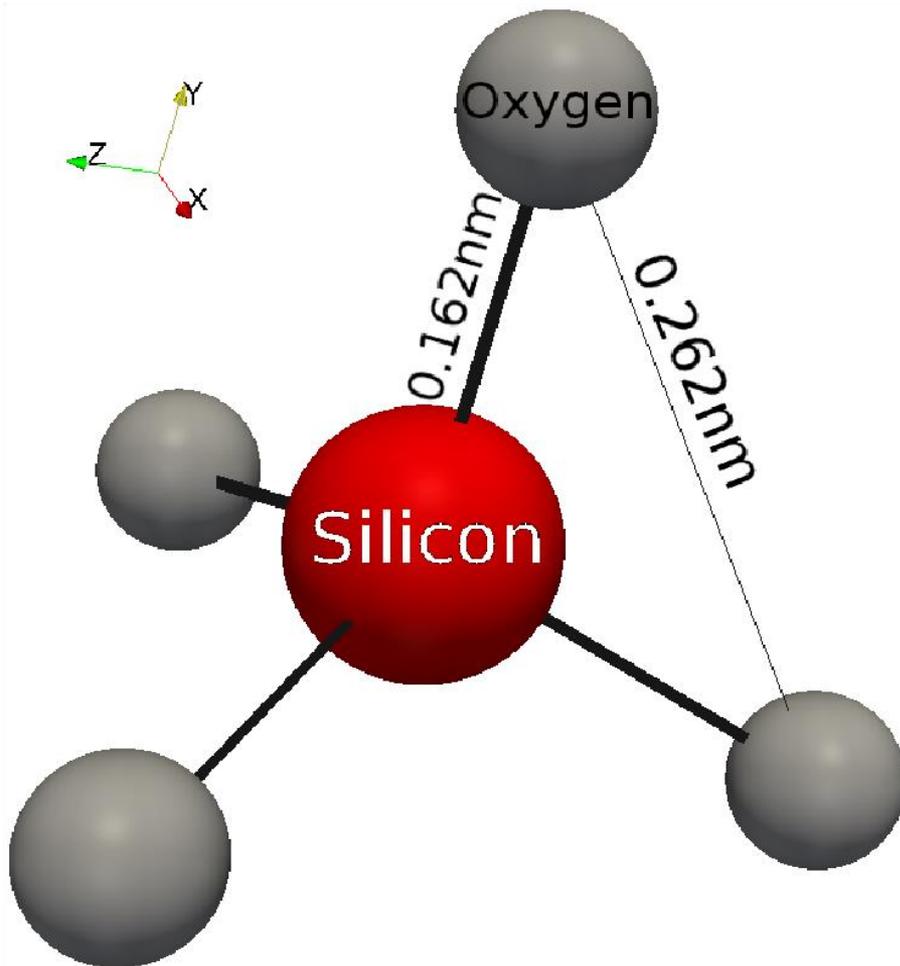
Ausência de porosidade

Transparência no visível

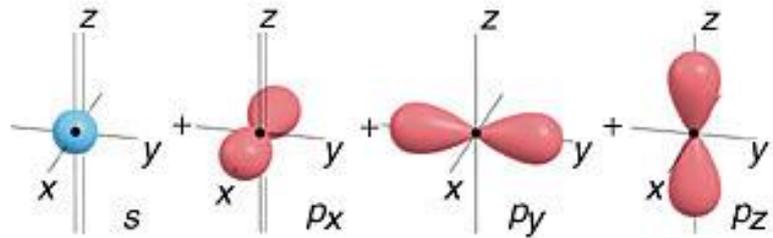
Elevada estabilidade química (elevada resistência à corrosão)

O QUE É UM VIDRO?

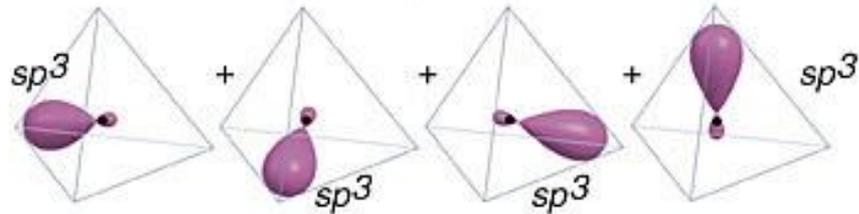
Tetraedro de Sílica – unidade de construção



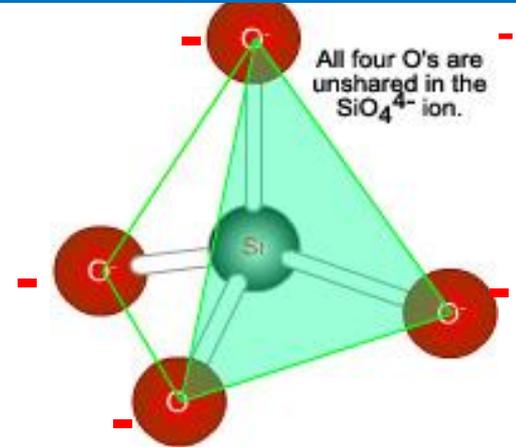
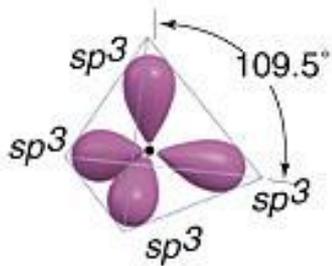
Tetraedro de Sílica – unidade de construção



Hybridize to form four sp^3 hybrid orbitals

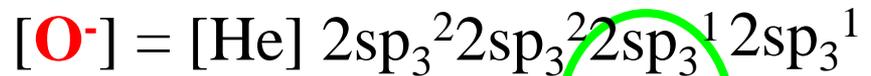
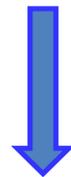
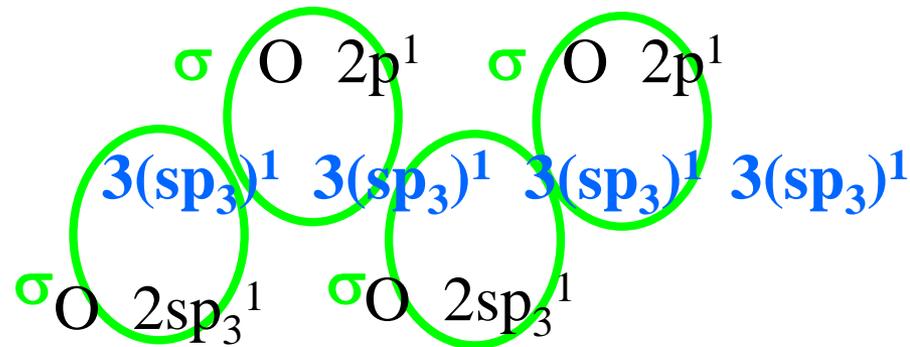


Shown together (large lobes only)



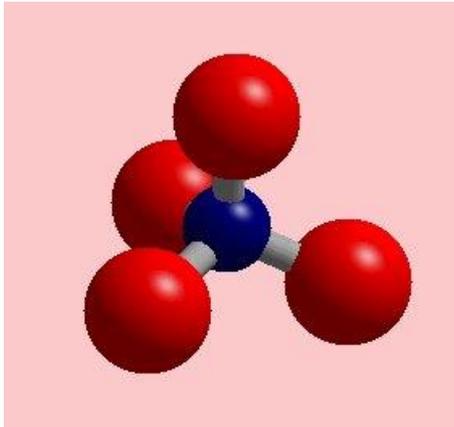
All four O's are unshared in the SiO_4^{4-} ion.

Si

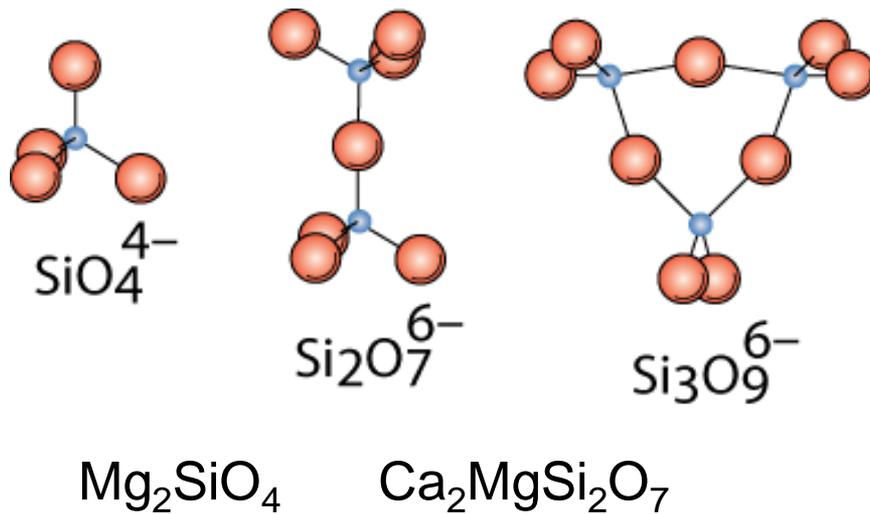
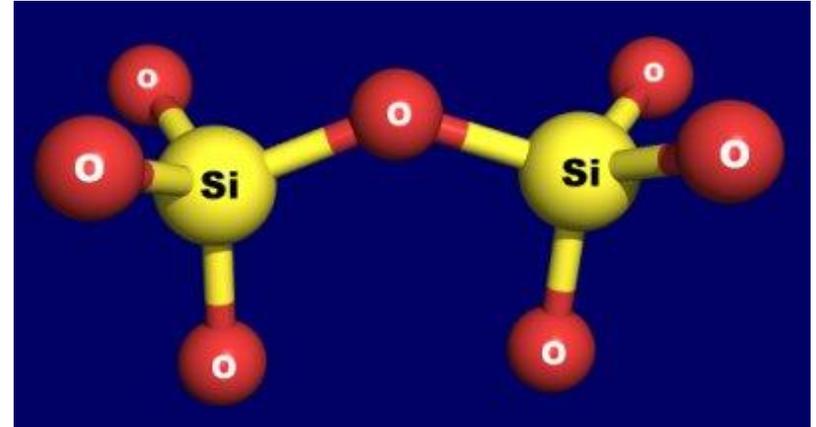


Tetraedro de Sílica – unidade de construção

$(\text{SiO}_4)^{4-}$ - unidade estrutural da sílica



Polimerização de $(\text{SiO}_4)^{4-}$



Em vidros os tetraedros de SiO_4^{4-} partilham apenas vértices (arestas e/ou faces em estruturas cristalinas).

Catiões como Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} mantêm-se na rede vítrea de sílica estabelecendo uma ligação iónica, promovendo electroneutralidade.

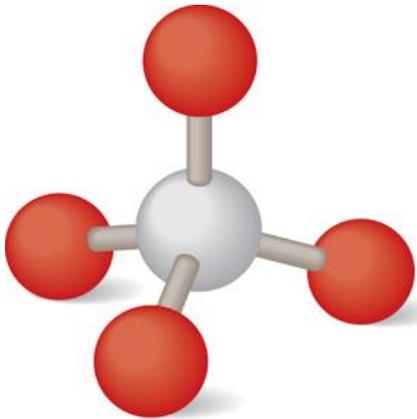
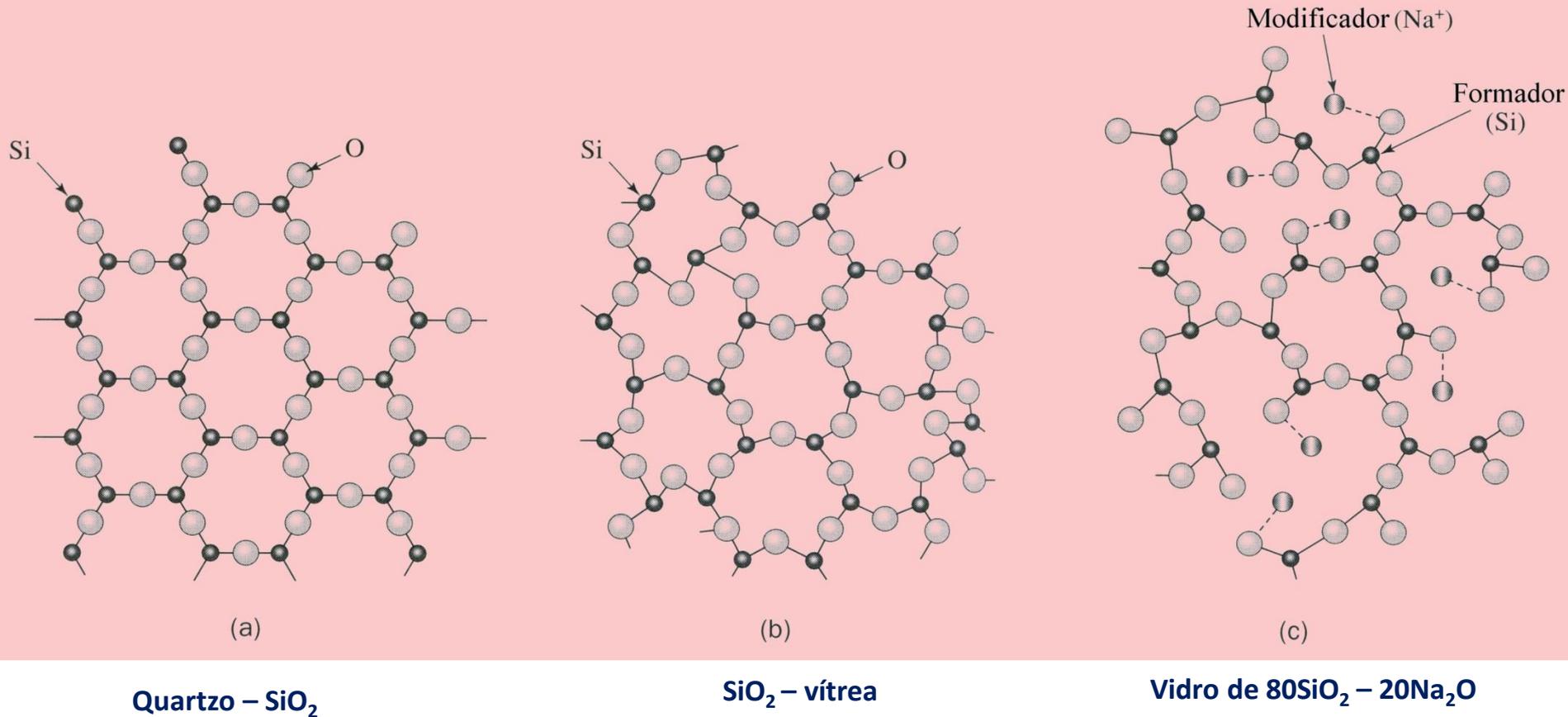


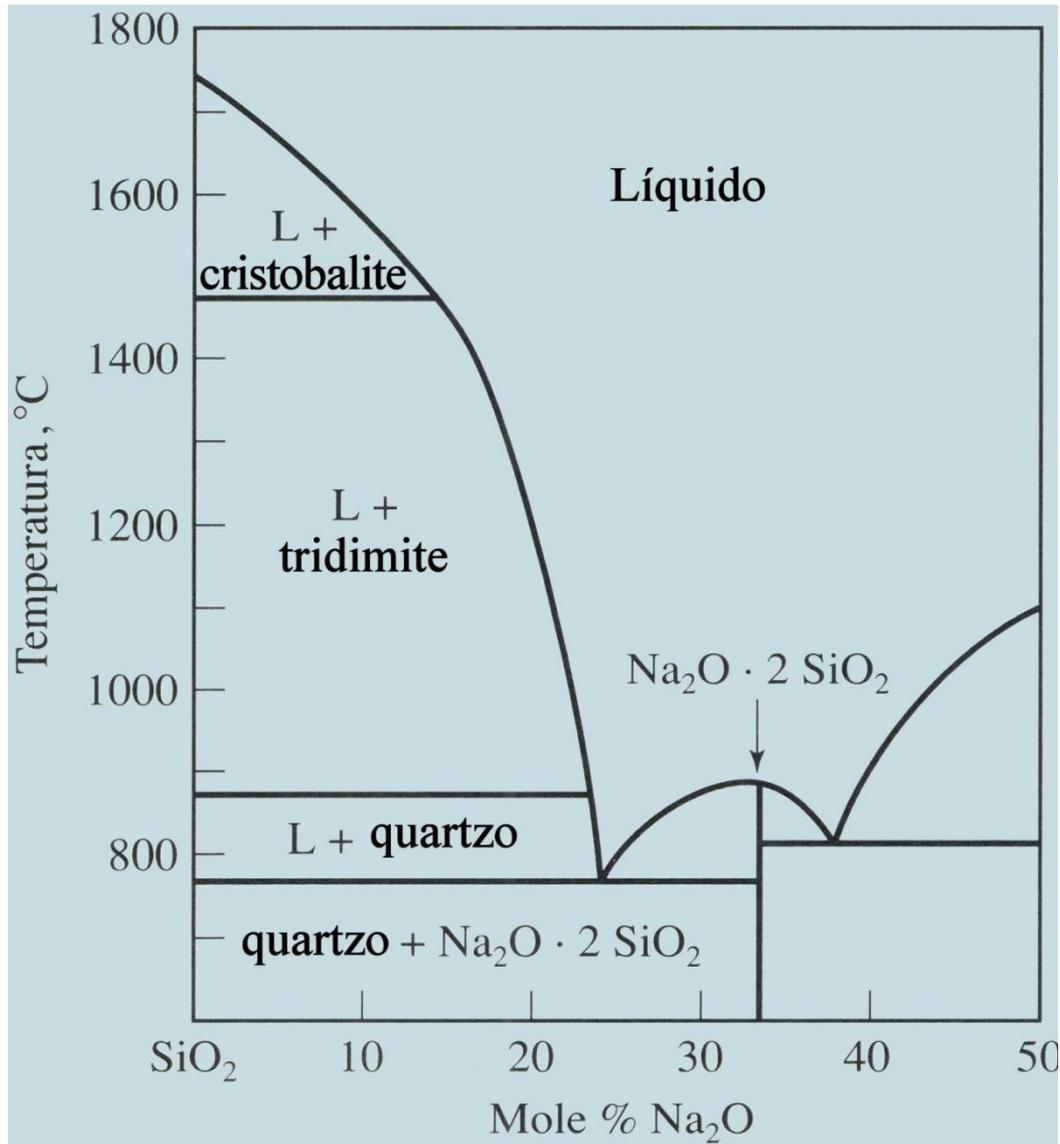
TABLE 2.2 Major Silicate Structures			
GEOMETRY OF LINKAGE OF SiO ₄ TETRAHEDRA		EXAMPLE MINERAL	CHEMICAL COMPOSITION
<i>Isolated tetrahedra:</i> No sharing of oxygens between tetrahedra; individual tetrahedra linked to each other by bonding to cation between them		Olivine	Magnesium-iron silicate Q⁰
<i>Rings of tetrahedra:</i> Joined by shared oxygens in three-, four-, or six-membered rings		Cordierite	Magnesium-iron-aluminum silicate Q²
<i>Single chains:</i> Each tetrahedron linked to two others by shared oxygens; chains bonded by cations		Pyroxene	Magnesium-iron silicate Q²
<i>Double chains:</i> Two parallel chains joined by shared oxygens between every other pair of tetrahedra; the other pairs of tetrahedra bond to cations that lie between the chains		Amphibole	Calcium-magnesium-iron silicate Q³
<i>Sheets:</i> Each tetrahedron linked to three others by shared oxygens; sheets bonded by cations		Kaolinite Mica (muscovite)	Aluminum silicate Potassium-aluminum silicate Q³
<i>Frameworks:</i> Each tetrahedron shares all its oxygens with other SiO ₄ tetrahedra (in quartz) or AlO ₄ tetrahedra		Feldspar (orthoclase) Quartz	Potassium-aluminum silicate Silicon dioxide Q⁴

O que é um vidro?

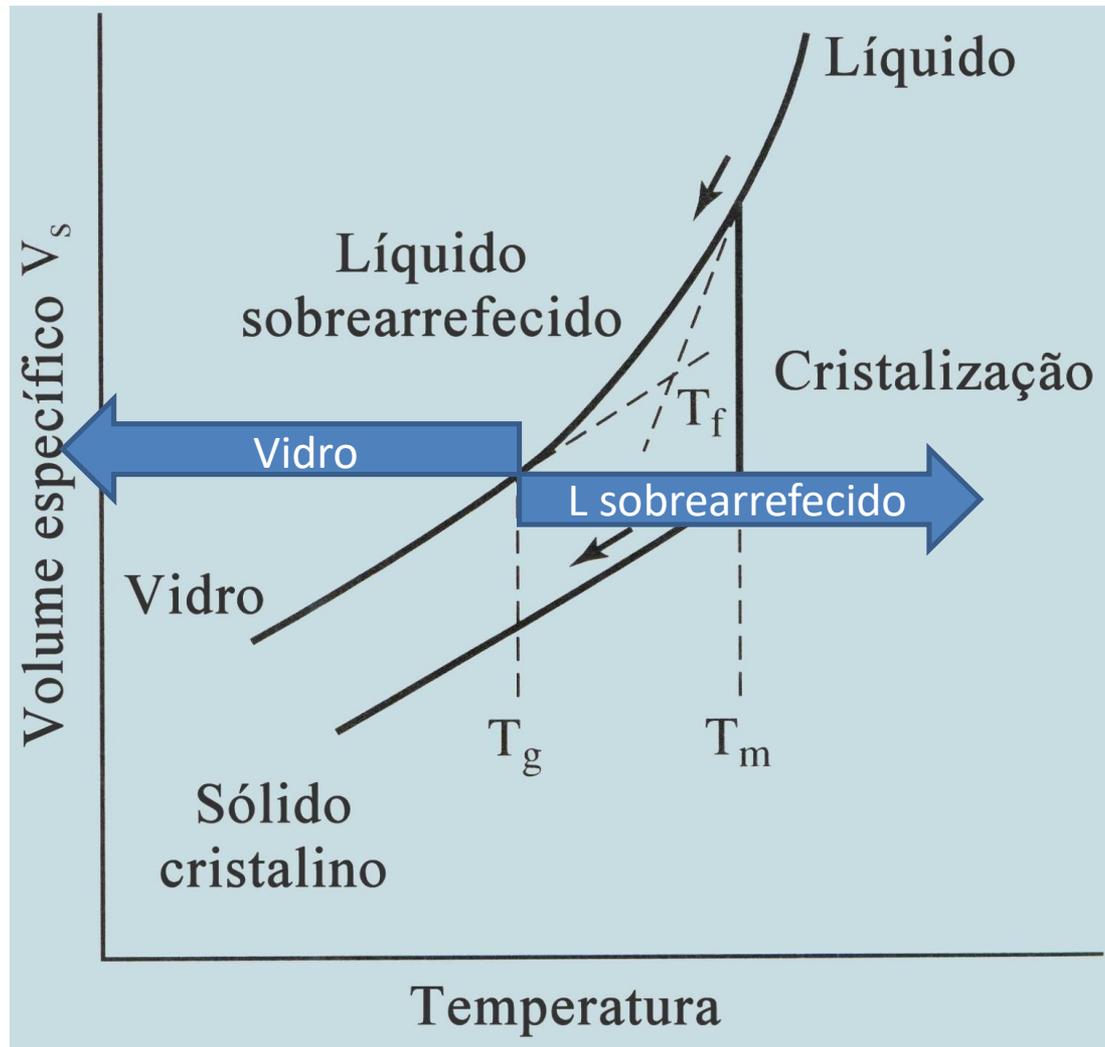


O vidro é um material amorfo , i.e., sem ordem de longo alcance (porém, com ordem de curto e médio alcance ~3-4 esferas de coordenação)

Diagrama de fases $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O}$



Temperatura de transição vítrea - T_g



Considerações ambientais

A temperatura de transição vítrea (**T_g**) é a temperatura característica que separa a região onde o material amorfo apresenta um comportamento rígido, da região onde apresenta um comportamento plástico.

A **temperaturas inferiores a T_g**, região onde apresentam um comportamento **frágil**, os materiais amorfos são designados por **vidros**.

Nesta gama de temperaturas, o vidro está **estruturalmente imobilizado**, pelo que não é capaz de absorver energia mecânica.

Entre o **estado vítreo** e o **estado líquido**, os **materiais amorfos** são essencialmente **líquidos sobrearrefecidos**. Nesta gama de temperaturas, a mobilidade molecular já é possível, pelo que o material amorfo se torna plástico.

Composições de vidros comerciais

(% MOL)

Sílica vítrea	99.5% SiO ₂
Vidro de janela	73SiO ₂ 17Na ₂ O 5CaO 4MgO 1Al ₂ O ₃
Alumino-silicato	62SiO ₂ 17Al ₂ O ₃ 8CaO 7MgO 5B ₂ O ₃ 1Na ₂ O
Fibra de vidro	55SiO ₂ 16CaO 15Al ₂ O ₃ 10B ₂ O 34MgO
Borossilicato	81SiO ₂ 13B ₂ O ₃ 10ZnO 4Na ₂ O 2Al ₂ O ₃

Elementos presentes em vidros comerciais

H																				He
Li	Be											B	C	N	O	F				Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl				Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se		Br			Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te		I			Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po		At			Rn
Fr	Ra	Ac																		

 Metais alcalinos

 Metais alcalino-terrosos

 Semi-metais

 Não metais

 Metais não nobres

Sistemas formadores de vidro

ELEMENTOS: S, Se, P

ÓXIDOS: B_2O_3 , SiO_2 , GeO_2 , P_2O_5 , As_2O_5 , Sb_2O_3 , In_2O_3 , SnO_2 , PBO, SeO_2

HALOGENETOS: BeF_2 , AlF_3 , $ZnCl_2$, $Ag(Cl, Br, I)$, $Pb(Cl_2, Br_2, I_2)$

SULFURETOS: As_2S_3 , Sb_2S_3 , CS_2

SELENETOS: VÁRIOS COMPOSTOS DE Se, Sn, Pb, As, Sb

TELURETOS: TeO_2 , PbO e As_2O_5

NITRETOS: KNO_3 , $Ca(NO_3)_2$

SULFATOS: $KHSO_4$

CARBONATOS: K_2CO_3 , $MgCO_3$

METAIS: Au_4Si , Pd_4Si , (Fe-Si-B)

POLÍMEROS: POLIESTIRENO, POLIMETILMETRACRILATO, POLICARBONATO, POLIETILENO, NYLON

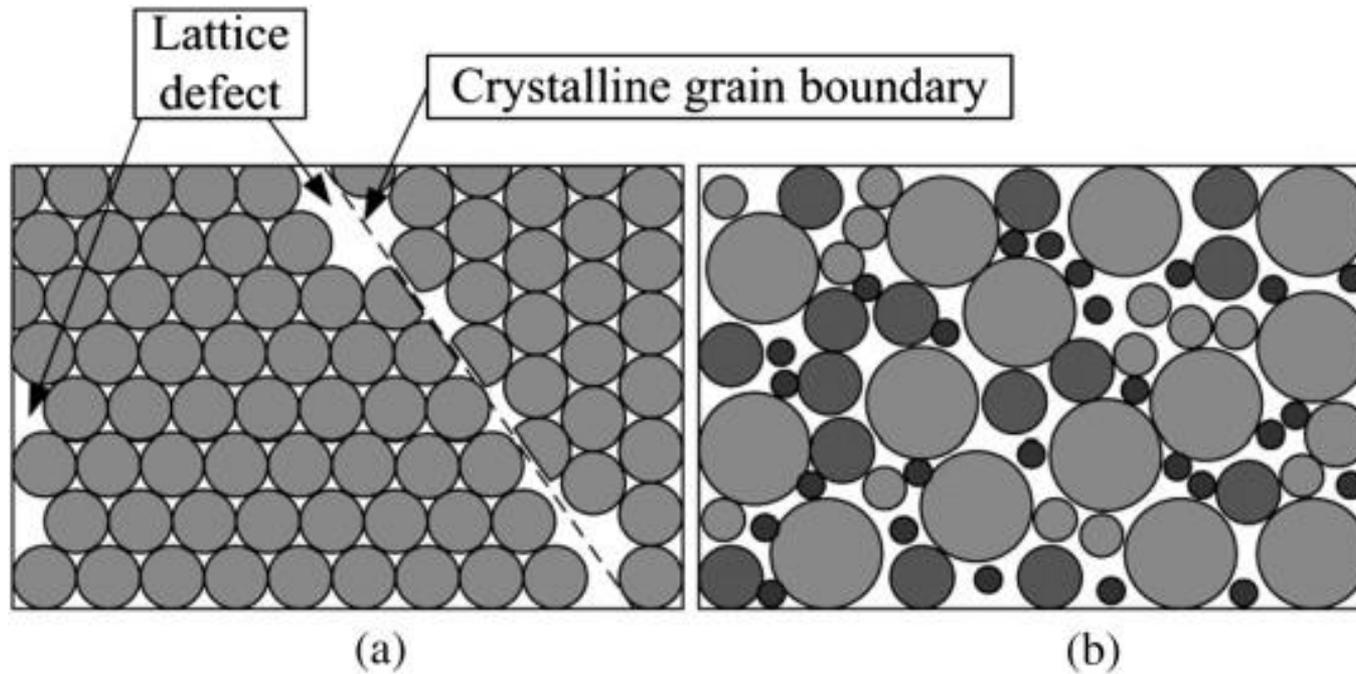
Vidros metálicos: a presença de um semi-metal

Baixa a temperatura de fusão (relativamente ao metal puro), e desta forma reduz o ΔT que o material necessita de atravessar, rapidamente, desde T_M até a T_{amb}

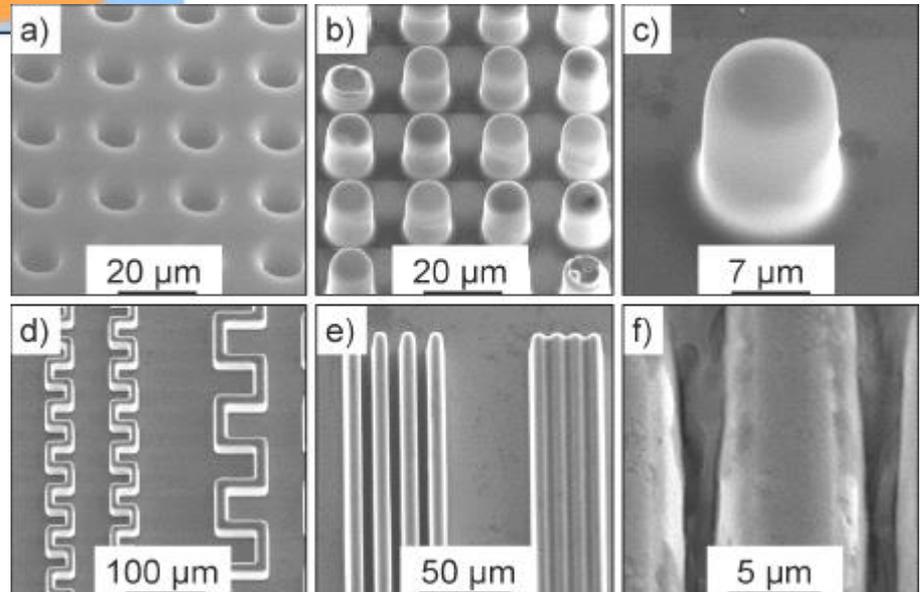
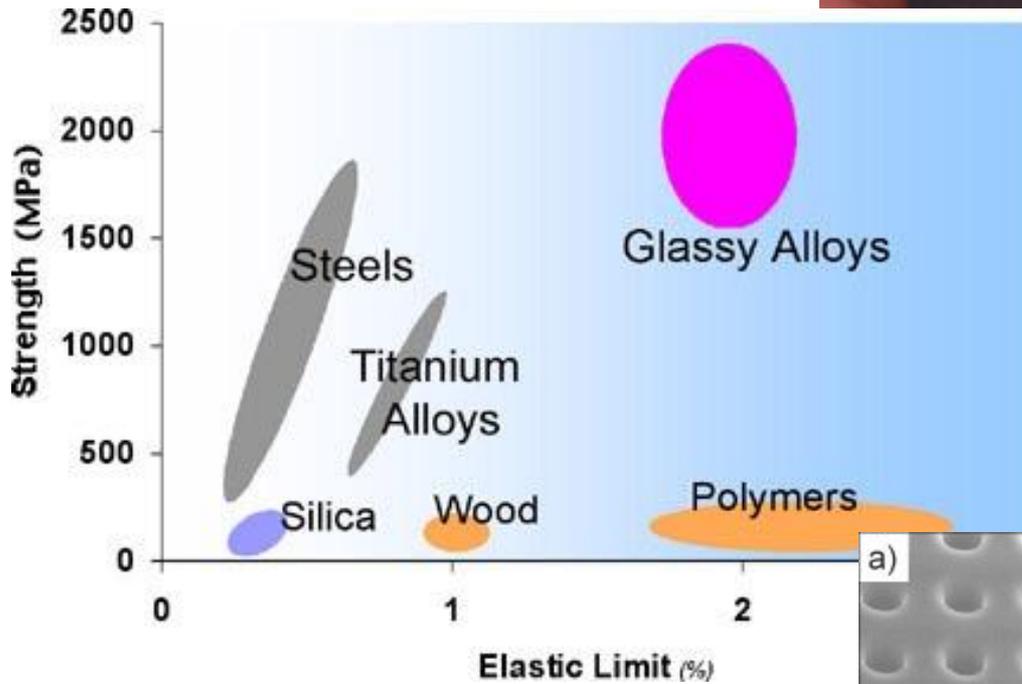
Aumenta a energia da rede, pois a rede cristalina distorcerá (relativamente à do metal puro) de forma a acomodar o semimetal (de raio atômico distinto)

Qualquer um destes efeitos facilita a formação de vidro

Vidros metálicos

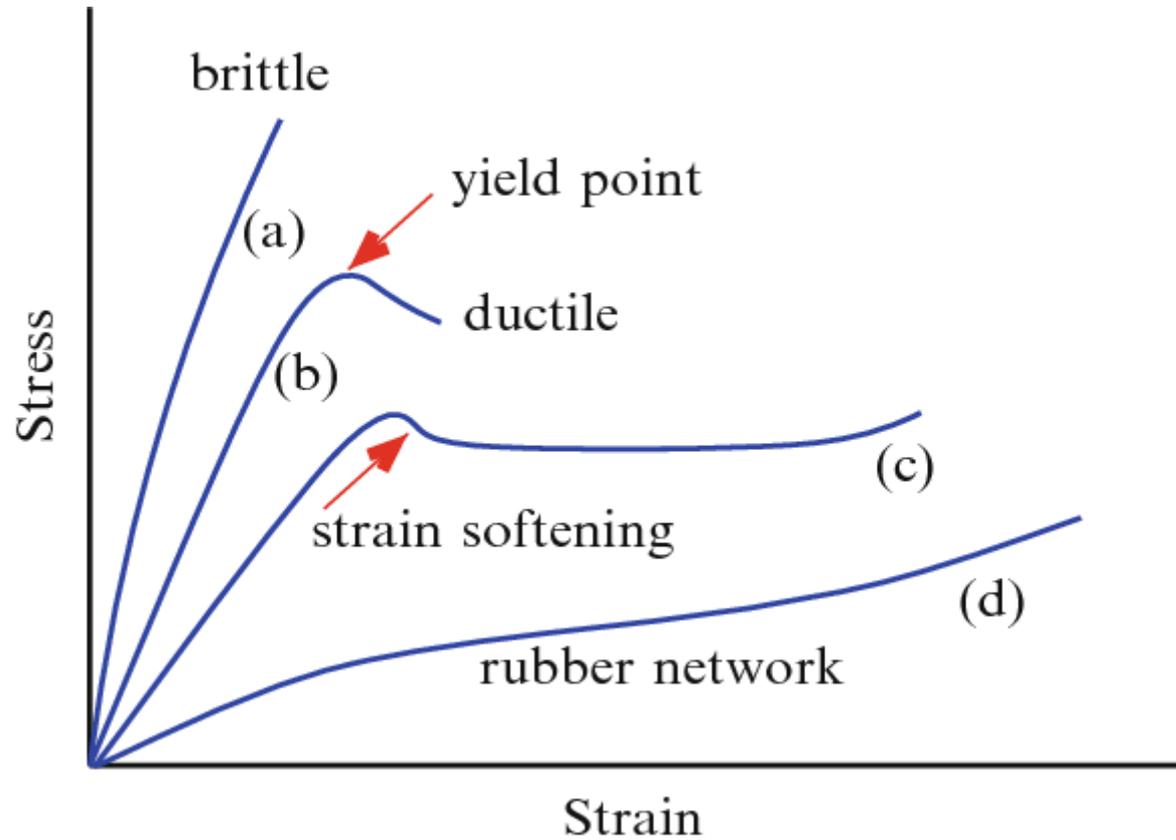


Vidros metálicos



Vidros metálicos

Fratura frágil em vidros

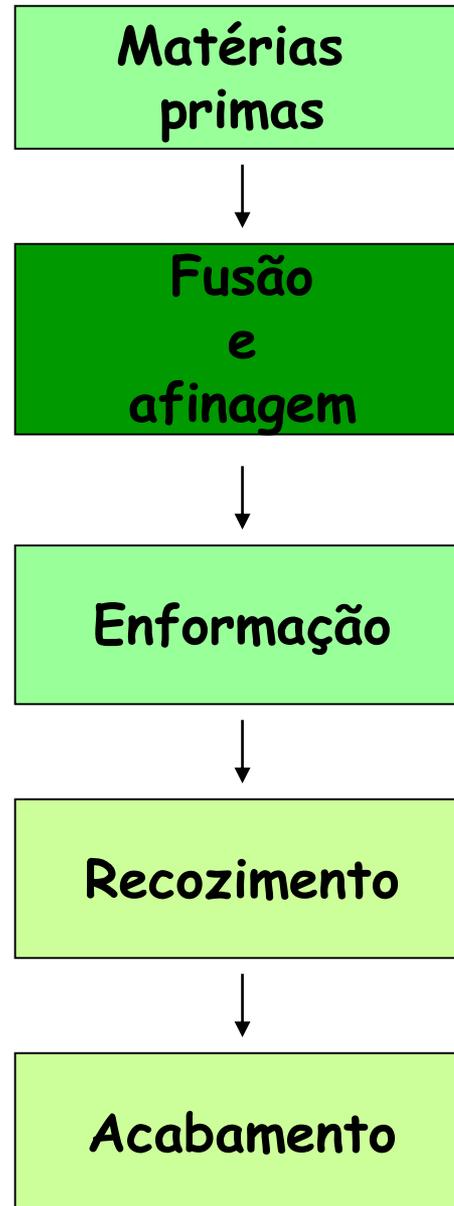


Fratura frágil em vidros



Fabrico de vidros

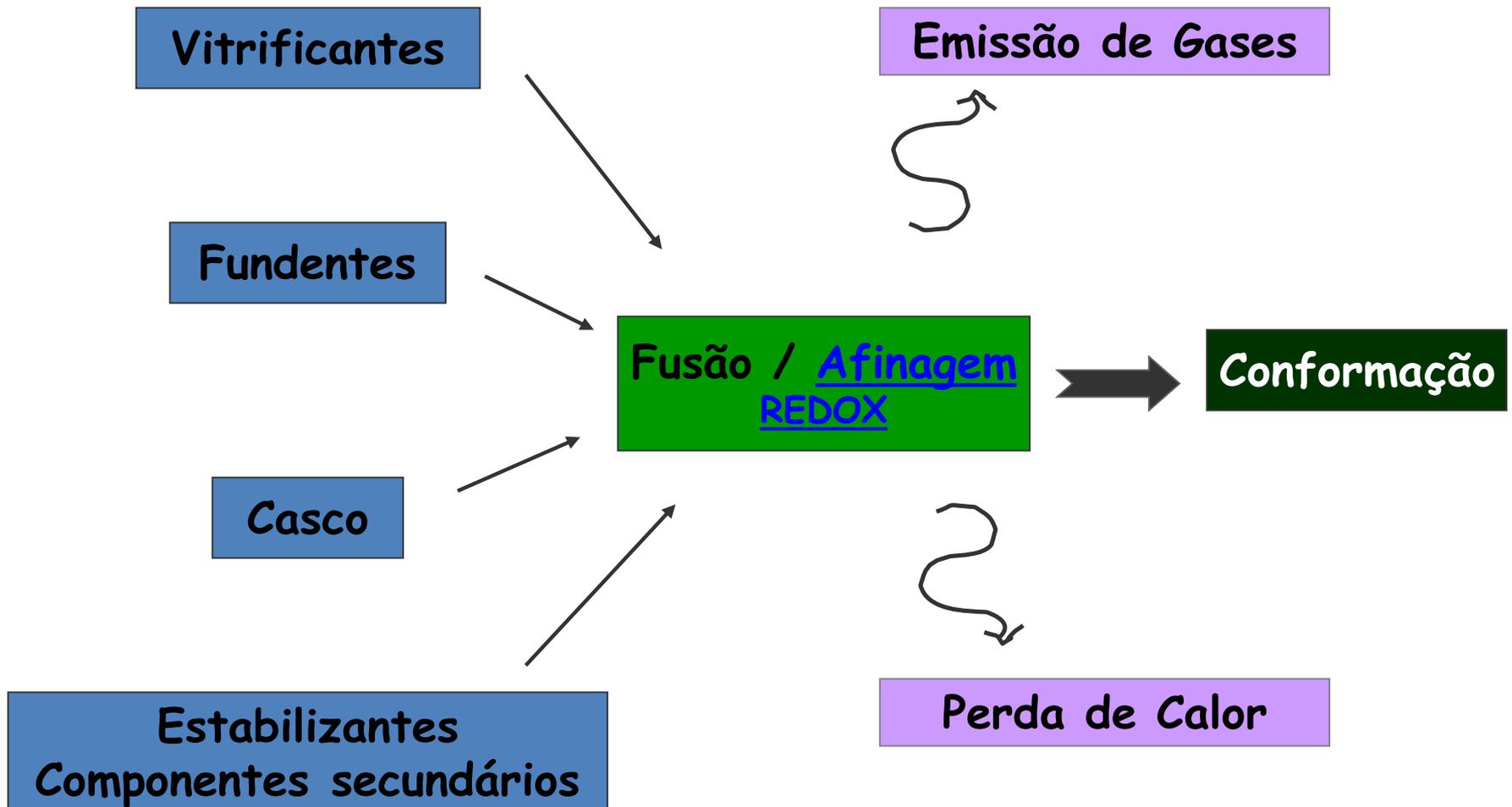
Fabrico automático de vidro oco/plano



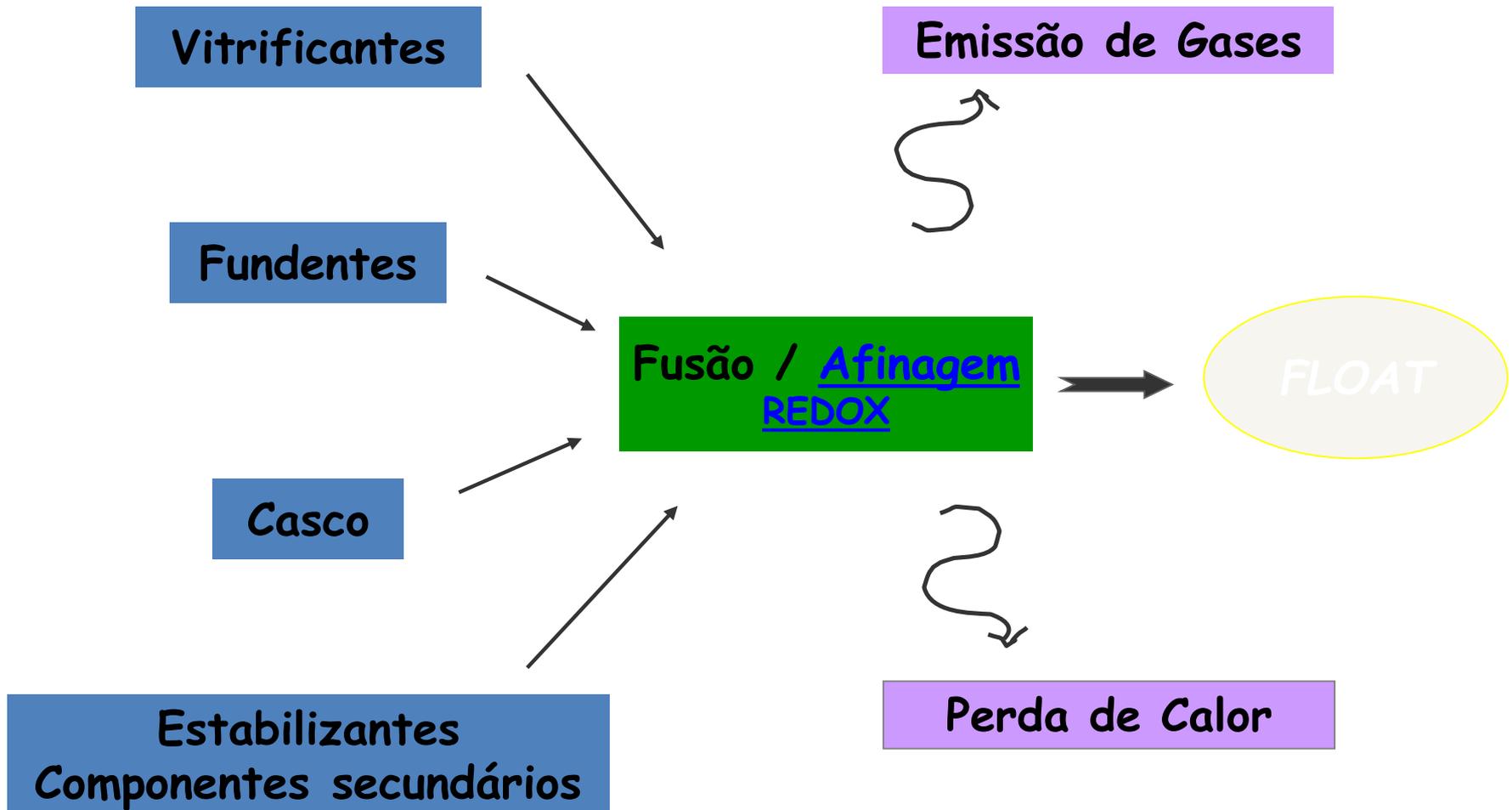
Fabrico manual de vidro



Fabrico automático de vidro oco

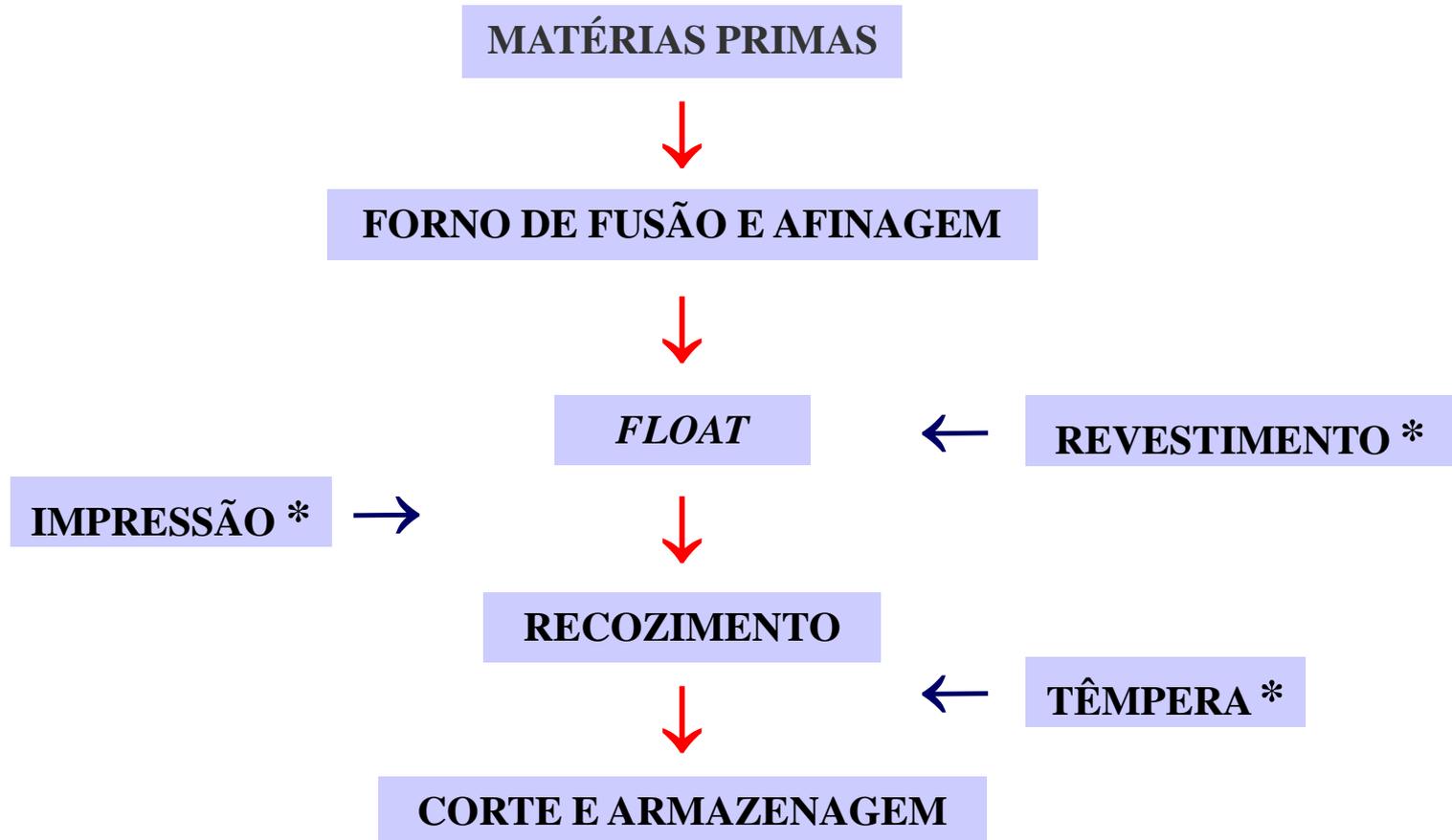


Fabrico automático de vidro plano



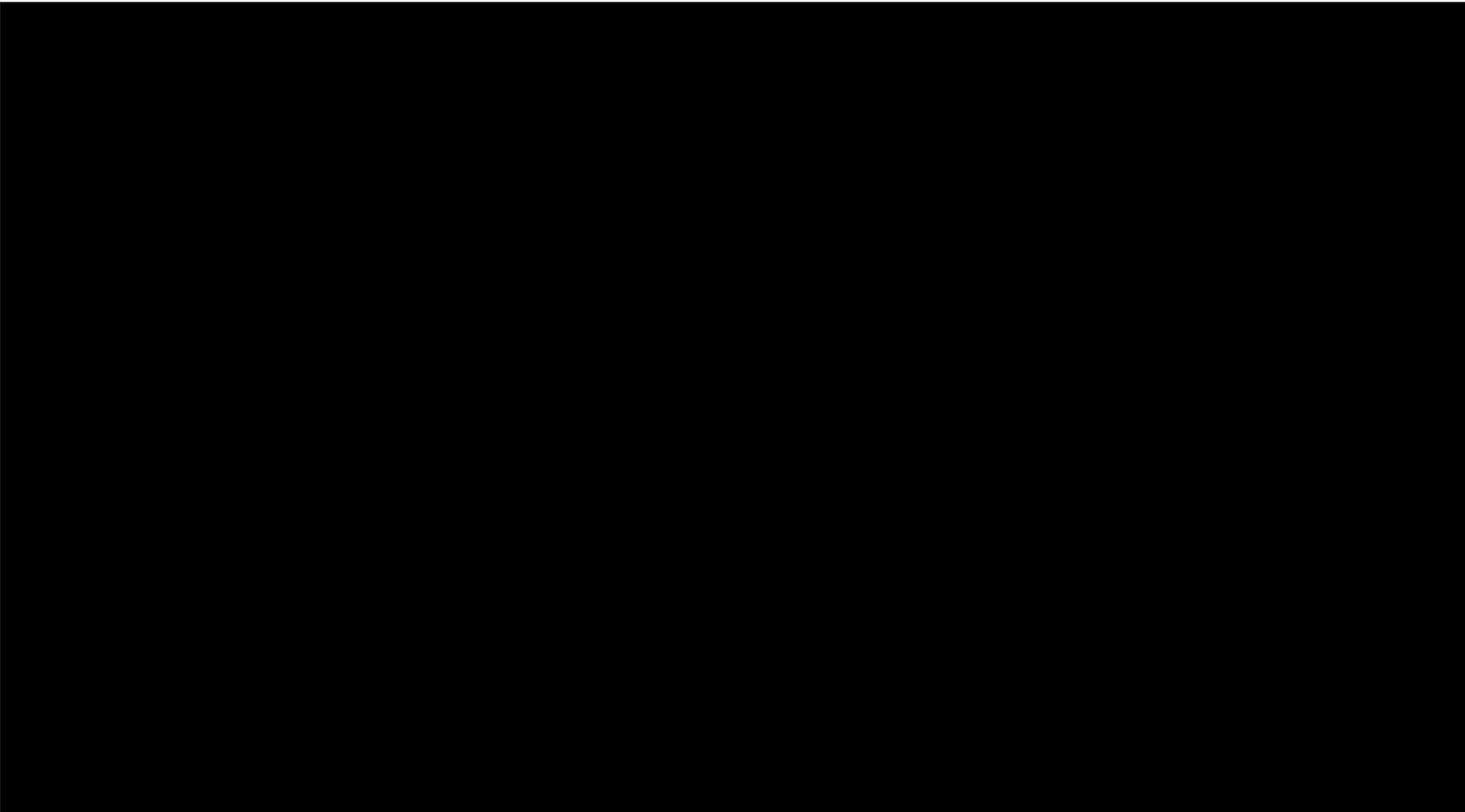
Fabrico automático de vidro plano

* Operações unitárias opcionais



Vidro plano Guardian

Vidro plano PPG



Sumário

-
- Vidros exibem ligação **covalente & iónica**
- Estruturas vítreas **baseiam-se:**
 - repetição de uma **célula unitária**, numa **rede aperiódica 2D ou 3D**
- Vidros exibem uma **temperatura de transição vítrea, T_g**
- Em vidros não tem significado falar de defeitos estruturais
- Os vidros exibem uma **fractura frágil!**

<https://www.youtube.com/watch?v=jzLYh3j6xn8>
<https://www.youtube.com/watch?v=-jR2waw5kIA>

Fabrico vidro

<https://www.youtube.com/watch?v=bxW7pPKG0Mg>
<https://www.youtube.com/watch?v=-z1P2cK9Rro>

Vidro float - Gardian

<https://www.youtube.com/watch?v=tXvyRZY05CU>

Vidro soprado

<https://www.youtube.com/watch?v=FXXwCNSiAFY>
https://www.youtube.com/watch?v=m2Au_Ie6PY4

Ferrari

<https://www.youtube.com/watch?v=VTWiZDq06HU>

<https://www.youtube.com/watch?v=pBktOHO6Nh8>

https://www.youtube.com/watch?v=X4_NaJpoYMI

https://www.youtube.com/watch?v=X-GXO_urMow

<https://www.youtube.com/watch?v=XyIvSIY0MTM>

<https://www.youtube.com/watch?v=gplbpAIjMq8>