



**Escola Politécnica  
Universidade de São Paulo**

# Vidros

# Aplicações Especiais

*Samuel M. Toffoli*

*2014*

# Roteiro

- História
- Formação de um Vidro
- Vidros Temperados e Laminados
- Vidros Planos – Automobilística
- Vidros Planos – Arquitetura
- Vidros Extra-Finos

# História

# História

O vidro é utilizado pelo homem há milhares de anos

Vidro Natural: Obsidianas (produto de ação vulcânica)



# História



**Natureza fornece:**

**Energia**

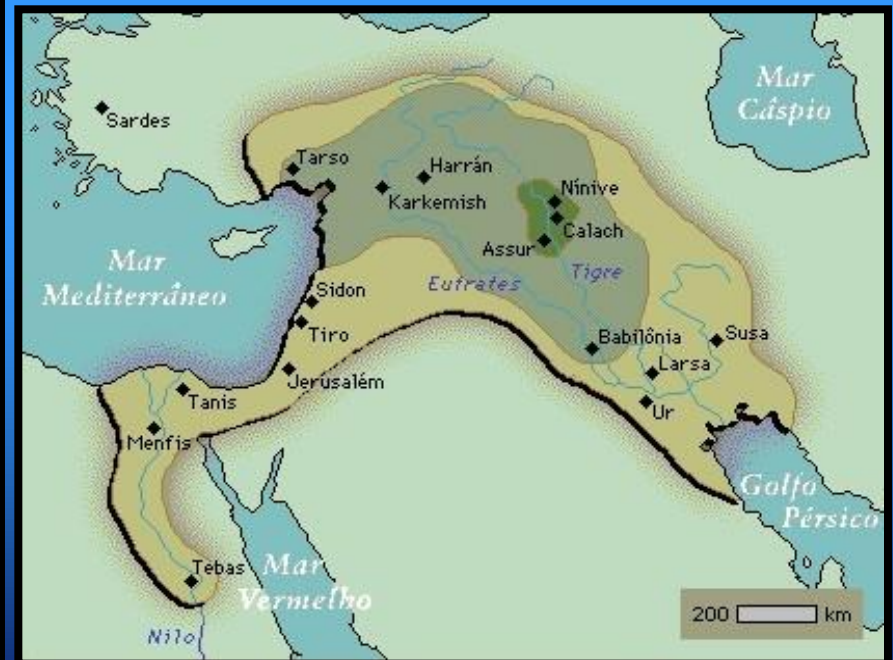
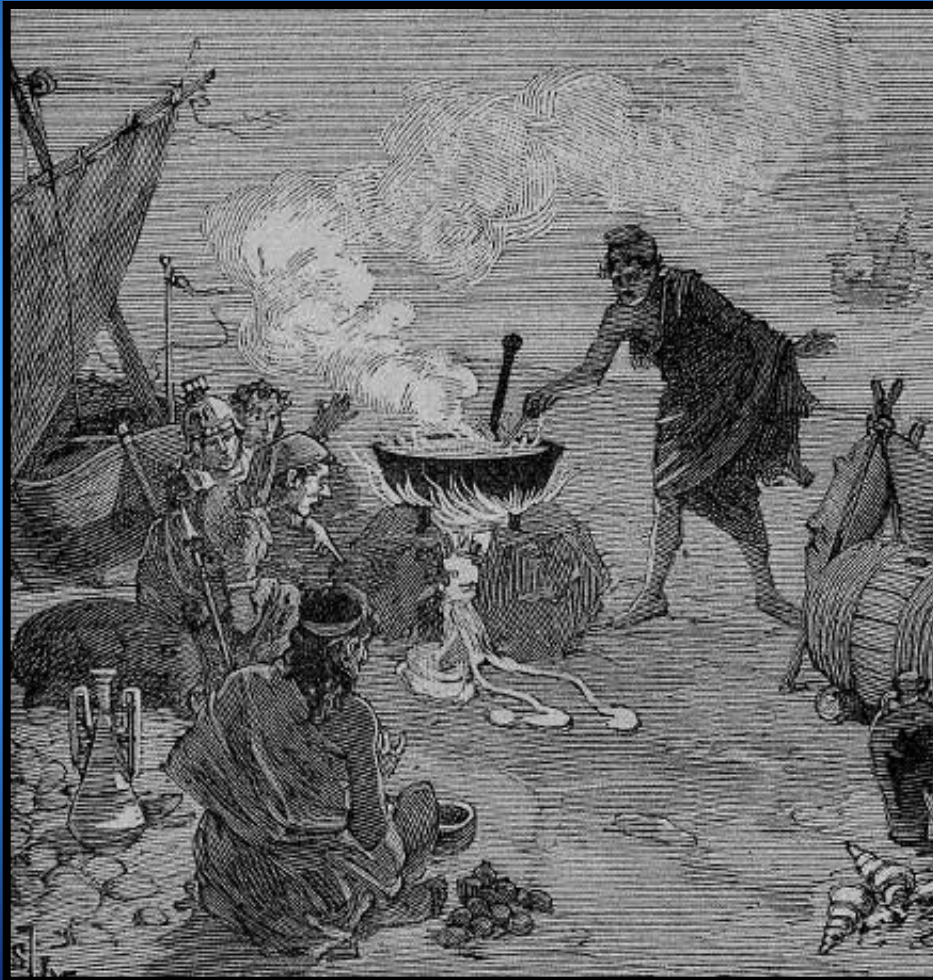
**Matérias-primas**

**Tecnologia de fusão**



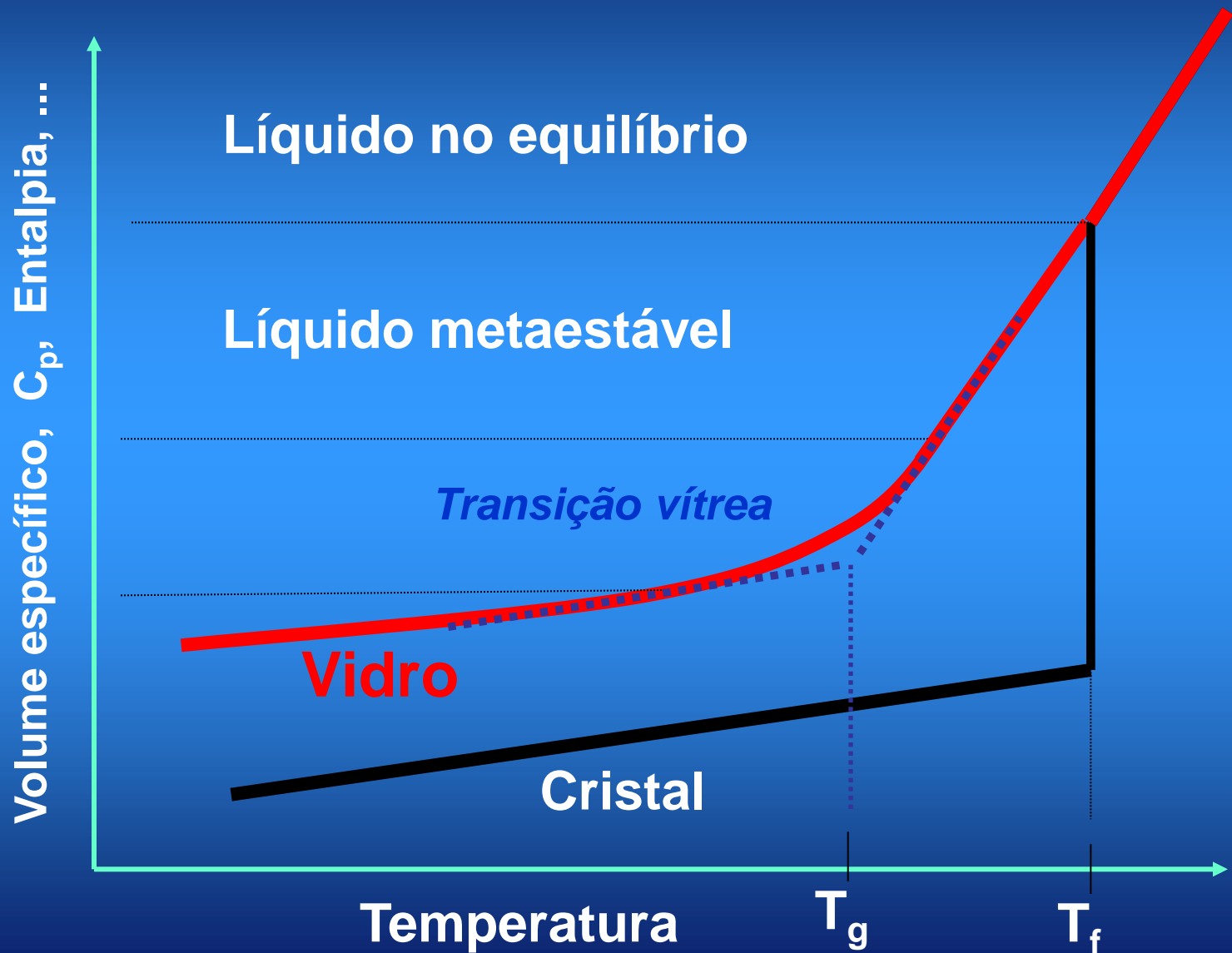
# História

Há 4500 anos:  
descoberta  
acidental de como  
fazer vidro



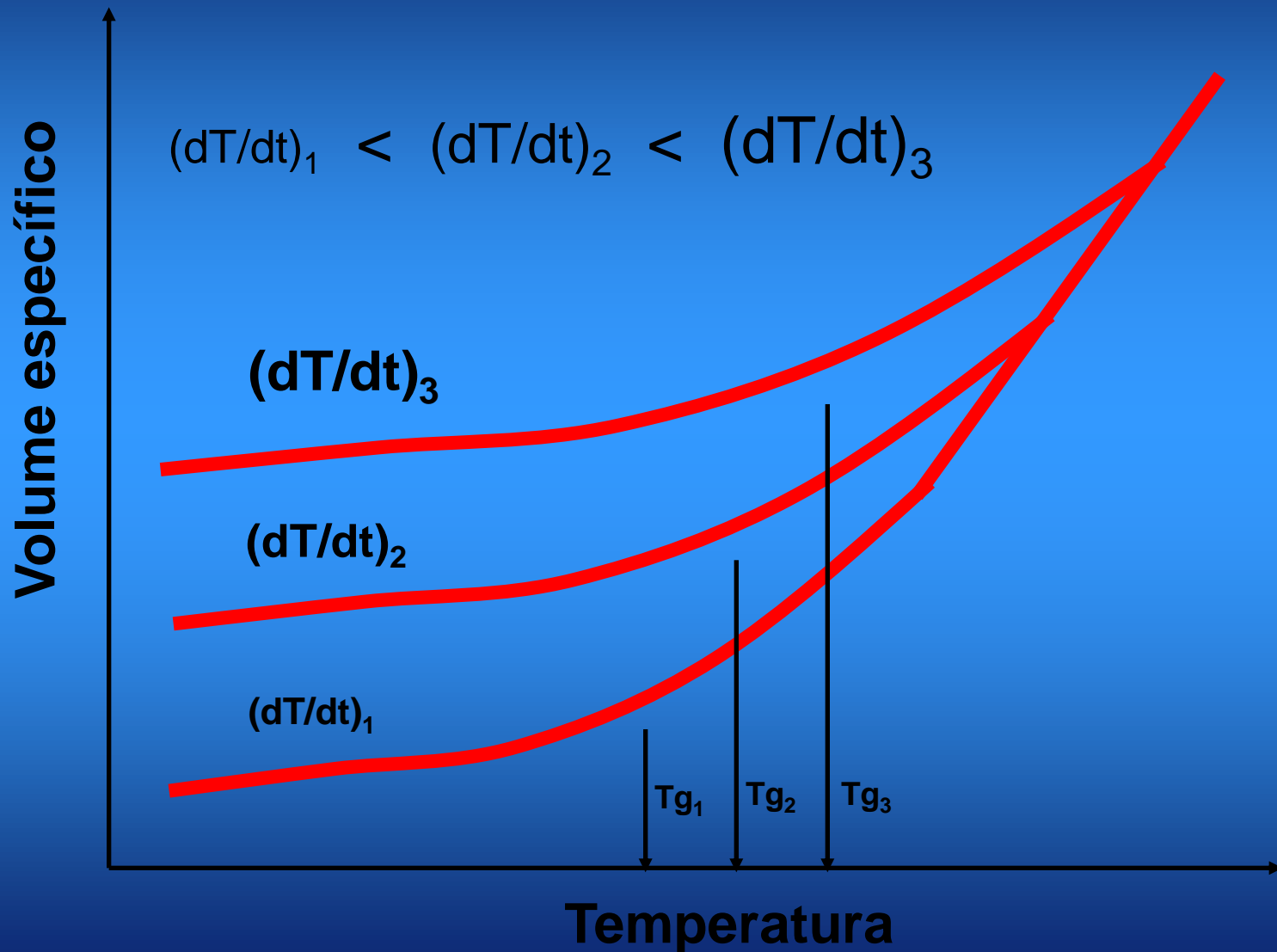
# Formação de um vidro

# Formação de um vidro

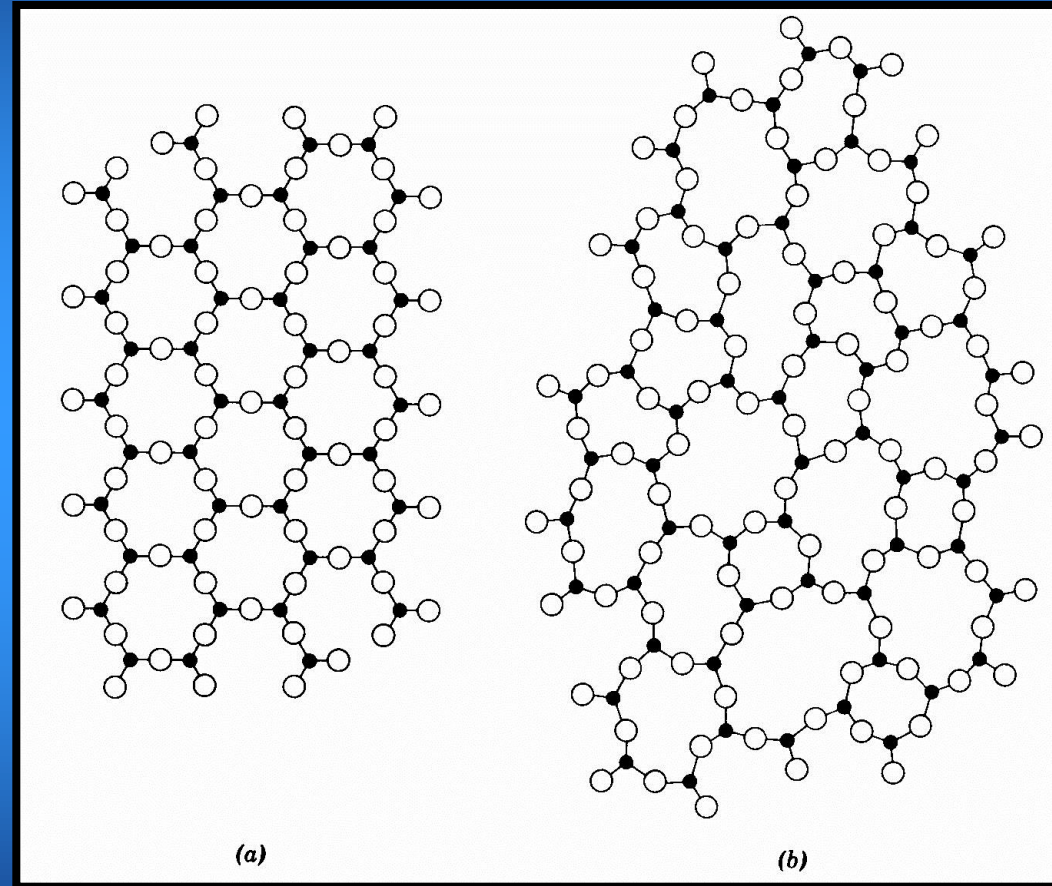
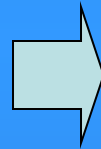
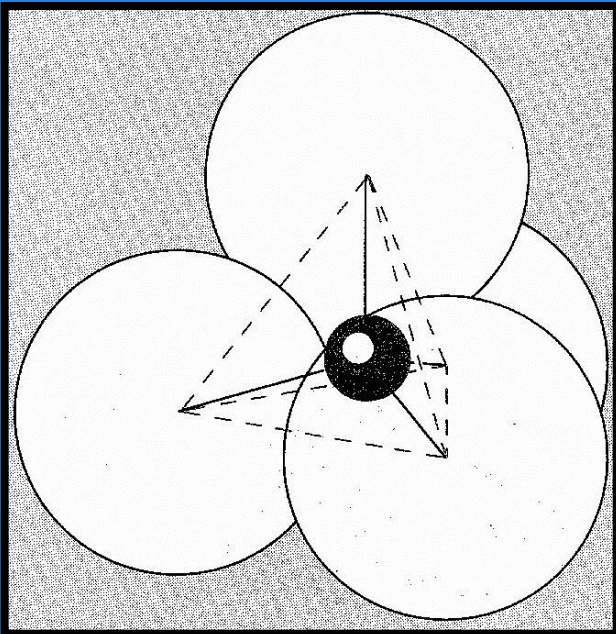




# Formação de um vidro



# Formação de um vidro

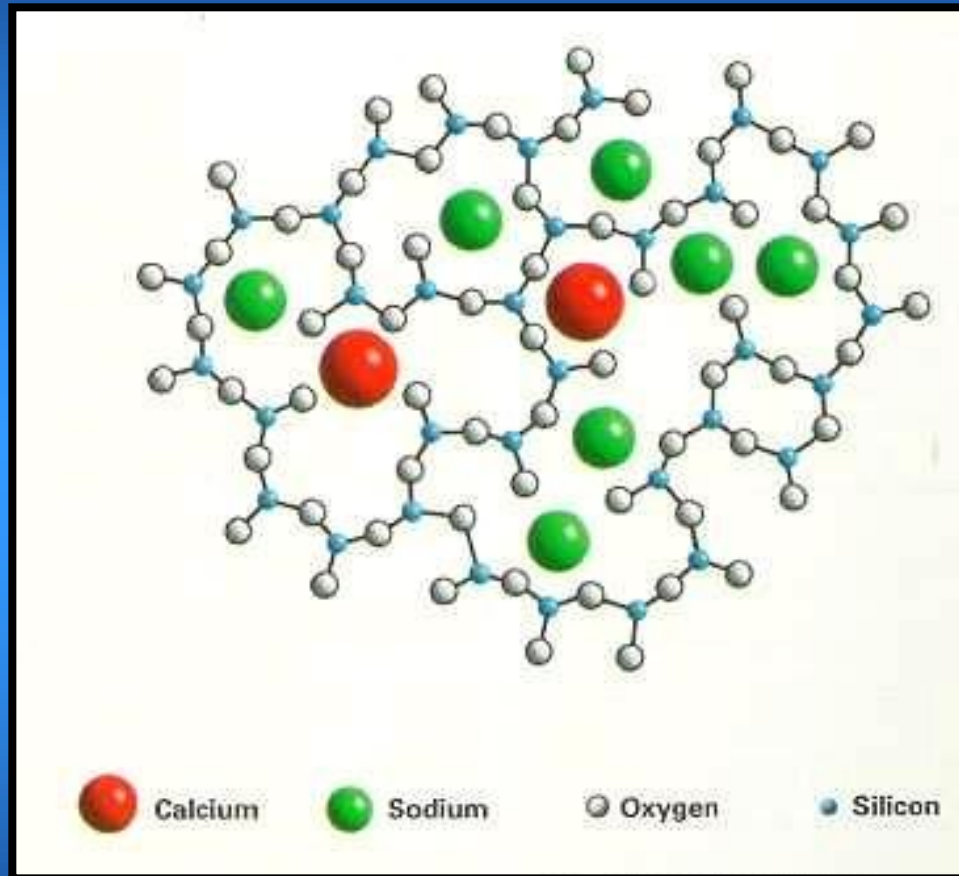


Cristalino

Vítreo

*(Zachariasen, 1932)*

# Formação de um vidro



## Vidro sodo-cálcico

(janelas, garrafas, potes, vidro automotivo, box de banheiro, pratos comuns, etc.)

# Vidros Temperados e Laminados

# Vidros de segurança

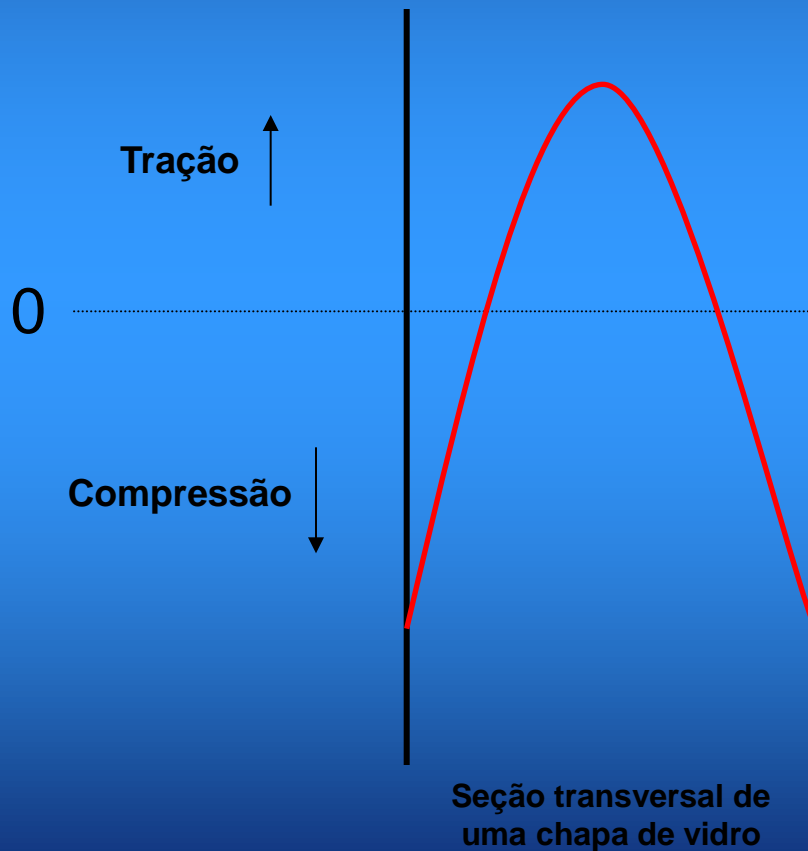
Em caso de ruptura, devem causar menos danos às pessoas do que causaria o vidro recozido

## TÊMPERA (térmica)

- Processo térmico: aquecimento uniforme seguido de resfriamento rápido e homogêneo
  - Tensões de compressão na superfície e de tração no interior
  - Resistência a impactos de 3 a 5 vezes maior
  - Cacos arredondados e menos cortantes

# Vidros de segurança

## TÊMPERA: Tensões





# Vidros de segurança

## LAMINAMENTO

- Sanduíche: 2 folhas de vidro + 1 folha de PVB

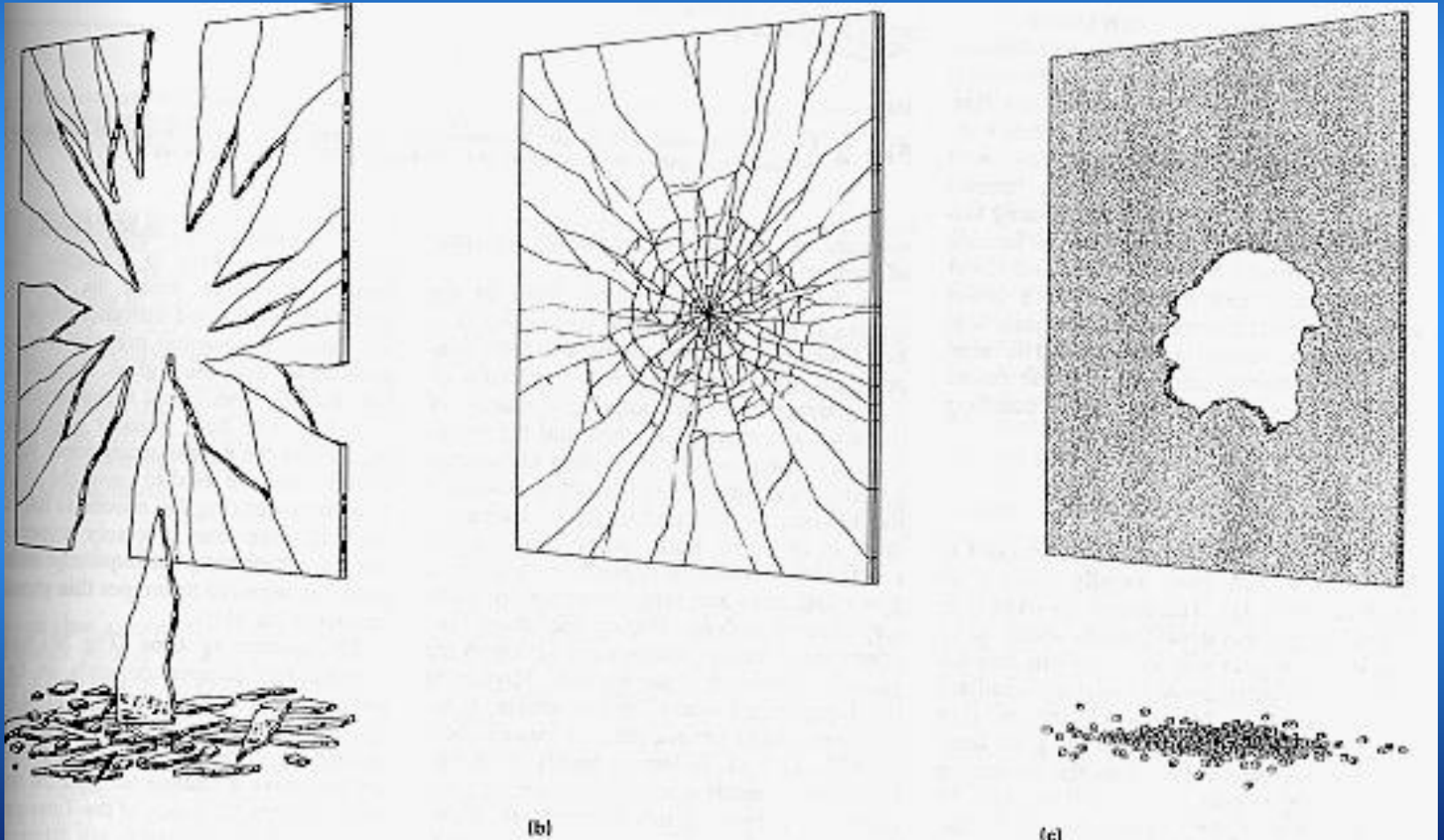
*PVB = poli(vinil butiral), um polímero “borrachoso”*

- O conjunto “cola” em auto-clave (P e T)
- O conjunto apresenta ótima capacidade de absorção de impactos ao fraturar-se



# Vidros de segurança

## MODOS DE FRATURA



Recozido

Laminado

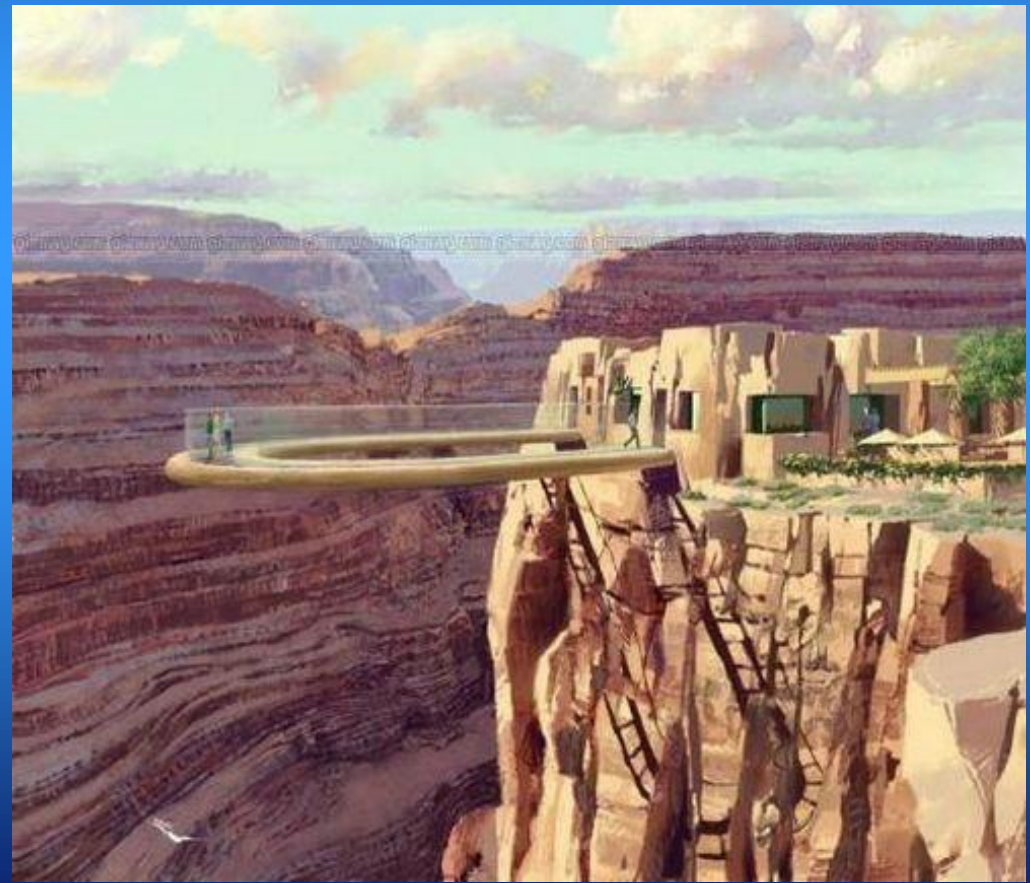
Temperado

# Aplicações Especiais

# Vidro Laminado



Grand Canyon Skyway





# Vidro Laminado



Grand Canyon Skyway



# Vidro Laminado

## Grand Canyon Skyway





# Vidro Laminado

- **Sears Tower** (atual Willis Tower), Chicago, Illinois, EUA
- Inaugurado em 1973, e desde então a mais alta estrutura dos Estados Unidos (527 m).
- Skydeck Ledge: 103º andar, 412 m de altura, 2009 (“caixa” de vidro retrátil)

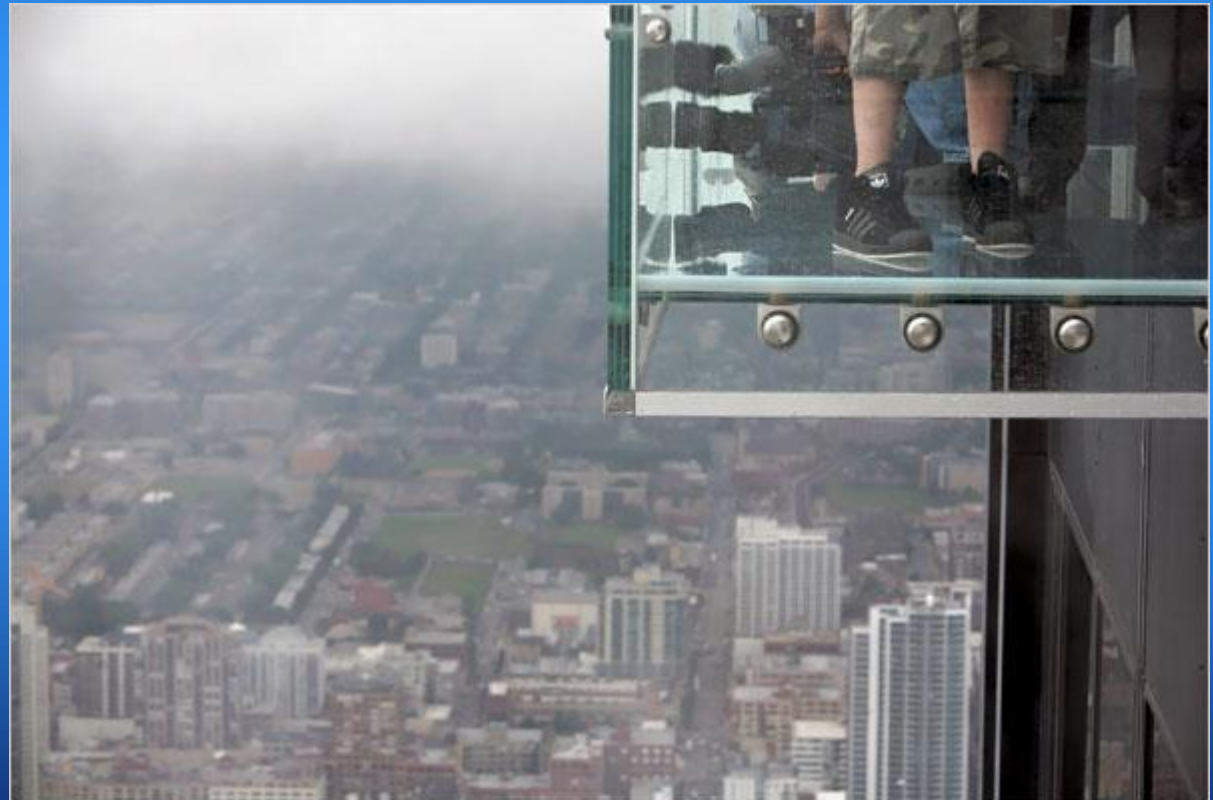
# Vidro Laminado

- Sears Tower (atual Willis Tower), Chicago, EUA



# Vidro Laminado

## Willis Tower Skydeck Ledge



# Vidro Laminado

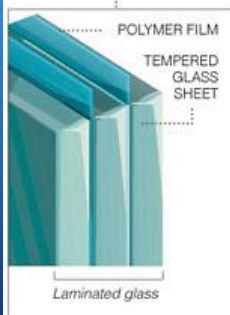
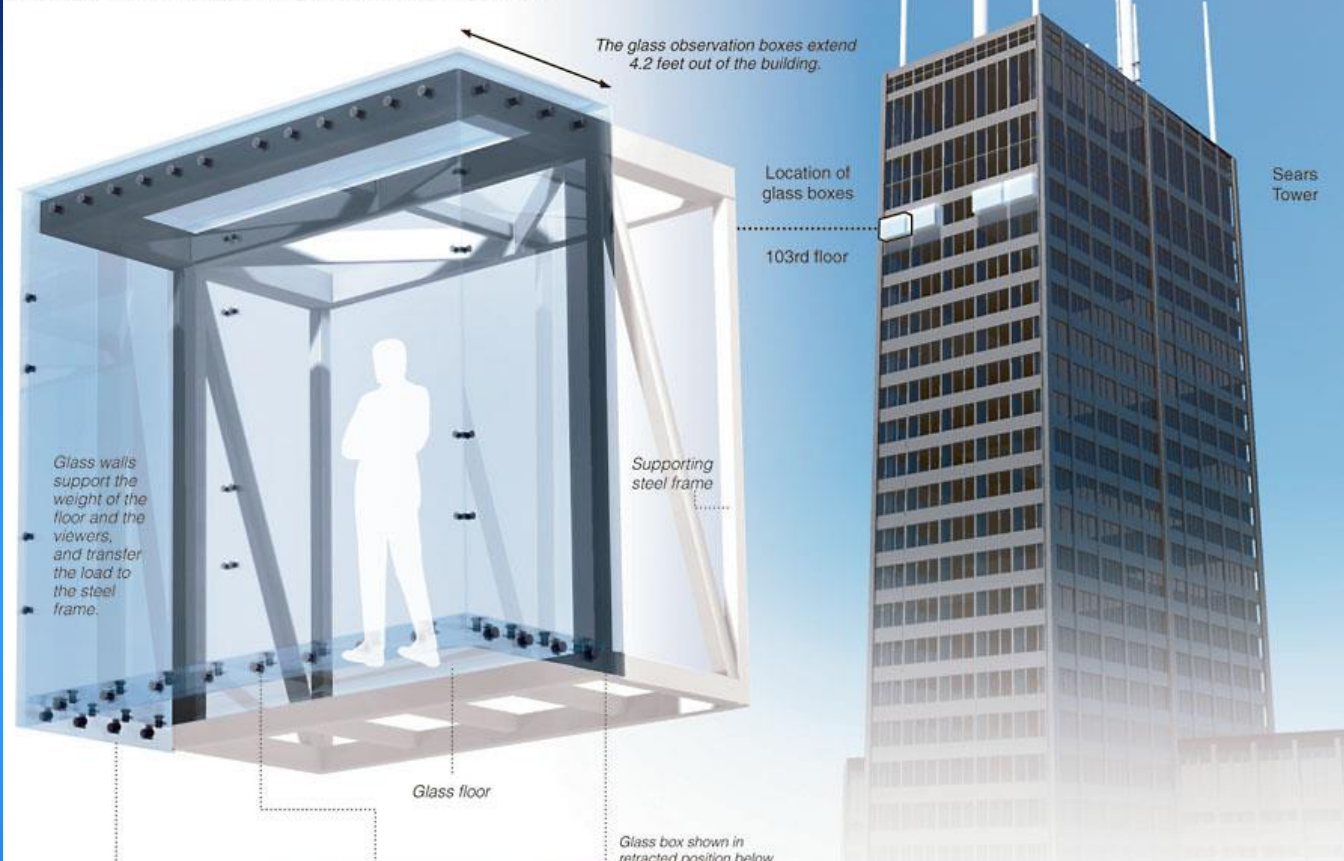
## Willis Tower Skydeck Ledge



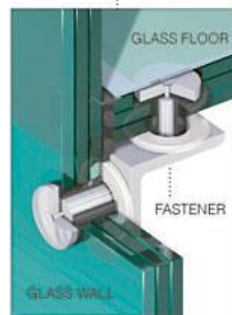


## Don't Look Down

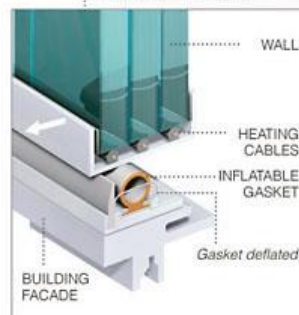
The new 103rd-floor observation booth at the Sears Tower, in Chicago, takes advantage of new technology to use glass as a load-bearing element.



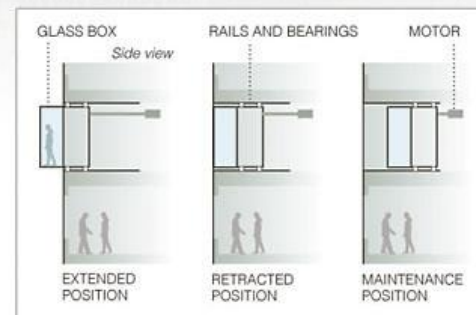
**STRUCTURAL GLASS**  
The floor, sides and ceiling of the observation boxes are made of three sheets of half-inch tempered glass bonded together with polymer film.



**FASTENER**  
Glass elements are joined together with stainless steel fasteners. Some joints have a silicone layer to allow for thermal expansion.



**SEAL**  
An inflatable gasket seals the glass box in place. Deflating the seal allows the box to be moved in and out. Heating cables prevent ice buildup and keep the seal from freezing to the glass.



**MECHANISM**  
A gliding mechanism driven by an electric motor allows the four glass boxes to be pulled inside the tower for cleaning and maintenance.

Sources: Skidmore, Owings & Merrill; MTH Industries

MIKA GRÖNDALH, THE NEW YORK TIMES

# Vidro Laminado

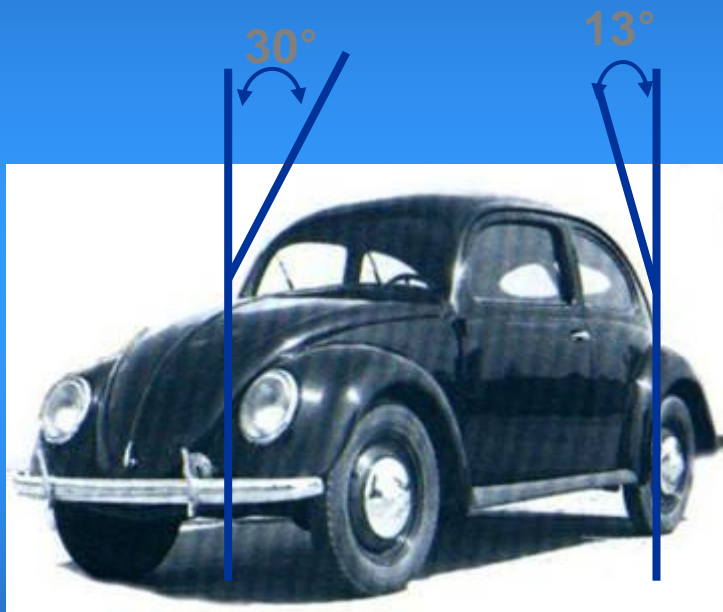
2013, Alpes franceses (Chamonix), sobre o Monte Bianco: 3848m, 55€





# Vidro Plano – Automóveis

1960



Area envidraçado:  
2,2 m<sup>2</sup>

2000



Área envidraçado:  
4,32 m<sup>2</sup>

# Vidro Plano – Automóveis



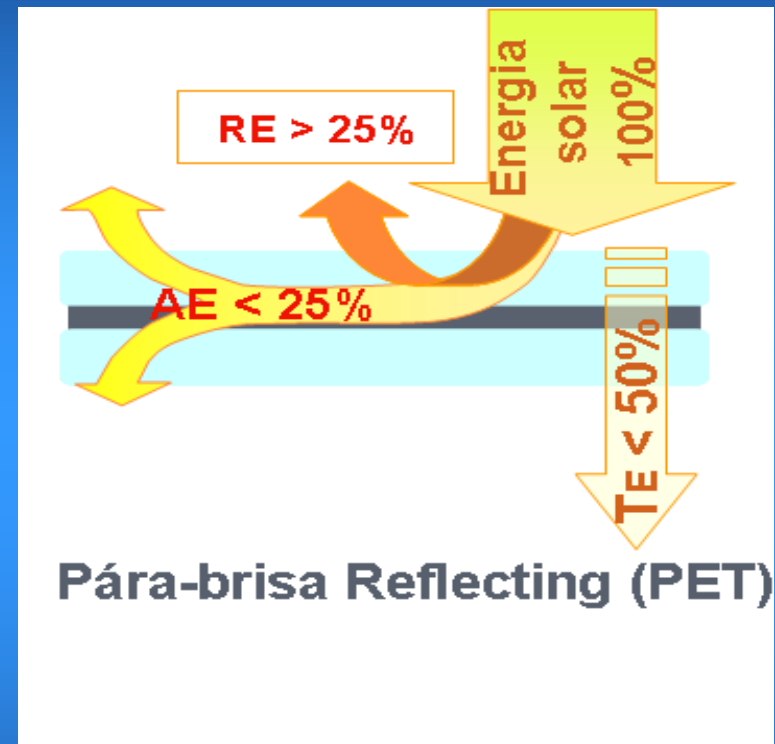
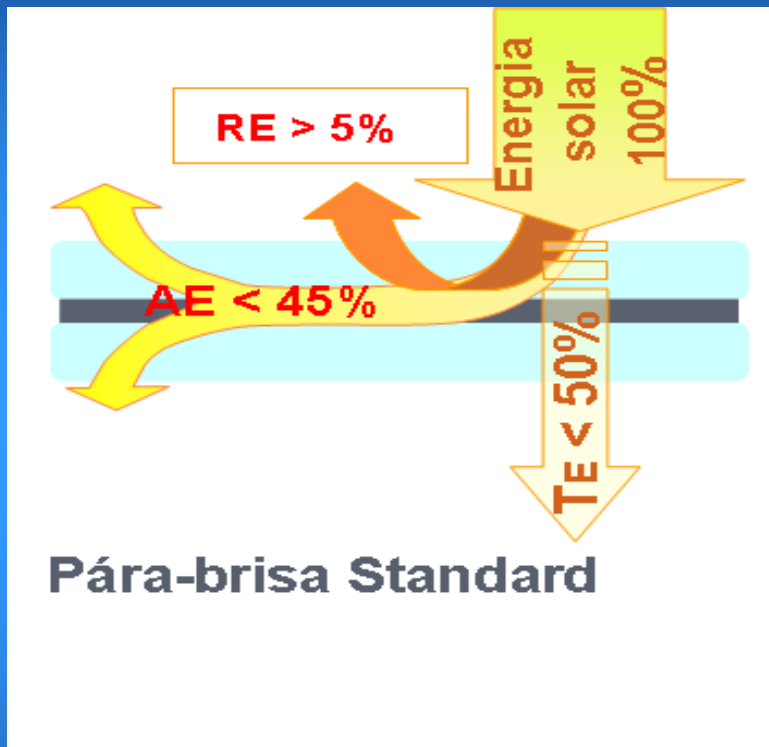
Renault Zoe (elétrico)

# Vidro Plano – Automóveis

Conforto térmico  $\Rightarrow$  controle da radiação IV

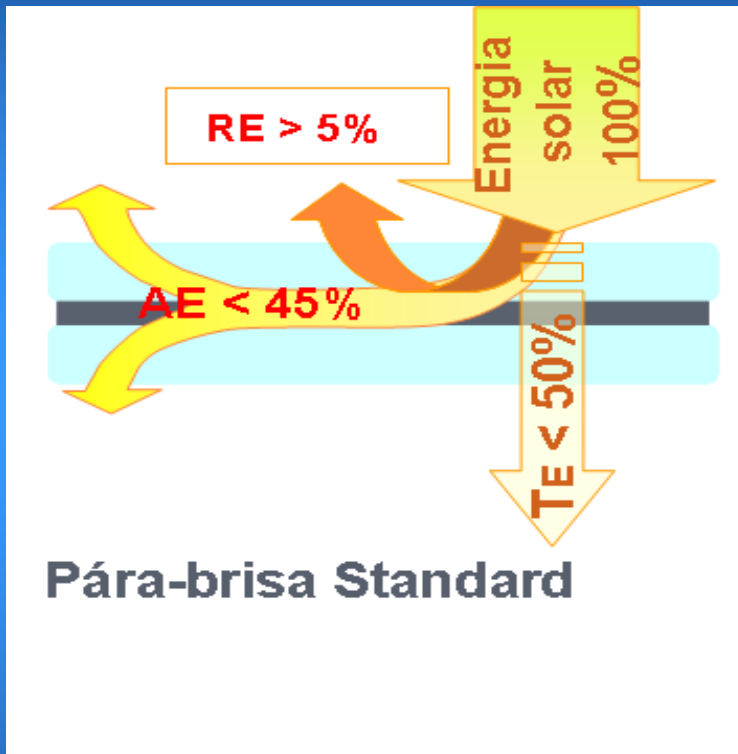
Proteção anti UV  $\Rightarrow$  controle da radiação UV

# Thermocontrol<sup>®</sup> Reflecting (Saint-Gobain)



- A energia solar é refletida por um filme metálico inserido no pára-brisa
- Restrição: Vidros muito curvos e antena integrada

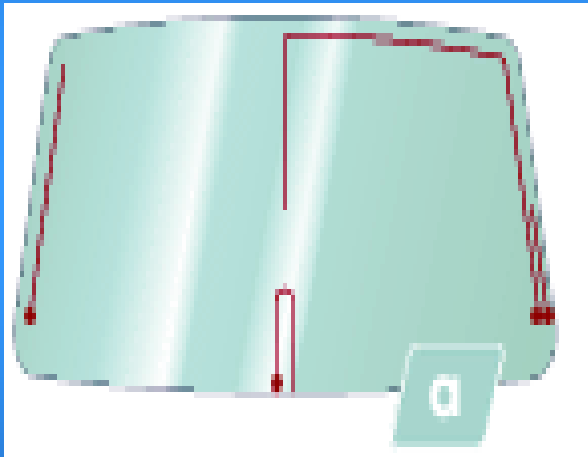
# Thermocontrol<sup>®</sup> Absorbing (Saint-Gobain)



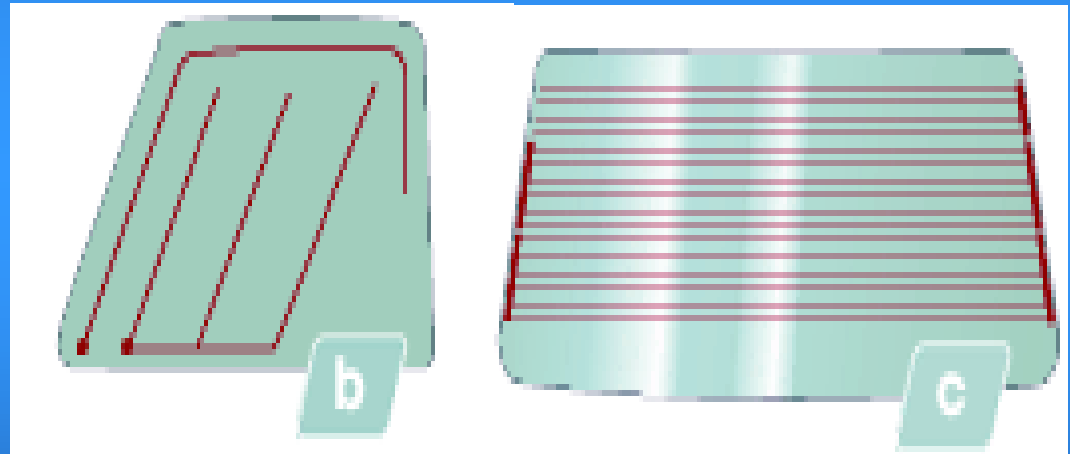
- A energia solar é absorvida por um PVB especial inserido no pára-brisa

# Vidro Plano – Automóveis

## Antenas e alarmes



Fio condutor em pára-brisas



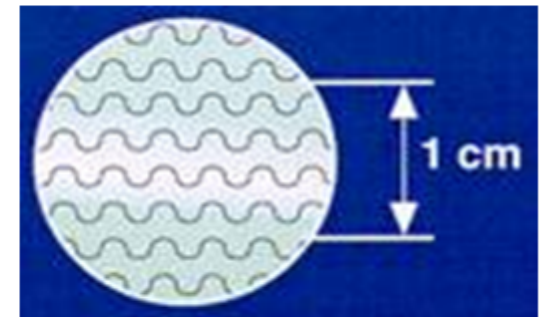
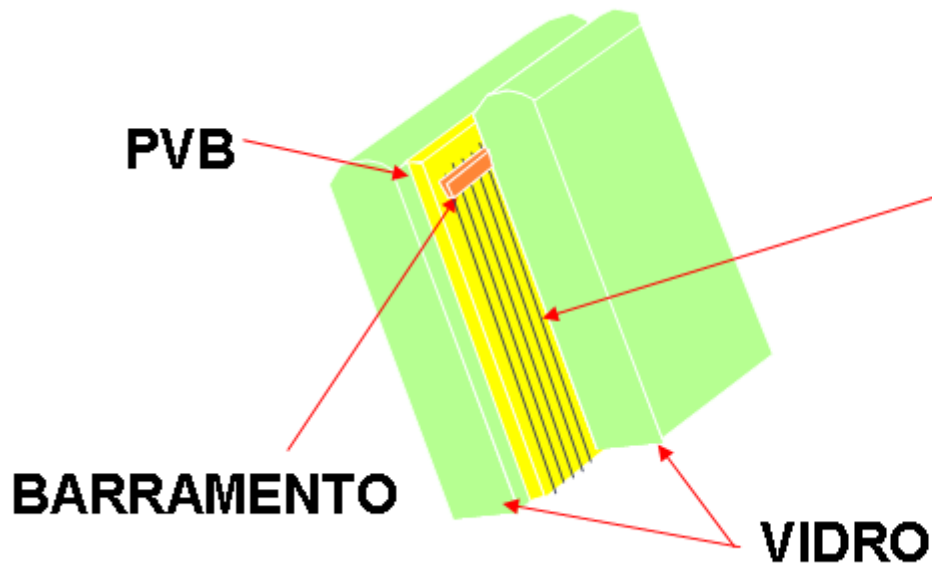
Condutores serigrafados em temperados



# Vidro Plano – Automóveis

## Anti-embaçante

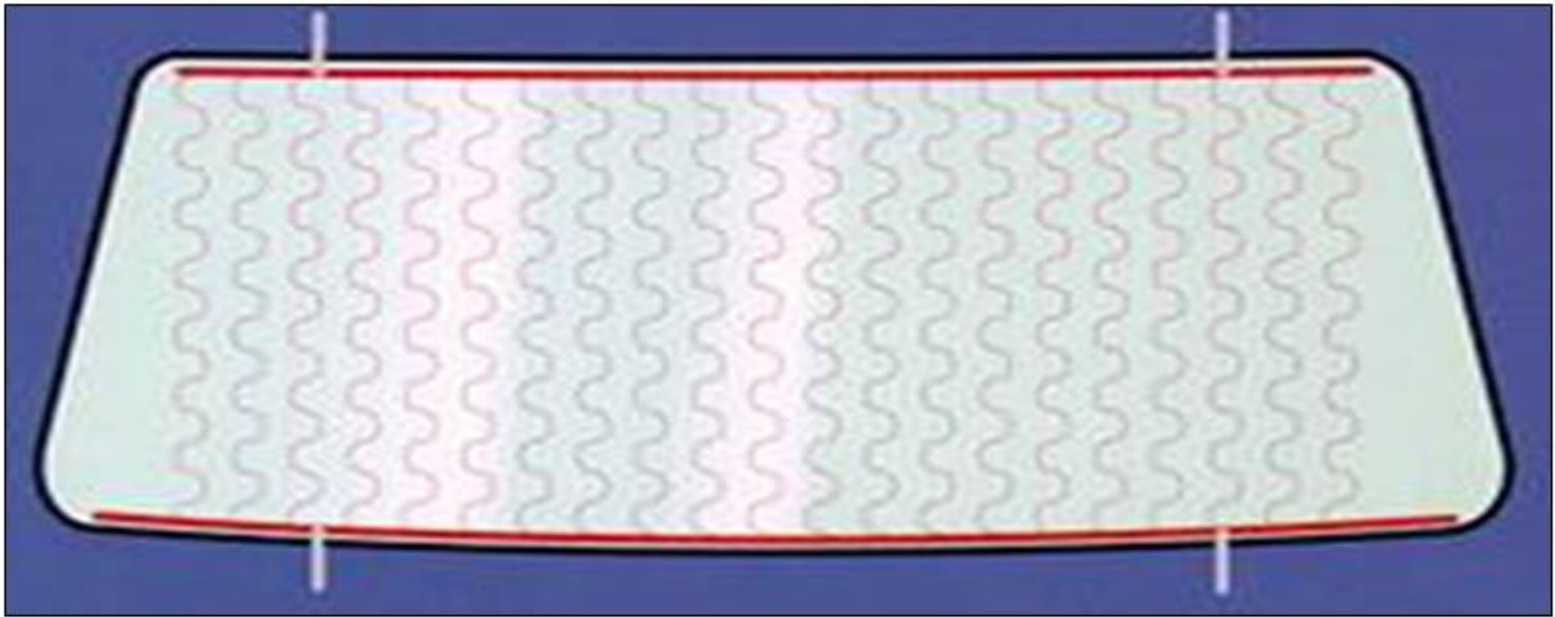
- Micro filamentos de tungstênio aplicados sobre o PVB do pára-brisa.



**FILAMENTOS  
DE AQUECIMENTO**

# Vidro Plano – Automóveis

## Pára-brisa anti-embaçante

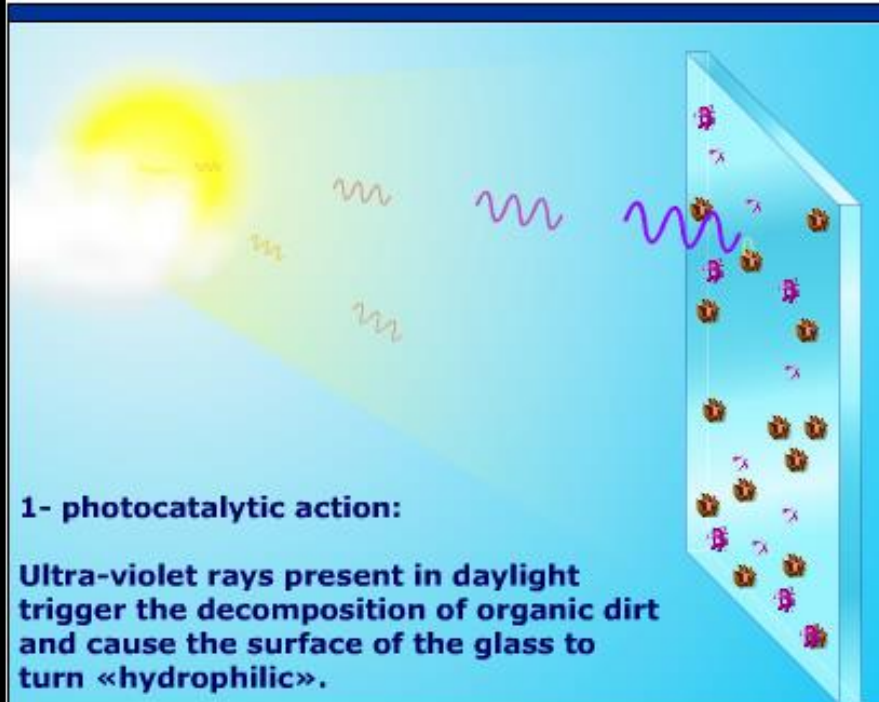


Os filamentos são aplicados em toda **área visível** do pára-brisa, alcançando até mesmo as áreas que a ventilação forçada não desembaça com rapidez.

# Vidro Plano – Arquitetura

## Vidro auto-limpante

SGG **BIOCLEAN**<sup>®</sup>   
Let nature do your dirty work !



SGG **BIOCLEAN**<sup>®</sup>   
Let nature do your dirty work !



# Vidro Plano – Arquitetura

**Vidro convencional**



**Bioclean**





# Vidro Plano – Arquitetura

**Vidro convencional**

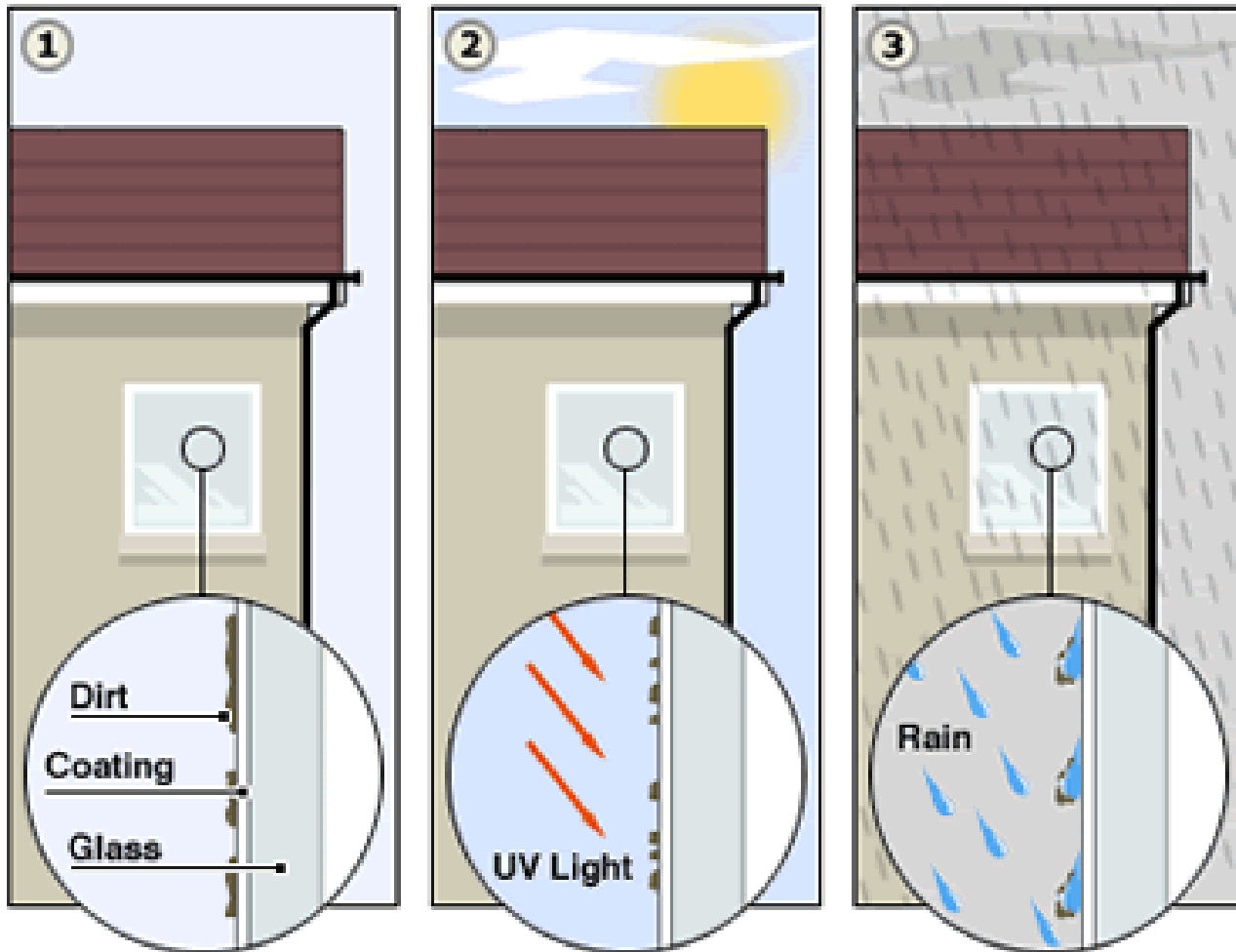
**Bioclean**

*Após 6 meses sem limpeza*



# Vidro Plano – Arquitetura

## Vidro auto-limpante

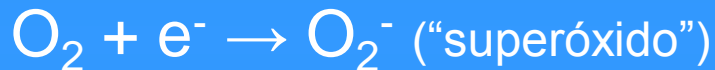


**Activ<sup>®</sup>**  
**(Pilkington)**  
**2001**

# Vidro Plano – Arquitetura

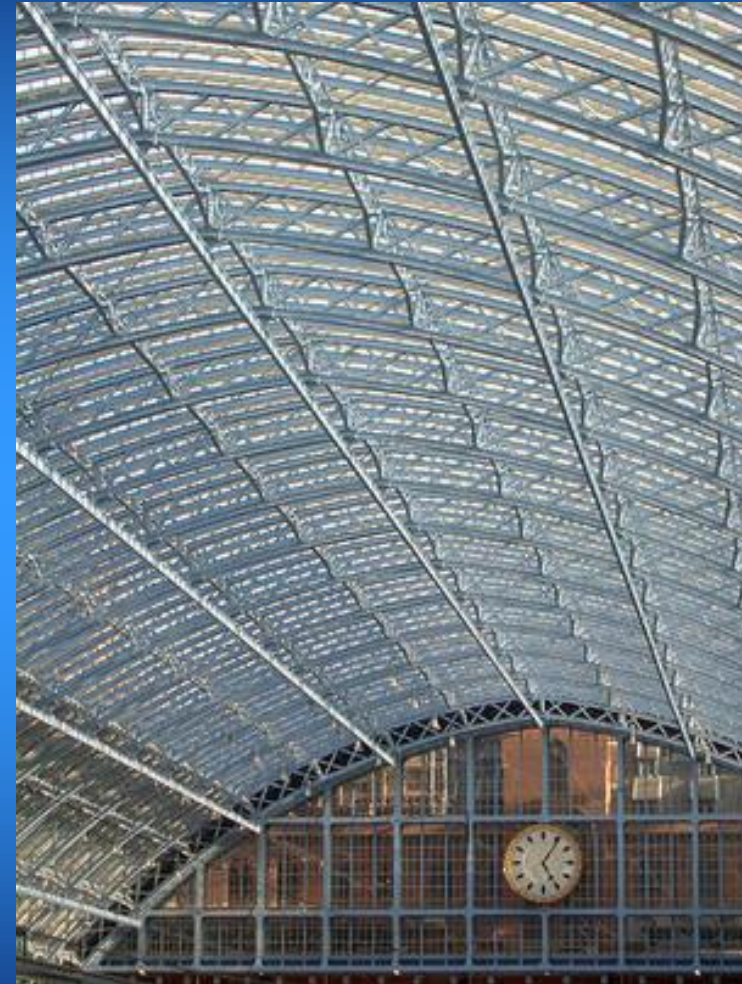
## Vidro Auto-Limpante:

- Filme de  $\text{TiO}_2$  (~15 nm) na superfície do vidro
- Radiação UV sobre a titânia provoca excitação eletrônica  $\rightarrow e^-$



*Regenera o balanço elétrico do Ti*

O radical  $\cdot\text{OH}$  e o superóxido degradam as gorduras e sujeira da superfície, tornando-os hidrofílicos e, portanto, laváveis pela água da chuva



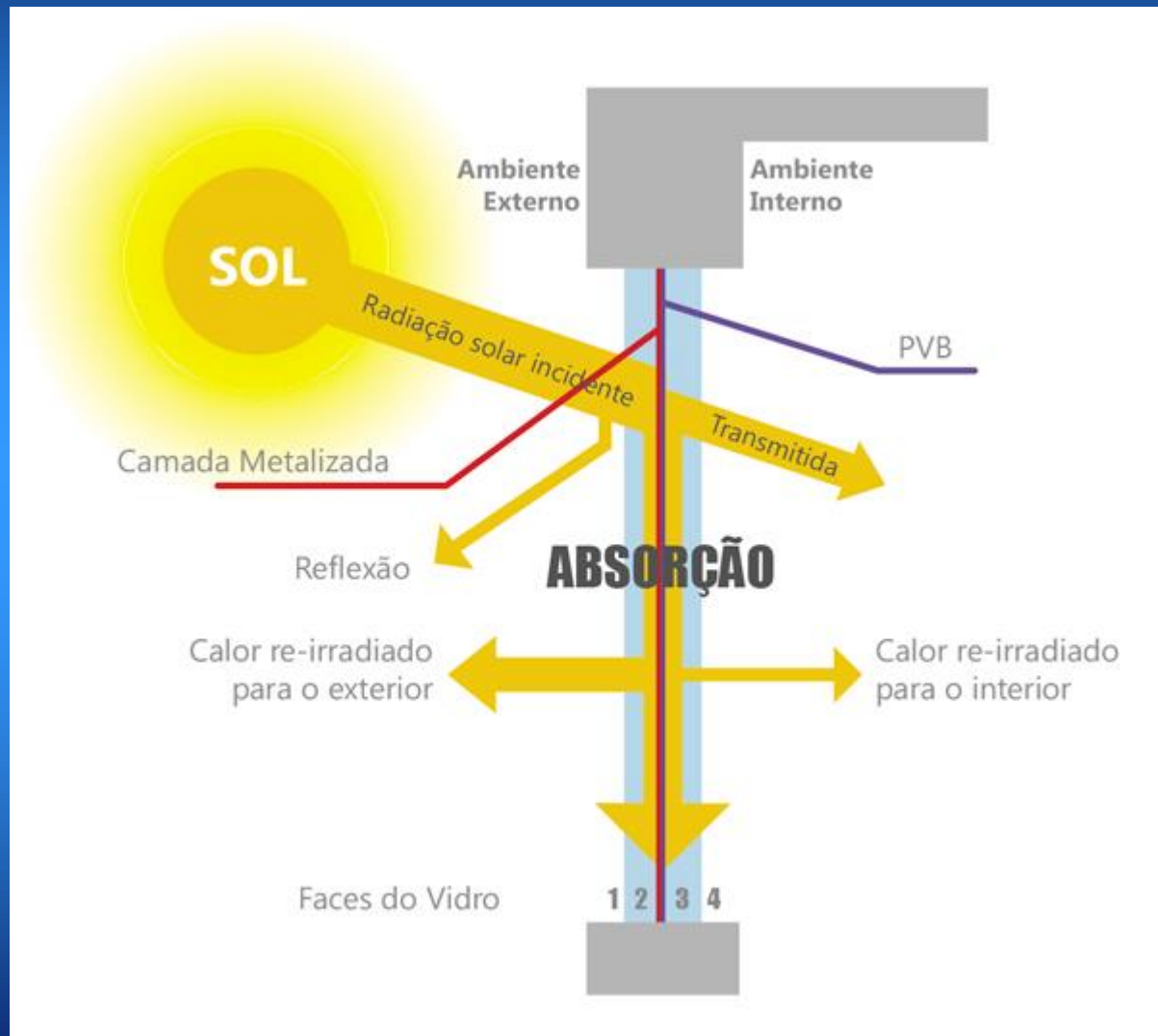
Saint-Pancras Station, Londres  
>10.000 m<sup>2</sup> de telhado  
>17.000 placas de vidro auto-limpante



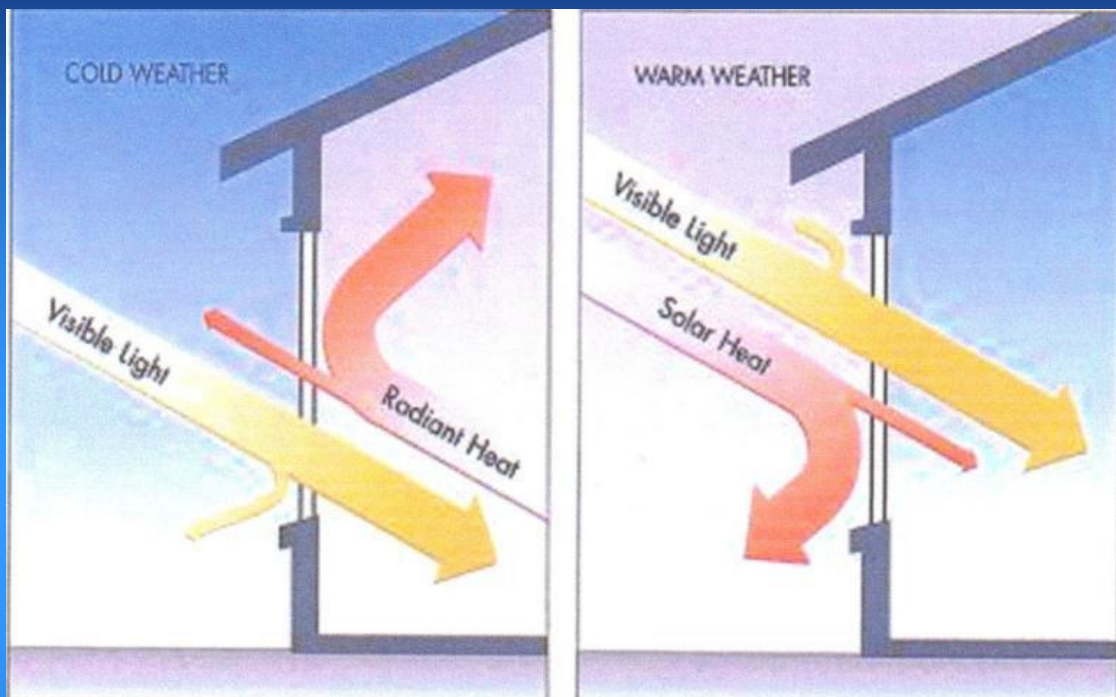
# Vidro para controle solar



- Consegue barrar até 80% do calor externo, deixando passar ~40% da luz visível



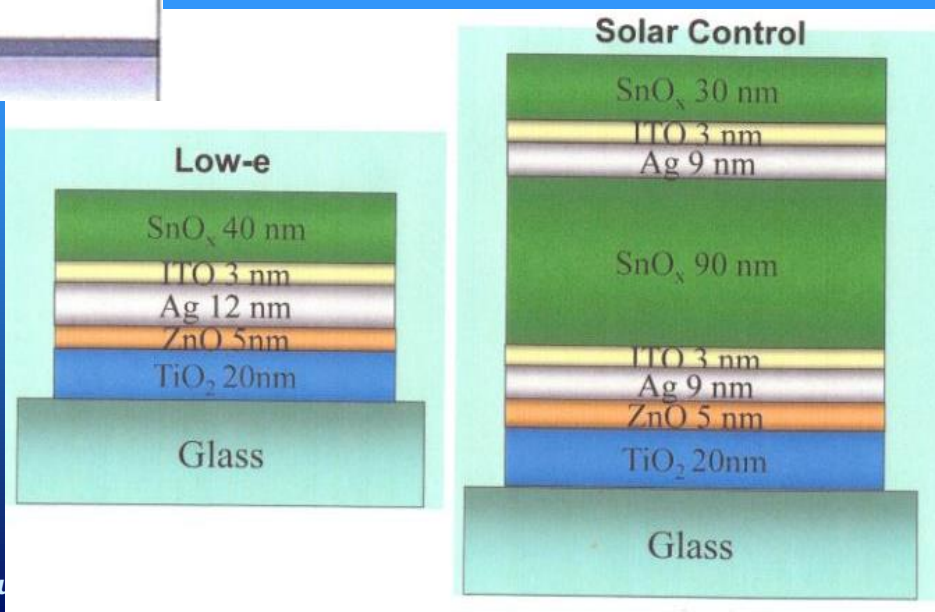
# Vidro para controle solar (*heat mirrors*)



Utilizado principalmente em arquitetura

## Conceito

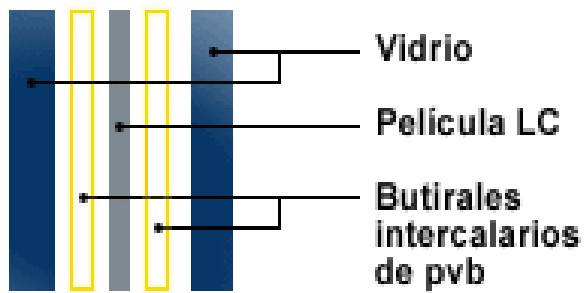
Depósito multi-camadas por *sputtering*, onde o filme de prata é o principal reflector de radiação IV, mas é ajudado pelas outras camadas dielétricas



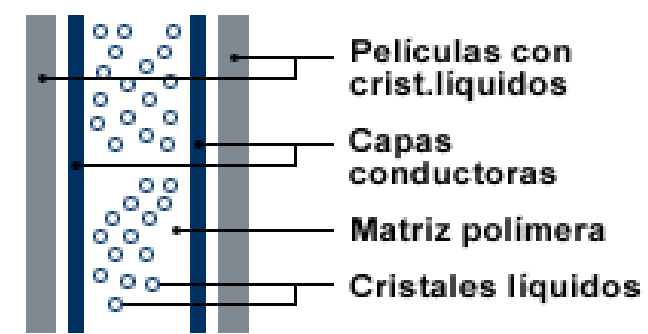
# Vidro Plano – Arquitetura

## Vidro opticamente ativo

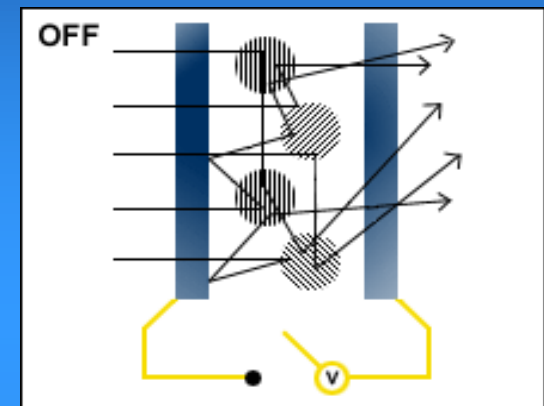
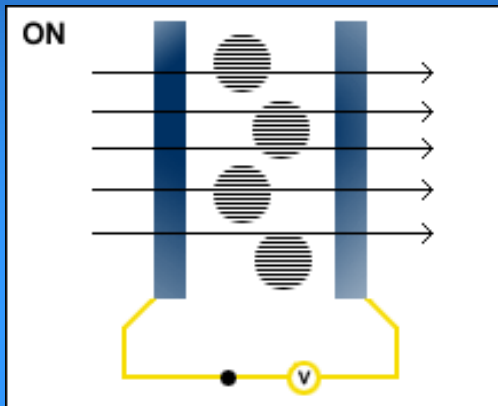




## Corte da película



## Corte transversal





# Vidro Plano – Arquitetura

Aplicação de vidro  
eletrocromático:

Chabot College (California, EUA)

“Cortina” de vidro de 884 m<sup>2</sup>

Inaugurado em 2010

**SageGlass**  
**(Saint-Gobain)**



The Student Services Center at Chabot College, California features SageGlass, shown (above) in the clear state and (below) fully tinted.



# Vidro Plano – Arquitetura

## Ornilux Mikado (2009)



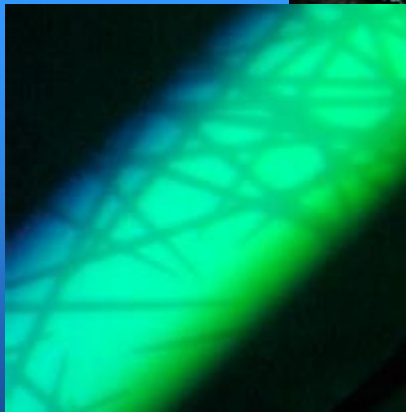
À esquerda, o vidro como nós o vemos, à direita, como os pássaros o vêem.

Vidro para proteção contra impacto de aves: padrões geométricos que refletem luz UV, gravados na superfície do vidro, visíveis apenas pelos pássaros (eles têm 4 conjuntos de cones fotoreceptores nos olhos, contra apenas 3 dos humanos, o que os habilita a enxergar luz ultra violeta)

Obs: “mikado”, em alemão, significa “jogo de varetas”

# Vidro Plano – Arquitetura

## Ornilux Mikado (2009)



Nicho dos ursos polares - Zoológico Hellenbrunn (Munique)

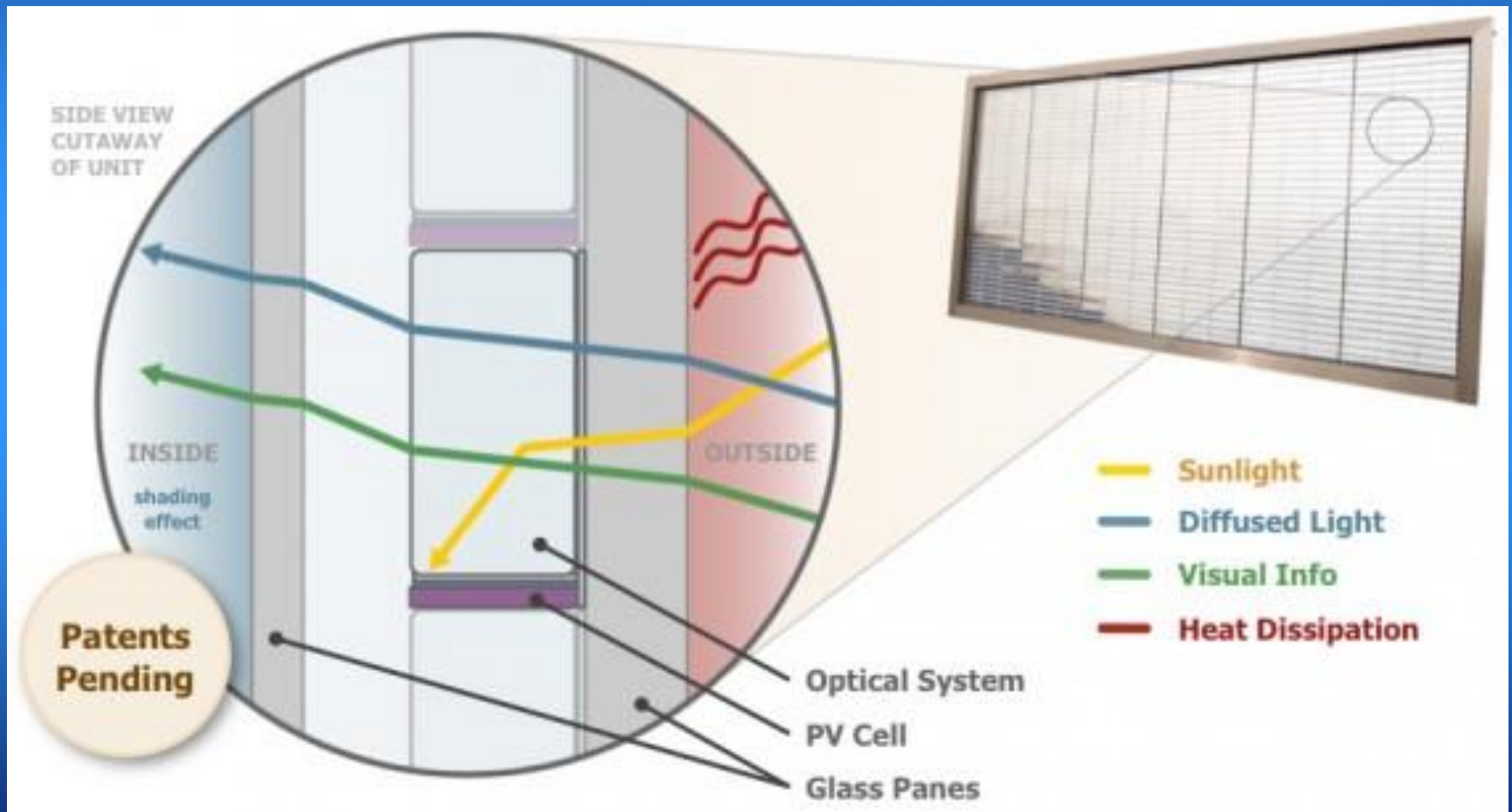


# A day made of glass

(Corning)

# Vidro Plano – Arquitetura

## Pythagoras – PVGU (Photo-Voltaic Glass Unit)



# Vidro Plano – Arquitetura

## Pythagoras – PVGU (Photo-Voltaic Glass Unit)

Pythagoras Solar (Israel, EUA e Taiwan), fundada em 2007



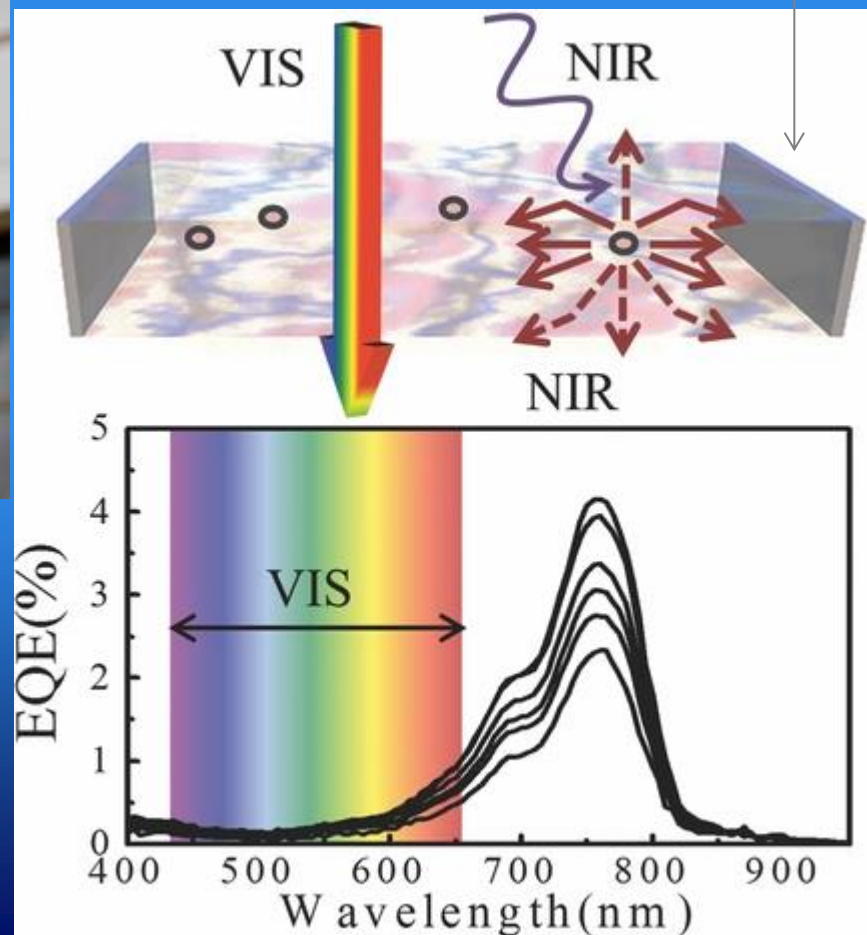
# Vidro Plano – Arquitetura

## Near-Infrared Harvesting Transparent Luminescent Solar Concentrators

Trabalho experimental – Michigan State University



As bordas contêm tiras de células fotovoltaicas



- O vidro luminesce no infravermelho próximo (NIR)
- A pesquisa encontra-se em andamento (setembro de 2014).
- A eficiência atual ainda é baixa (~1%), mas a projeção é atingir-se ~7%.
- Poderia ser utilizado em janelas, celulares, tablets, ...



# Vidro Plano – Células Solares

GMB Solarglas | SILK



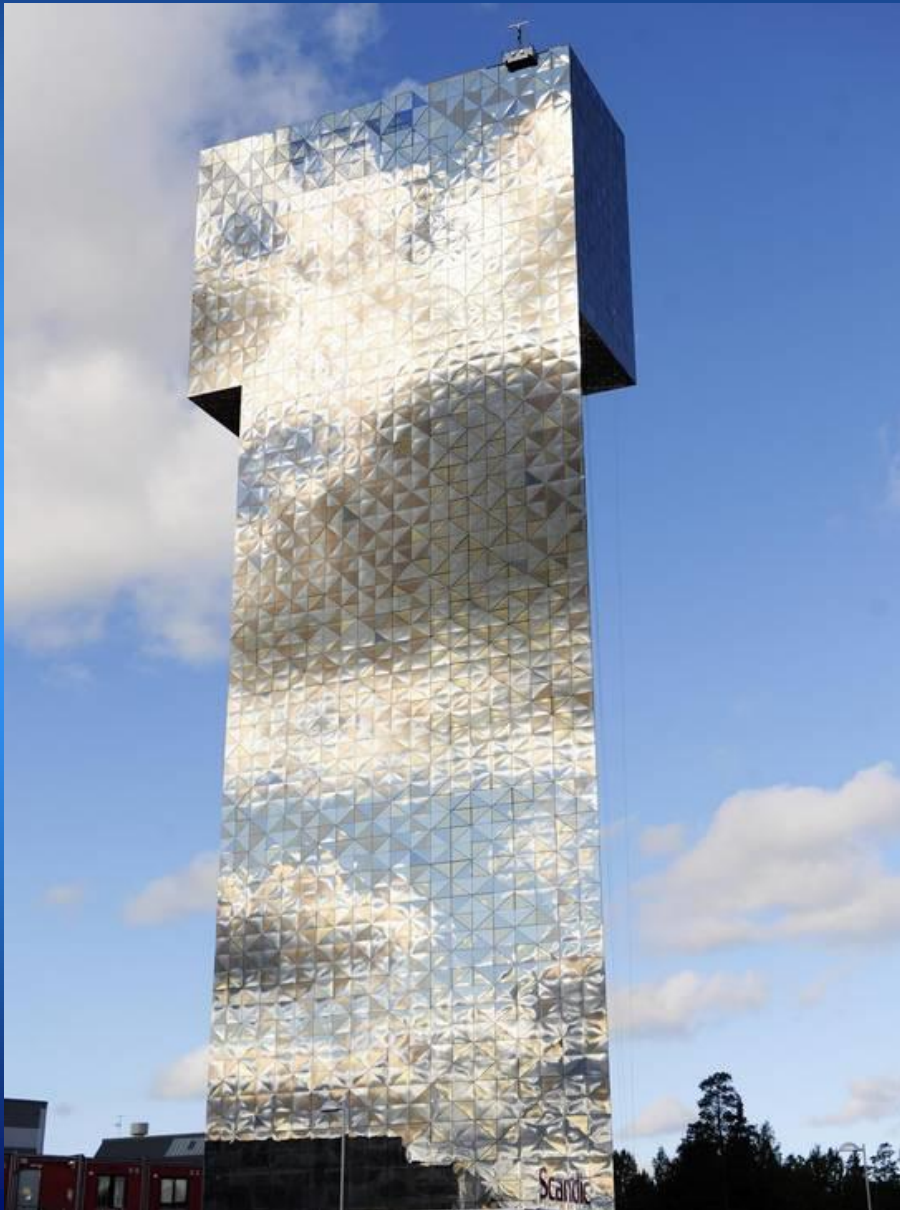
- Relevo (rugosidade controlada ou pirâmides) na superfície do vidro para reduzir a reflexão da radiação luminosa
- Além disso, os vidros têm ultra-baixo teor de ferro (industrialmente: “ultra-brancos”)

GMB Solarglas | CONE





# Vidro Plano – Arquitetura



## Scandic Victoria Tower Estocolmo, Suécia

34 andares, 118 m

299 quartos

2011

Fachada em aço e vidro (janelas isolantes, duplas): 8000 placas triangulares de vidro de tons de dourado, prateado e bronze, colocadas assimetricamente (fabricante: AS Klaasimeister, Estônia).

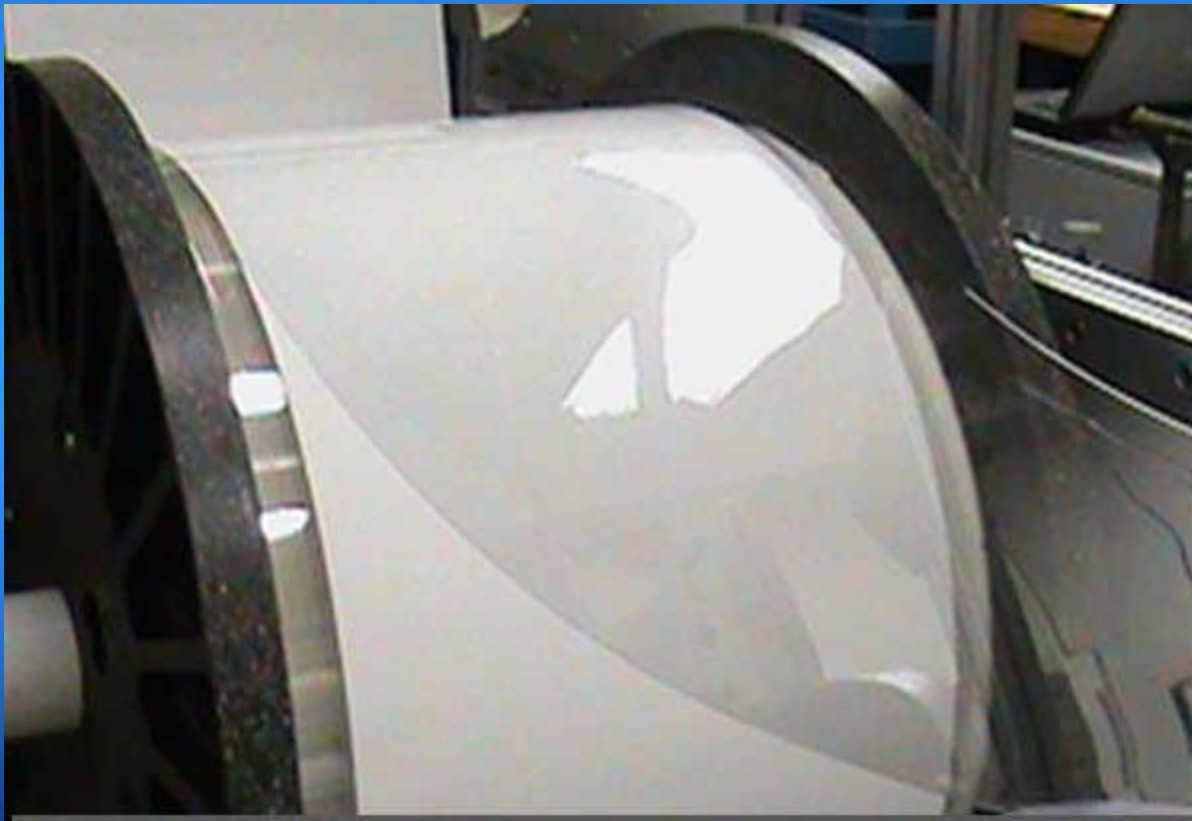
# Vidro Plano – Arquitetura

## Scandic Victoria Tower



# Vidro Plano Extra-Fino

Folhas com até 50  $\mu\text{m}$  de espessura  $\Rightarrow$  flexíveis





# Vidro Plano Extra-Fino

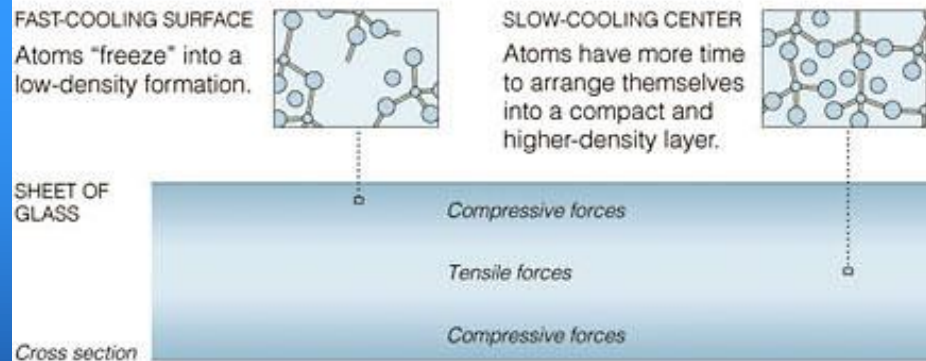
## Têmpera Química

### Tempered for Strength

The process of tempering makes glass stronger by putting the surface into compression, so that more force is needed for cracks to spread and grow.

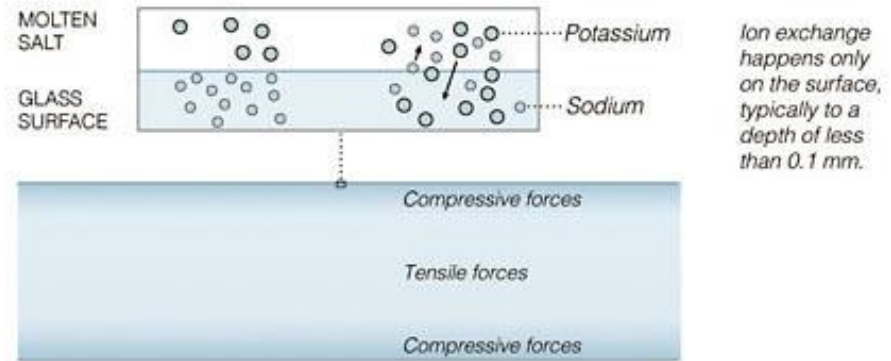
#### Thermal tempering

A sheet of glass is heated and then cooled with air. The surface cools more rapidly than the interior. As the interior cools gradually, it becomes more dense and shrinks, pulling the less dense surface into compression. Thermal tempering works well for flat sheets, although it can cause optical distortions to the glass because the sheet sits on rollers while being heated.



#### Chemical tempering

Glass is put into a hot bath of molten salt. A chemical reaction causes some sodium atoms on the surface to be replaced with larger potassium atoms from the salt bath. The larger atoms overcrowd and compress a thin surface layer of the glass. Chemical tempering works best for curved or irregular glass, and for glass where optical qualities are important.



Source: David J. Green, The Pennsylvania State University

MIKA GRÖNDAHL/THE NEW YORK TIMES

# Vidro Plano Extra-Fino

**Gorilla Glass (Corning)**





# Vidro Plano Extra-Fino

## Gorilla Glass (Corning)

- Vidro álcali-aluminossilicato com 1 mm de espessura, utilizado em eletrônicos: iPhones, tablets, etc.
- Outubro 2012: “Gorilla Glass 2”, com 0.8 mm
- Em 2013, anunciada uma 3ª geração
- Excelente resistência à abrasão e a impactos após têmpera química
- Desenvolvido a pedido de Steve Jobs (na verdade, o processo já tinha sido desenvolvido nos anos 70, mas foi adaptado para produção em larga escala)

Corning Incorporated  
One Riverfront Plaza  
Corning, NY 14831 USA  
*Visite o Corning Museum of Glass*

# Vidro Plano Extra-Fino

## Gorilla Glass X Sapphire Glass

- Fevereiro de 2014: *GT Advanced Technologies* (EUA) confirma investimentos da Apple no desenvolvimento de outra geração de materiais para displays de telefones celulares e tablets: **Sapphire Glass**, mais resistente que Gorilla Glass
- Na verdade, não se trata de um vidro e sim de safira monocristalina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), crescida artificialmente pelo processo Czochralski (o mesmo utilizado para crescimento de silício eletrônico)



# A imaginação é a chave da inovação



Wilson Solar Grill  
(Protótipo)

Protótipo do prof. David Wilson (MIT): lente de Fresnel funde nitrato de lítio, o qual retorna o calor lentamente (calor latente) - até 25 horas, a T's de até 230°C (portanto pode ser usada à noite)





Escola Politécnica  
Universidade de São Paulo

# Vidros Aplicações Especiais

*Samuel M. Toffoli*

