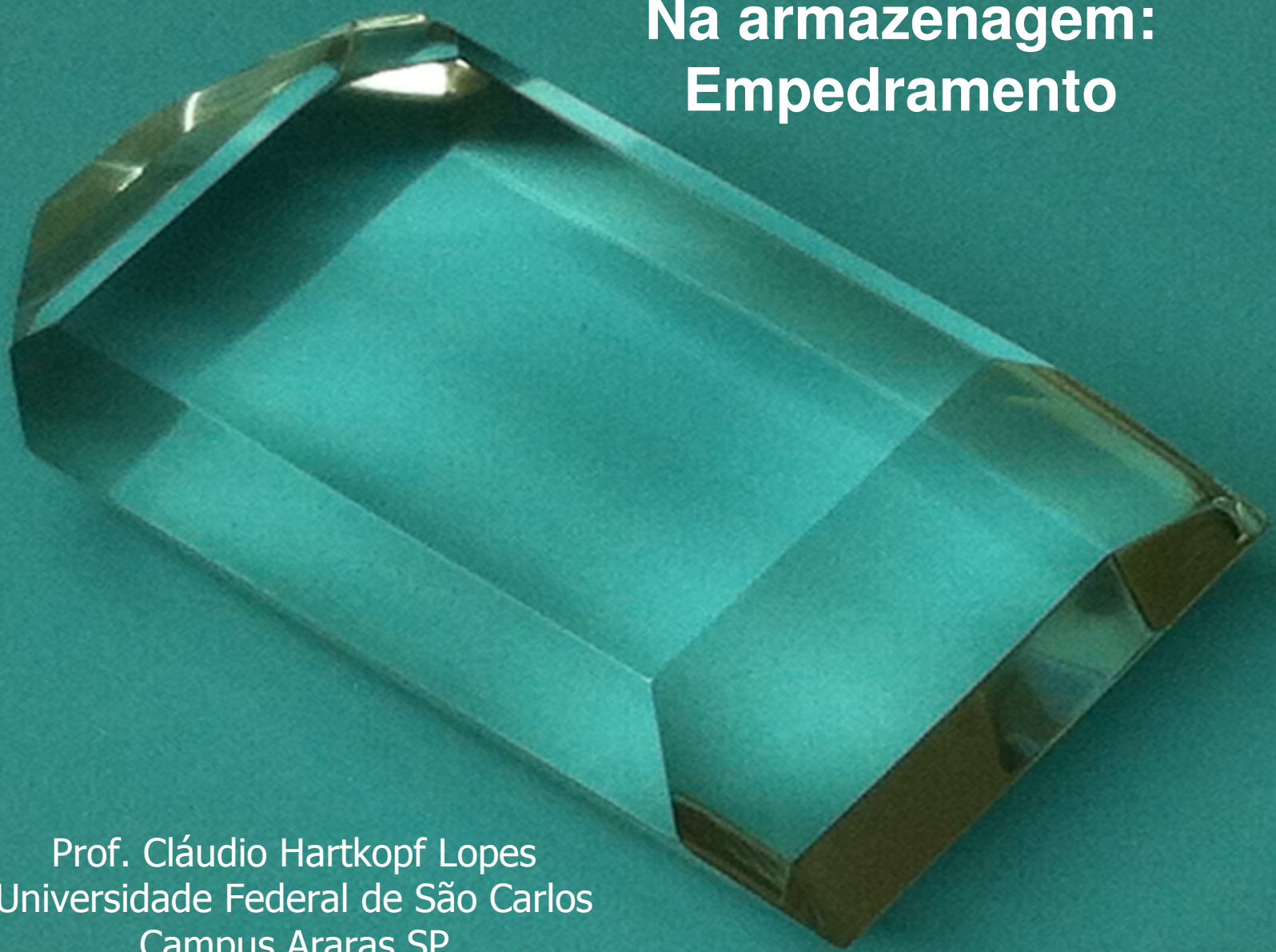


# Problemas na qualidade do açúcar

## Na armazenagem: Empedramento



Prof. Cláudio Hartkopf Lopes  
Universidade Federal de São Carlos  
Campus Araras SP

# Sistemas particulados

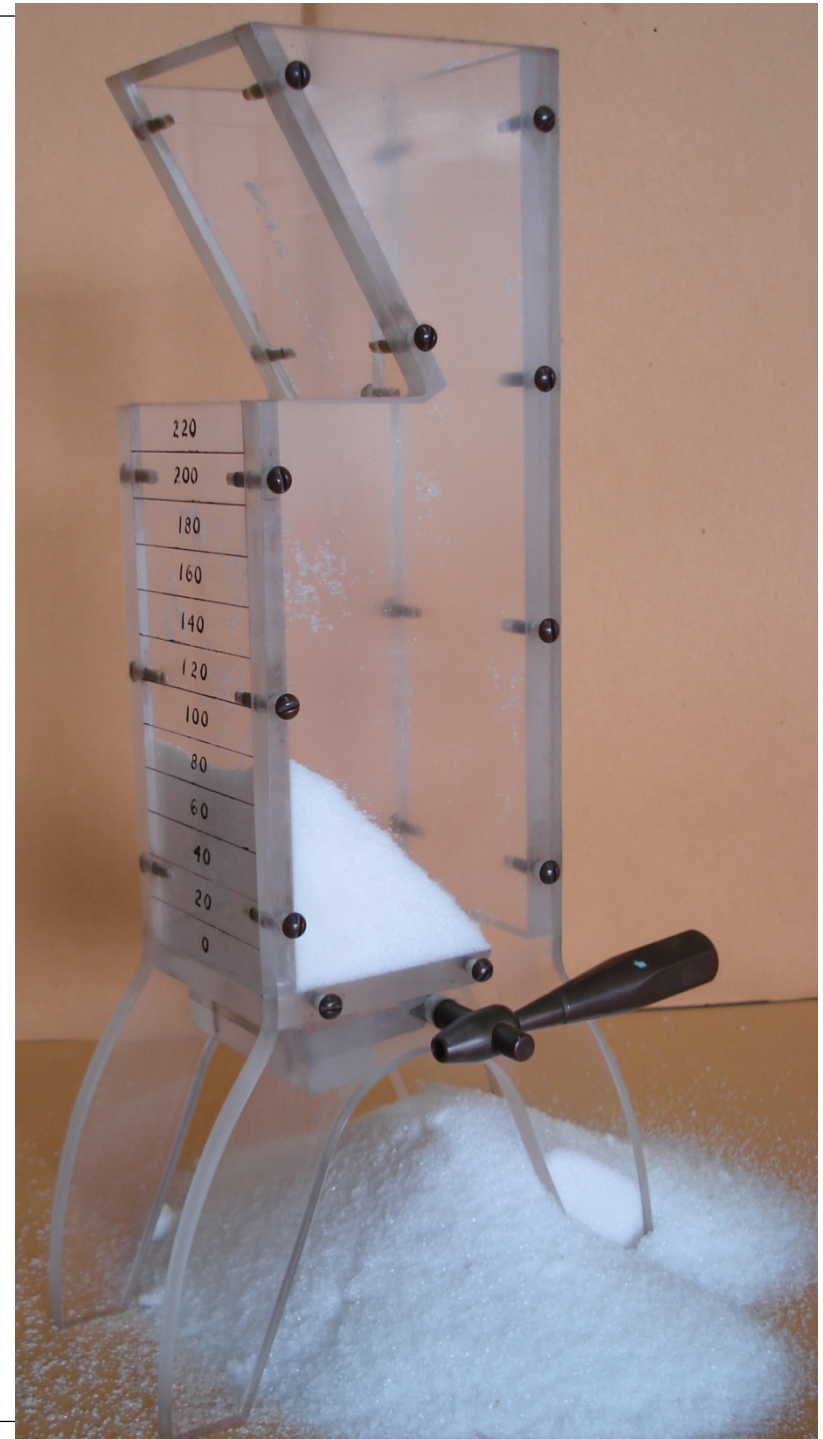
- O açúcar, como todo material particulado, tem como propriedade a capacidade de escoar.
- Essa capacidade de escoar varia de material para material, sendo uma função do tamanho das partículas, seu formato, umidade, etc.
- A fluidez do material granulado ocorre porque os grânulos deslizam uns sobre os outros, tendo como única restrição a esse movimento, o atrito entre eles ou adesão capilar quando os grânulos apresentarem uma película superficial.

# Capacidade de escoar dos sistemas particulados

- Um dos parâmetros que indica a capacidade de fluir é o ângulo de repouso que uma pilha de grãos forma com a horizontal.
- Outro parâmetro é a tendência do sólido granulado de compactar. A densidade aparente varia de um mínimo (densidade sem compactação) até um máximo. Quanto maior for a diferença relativa entre essas duas densidades menor é a tendência de escoar.

# Tendência do açúcar a empedrar: Ângulo de repouso

- O ângulo de repouso pode variar com a umidade do açúcar, ou seja, quanto maior a umidade maior é o valor deste ângulo.
- O ângulo corresponde ao arco da tangente do valor do coeficiente de atrito entre os cristais de açúcar.
- Devido ao fator gradiente de compactação que ocorre em grandes pilhas de açúcar, o ângulo de repouso tende a ser menor a medida que a altura da pilha de açúcar cresce.



# Ângulo de repouso e a capacidade de escoar do açúcar

<b>Ângulo de repouso (Graus angulares)</b>	<b>Escoamento</b>
< 30°	Muito livre
30 a 38°	Livre
38 a 45°	Médio
45 a 55°	Difícil
> 55°	Muito difícil

Fonte: Woodcock e Mason (1987).

# Tendência a compactar

## Índice de Hausner

A relação entre a densidade do produto compactado e sem compactação é denominado de Índice de Hausner (IH), que é uma medida da escoabilidade do produto

<b>IH</b>	<b>Escoamento</b>
< 1,25	Fácil
1,25 a 1,40	Médio
> 1,40	Difícil

Fonte: Abdullah e Geldart (1999).

# Aglomeramento ou empedramento

Fenômeno que ocorre num sistema granulado caracterizado pela perda total de sua capacidade de fluir, pela “soldagem” dos pontos de contato entre os grânulos.

No caso do açúcar, a “soldagem” é uma consequência da deposição de sacarose nos pontos de contato entre os cristais causada pela existência de uma película de mel envolvente dos cristais.

# Película de mel envolvente

- Quando analisamos a umidade do açúcar pelo método da estufa atmosférica, estamos determinando somente a umidade superficial do cristal.
- A umidade superficial forma com o açúcar dissolvido uma película de mel envolvente que é responsável pelas trocas de umidade entre os cristais de açúcar e o meio ambiente.



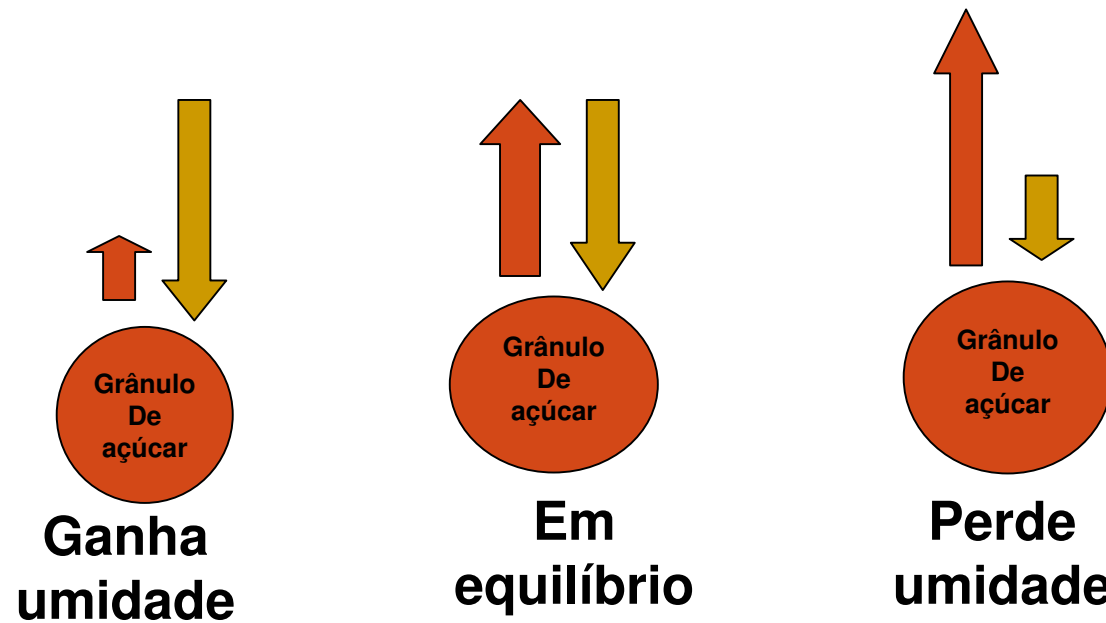
# Película de mel envolvente

- A película é o meio onde o açúcar realiza a interação com o meio ambiente, recebendo ou emitindo água.
- Ao sair do secador, a película encontra-se supersaturada necessitando retornar ao estado saturado.
- A película pode atingir o estado saturado recebendo água do meio intercrystalino ou depositando açúcar sobre o cristal.

# Migração de umidade - Causas

- ▶ Exposição do açúcar a uma atmosfera com UR menor que a sua URE (ar seco).
- ▶ produto com temperatura muito superior a do ambiente (açúcar quente).
- ▶ Resfriamento do açúcar, resultando em gradiente térmico no interior da massa de grãos.
- ▶ Secagem muito rápida e acima das necessidades do produto.
- ▶ De um local de maior umidade para um de menor.
- ▶ Do local que contém produto com menor teor de impurezas higroscópicas (i.e. açúcares redutores) para o local onde essa concentração seja maior.

# Comportamento de um material higroscópico em relação a atmosfera envolvente



**Pressão parcial da umidade na atmosfera**



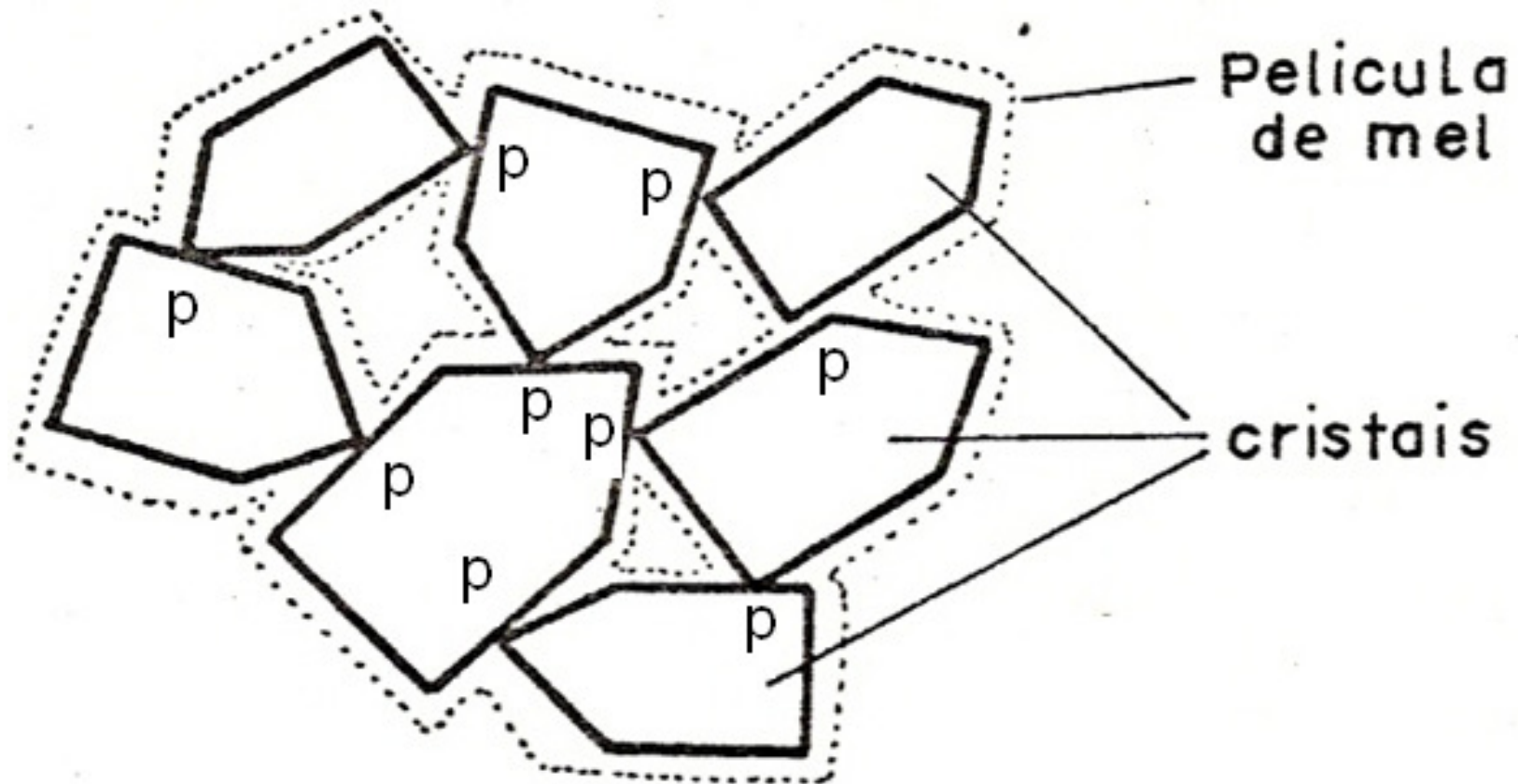
**Pressão parcial da umidade no açúcar**

- O denominado “empedramento” está relacionado aos fenômenos hídricos de transferência de massa que ocorrem que ocorrem no açúcar armazenado.
- Esta migração de água pode ocorrer tanto do interior do cristal para a sua superfície, como do cristal para o espaço intercristalino ou do cristal para a atmosfera externa.

# Porque o açúcar empedra?

O empedramento ocorre pela perda de umidade do açúcar sob condições estáticas. Alguns autores sugerem que uma perda de 20 a 30% da umidade pode provocar o empedramento.

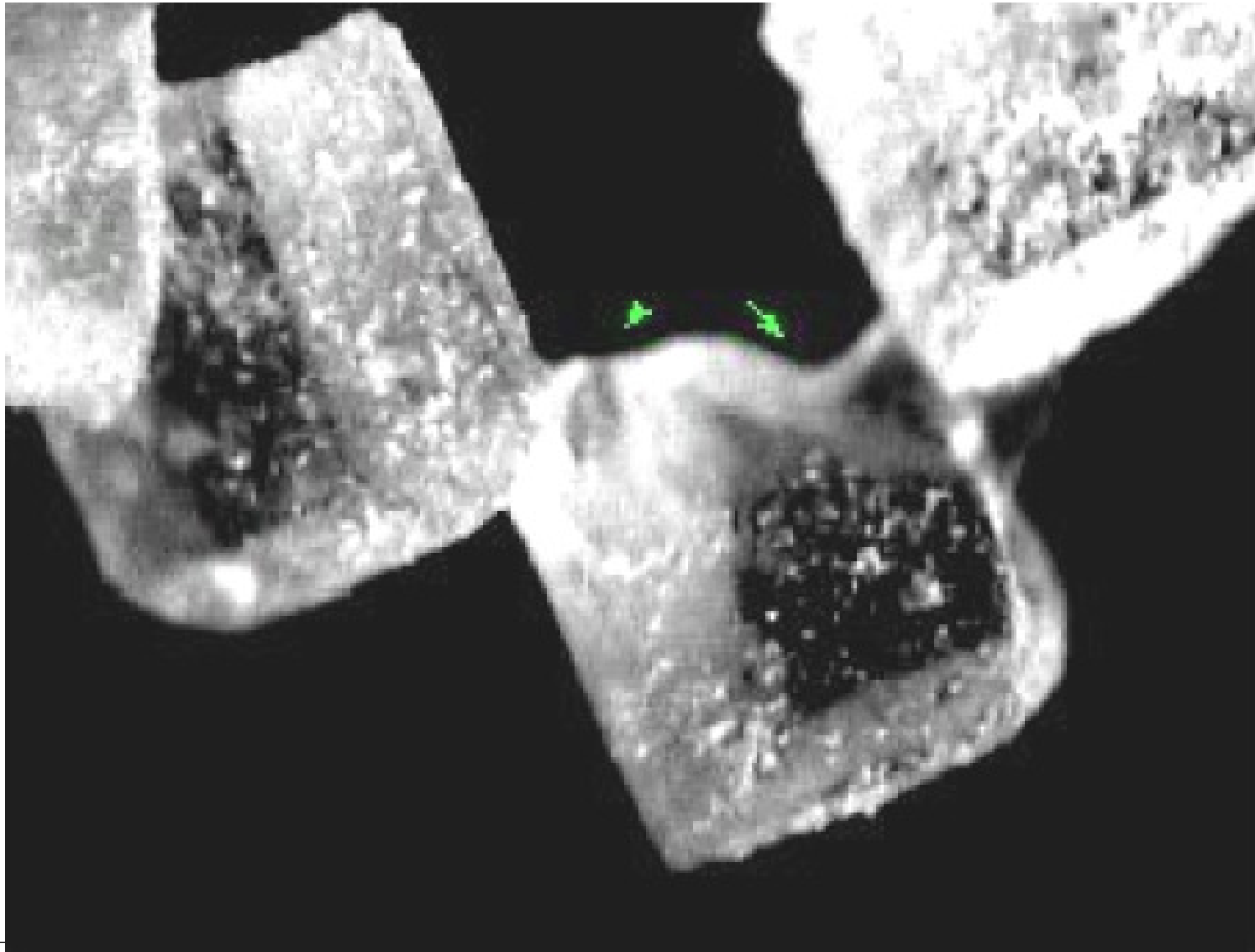
# Pontos de contacto entre os cristais



P: Ponto de contacto entre os cristais

# Película de mel envolvente formando um menisco líquido entre os cristais

*Mohamed MATHLOUTHI<sup>1,2</sup> and Barbara ROGE. CAKING OF WHITE SUGAR AND HOW TO PREVENT IT.*



# Cristais empedrados

*Mohamed MATHLOUTHI<sup>1,2</sup> and Barbara ROGE. CAKING OF WHITE SUGAR AND HOW TO PREVENT IT*





# Fatores que influem na ocorrência de empedramento

- a) Fatores dependentes do produto (suas características físico-químicas),
- b) Fatores dependentes do armazém (características físicas e localização),
- c) Fatores ambientais (umidade e temperatura atmosférica e suas oscilações).

## Fatores dependentes do produto (suas características físico-químicas)

- Problema granulométrico como cristais muito pequenos ou desuniformes, que resultam num alto número de pontos de contato entre os grânulos. Esses pontos são os locais onde pode ocorrer a “soldagem.”
- Problemas cristalográficos como cristais longos, cristais aglomerados, etc. Esses problemas são causados pelo processamento de canas com alto teor de dextrana (cristais alongados) ou cozimento mal conduzido (cristais aglomerados ou com alta porcentagem de micro cristais).
- Alto teor de AR ou outras impurezas no açúcar que o tornem muito sensível às variações da umidade atmosférica. O ideal é que o teor de AR seja inferior a 0,1 %.
- Açúcar muito quente, com alta umidade ou composição variável no mesmo armazém.

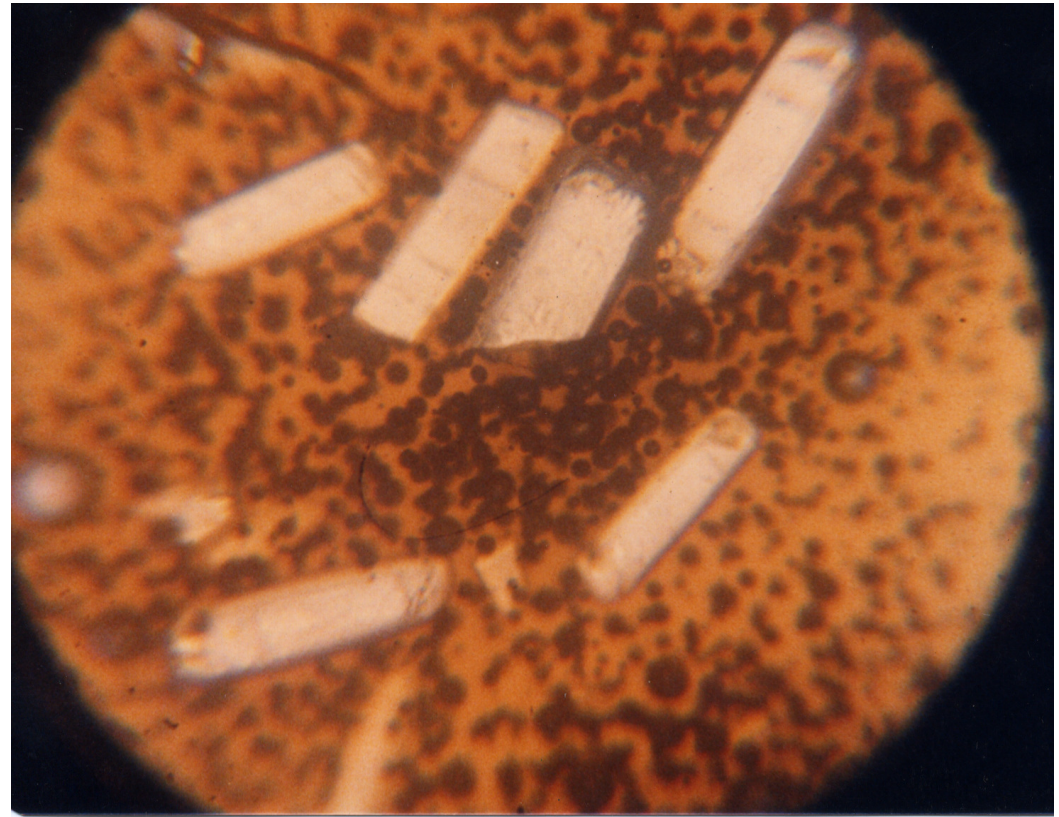
## Fatores que predisõem ou são agravantes do empedramento - Granulometria

Açúcar com cristais desuniformes (alto CV) e de baixo tamanho médio (baixo AM), apresenta um elevado número de pontos de contato, alta tendência de compactar e conseqüentemente um empedramento mais rigoroso que um produto de baixo CV e alto AM.

- $CV < 25\%$ : granulometria muito boa.
- $25 < CV < 30\%$ : granulometria boa.
- $30 < CV < 35\%$ : granulometria regular.
- $35 < CV < 40\%$ : granulometria ruim.
- $CV > 40\%$ : granulometria péssima.

# Problemas cristalográficos

A presença de polissacarídeos, em especial a dextrana na cana, provoca deformação cristalográfica resultando em cristais agulhados, com grande tendência a compactar e, conseqüentemente a empedrar.



Fonte: Albuquerque, F. M. Processo de Fabricação do Açúcar, 2

## Fatores agravantes do empedramento - Açúcares redutores

Quanto maior for a presença de impurezas higroscópicas como os Açúcares Redutores maior é a interação do açúcar com a atmosfera, ou seja, maior será a sua tendência de perder ou ganhar umidade e sua probabilidade de empedrar.

Para uma armazenagem segura se recomenda que o teor de AR do produto seja igual ou inferior a 0,01%

## (características físicas e localização)

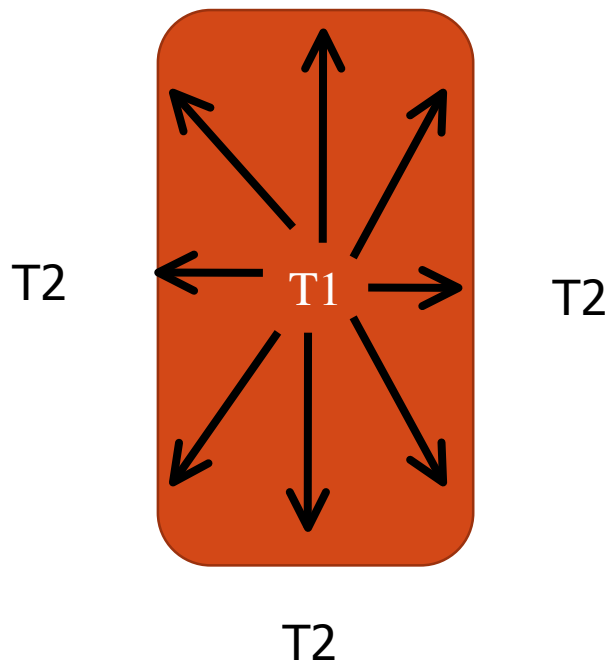
- Armazém não hermético. O açúcar fica submetido as variações de umidade do meio exterior.
- Armazém localizado próximo a fonte de umidade ou calor.
- Produto armazenado em condições que possibilitem a compactação do produto.
- Armazenagem de produtos de diferentes composição ou de diferentes umidades e temperaturas no mesmo local.

Fatores ambientais (umidade e temperatura atmosférica e suas oscilações)

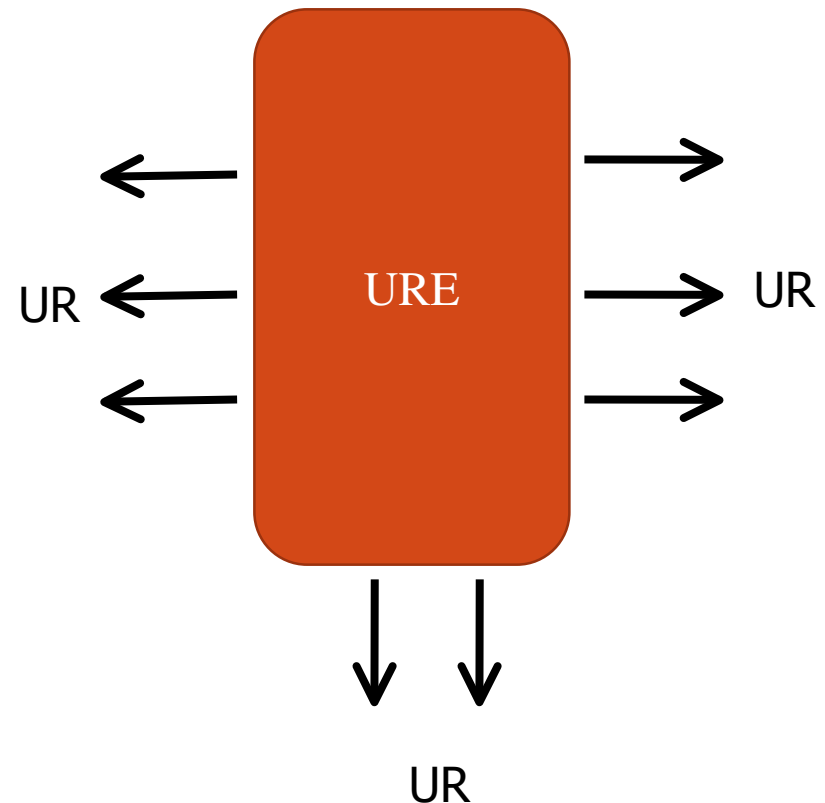
- Exposição do produto a um choque hídrico; ambiente com UR muito baixa ou a mudanças rápidas de UR.
- Exposição a uma temperatura muito baixa ou a mudanças rápidas de temperatura.

# Tipos de empedramento fatores ambientais

Empedramento por gradiente térmico  
( $T1 \gg T2$ ), que resulta num bloco  
aglomerado no interior da massa de grãos



Empedramento por um gradiente hídrico  
( $URE \gg UR$ ), que resulta numa casca  
Empedrada na superfície da massa de grãos





Mesmo armazenado em condições ideais, um açúcar pode empedrar, caso apresente diferenças de umidade, temperatura e composição entre diferentes lotes.

A umidade tenderá a migrar da porção com maior pressão de vapor para os locais de menor, gerando um empedramento que ocorre na porção mais quente, mais úmida ou menos higroscópica.

Essa migração interna de umidade é bastante crítica no caso de armazenagem a granel.

# Ensaio para determinar a tendência do açúcar empedrar – choque térmico

- Colocar amostra do açúcar num tubo de ensaio de 150x20mm e tampar.
- Mergulhar 20mm do tubo em água a 10° C por 2 horas e a seguir mergulhar 20 mm em água a 40° C por 2 horas.
- Abrir o tubo e espalhar a amostra numa superfície.
- Se o açúcar fluir livremente sem torrões o teste de empedramento é negativo.

# Resumo das causas do empedramento do açúcar

- Excesso de umidade.
- Açúcar com alto teor de AR.
- Temperatura de ensaque elevada.
- Produtos com diferentes umidades e composição estocados próximos.
- Armazenagem não hermética em locais de clima adverso (muito seco ou muito úmido).
- Secagem muito rápida, o que ocasiona uma película de mel com elevada supersaturação.
- Produto com má granulometria ou defeitos cristalográficos.



FIM

**Obrigado pela atenção**

Universidade Federal de São Carlos  
Centro de Ciências Agrárias  
Departamento de Tecnologia Agroindustrial  
Cláudio hartkopf lopes  
clahart@cca.ufscar.br