

**21º SBA**  
**Seminário Brasileiro**  
**Agroindustrial**  
**STAB – Regional Sul**

**Outubro / 2022**



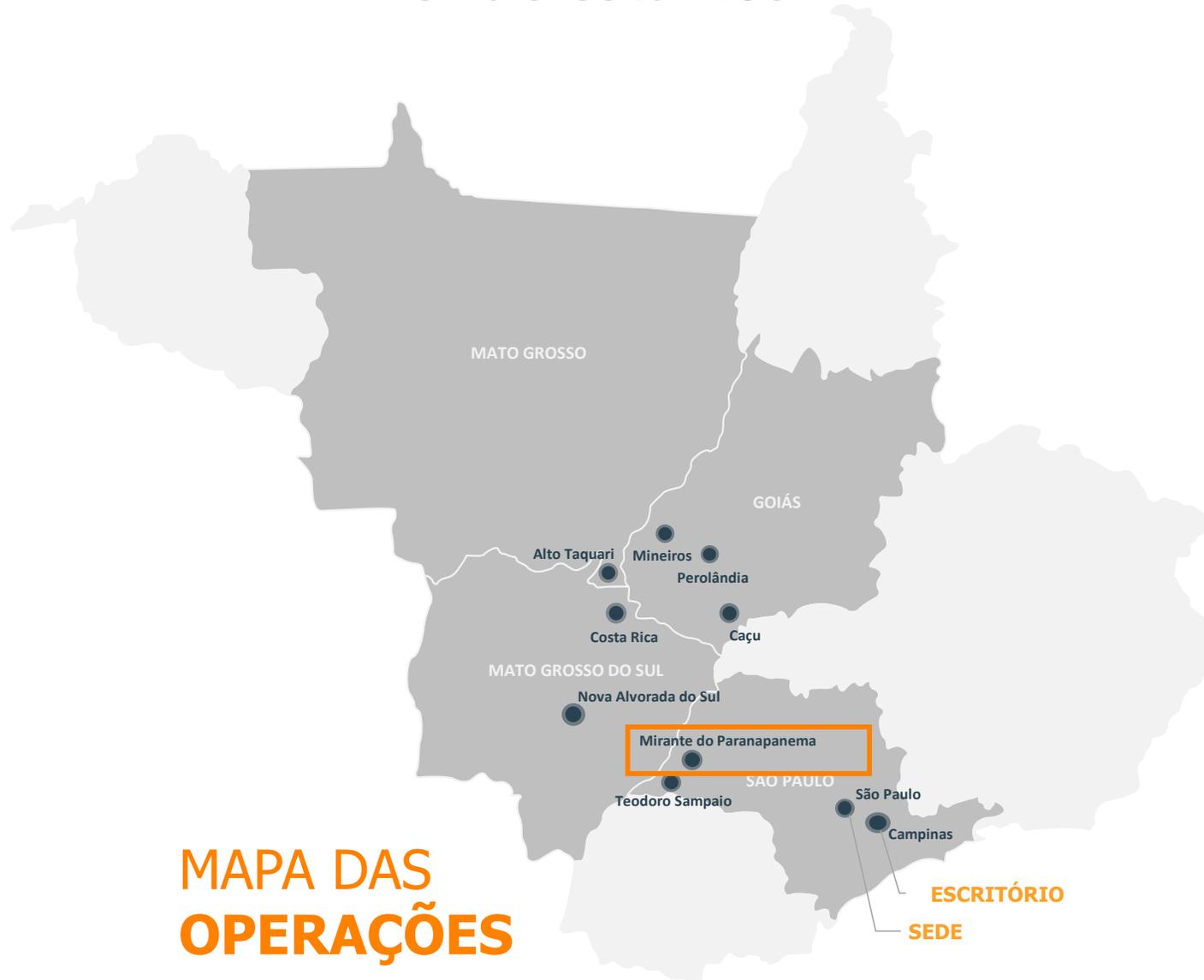


**Recentrifugação x Tratamento Ácido;**

**Controle Avançado: Fermentação e  
Destilação**

# Atvos

## Onde estamos



**MAPA DAS  
OPERAÇÕES**

**ESCRITÓRIO**

**SEDE**

# Atvos – Unidade Conquista do Pontal



Início das Operações em 2009

## - Capacidade Instalada:



Capacidade Moagem: 5.500 kTC



Açúcar VHP: 50.000 scs dia  
Mix 80%



Etanol Hidratado: 1500 m<sup>3</sup>/dia



Energia Exportada: 1700 MWh /dia



# Tratamento ácido do fermento



## ✓ **Ácido Sulfúrico**

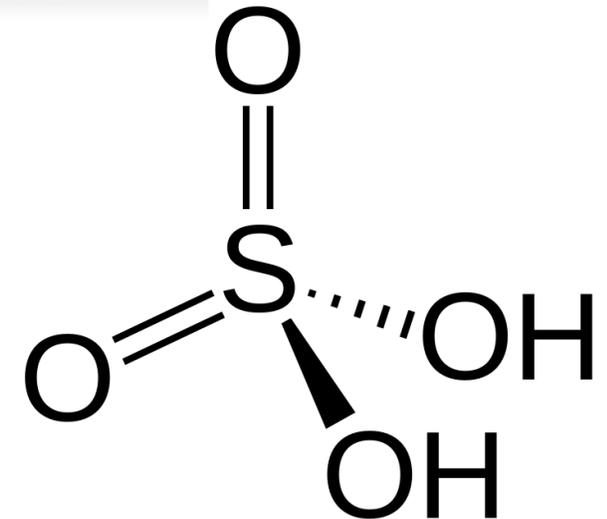
**98% Concentração**

**Muito usado no setor pelo seu custo-benefício**

## ✓ **Sua importância**

**Controle bacteriano**

**Cinética da fermentação ph ideal: 3,8 - 4,2**



# Cenário



## O problema atual...

- ✓ **Crise: pandemia COVID-19**
- ✓ **Fornecimento do insumo**
- ✓ **Custo elevado**
- ✓ **Impacto no CV Industrial**

## No ano de 2010... Quais foram as alternativas?...

- ✓ **Enzimas**
- ✓ **Extrato de lúpulo**
- ✓ **Dióxido de cloro**
- ✓ **Clorexidina**
- ✓ **Ácido hipobromoso**
- ✓ **Ácido clorídrico**

### São Manoel

#### Cenário - Consumo Ácido Sulfúrico

- 2006/ 2007 – AMEAÇA
  - AUMENTO CONSUMO MUNDIAL ( BRIC)
  - FALTA DE ENXOFRE
  - BRASIL: AUMENTO DA PRODUÇÃO ETANOL
  - RISCO DE FALTAR ÁCIDO SULFÚRICO
- BUSCA DE PRODUTOS ALTERNATIVOS AO TRATAMENTO ÁCIDO
  - ÁCIDO HIPOBROMOSO
  - DIÓXIDO DE CLORO

### São Manoel

#### Cenário - Residual antibiótico na Levedura

- 2008 – CEE : PROBLEMA EXPORTAÇÃO LEVEDURA SECA
- BLOQUEIO DA IMPORTAÇÃO DE LEVEDURA – “ RECALL ”
- COMPONENTES PARA ALIMENTAÇÃO ANIMAL NÃO DEVEM CONTER RESÍDUOS DE ANTIBIÓTICOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO
- LIMITE DE 1,25 PPM PARA MONENSINA - CEE
- MERCADOS COMO JAPÃO / EUA - TOLERÂNCIA ZERO
- 2009/2010 PRODUTOS ALTERNATIVOS NO CONTROLE ANTIMICROBIANO PARA QUEM SECA LEVEDURA

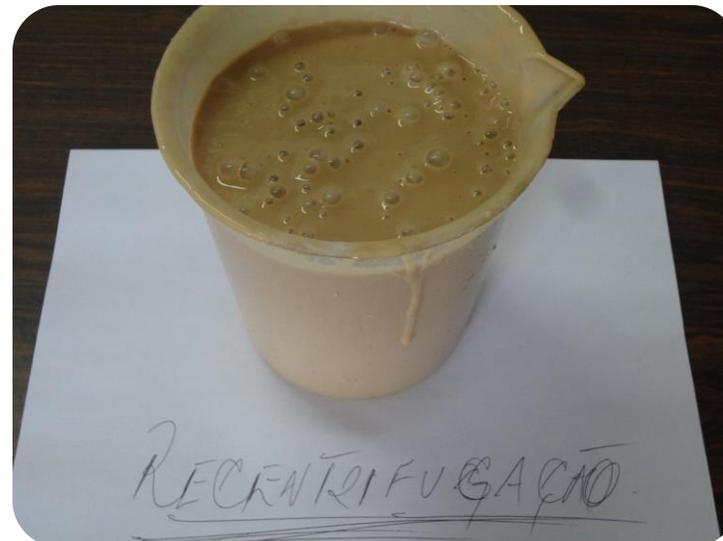
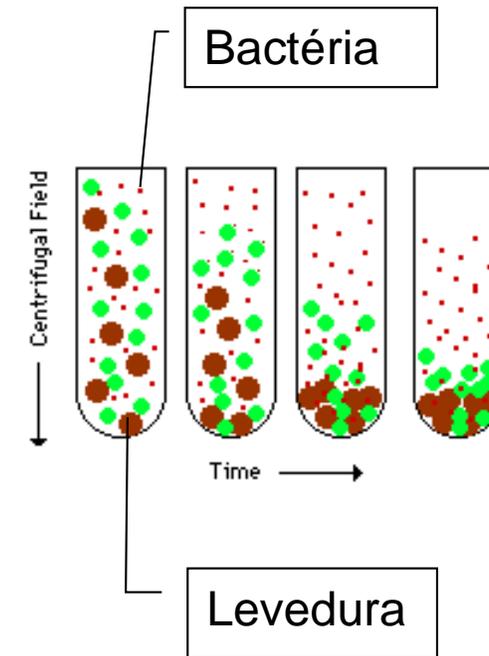


**O QUE FAZER?**

# Recentrifugação do fermento

# POR QUE USAR A RECENTRIFUGAÇÃO?

- ✓ Reduz a acidez e o efeito tampão nas cubas
- ✓ Limpeza bacteriana
- ✓ **Mitiga o efeito da floculação**
- ✓ **Reduz o consumo de ácido sulfúrico e insumos para tratamento microbiano**
- ✓ Continuidade operacional da planta





✓ **Todos já fazem por oportunidade: paradas por chuva**

✓ **Operação contínua?**

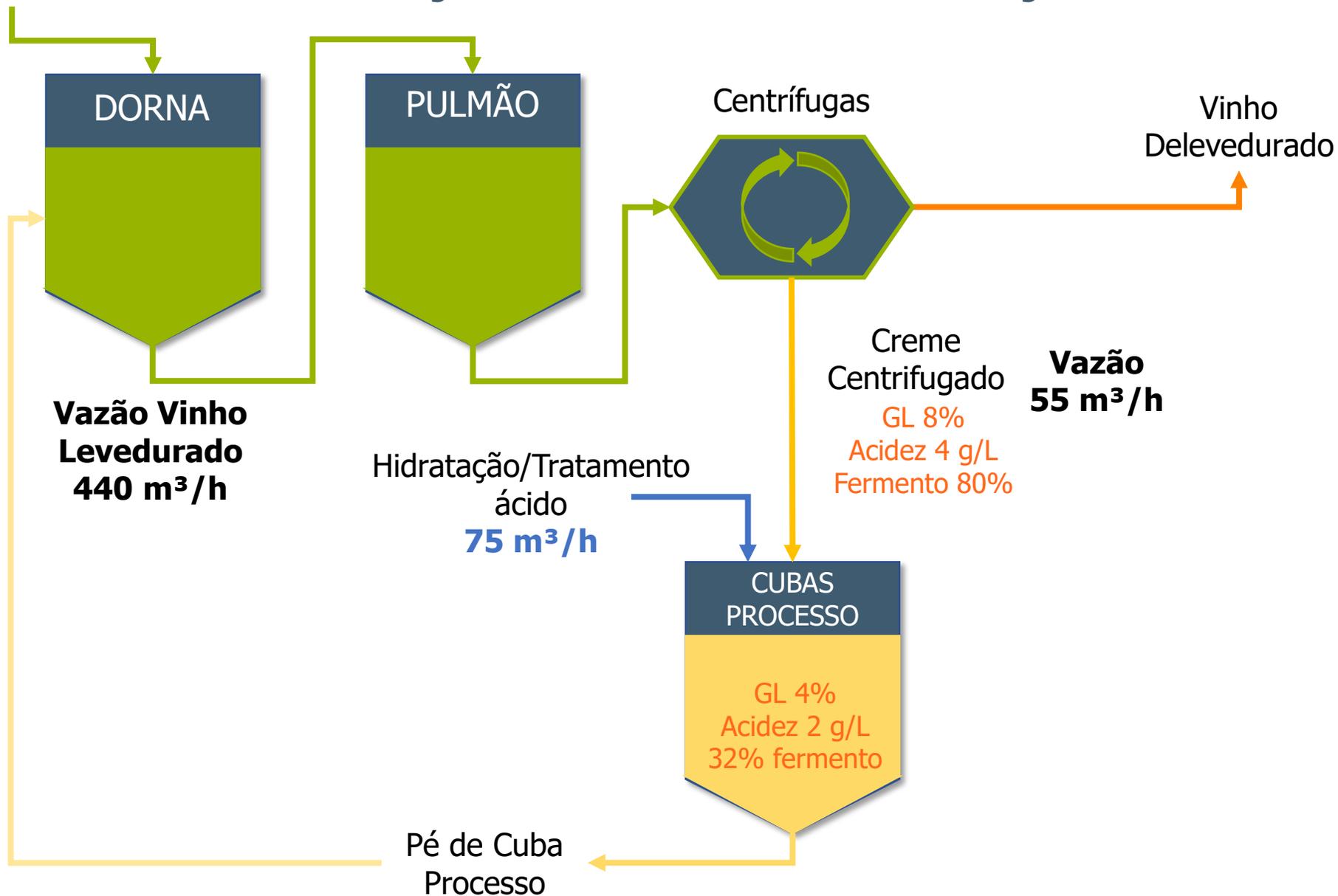
### **Como fazer?**

- Com ociosidade na planta
- Sem ociosidade: Necessita de CAPEX!!!



# OPERAÇÃO DA CENTRÍFUGAÇÃO COMUM

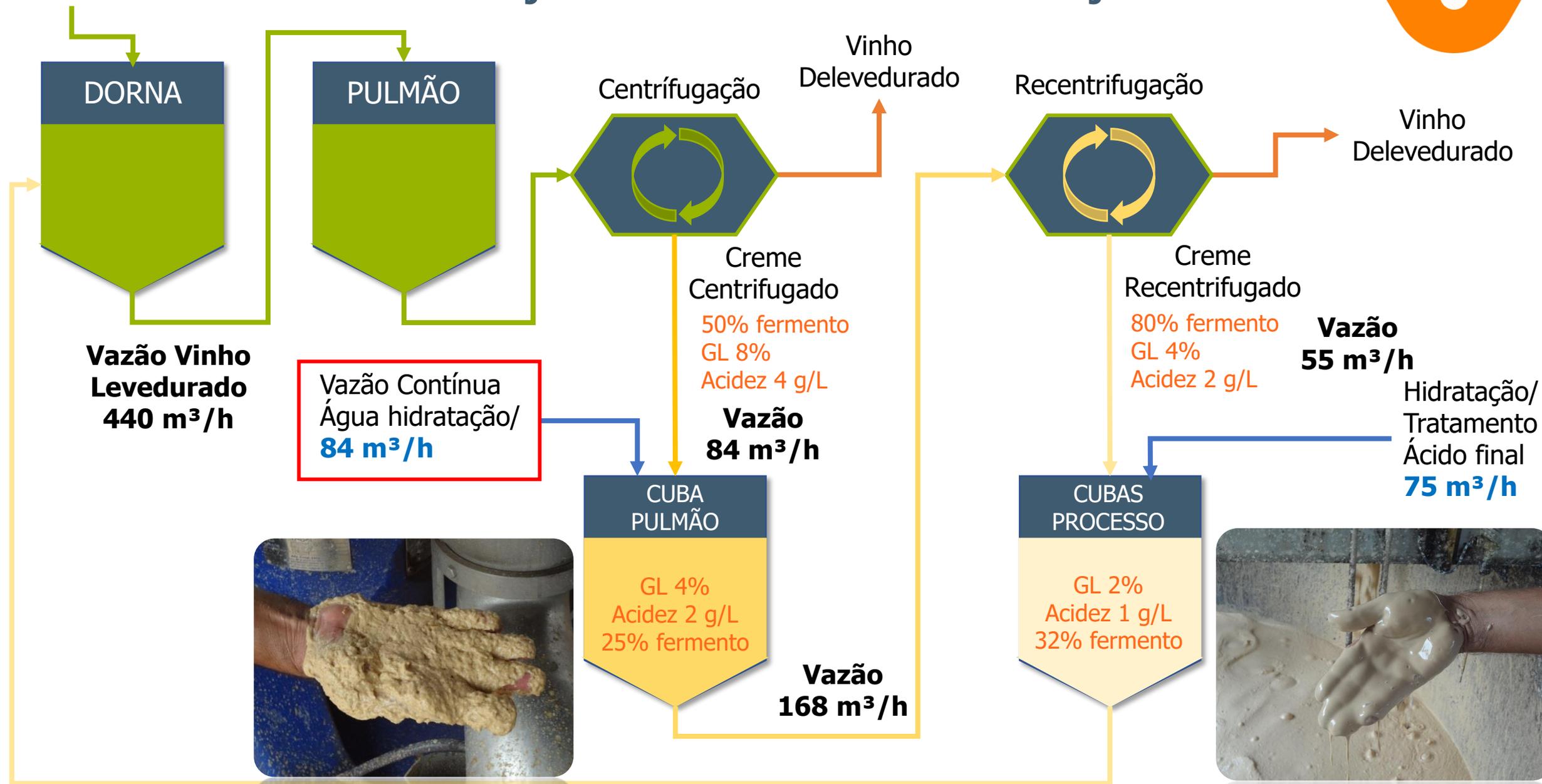
Mosto  
300 m<sup>3</sup>/h



# OPERAÇÃO DA RECENTRIFUGAÇÃO



Mosto  
300 m<sup>3</sup>/h

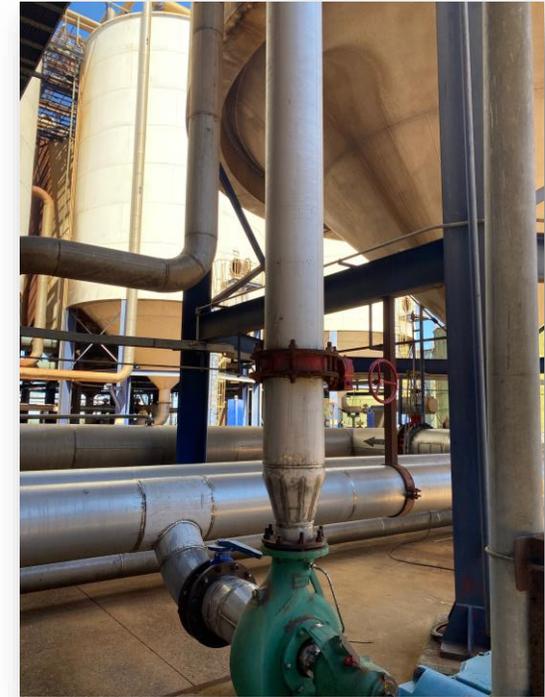
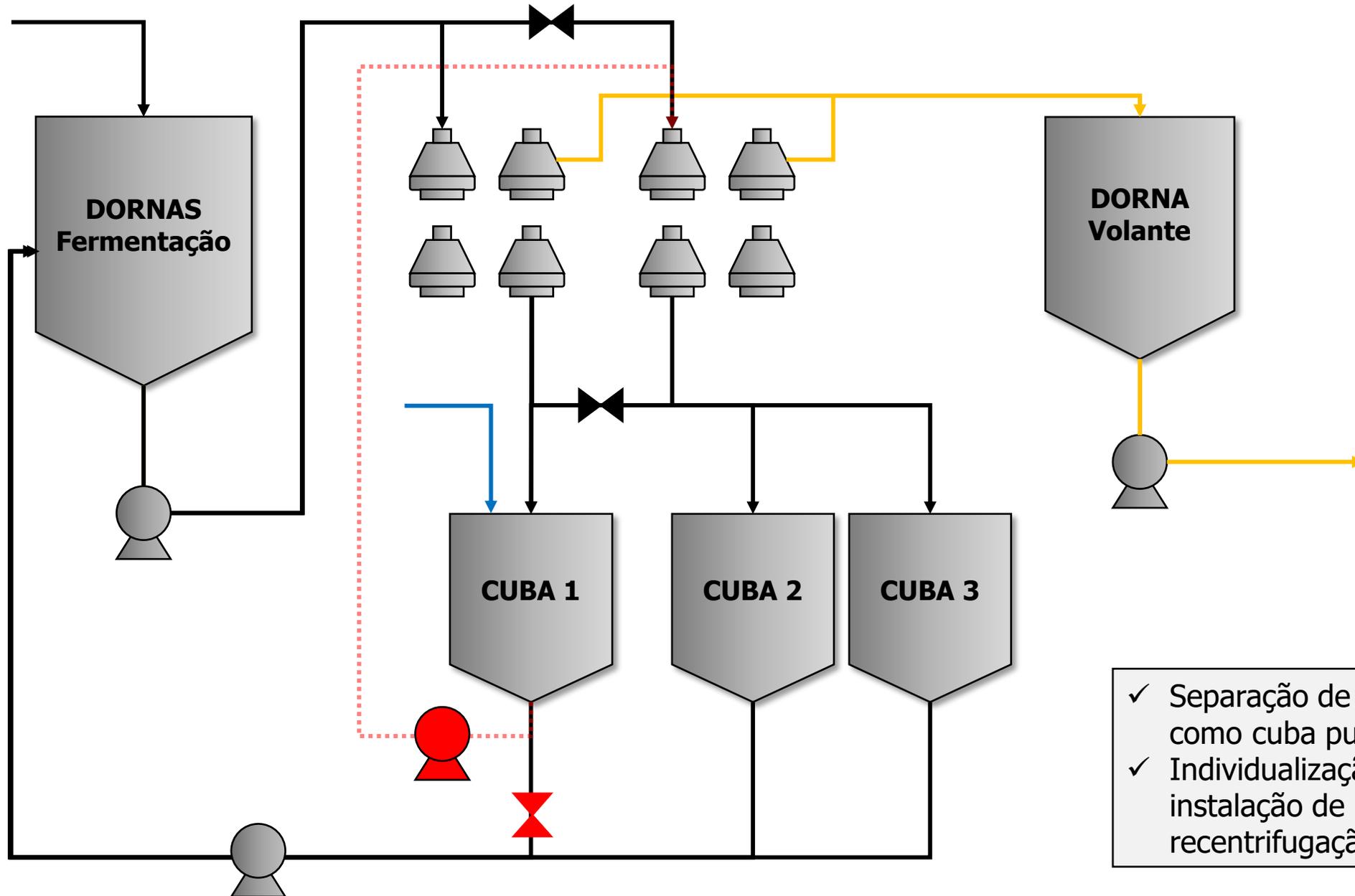




# Cuidados

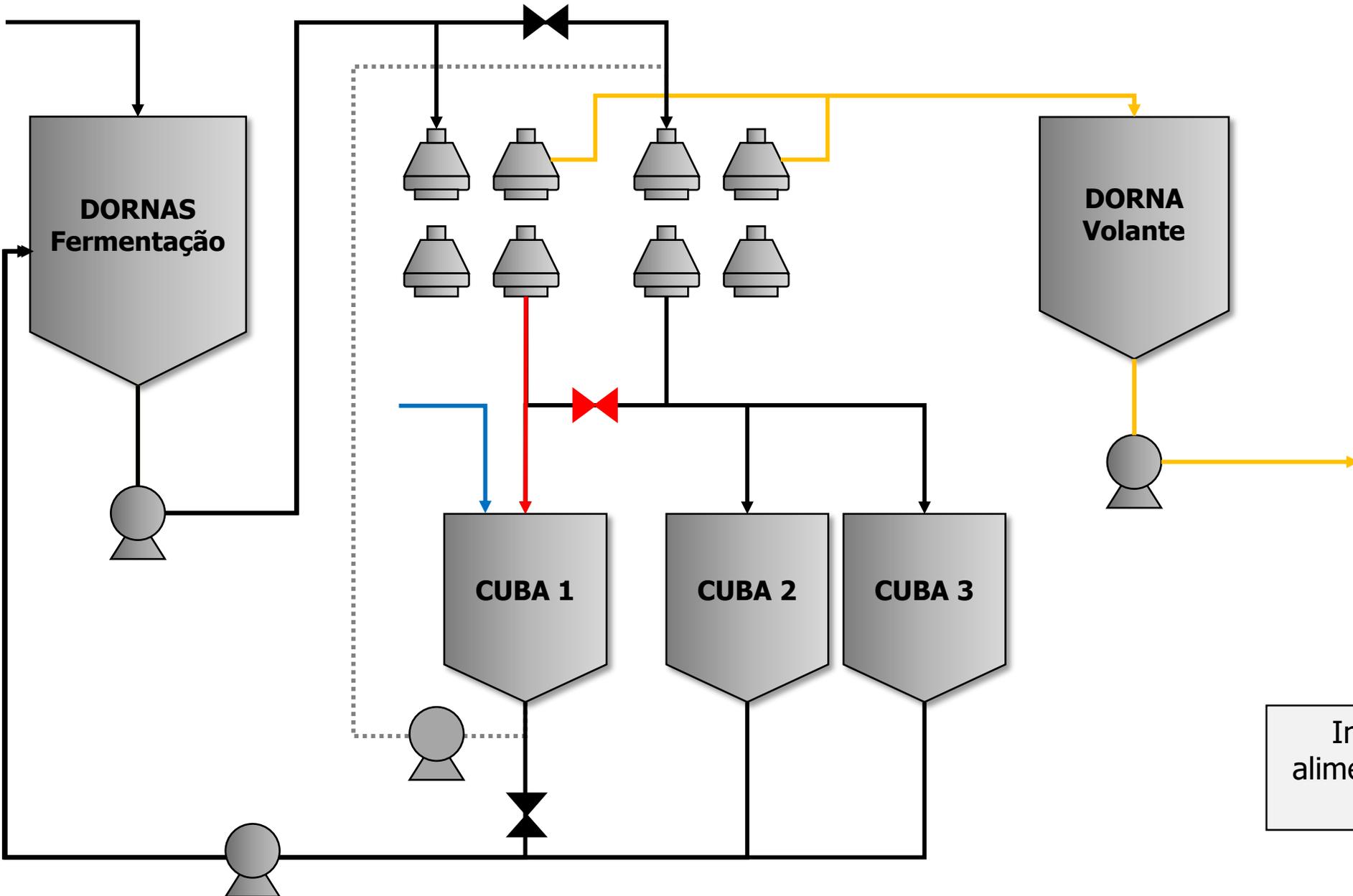
- Concentração na cuba pulmão: faixa de 22 – 25%
- Excesso de água
- Controle de perdas de levedo
- 1ª centrifugação: foco é a eliminação da toxicidade

# MODIFICAÇÕES REALIZADAS



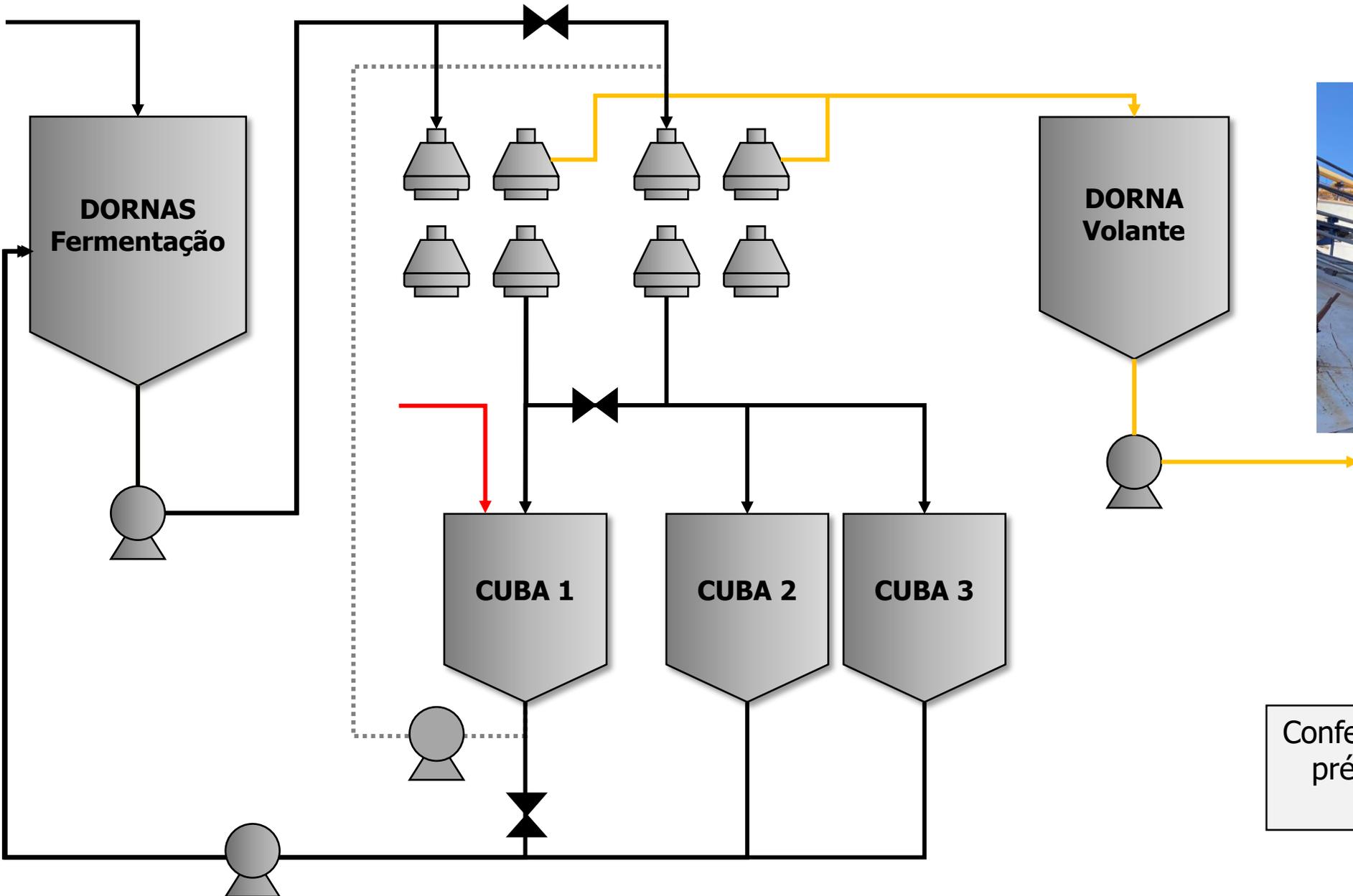
- ✓ Separação de uma das cubas para seleção como cuba pulmão;
- ✓ Individualização da linha de fundo e instalação de uma nova bomba para a recentrifugação. 200 m<sup>3</sup>/h 35 MCA

# MODIFICAÇÕES REALIZADAS



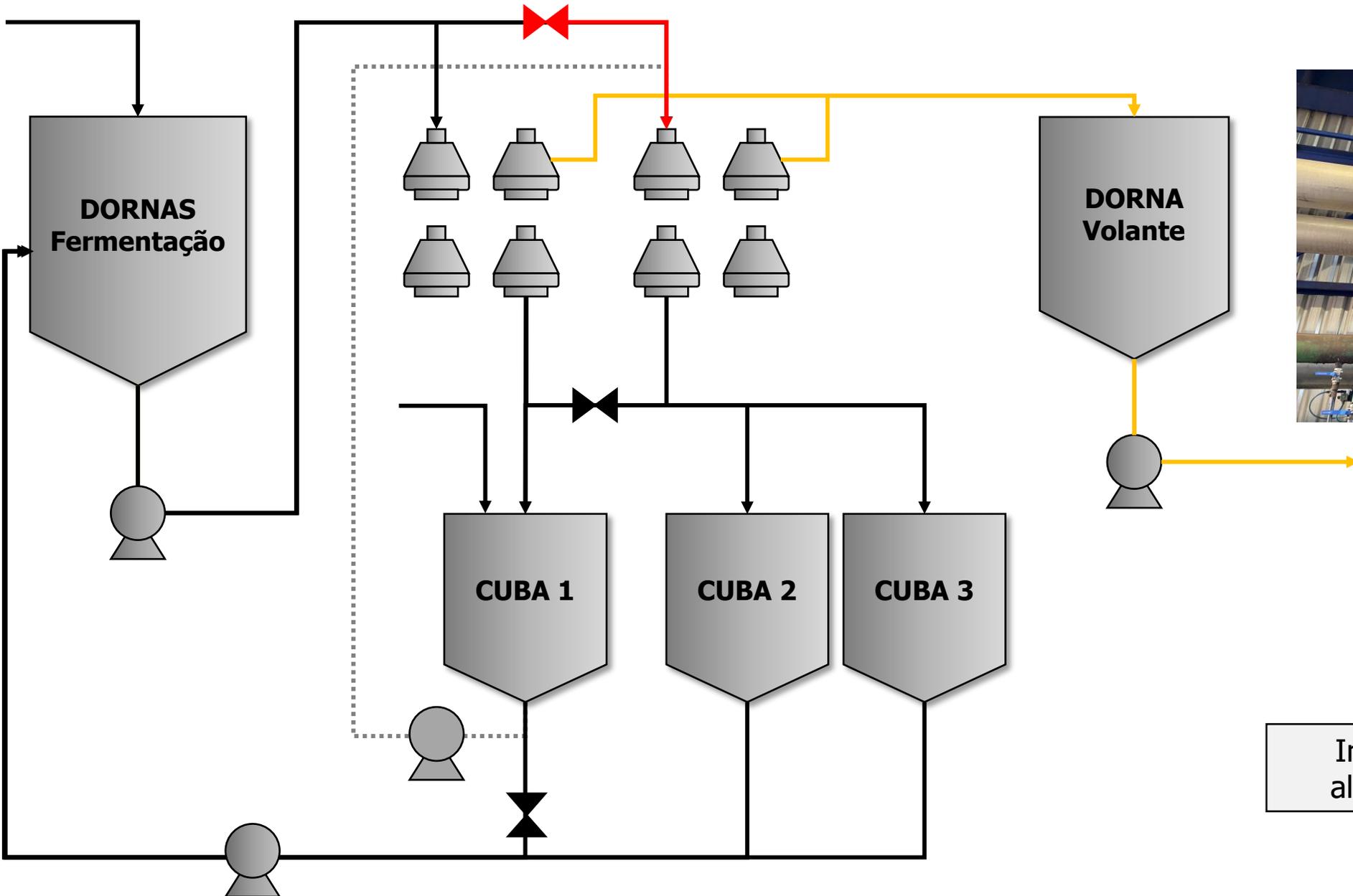
Individualização da linha de alimentação de fermento da cuba pulmão.

# MODIFICAÇÕES REALIZADAS



Confecção de tubulação de 4" para pré-hidratação do fermento na chamada cuba "pulmão"

# MODIFICAÇÕES REALIZADAS



Individualização do anel de alimentação das centrífugas

# CAPEX: Sem ociosidade na planta de etanol



## CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO

### Materiais

2 Centrífugas de levedo 100 m <sup>3</sup> /h	R\$650.000
Bomba centrífuga 200 m <sup>3</sup> /h 35 MCA	R\$60.000
Acionamento e Comando Elétrico	R\$60.000
Instalação hidráulica (Tubulação e Válvulas)	R\$90.000

### Serviços

Locação de Munck e Guindaste	R\$15.000
Mão de obra primarizada p/ instalação	R\$15.000

**R\$890M**

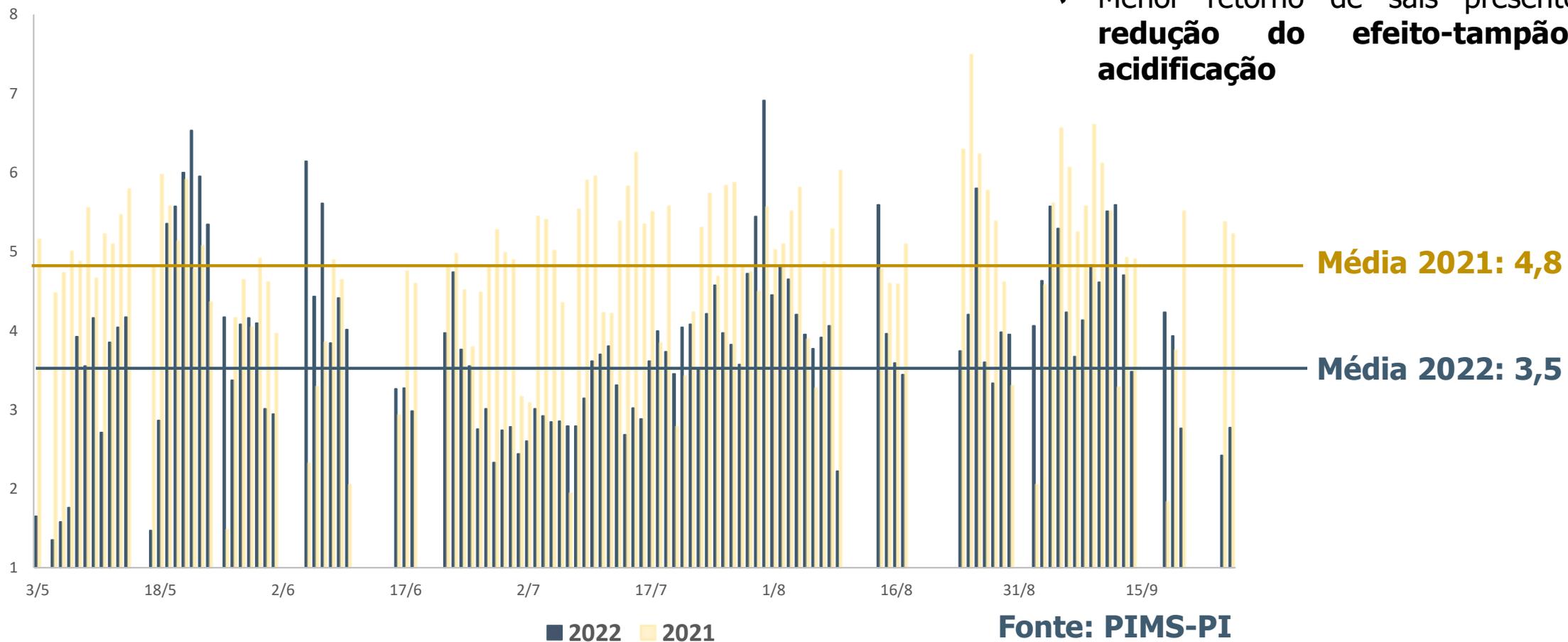
✓ **Em UCP: Ociosidade na planta de etanol**

✓ **Custo para implantação praticamente zero**

# RESULTADOS



## Acidez na Cuba



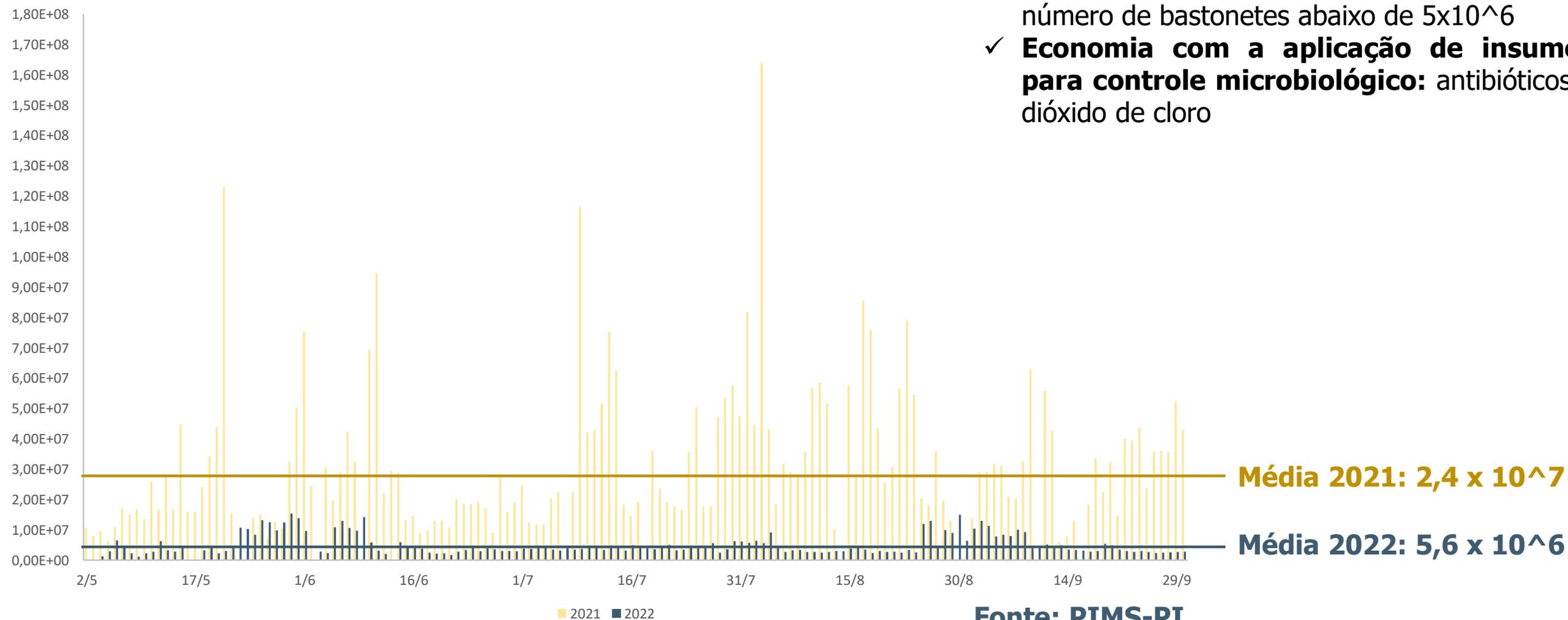
- ✓ **Redução de 30% no índice de acidez na cuba:** redução da exposição do fermento aos efeitos tóxicos dos ácidos orgânicos
- ✓ Menor retorno de sais presentes no mel: **redução do efeito-tampão durante acidificação**

Fonte: PIMS-PI

# RESULTADOS



## Contaminação Bacteriana



- ✓ Maior remoção da contaminação com o processo de recentrifugação, mantendo o número de bastonetes abaixo de  $5 \times 10^6$
- ✓ **Economia com a aplicação de insumos para controle microbiológico:** antibióticos e dióxido de cloro

Fonte: PIMS-PI

# RESULTADOS



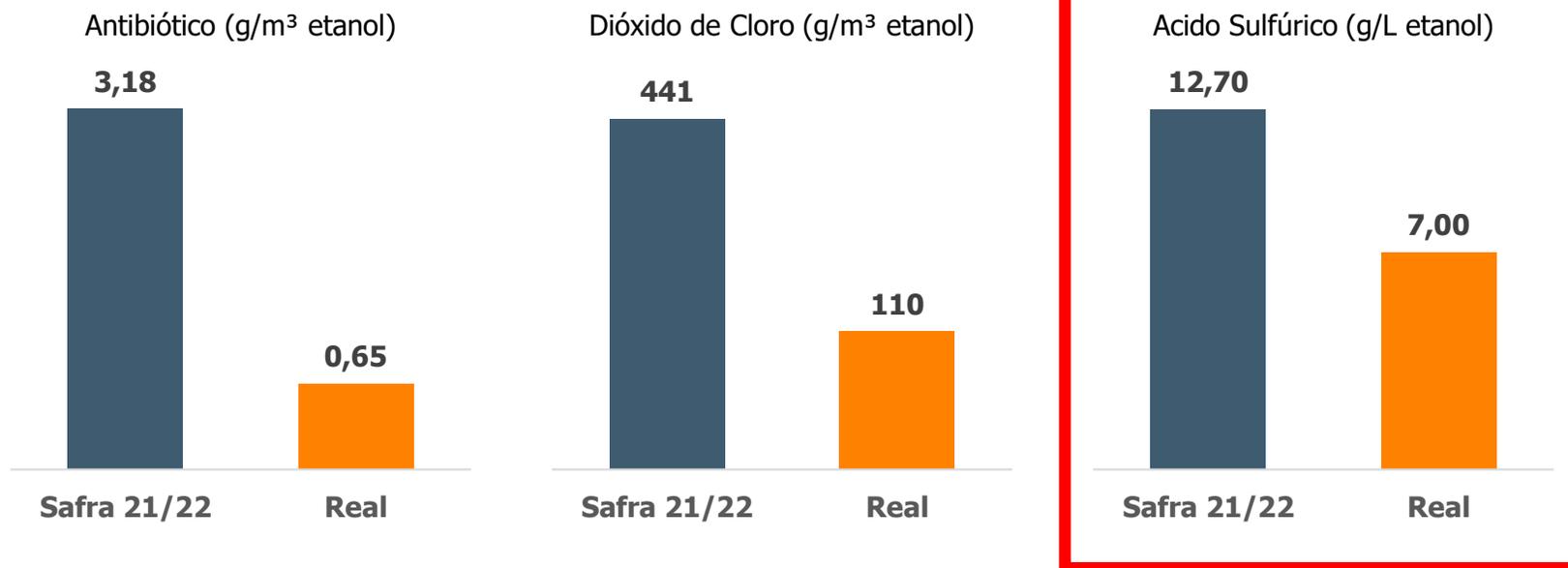
## BENEFÍCIOS NA FERMENTAÇÃO

atvos	CONQ. DO PONTAL CNPJ:07.298.800.0001-80						Safra: 2022
	RELATÓRIO TÉCNICO PRODUÇÃO COMPLETO						Data: 01/10/2022 Hora: 17:34 Pág.: 2
Descrição	Unidade	30/09/2022	Semanal	Quinzenal	Mensal	Acumulado	
Rend.fermentação Atvos	%	0,00	87,78	90,32	89,95	90,43	
Rend. Fermentação Sub Produtos	%	100,00	83,37	85,28	85,37	89,52	

atvos	CONQ. DO PONTAL CNPJ:07.298.800.0001-80						Safra: 2021
	RELATÓRIO TÉCNICO PRODUÇÃO COMPLETO						Data: 01/10/2021 Hora: 10:10 Pág.: 3
30-Set-21 Quinta-feira Dias de Safra: 183							
Descrição	Unidade	Diário 30/09/2021	Semanal	Semanal - 7 últimos dias	Quinzenal	Mensal	Acumulado
Rend. Fermentação Subprodutos	%	90,03	88,23	90,01	90,31	89,19	88,75
Rendimento Fermentação Atvos	%	85,59	84,19	84,98	85,52	83,64	84,49

# GANHO – CAPTURA COM INSUMOS



Considerando o preço atual dos insumos:

- ✓ **Ácido Sulfúrico: R\$2.2MM**
- ✓ **Dióxido de Cloro: R\$ 260M**
- ✓ **Antibiótico: R\$70M**

**CV (Custo Variável)**

**2,30 R\$/TC → 1,90 R\$/TC**

**R\$2.5MM / SAFRA**

# CUSTOS OPERACIONAIS / Produção 750 m<sup>3</sup>/dia



Com o processo em operação contínua na safra:

## Vapor

Redução do GL da Volante	0,8 – 1,0%
Consumo de vapor na destilação	0,05 ton/m <sup>3</sup> etanol
<b>Custo</b>	<b>R\$40k</b>

## Energia

Potência consumida	55 KW
Consumo na safra	175 MWh
<b>Custo</b>	<b>R\$38k</b>

## Água

Consumo horário	50 – 60 m <sup>3</sup> /h
Índice de consumo	2,2 – 2,3 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> etanol
<b>Custo</b>	<b>R\$22k</b>

## Vinhaça

Aumento na vazão	45 m <sup>3</sup> /h
Produção de vinhaça	1,3 – 1,4 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> etanol
<b>Custo</b>	<b>R\$250k</b>

**R\$350M / SAFRA**

# CONCLUSÕES - RECENTRIFUGAÇÃO



## INVESTIMENTO

**R\$890M**

## CUSTO OPERACIONAL

**R\$350M**



- ✓ Redução no consumo de ácido sulfúrico e alternativa frente cenário de insumos atual

**R\$2.5MM**

- ✓ Melhora no desempenho da fermentação 0,5 – 1,0%

**R\$1.5MM**

- ✓ Evitar o impacto de uma troca da fermentação

**Valor intangível  
Continuidade  
operacional**

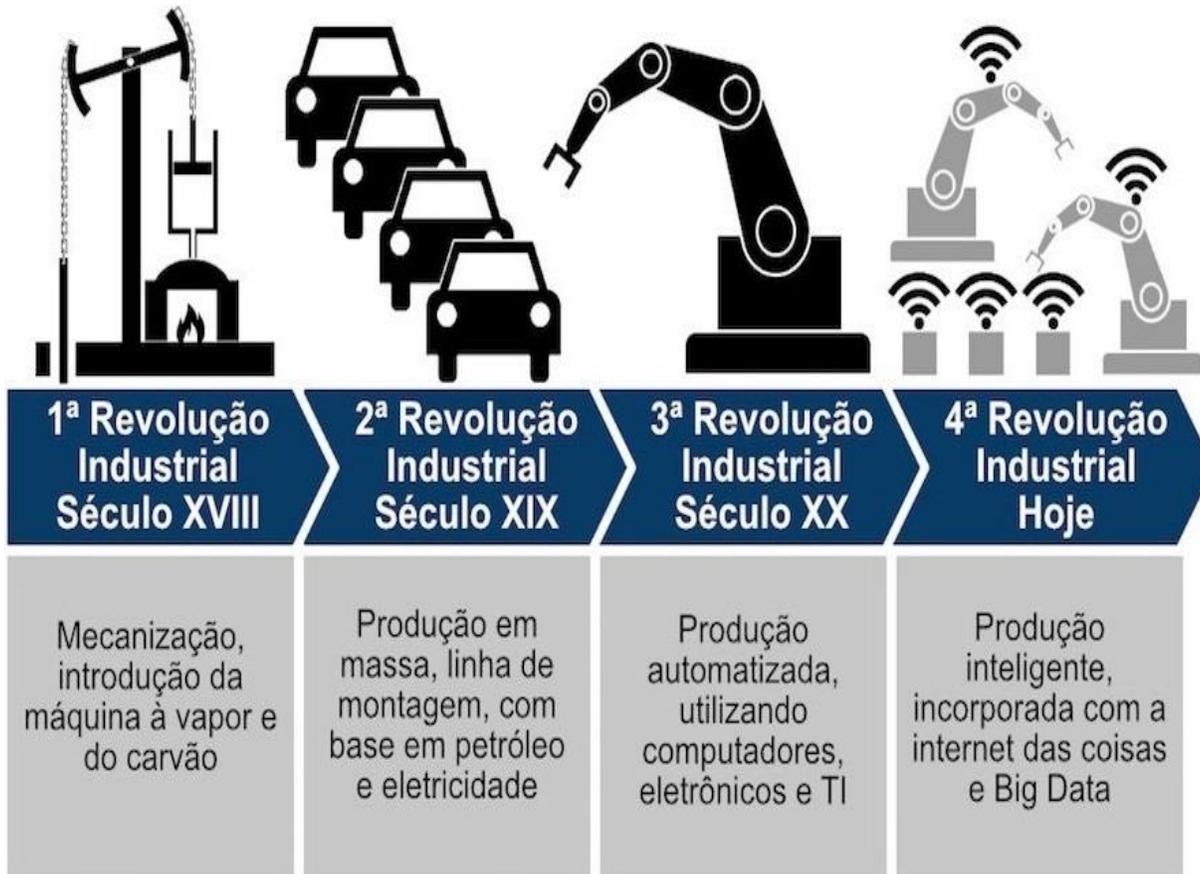
# Inovação/Indústria 4.0:

**Controle Avançado Fermentação e  
Destilação**

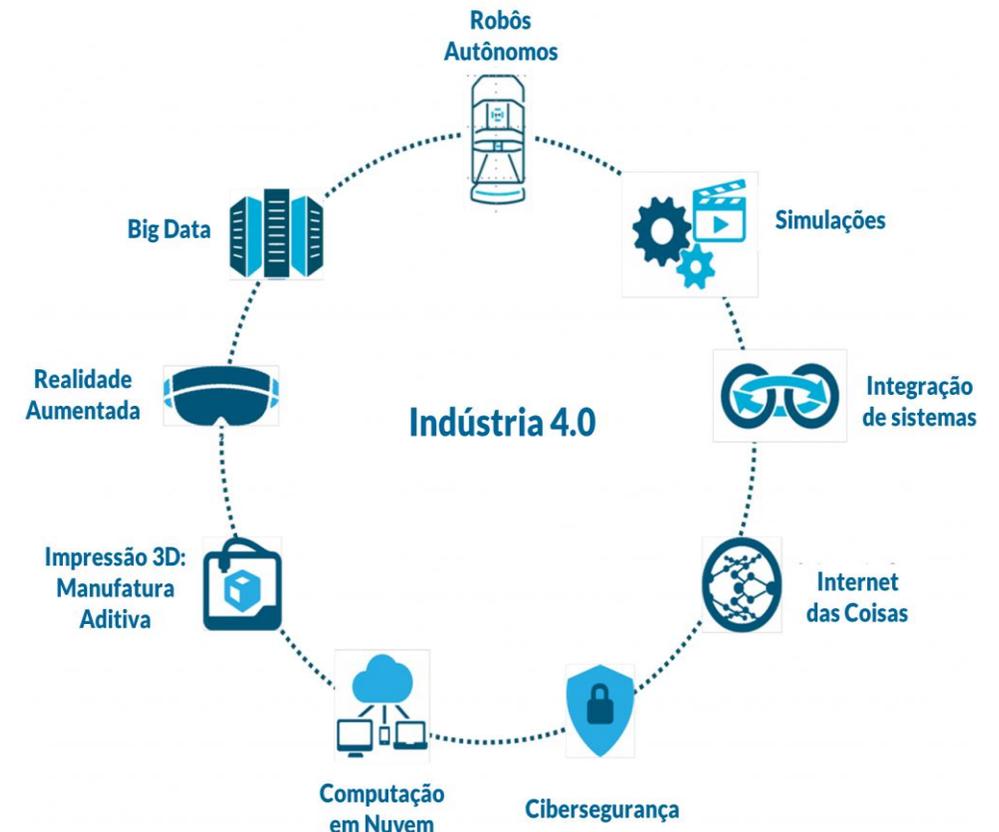
# Inovação: transformar dados em informações e melhorar a assertividade das decisões



## Evolução Tecnológica

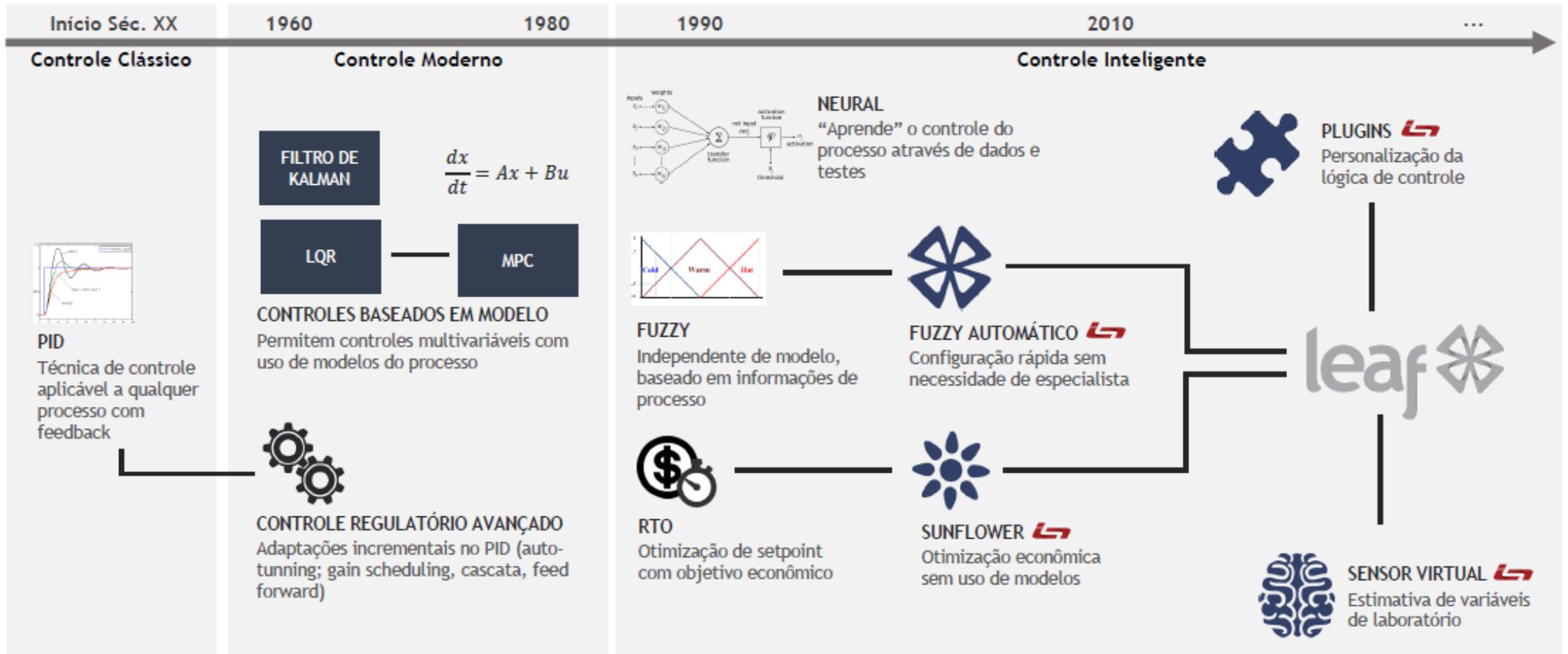


## Pilares da Indústria 4.0





# Evolução dos controles

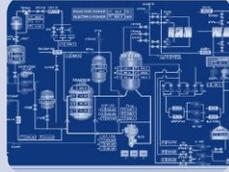


**Objetivo: Reduzir a variabilidade e otimizar o setpoint**

# Pilares Indústria 4.0 – UCP/ ATVOS



## PRODUÇÃO:



### Simulador online de Processo

Planejamento avançado da produção.



### Controle Avançado de Processos

Geração de Vapor e Energia  
Tratamento Caldo / Evaporação  
Moenda  
Destilaria



### Laboratório Virtual

Monitoramento avançado do processo.

## MANUTENÇÃO:



### Manutenção Preditiva Sensorial

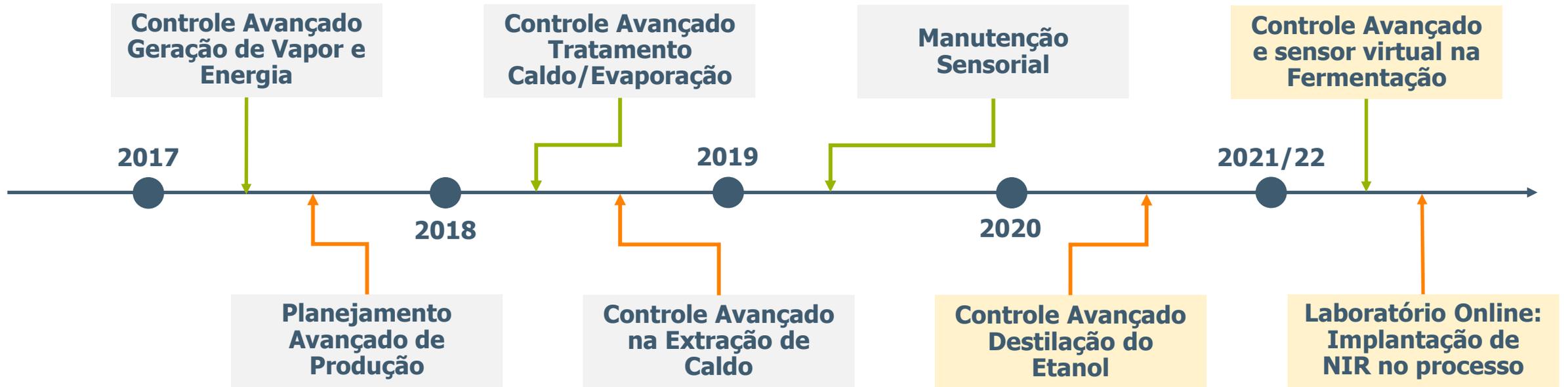
Equipamentos da linha crítica da planta

### Controle Avançado da Fermentação

Sistema de monitoramento e controle em tempo real da fermentação.

BUSCA PELA EXCELÊNCIA OPERACIONAL

# Um pouco do histórico das tecnologias na Atvos - UCP...



# Onde queremos chegar...



## *RTO – Real Time Optimization*

**Simulador de  
Processo  
Gêmeo Digital**

*Geração dos setpoints globais  
buscando as melhores  
condições operacionais para o  
planejamento realizado*

**Setpoints globais**



**Geração de Vapor**

*SPL1*



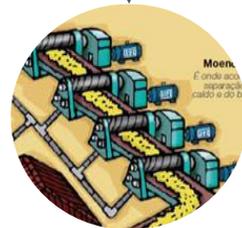
**Geração de Energia**

*SPL2*



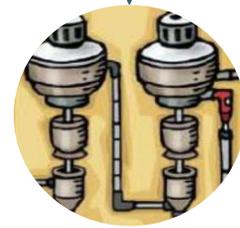
**Extração do Caldo**

*SPL3*



**Evaporação**

*SPL4*



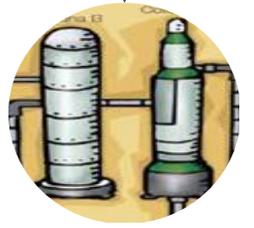
**Produção de açúcar**

*SPL5*



**Fermentação**

*SPL6*



**Destilaria**

*SPL7*

**Setpoints locais**

***Controle Avançado***

*Geração de setpoints locais  
por setor utilizando lógicas e  
algoritmos avançados*



# **PORQUE INVESTIR EM NOVAS TECNOLOGIAS NA FERMENTAÇÃO?**



# Fermentação Alcoólica: um universo



A filosofia na condução de uma fermentação...



**Temperatura**

**Qualidade do mosto**

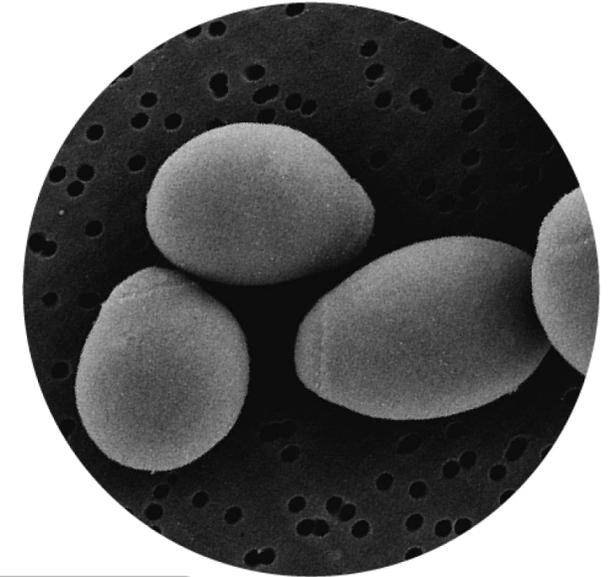
**Qualidade da cana**

**Ritmo de alimentação**

**Contaminação**

**Tratamento do fermento**

**Ciclo de fermentação**



# Controle Avançado na Fermentação



A fermentação industrial é um processo complexo e a sua estabilidade é fundamental!

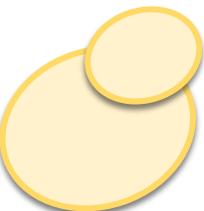
Mesmo com elevados níveis de boas práticas e controle, o processo fermentativo está sujeito à variabilidades de diferentes fontes...



**Propriedades da matéria - prima**



**Condições do processo**



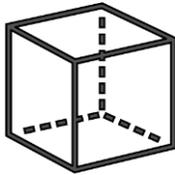
**Comportamento do micro-organismo**

Altas variabilidades ocasionam...

- **Condições estressantes para o micro-organismo**
- Tempos mais longos de fermentação
- **Resfriamento desnecessário ou excessivo**
- **Maior produção de subprodutos indesejados**
- Perda de qualidade e produtividade



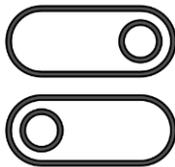
## Controle baseado em modelo diferente dos demais sistemas automatizados encontrados



- ✓ Baseado em **modelos fenomenológicos de balanço de massa e energia**, desenvolvidos especificamente para a fermentação



- ✓ Atuação baseada na **demanda e atividade da levedura em tempo real**, para **cada batelada** de cada fermentador



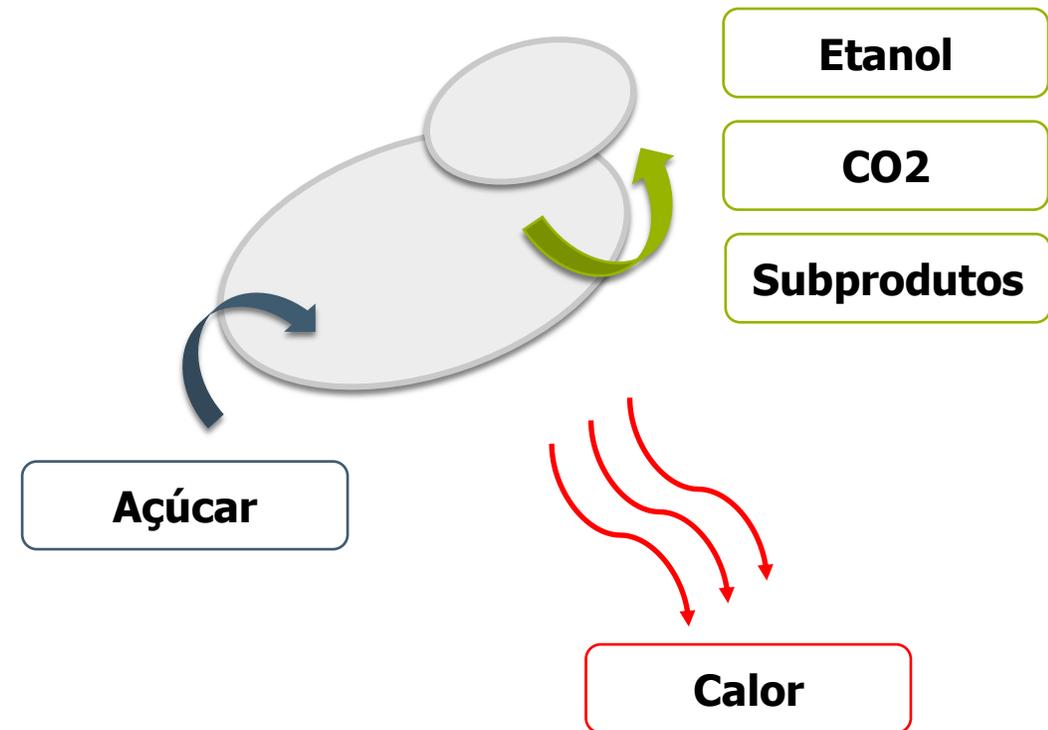
- ✓ Dotado de **sensores virtuais (curva de extrato, etc.)** que disponibilizam informações em tempo real, utilizando tecnologia baseada em **IA ("machine learning")**

# O Controle Avançado na Fermentação



O controle avançado na fermentação tem como objetivo:

- Monitoramento da resposta e comportamento do micro-organismo em tempo real baseado em **entalpia (liberação de calor)** e demais parâmetros de processo;
- Ação direta no processo fermentativo de modo a promover uma **gestão energético-metabólica** mais eficiente.
- A **gestão na alimentação de mosto** a garantir a correta quantidade de açúcar fornecida ao fermento, reduzindo a intervenção do operador (Operação Autônoma)



## 2 Módulos do Controle Avançado na Fermentação



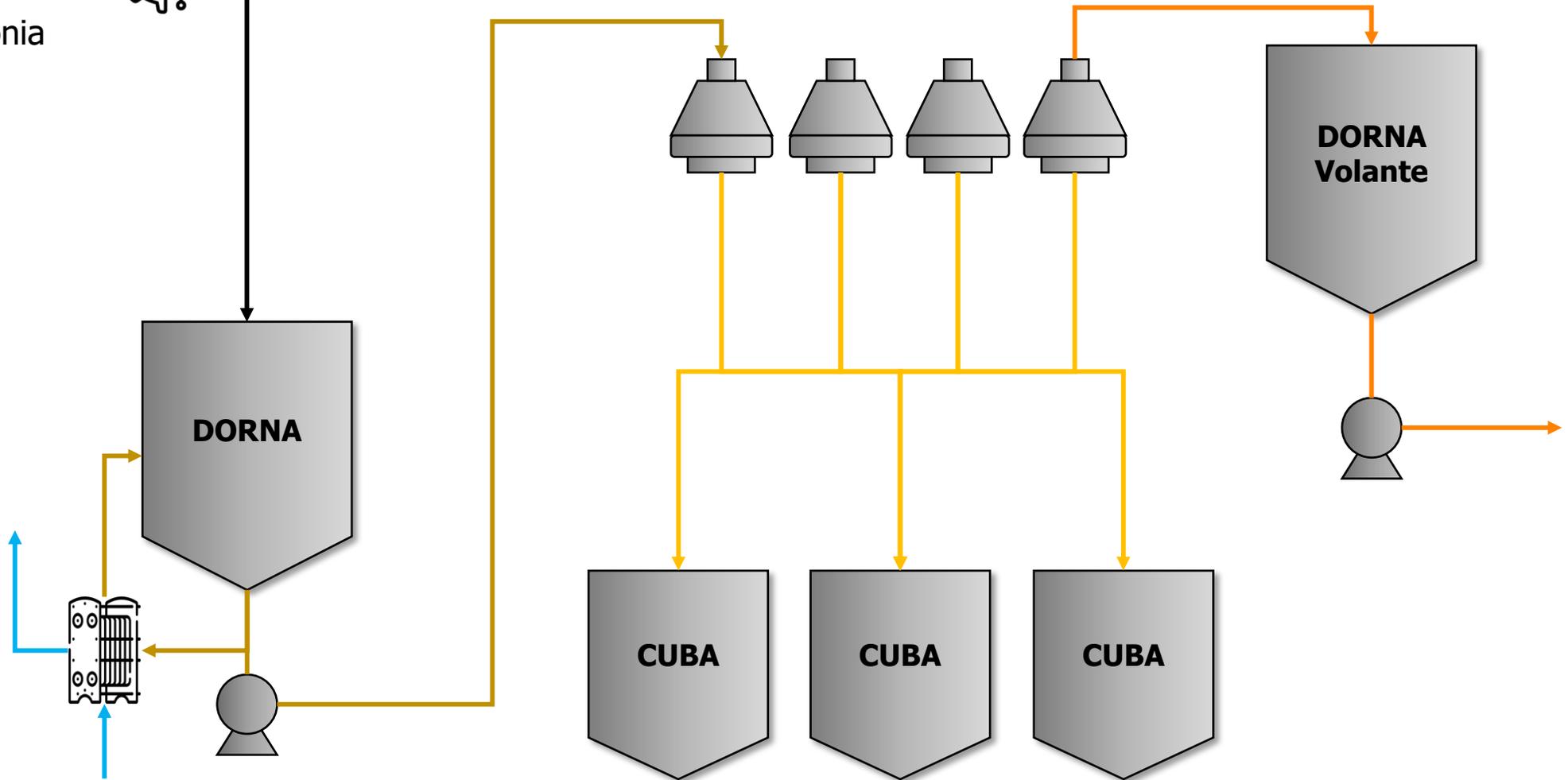
### MOSTO Controle de alimentação autônomo

- Diagrama / Sincronia
- Sensor virtual



### TEMPERATURA DA FERMENTAÇÃO

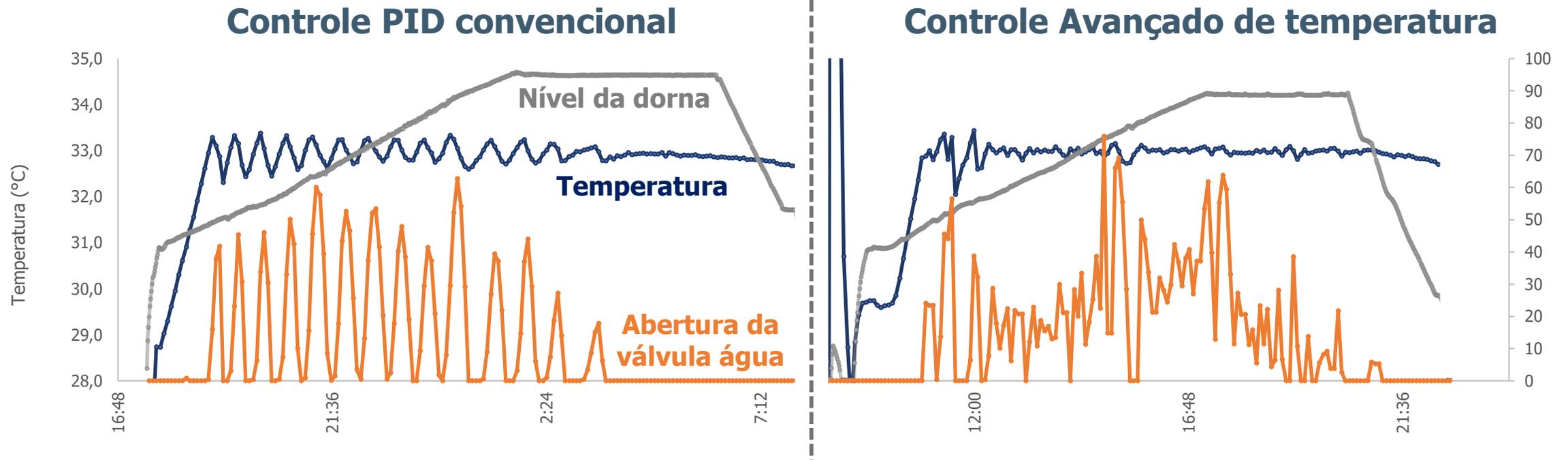
- Gestão energético metabólica
- Abertura da válvula de água



# O Controle Avançado na Fermentação



Traduzindo para um case real na fermentação:



Oscilação do perfil de temperatura na fermentação devido **atuação atrasada e simplificada do PID**: busca do setpoint digitado pelo operador

Resposta dinâmica e ação antecipatória levando em conta o **perfil de energia gerado pelo metabolismo**, de acordo com a cinética de fermentação com desprendimento de calor

# Controle Avançado na Destilaria

---

# O Controle Avançado na Destilaria – Lógica Fuzzy



Lógica do PLC permite ao operador ativar ou desativar o Controle do supervisório

Conhecimento do especialista



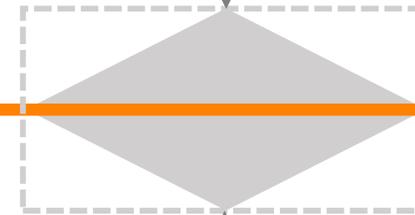
OPERADOR



CONTROLE AVANÇADO



FUZZY



PROCESSO

Cria várias regras fuzzy baseada em informações de processo, não dependendo de modelos complexos



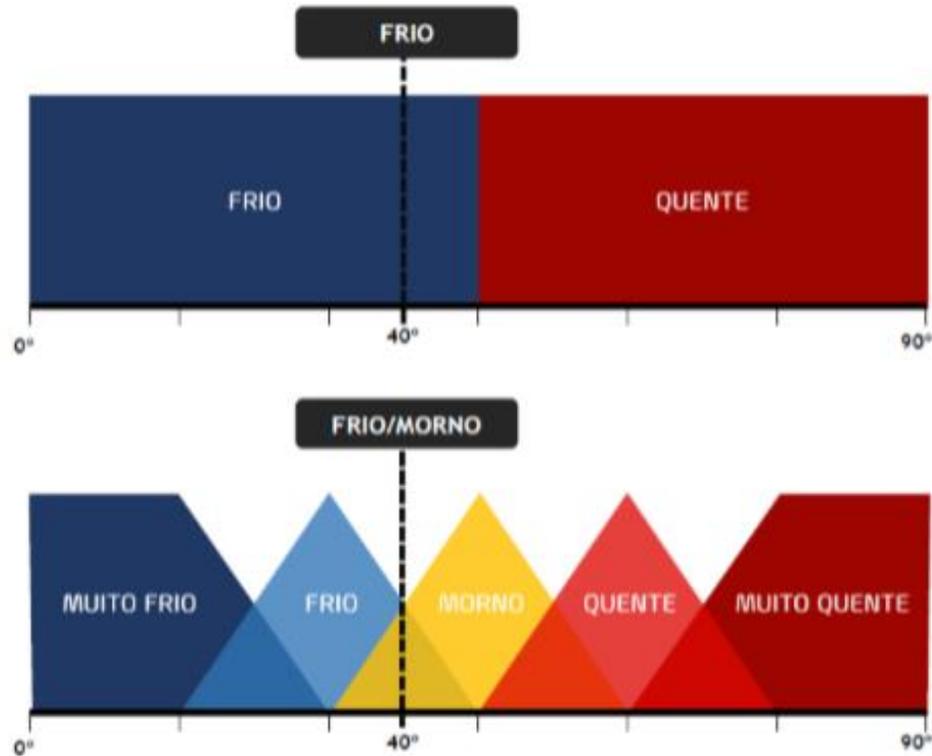
PID

Podendo retornar ao controle manual ou PID

# Inteligência Artificial



## Controle baseado na lógica fuzzy



### LÓGICA CLÁSSICA

Representação dual (sim ou não, frio ou quente)

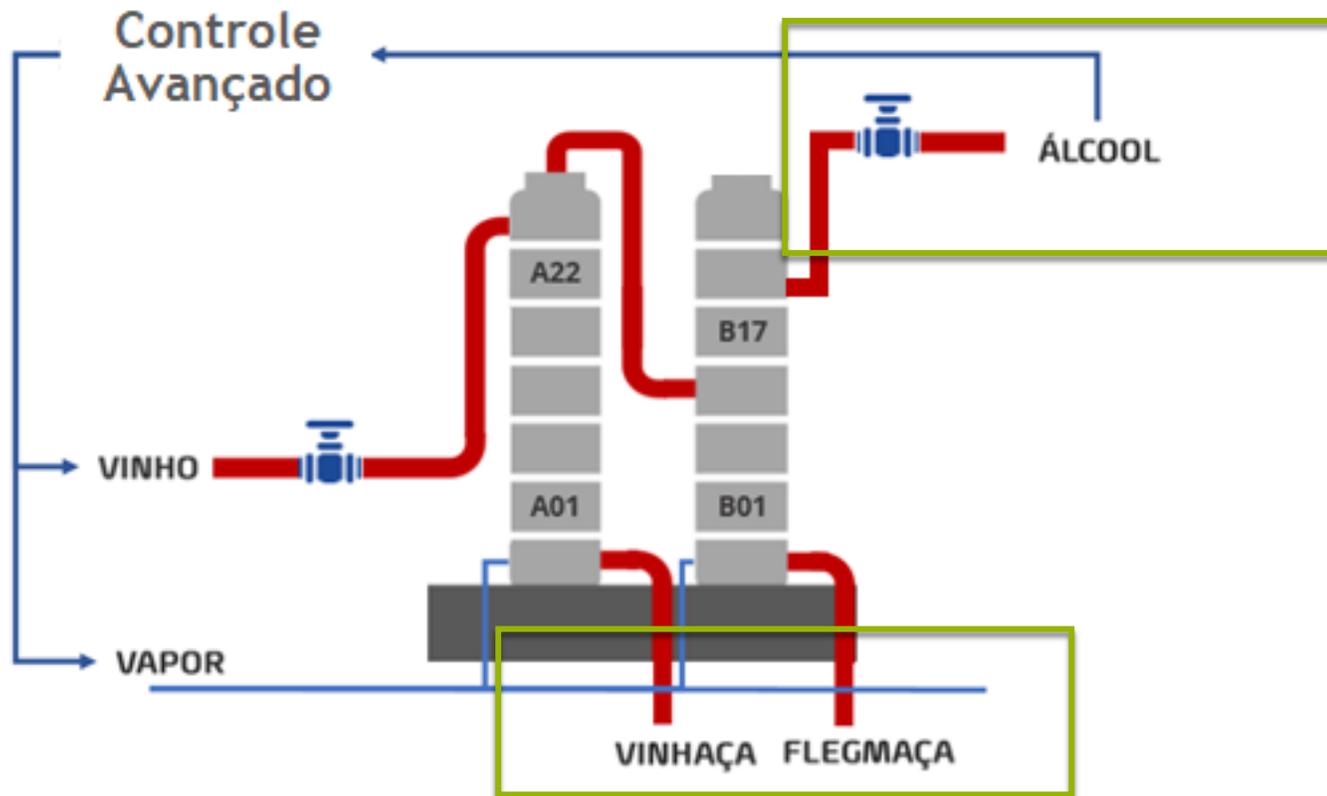
✓ **Lógica Booleana**

### LÓGICA FUZZY

Representação de conceitos subjetivos (Muito Frio, Frio, Morno, Quente e Muito Quente)

✓ **Lógica difusa**

# O Controle Avançado na Destilaria



## O que foi implementado?

### Escopo INPM

Atuação do controle avançado na retirada de etanol na coluna B.

### Escopo Perdas

Atuação do controle avançado nas temperaturas das bandejas nas bases das colunas A e B.

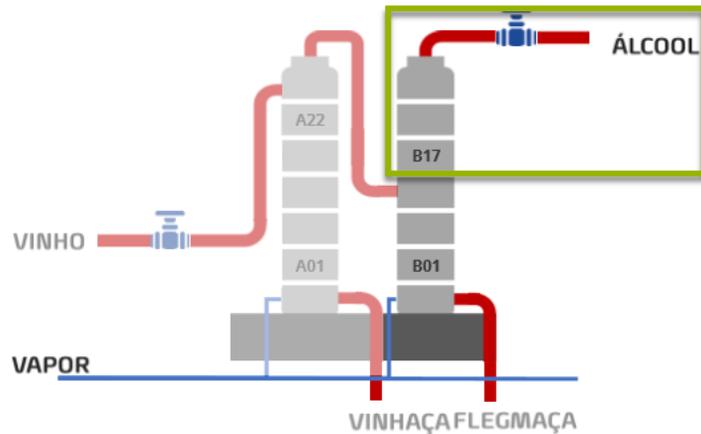
O objetivo principal é a **estabilidade e redução do INPM** do Etanol Hidratado, dentro dos limites do padrão de qualidade do produto.

Outro objetivo é o **controle e estabilidade das temperaturas das bases** das colunas A e B para minimizar as perdas pela vinhaça e flegmaça, maximizando a **eficiência de destilação**.

# O Controle Avançado na Destilaria



- **Malha INPM**



## Malha de °INPM

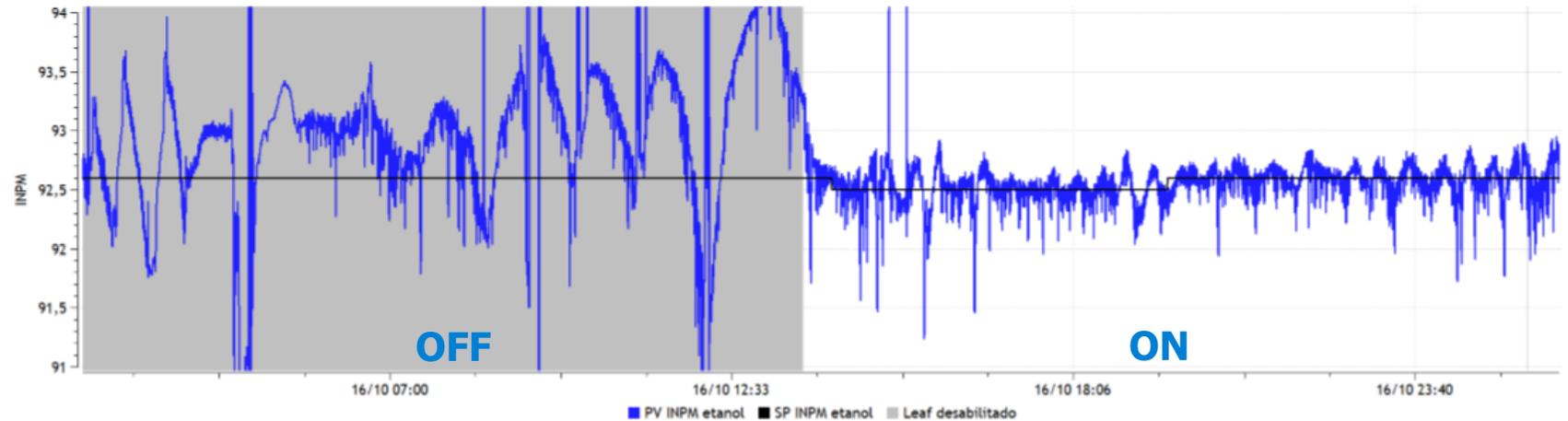
PV: °INPM

DV: Temperatura B17

DV: Temperatura B01

DV: Pressão Coluna B

MV: Válvula de retirada etanol

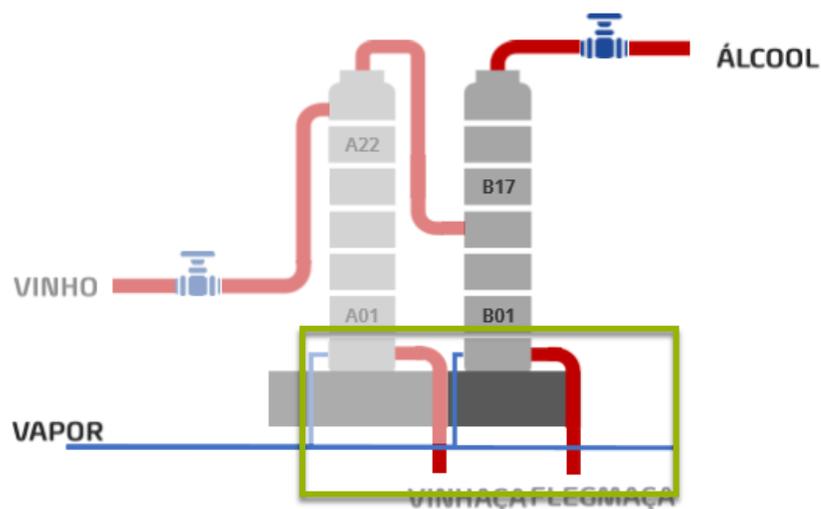


O controle da retirada de etanol é realizado com base no setpoint para o **INPM do etanol (input do operador)**, “enxergando” a temperatura na bandeja B17/B01 e a pressão da coluna B, garantindo a estabilidade do mesmo conforme o gráfico.

# O Controle Avançado na Destilaria



## • Malha de perdas



### Malha de Temperatura A01

IN: Temperatura A01  
IN: Temperatura A22  
IN: Vazão de vinho  
OUT: SP Pressão Coluna A



### Malha de Pressão Coluna A

PV: Pressão Coluna A  
DV: Pressão Vapor vegetal  
MV: Abertura da válvula de vapor

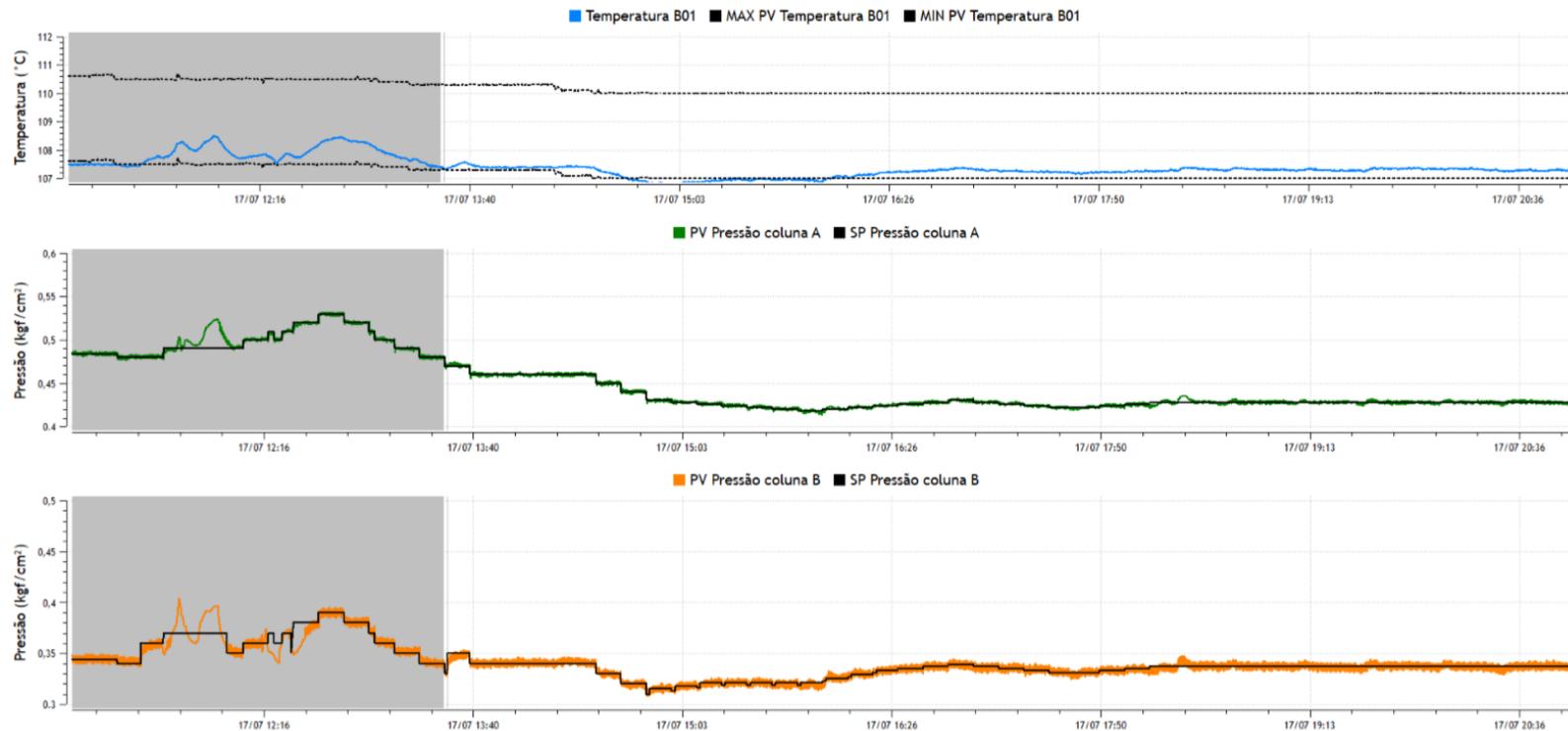
### Malha de Temperatura B01

IN: Temperatura B01  
IN: Vazão de vinho  
IN: Delta de Pressão  
OUT: SP Pressão Coluna B



### Malha de Pressão Coluna B

PV: Pressão Coluna B  
DV: Pressão Vapor vegetal  
MV: Abertura da válvula de vapor



O controle da temperatura das bases é realizado com base no **setpoint para a pressão das colunas** (otimizado pelo controle), variando a abertura das válvulas de vapor e "enxergando" a vazão de vinho e delta pressão das colunas

A temperatura a ser atingida é a ideal para que não ocorra perdas pela vinhaça e flegmaça, **garantindo a estabilidade** das mesmas

# Laboratório On-line: mediação em tempo real do processo

---

# Medição On-line do processo: NIRS

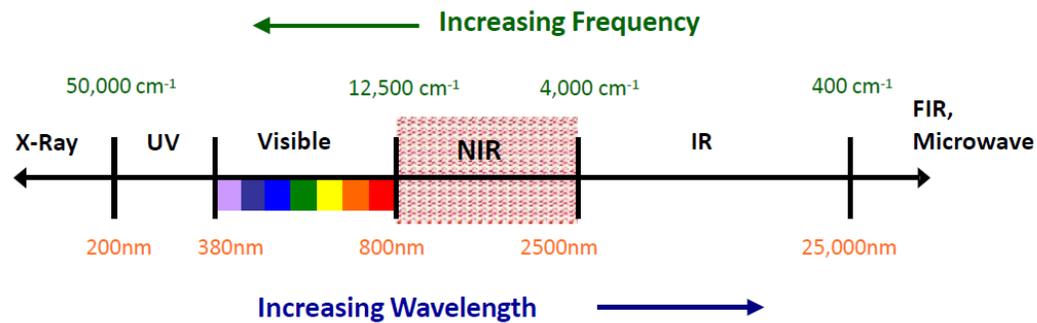


Tecnologia rápida e de alta precisão que utiliza do princípio natural da emissão de radiação eletromagnética para realizar análises de determinação da composição química

## NIRS

### NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

Espectroscopia no Infravermelho Próximo



### O princípio básico de funcionamento do NIR pode ser definido como:

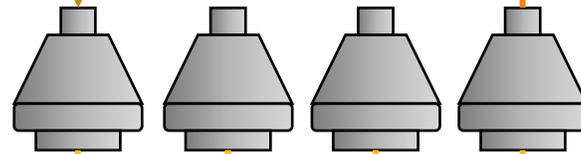
- A luz do NIR é direcionada à amostra
- A luz é modificada de acordo com a composição do item analisado
- A luz modificada é detectada pela sua transmissão e pelo fluxo que é refletido (refletância)
- O espectro modificado, medido por diferenças entre a quantidade de luz emitida pelo NIR e a quantidade de luz refletida pela amostra, é convertido para informações que quantifiquem a composição dos elementos da amostra que está sendo analisada

# Medição On-line do processo de fermentação



## Mosto

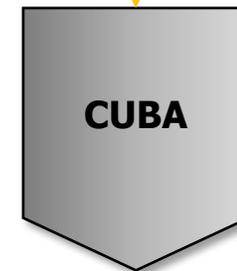
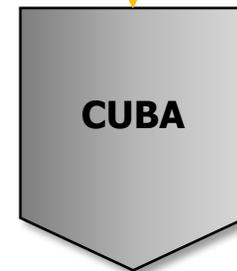
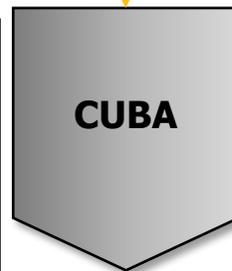
Brix  
ART  
Pol  
AR  
Acidez  
Nitrogênio  
Compostos  
fenólicos



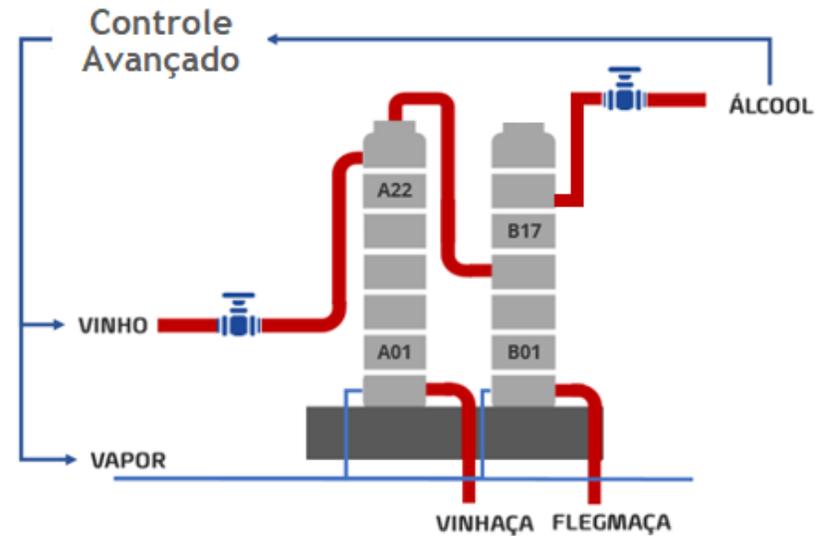
## Vinho

% etanol real  
% subprodutos  
% açúcar residual  
(final de  
fermentação)

- ✓ Análise da **condução da fermentação em tempo real**: entrada de mosto e saída do vinho
- ✓ **Rendimento de fermentação** on-line
- ✓ **Integração com as ferramentas de controle avançado**: gestão autônoma da produção de etanol



# Inovações na Produção de Etanol



## Controle Avançado na Fermentação

- Gestão energético-metabólica
- Sensor virtual de alimentação

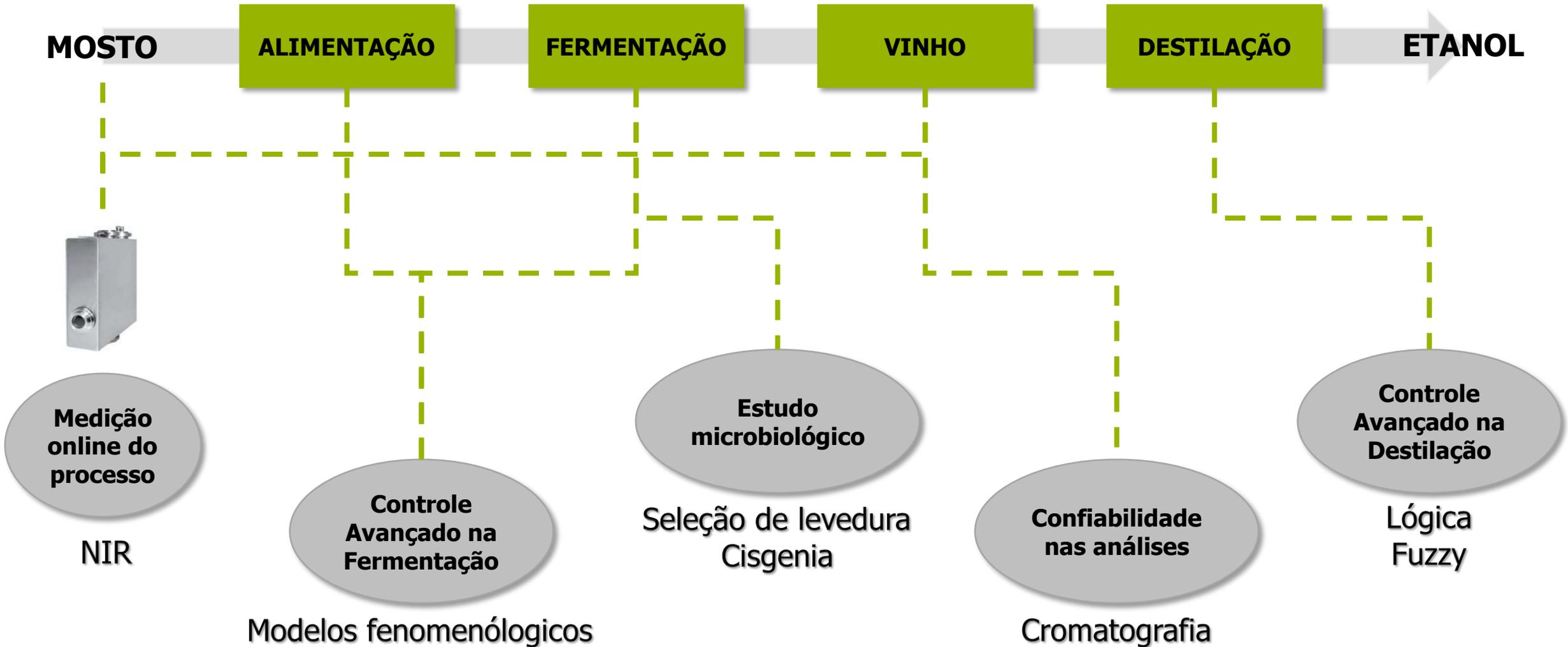
## Controle Avançado na Destilaria

- Controle do INPM do Etanol
  - Controle de perdas

## Laboratório online: medição em tempo real do processo

- Composição do mosto
- Composição do vinho

# Tecnologias UCP – Busca pela excelência de processo



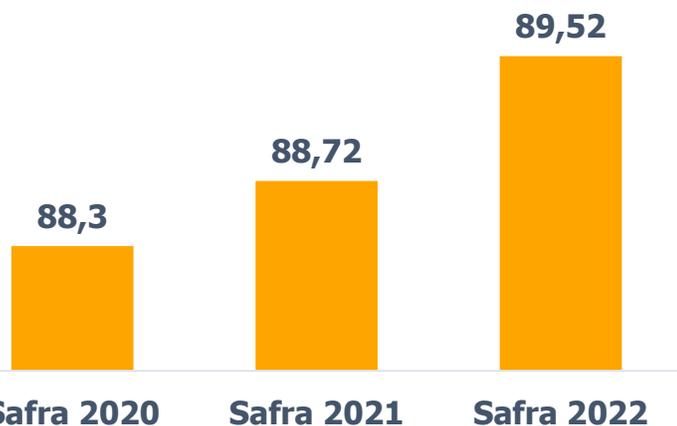
# Resultados

# Resultados

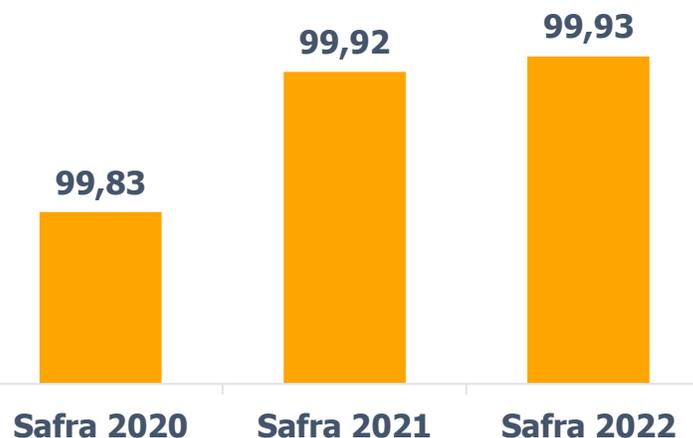


- Foco na boa condução da fermentação (Gestão Operacional)
- Aumento de performance na fermentação e destilação com as tecnologias implementadas:

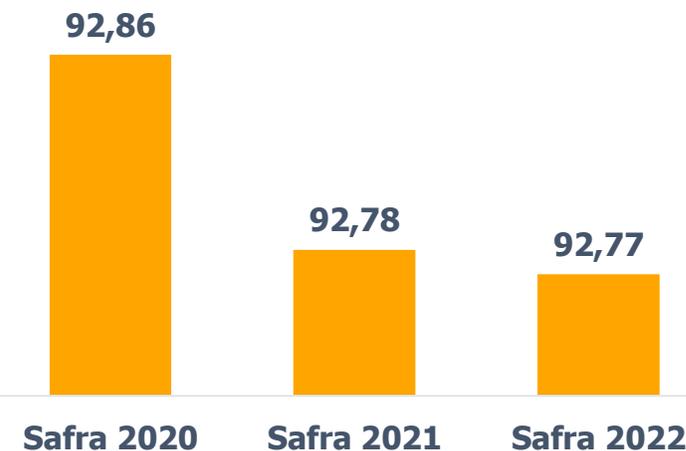
### Rendimento Fermentação



### Eficiência de Destilação



### INPM Etanol



**Busca pela operação autônoma da Produção de Etanol**

Ganhos financeiros significativos / safra

# **Agradecimento especial**

**“Tive uma grande ideia sua”  
Dr. José Paulo Stupiello**



# OBRIGADO!

**Toda honra e glória seja dada a Deus!**

*Salmos 29 : 1-4*

**CRISTIANO AZEREDO**

cristiano.azeredo@atvos.com

