



**Graduação: Engenharia Produção Mecânica – Universidade Paulista**

- **Experiencia : Profissional com 22 anos atuando no Setor Sucrenergético ;**
  - **Há 7 anos como Gerente Industrial da São Manoel;**
- **Experiencia com Manutenção Industrial, Manutenção Agrícola e Processo Produtivo Industrial**
- **Atualmente implementando os conceitos efetivos de indústria**
- **Buscando sempre excelência operacional e formação de pessoas**

**25 e 26  
de outubro  
de 2023**



**Centro de  
Eventos Taiwan  
Ribeirão Preto - SP**



**São Manoel**

# FERMENTAÇÃO 4.0

Rafael Carnietto Bassetto / Roger Mantovani Ostanik

---

Outubro /2023



**São Manoel**

# AGENDA

## *Fermentação 4.0*



**Objetivos e Passos para implementação**



**Equipamentos Envolvidos e modos de Operação**



**Resultados Esperados e Obtidos até o momento**



**98%**

Da cana é gerenciada pela Usina São Manoel

### PRODUÇÃO DIÁRIA

Moagem: 23.200 t

Açúcar: 35.000 sacos

Etanol: 1.200.000 litros

### DADOS AGRÍCOLA

Área de cultivo 57.000 ha

Fertirrigação por gravidade: 18.000 ha

Raio médio transporte: 23 km

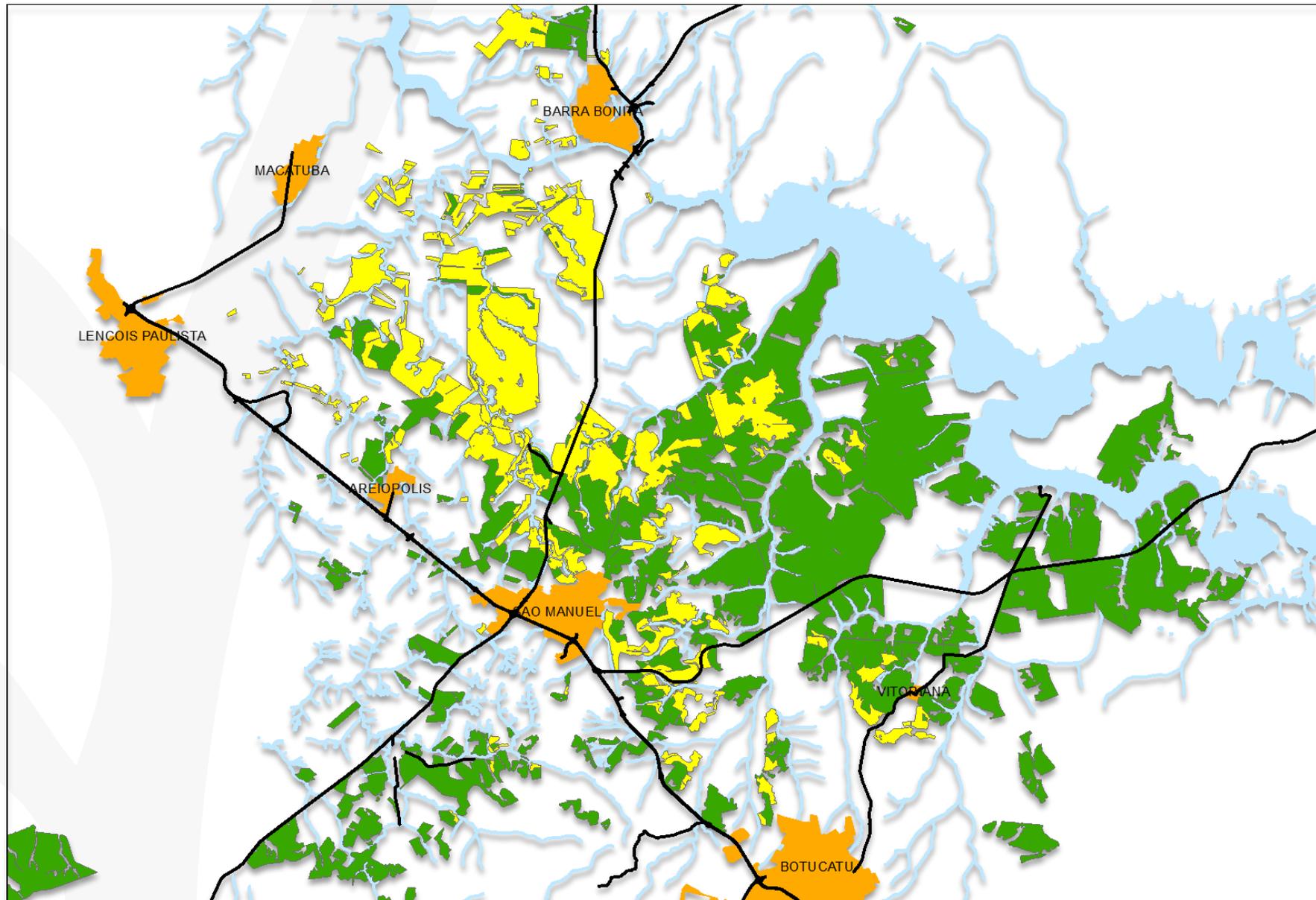
65% Cana transportada com pentaminhão e hexaminhão

98 Ton. Peso Médio

### SOLOS – AMBIENTE DE PRODUÇÃO

Ambientes não restritivos (50%) 

Ambientes restritivos (50%) 



## SOCIEDADE ANÔNIMA, DE CAPITAL FECHADO, COM CONTROLE FAMILIAR, FUNDADA EM 1949

### Missão:

Construir uma empresa sustentável,  
contribuindo para um mundo melhor,  
por meio da excelência em pessoas e  
gestão.

### Visão:

Ser uma empresa perene.

### Valores:

- Respeito;
- Transparência;
- Engajamento;
- Inovação.

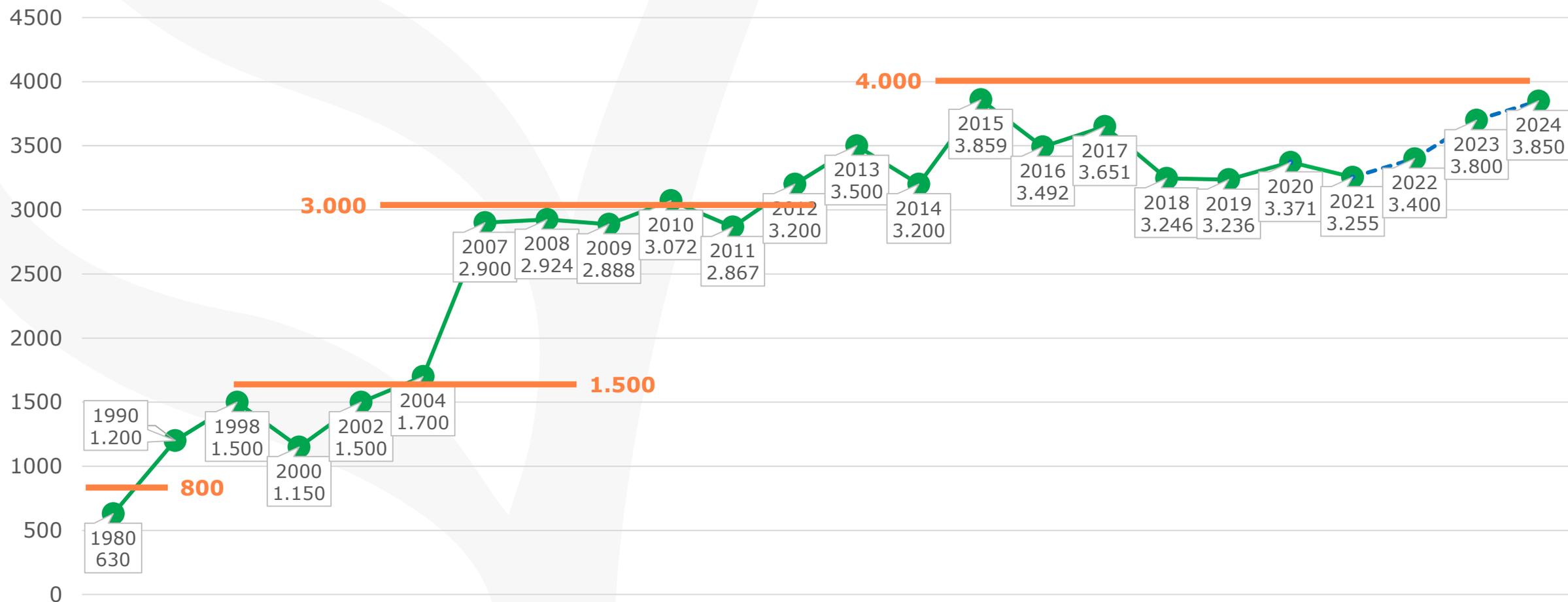




# MOAGEM

1.000t

+ 250 mil toneladas de Açúcar Branco  
+ 150 mil m<sup>3</sup> de Etanol



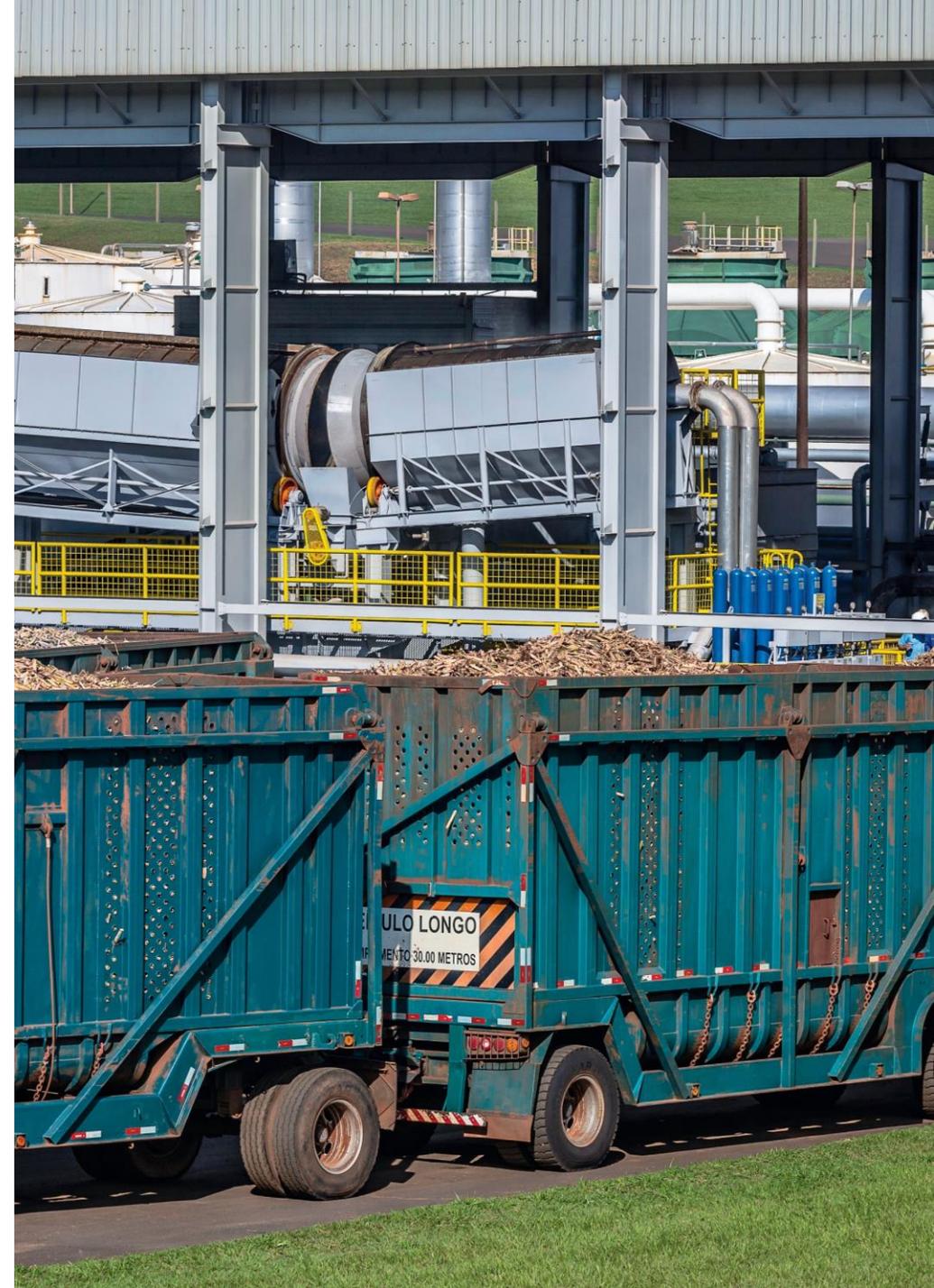
# AGENDA

## Fermentação 4.0



### Objetivos e Passos para implementação

- *Contextualização*
- *O que nos motivou?*
- *Como Implantamos?*
- *Porque Implantamos?*



# EVOLUÇÃO

*Sustentabilidade, respeito e inclusão como alavanca de valor*

- **Busca permanente por produtividade e eficiência.**
- **Tomada de decisão. descentralizada por meio da gestão compartilhada.**
- **Visão de negócio fortalecida no time de gestão.**
- **Inovação como estratégia de negócio.**
- **Postura empreendedora através do engajamento dos colaboradores.**



# EVOLUÇÃO

- **Busca permanente por produtividade e eficiência.**
- **Tomada de decisão. descentralizada por meio da gestão compartilhada.**
- **Visão de negócio fortalecida no time de gestão.**
- **Inovação como estratégia de negócio.**
- **Postura empreendedora através do engajamento dos colaboradores.**



# ENTENDENDO PROBLEMA

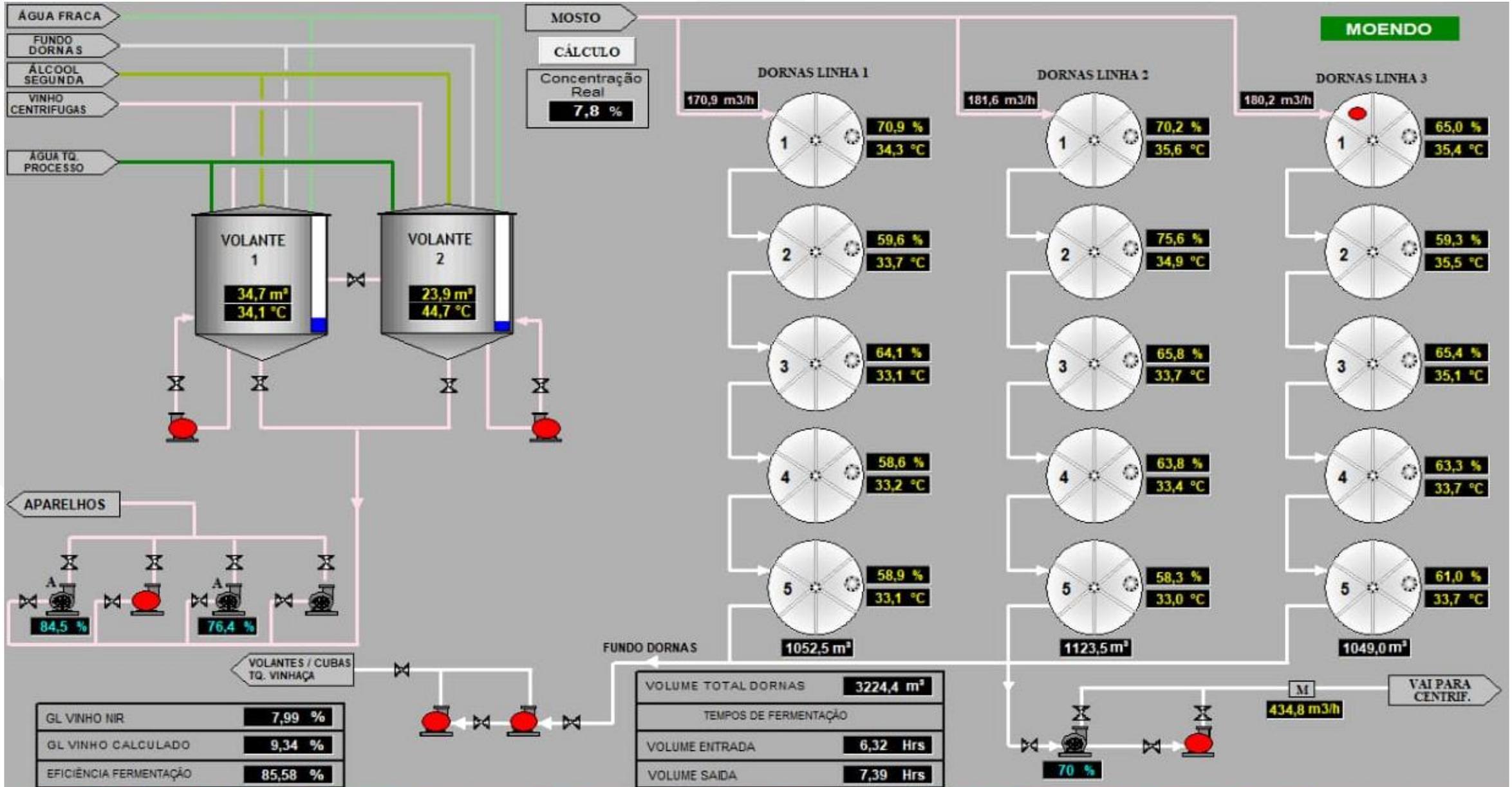
## Possuímos:

- 1 Moenda de 6x90"
- Tratamento de Caldo com Decantadores Bandejas
- Caixas de caldo com retenção de **1,5 min**
- Mix de 50% / 50%
- Restrição de Vapor = máximo de 400 kg/t. cana moída
- 3 Linhas de fermentação Contínua idênticas com 5 dornas em cada linha
- Processo de centrifugação e tratamento de fermento único para todas as linhas
- 3 Aparelhos de destilação, com capacidade máxima de 1.200 m<sup>3</sup>/dia (8°GL)

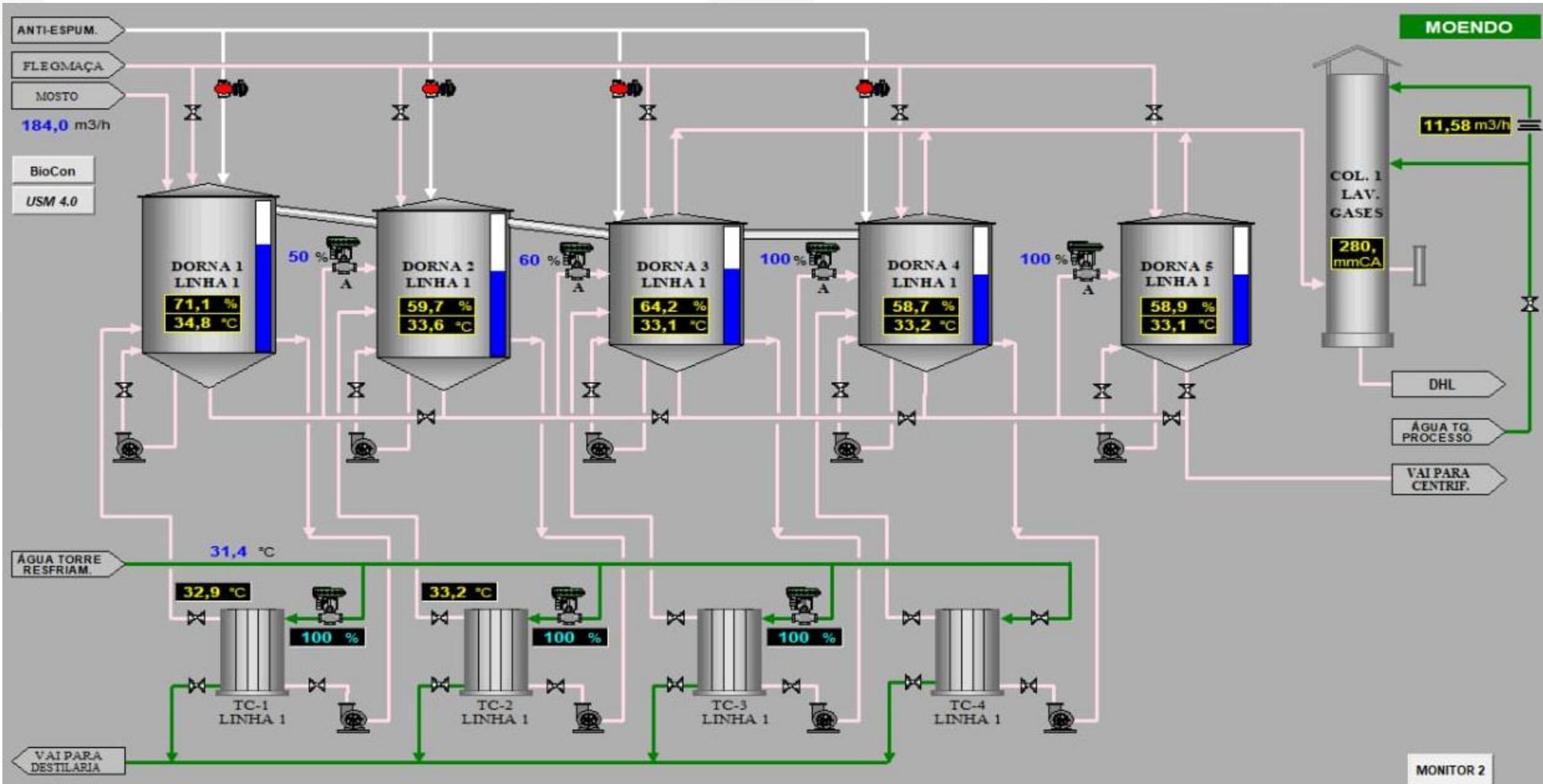
## Nossos Problemas

- Floculação;
- Contaminação por lactobacilos
- Trabalhamos com teor alcoólico baixo (7 à 8°GL), pois não temos capacidade de evaporar caldo suficiente
- Toda variação de fluxo de caldo vai para a fermentação, ficando a Fábrica de Açúcar Estável.
- Processos trabalhando muito próximo a capacidade máxima o tempo todo

# ENTENDENDO PROBLEMA



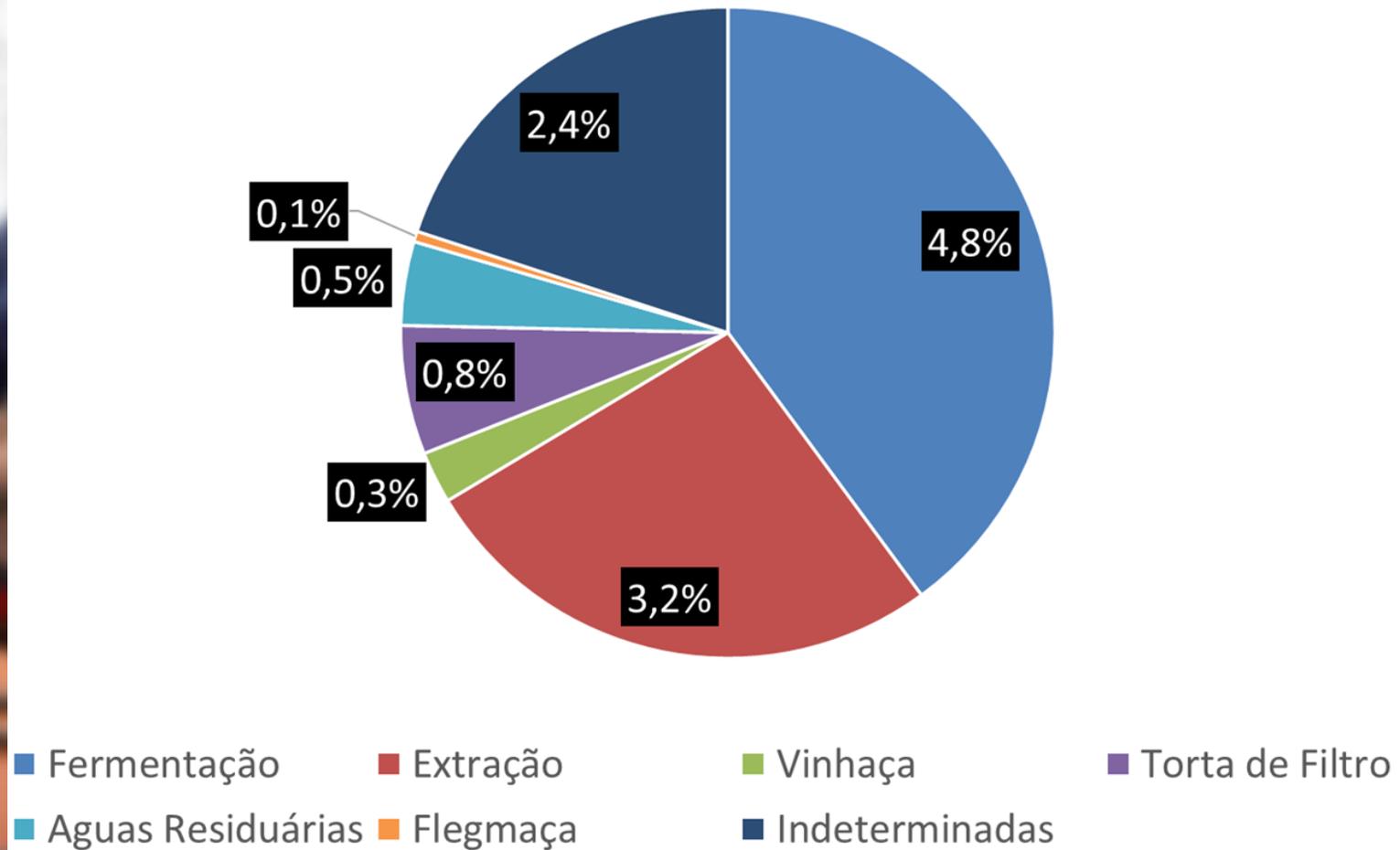
# ENTENDENDO PROBLEMA



# EVOLUÇÃO

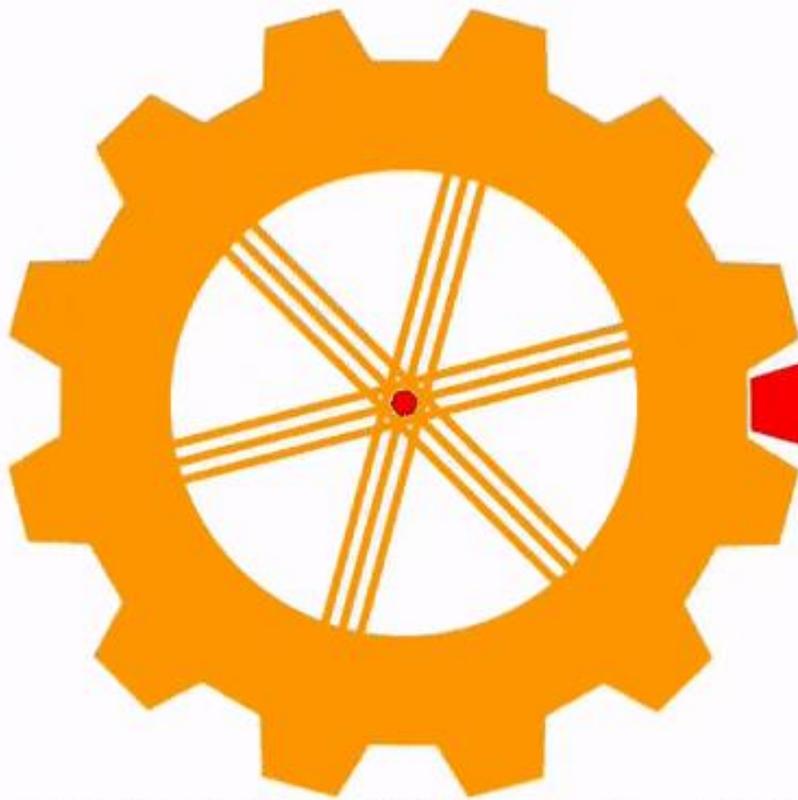
**AO MENOS 70% DAS PERDAS INDUSTRIAIS OCORREM NA MOENDA E NA FERMENTAÇÃO**

Perdas Industriais

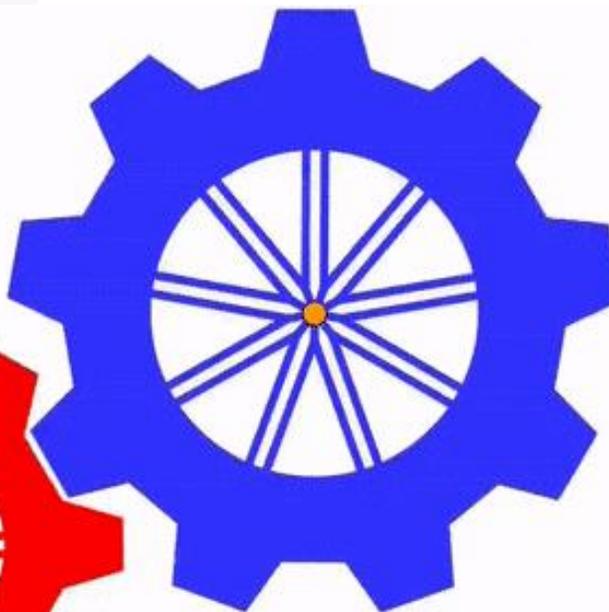


**Fábrica de Etanol**

**MOAGEM**



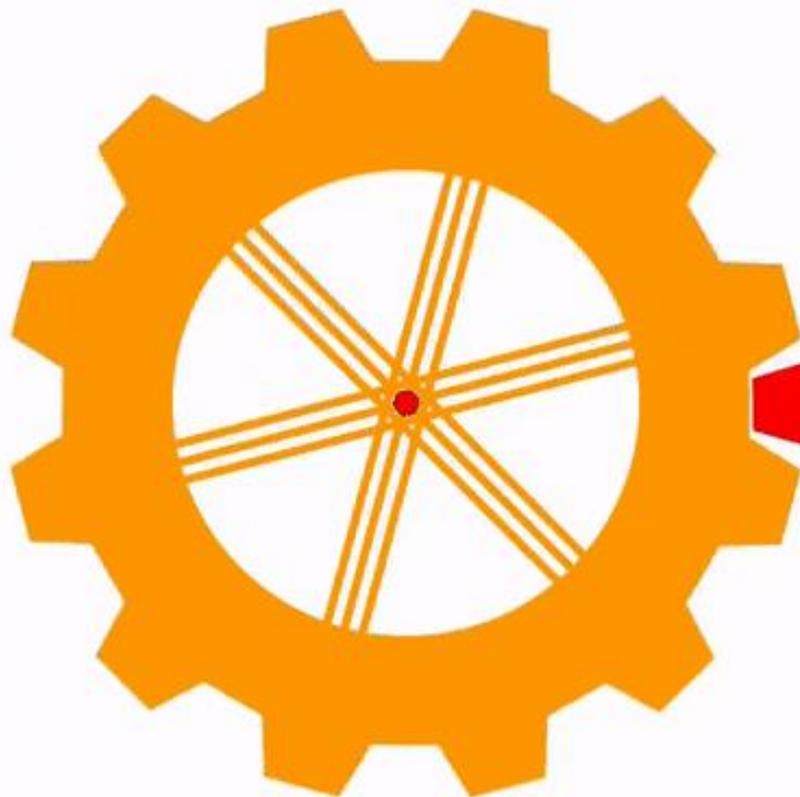
**Fábrica de Açúcar**



**TODO O  
PROCESSO  
PRODUTIVO  
DEVE  
FUNCIONAR  
COMO UM  
RELÓGIO**

# NA REALIDADE... COMEÇA LÁ NO CAMPO... E VAI ATÉ O CLIENTE

**Agrícola  
(produção de cana)**



**Indústria**

**Comercialização e  
Distribuição**



**TODO O  
PROCESSO  
DEVE  
FUNCIONAR  
COMO UM  
RELÓGIO**

# Solução Proposta

## Controles Convencionais

Dados atualizados a cada 3-4 horas ou diariamente

Controles manuais e/ou interpretação do operador

Otimização de cada processo separadamente

## Solução Proposta

Instalar Sensores NIR – Infravermelho Próximo, dados precisos on-line da matéria prima sendo processada

Construir banco de dados e desenvolver algoritmo de IA

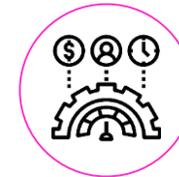
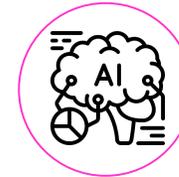
Permitir ganhos de eficiência (maior extração e/ou menor consumo de insumos)

## Controles Avançados [IA]

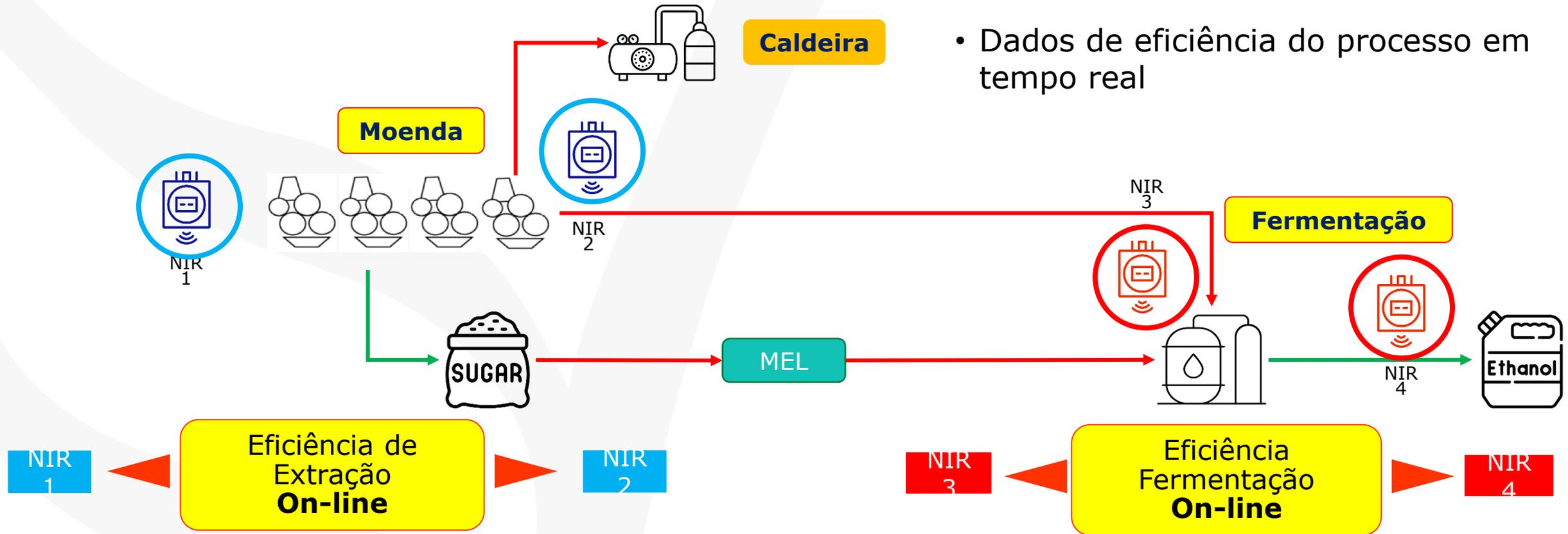
Dados disponibilizados em tempo real

Algoritmos para interpretação dos dados

Otimização da planta como um todo



# Solução Proposta – Sensores NIR [Near Infrared]



- Dados de eficiência do processo em tempo real

Nossa intenção nunca foi substituir o laboratório, mas sim ser complementar a ele, dando dados mais frequentes para que possamos realmente instalar controles avançados (multivariáveis) e I.A. nos processos.

**MAS... NÃO CUSTA MUITO CARO?  
SERÁ QUE SE PAGA? DÁ RESULTADO?**



**MAS... E SE FUNCIONAR?**

**SE NÃO TEMAS “MANHAS”, NÃO ENTRA SEM A AJUDA DE UM PROFISSIONAL...**

# MAS... NÃO CUSTA MUITO CARO? SERÁ QUE SE PAGA? DÁ RESULTADO?



- Jaime Finguerut
- Wokimar Garcia
- José Paulo Stupiello
- Paulo Delfini
- Manoel Horta Nunes
- Time São Manoel
- Time BUCHI
- Time ITC

**SE NÃO TEMAS “MANHAS”, NÃO ENTRA SEM A AJUDA DE UM PROFISSIONAL...**

# AGENDA

## *Fermentação 4.0*

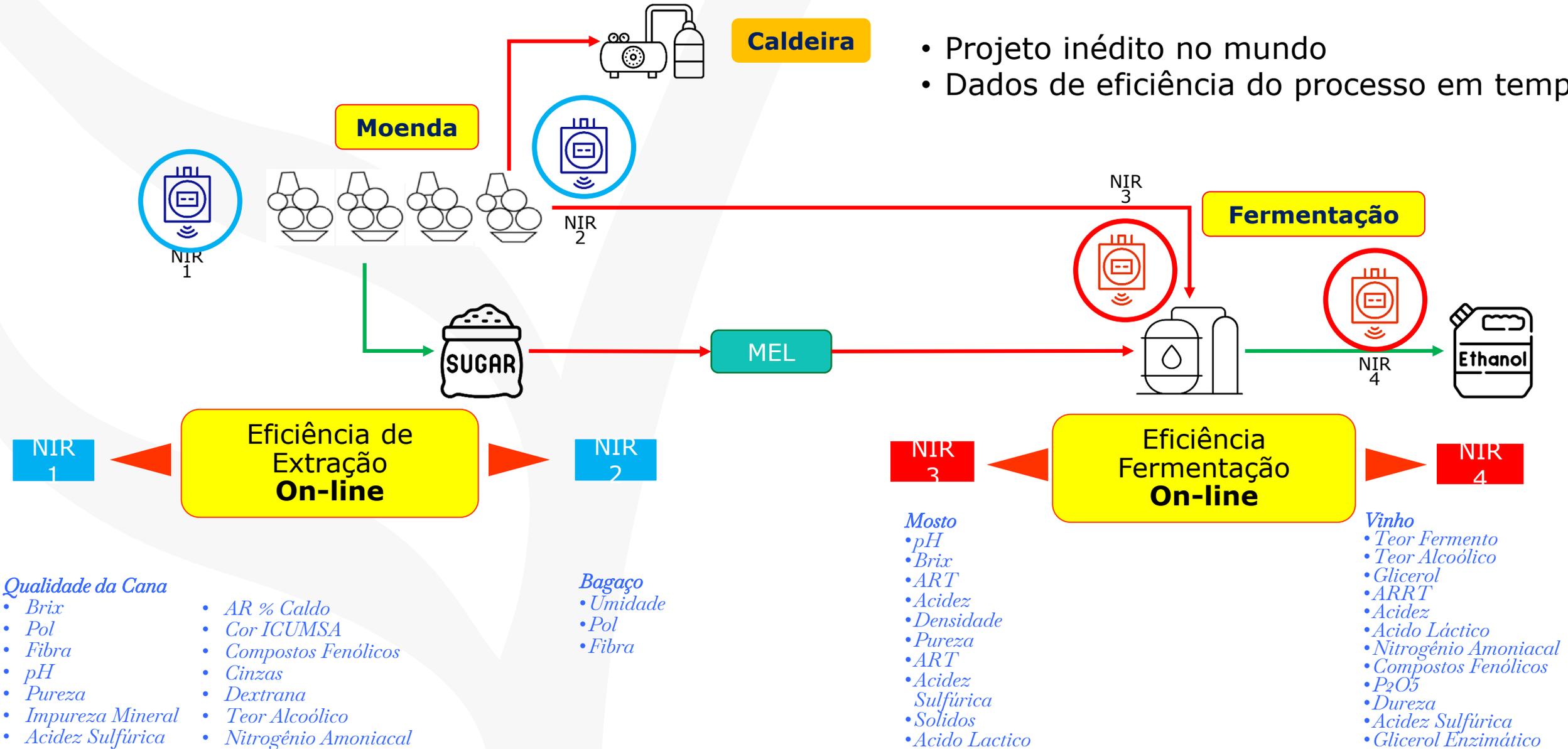


**Equipamentos Envolvidos e modos de Operação**

- *O que fizemos*
- *Quem nos ajudou?*
- *Terceiramos? Participamos?*



# Solução Proposta – Sensores NIR [Near Infrared]



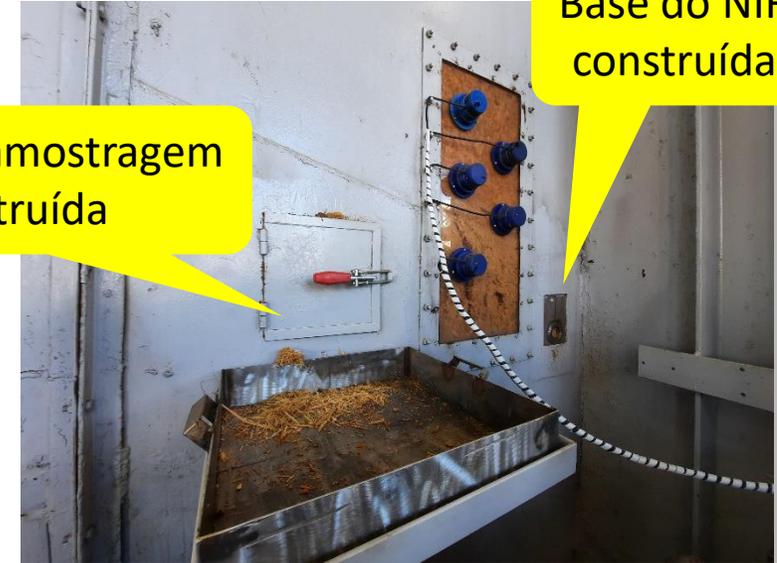
# Recursos Necessários para Implementação

## Atividades – Instalação dos NIR – Moenda (exemplo)

Posicionamento do NiR e Janela de Amostragem



Janela de amostragem construída



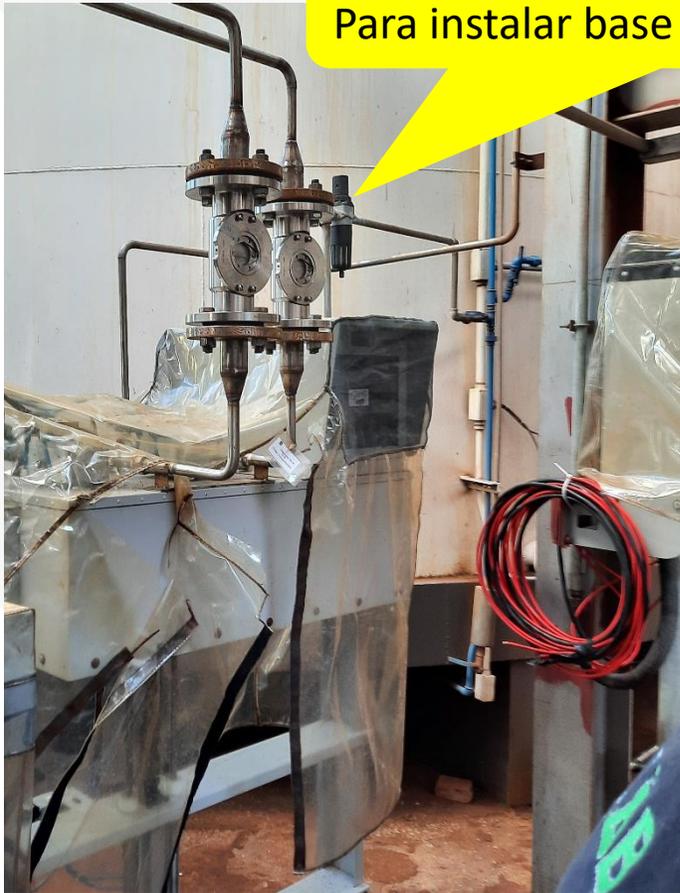
NIR Instalado



# Recursos Necessários para Implementação

## Atividades – Instalação dos NIR – Fermentação (exemplo)

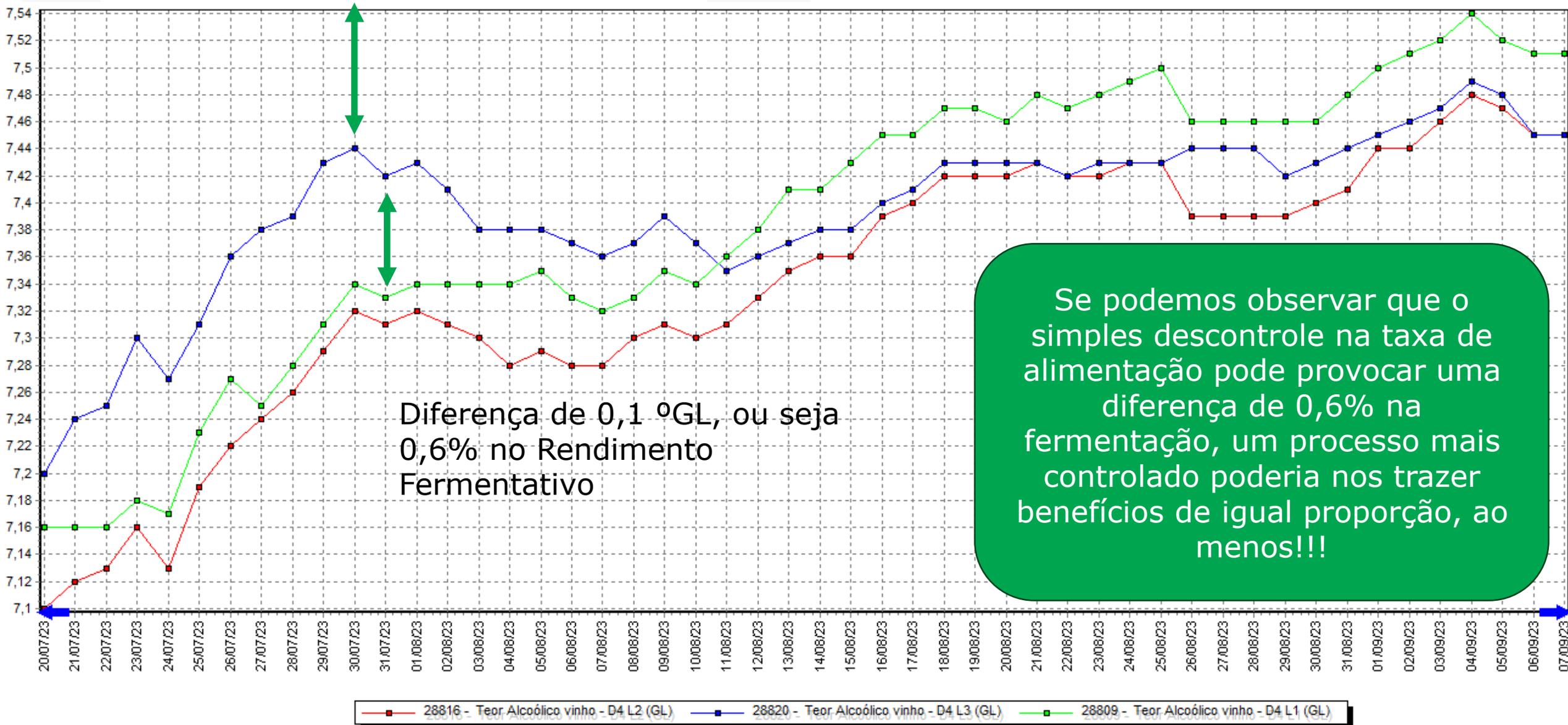
Adaptação na rede da Fermentação  
Para instalar base do NIR (vinho e mosto)



NIR (vinho e mosto)  
instalados



# Mudamos controle da Linha N.3 – Estabilizamos a linha N.1

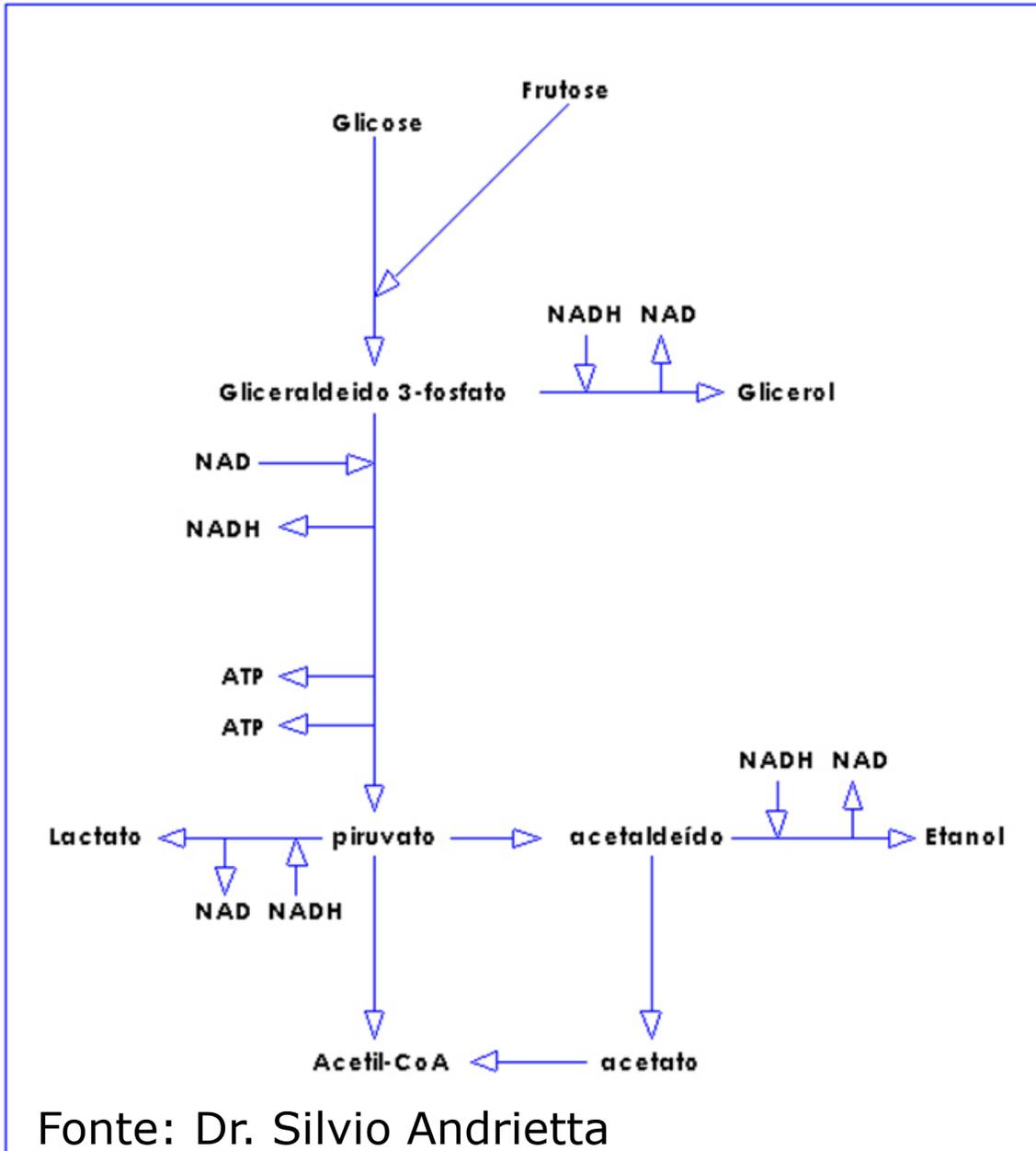


Buscamos agora o “Estado Estacionário” da Fermentação.

- Diminuir oscilação do brix da primeira dorna
- Oscilar o mínimo possível da velocidade de alimentação;
- Manter a taxa de celular por g de açúcar estável
- Manter tempo de conversão de g de açúcar / g células x h estável (0,65 g/g.h)
- Manter taxa de diluição (lavagem) do fermento estável em l de água / kg de fermento (massa úmida a 100%)
- Tempo de retenção no pré-tratamento

“Esquecemos”:

- Manter igual vazão de água
- Estabilizar nível de tanque de mel, fermento, etc..
- Manter vazão de mel constante
- Manter nível de volantes pela fermentação



Fonte: Dr. Silvio Andrietta

# O CONTROLE DA FERMENTAÇÃO INICIA-SE NA MOENDA

The screenshot displays a control interface with two main windows: 'TELA\_NIR.grf' on the left and 'SELECAO\_CTR.grf' on the right.

**TELA\_NIR.grf - DADOS NIR**

ENTRADA CANA (%)	
17,96	BRIX CALDO
14,75	POL CALDO
13,77	FIBRA CANA

**SAIDA BAGAÇO(%)**

48,2	UMIDADE
1,49	POL

**CÁLCULOS NIR(%)**

96,80	EXTR. POL
49,65	FIBRA BAG.
12,26	POL CANA

FECHA

**SELECAO\_CTR.grf - CÁLCULO CONTROLE**

FIBRA	VALORES
LABORATÓRIO	13,31
NIR	13,77

HABILITADO     DE SABILITADO

VALOR ATUAL CONTROLE: 13,08  
VALOR CORREÇÃO FIBRA: 0,95

**REFERÊNCIA PARA LEITURA E CONTROLE FIBRA EMBEBIÇÃO**

LABORATÓRIO     NIR

FECHA



# Simulador

Com Automação de Embebição com NIR			Sem Automação de Embebição com NIR		
Rotação 1º Terno	4934	RPM	Rotação 1º Terno	4934	RPM
Moagem	950	t/h	Moagem	950	t/h
Fibra (NIR)	12,5%		Fibra (NIR)	12,5%	
Taxa Embebição (1)	2,40	X ton.fibra	Taxa Embebição (1)	2,40	X ton.fibra
Taxa Embebição (2)	30%	da cana	Taxa Embebição (2)	30%	da cana
Geração de Bagaço	238	t/h	Geração de Bagaço	238	t/h
Umidade Bagaço (NIR)	50%		Umidade Bagaço (NIR)	50%	
Água Embebição	285	m³/h	Água Embebição	285	m³/h
Massa de Caldo Moenda	998	t/h	Massa de Caldo Moenda	998	t/h
Volume de Caldo Moenda	941	m³/h	Volume de Caldo Moenda	941	m³/h
Retorno Caldo Filtrado	165	m³/h	Retorno Caldo Filtrado	165	m³/h
Retorno Tomadas Decantadores	30	m³/h	Retorno Tomadas Decantadores	30	m³/h
Caldo para Açúcar	700	m³/h	Caldo para Açúcar	700	m³/h
Caldo Para Etanol	436	m³/h	Caldo Para Etanol	436	m³/h

# Simulador

<u>Com Automação de Embebição com NIR</u>			<u>Sem Automação de Embebição com NIR</u>		
Rotação 1º Terno	4934	RPM	Rotação 1º Terno	4934	RPM
Moagem	950	t/h	Moagem	950	t/h
Fibra (NIR)	11,0%		Fibra (NIR)	11,0%	
Taxa Embebição (1)	2,40	X ton.fibra	Taxa Embebição (1)	2,73	X ton.fibra
Taxa Embebição (2)	26%	da cana	Taxa Embebição (2)	30%	da cana
Geração de Bagaço	209	t/h	Geração de Bagaço	209	t/h
Umidade Bagaço (NIR)	50%		Umidade Bagaço (NIR)	50%	
Água Embebição	251	m³/h	Água Embebição	285	m³/h
Massa de Caldo Moenda	992	t/h	Massa de Caldo Moenda	1.026	t/h
Volume de Caldo Moenda	936	m³/h	Volume de Caldo Moenda	968	m³/h
Retorno Caldo Filtrado	165	m³/h	Retorno Caldo Filtrado	165	m³/h
Retorno Tomadas Decantadores	30	m³/h	Retorno Tomadas Decantadores	30	m³/h
Caldo para Açúcar	700	m³/h	Caldo para Açúcar	700	m³/h
Caldo Para Etanol	431	m³/h	Caldo Para Etanol	463	m³/h

## Vazão de Caldo para Etanol

Fibra da Cana	Com NIR	Convencional
11,00%	431	463 m <sup>3</sup> /h
12,50%	436	436 m <sup>3</sup> /h
13,50%	440	418 m <sup>3</sup> /h
15,00%	445	391 m <sup>3</sup> /h
Variação (m <sup>3</sup> /h)	14	72 m <sup>3</sup> /h
<b>Variação (%)</b>	<b>3,3%</b>	<b>17,1%</b>
Capacidade Total Caixa de Caldo Misto	26	26 m <sup>3</sup>
Capacidade útil para variação de nível	10	10 m <sup>3</sup>
<b>Tempo para Reação</b>	<b>42</b>	<b>8 minutos</b>

# TRATAMENTO DE CALDO

CALCULOS\_TRAT.grf

## CÁLCULOS TRATAMENTO DE CALDO CONTROLE CALDO PRIMÁRIO

RETIRADA DE LODO DECANTADOR A (RET. A)	<b>15,5 m³/hr</b>
RETIRADA DE LODO DECANTADOR B (RET. B)	<b>13,5 m³/hr</b>
CAIXAS TOMADAS DE LODO DECANTADORES	<b>15,0 m³/hr</b>
DOSAGEM DE CAL P/ CALDO DOSADO (VZ CAL)	<b>10,0 m³/hr</b>
VAZÃO IDEAL P/ PRÉS (VZ PRÉS)	<b>613,5 m³/hr</b>
NÍVEL ALVO CAIXA DOSADO Nº3 (NV ALVO)	<b>65,0 %</b>
NÍVEL REAL CAIXA DOSADO Nº3 (NV REAL)	<b>64,7 %</b>
SP VAZÃO DOSADO CX 3 (SP VZ DOS)	<b>652,4 m³/hr</b>
SP VAZÃO CALDO PRIMÁRIO (SP VZ PRIM)	<b>642,9 m³/hr</b>

$$SP\ VZ\ DOS = VZ\ PRÉS + RET.\ A + RET.\ B + CXS\ TOM.\ LODO$$

$$SP\ VZ\ PRIM = (SP\ VZ\ DOS - VZ\ CAL) * ((NV\ ALVO - NV\ REAL) * 0,25) + 1$$

HABILITADO

DESABILITADO

FECHA

CALCULOS\_TRAT2.grf

## CÁLCULOS TRATAMENTO DE CALDO CONTROLE SP CALDO MISTO

FIBRA CANA NIR	<b>13,7 Fibra</b>
FIBRA BAGAÇO CALCULADA DADOS NIR	<b>52,3 Fibra</b>
PV VAZÃO EMBEBIÇÃO MOENDA (PV EMB)	<b>194,1 m³/hr</b>
MOAGEM/HORA (MH)	<b>864,1 Ton/hr</b>
CAIXAS TOMADAS DE LODO DECANTADORES	<b>15,0 m³/hr</b>
VAZÃO CALDO FILTRADO (VF)	<b>178,8 m³/hr</b>
VOLUME TOTAL CALDO MOENDA (VC)	<b>848,5 m³/hr</b>
VOLUME TOTAL CALDO (VT)	<b>1034,3 m³/hr</b>
SP VAZÃO CALDO PRIMÁRIO	<b>642,9 m³/hr</b>
SP CTR DE VAZÃO CALDO MISTO (SP CTR)	<b>386,4 m³/hr</b>

$$VOL(VC) = (MH + PV\ EMB - ((MH * FIBRA\ CANA) / FIBRA\ BAG) / 1,06)$$

$$VOL(VT) = (VC + VF + CX\ TOM.\ LODO)$$

$$SP\ CTR = VT - SP\ VZ\ PRIMÁRIO$$

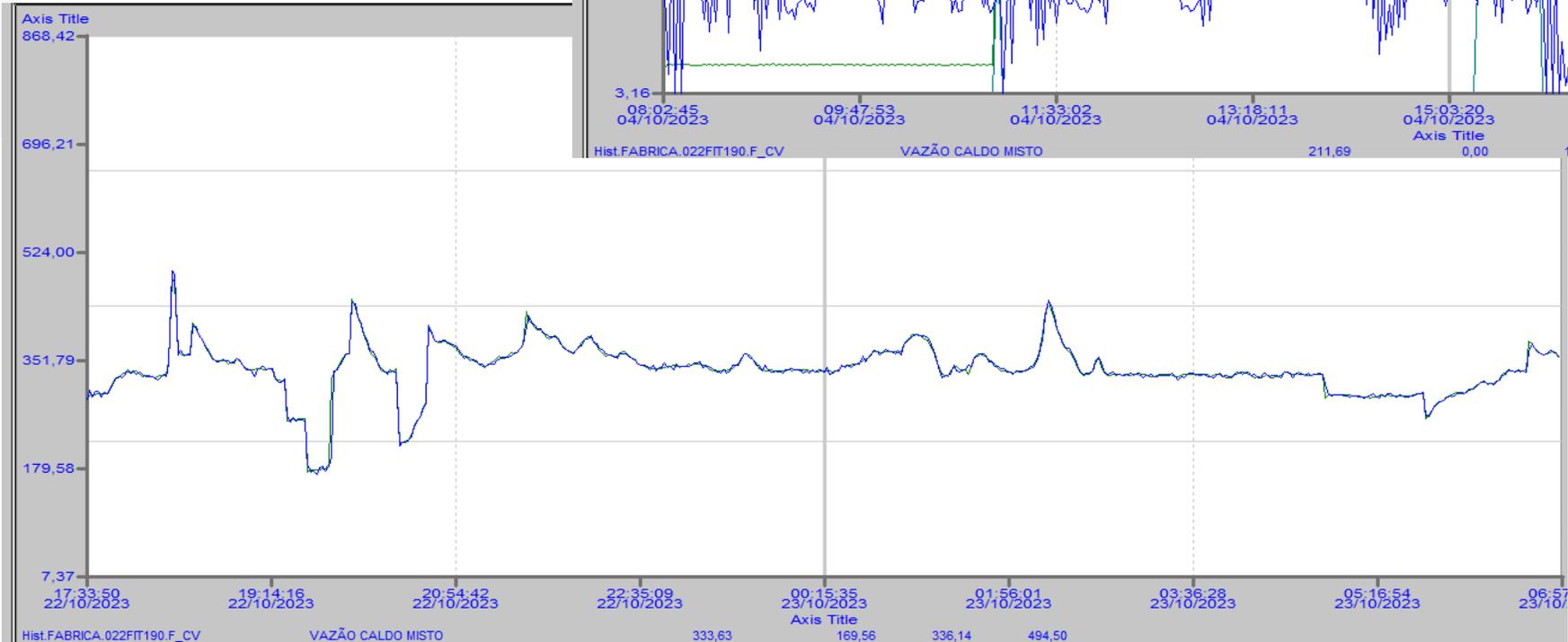
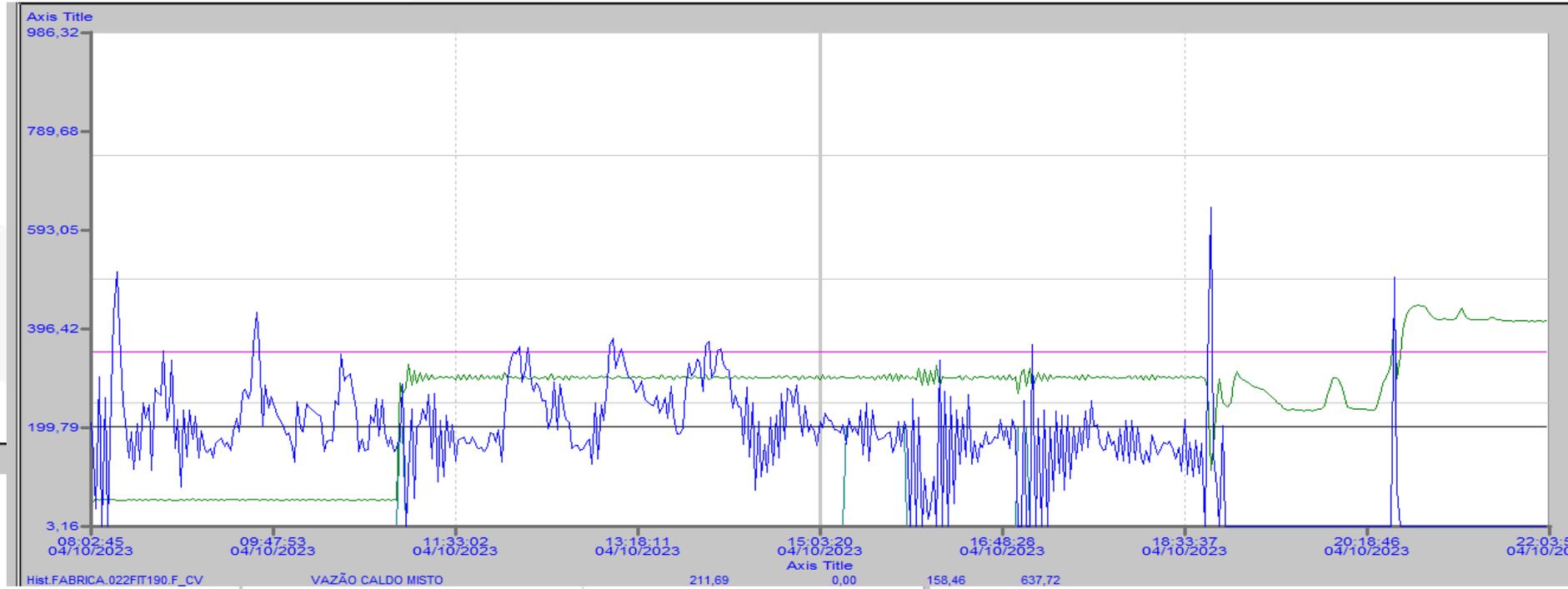
HABILITADO

DESABILITADO

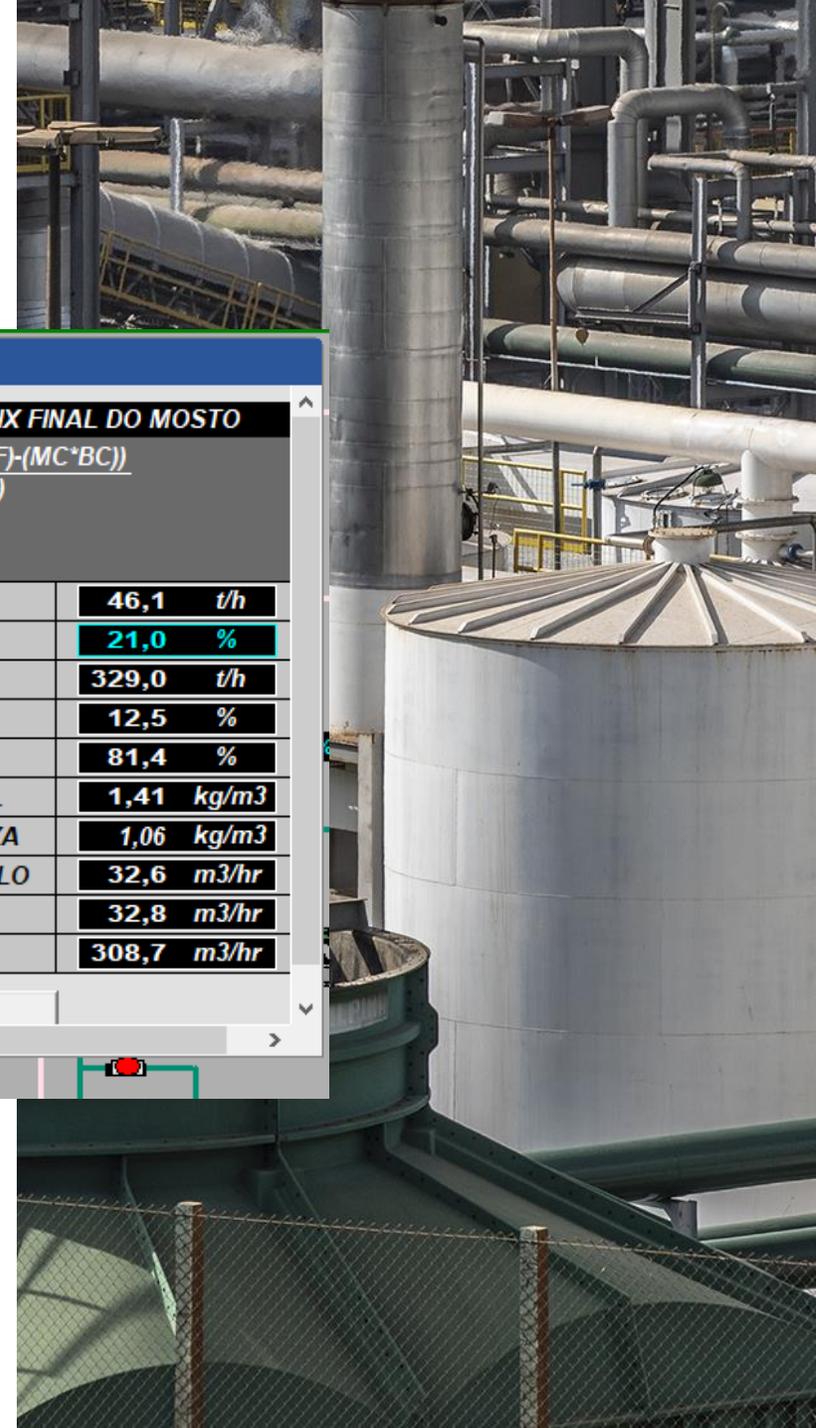
FECHA



# TRATAMENTO DE CALDO



# ESTABILIZAÇÃO DA FERMENTAÇÃO



DF\_PID1\_24.grf

**Vazão de Mel p/ Mosto**

SP 32,7    PV 32,8    MV 28,0

AUTO LOCAL PID L/R A/M

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

100 80 60 40 20 0

SP %    PV    % MV    FECHA

**Preparo do Mosto**

PV - Brix do Mosto 19,8 %

PV - ART do Mosto 16,3 %

PV - Brix do Caldo Pré-Evaporado (Laboratório) 12,5 %

PV - Brix do Mel (Laboratório) 81,4 %

---

**USM 4.0 - Pentagro**

SP Controle Vazão de Mel 35,4 m³/hr BRIX ART

SP - Brix do Mosto 21,0 %

SP - ART do Mosto Everest 16,0 % HABILITA DESABILITA

---

**Automação USM**

SP Controle Vazão de Mel 32,6 m³/hr HABILITA DESABILITA

SP - Brix do Mosto 21,0 %

---

Referência p/ controle Brix (PV) NIR SONDA

TELA\_CALCULOS.grf

**CÁLCULOS DE CONTROLE BRUX FINAL DO MOSTO**

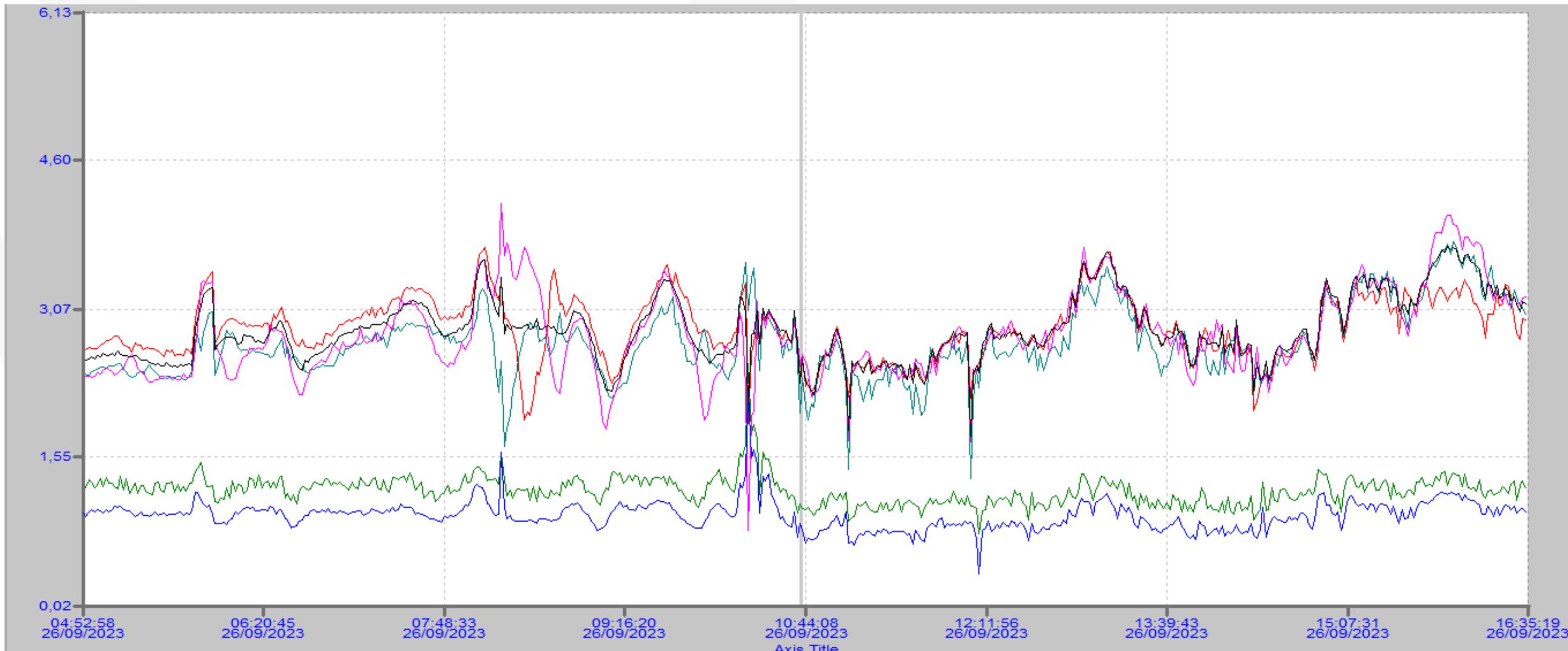
$$MM = \frac{((MC+AGUA)*BF)-(MC*BC)}{(BM-BF)}$$

$$VMC = \frac{MM}{DM}$$

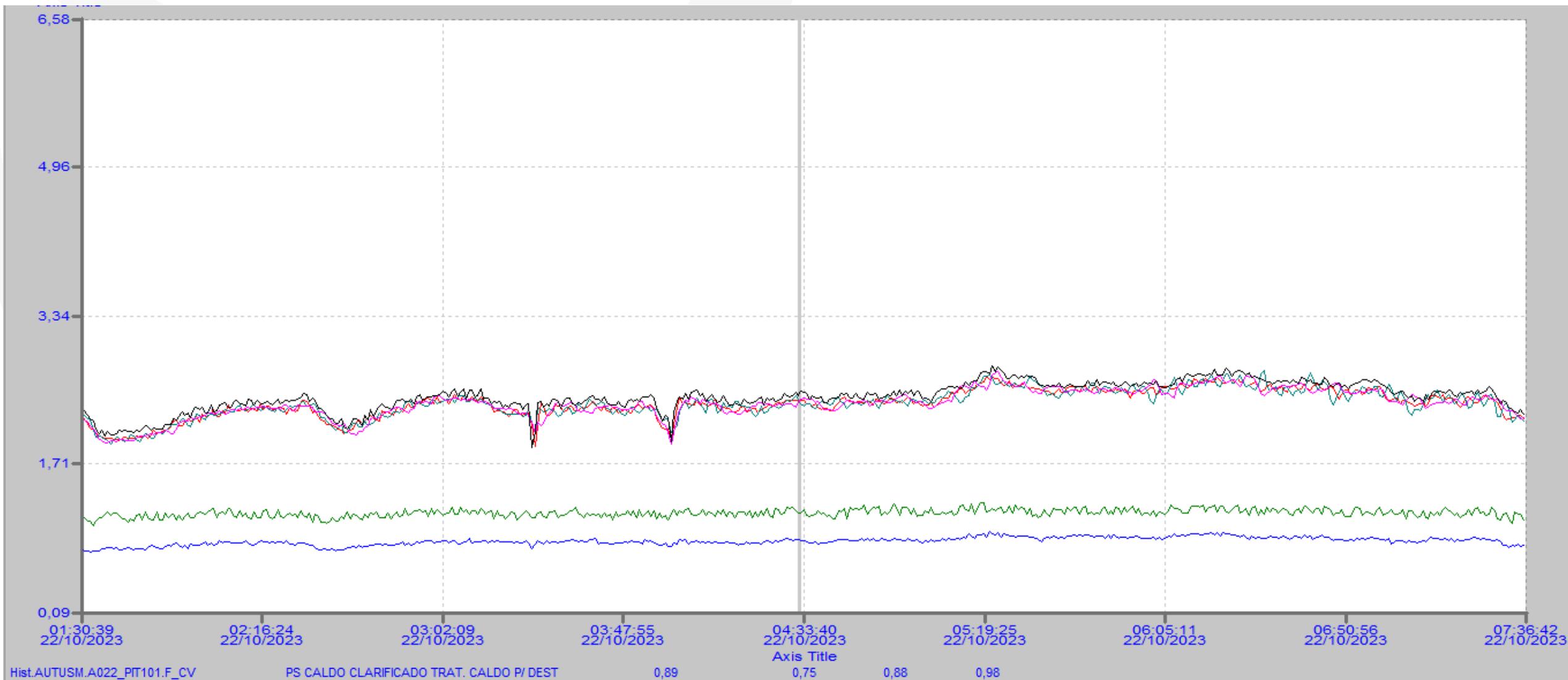
MM	MASSA DO MEL	46,1 t/h
BF	BRUX FINAL DO MOSTO	21,0 %
MC	MASSA DO CALDO	329,0 t/h
BC	BRUX DO CALDO	12,5 %
BM	BRUX DO MEL FINAL	81,4 %
DM	DENSIDADE DO MEL FINAL	1,41 kg/m3
DC	DENSIDADE DO CALDO FIXA	1,06 kg/m3
VMC	SP - VZ MEL FINAL CÁLCULO	32,6 m3/hr
VM	PV - VZ MEL FINAL	32,8 m3/hr
VC	VZ CALDO	308,7 m3/hr

FECHA

# ESTABILIZAÇÃO DA FERMENTAÇÃO - MOSTO



# ESTABILIZAÇÃO DA FERMENTAÇÃO - MOSTO



# ESTABILIZAÇÃO DO TRATAMENTO DO FERMENTO

DF\_PID1\_66.grf

### VZ ÁGUA CUBAS

SP	PV	MV
76,6	79,1	0,0

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

AUTO  
LOCAL  
PID

L/R  
A/M

FECHA

### CÁLCULO VAZÃO DE ÁGUA CUBAS

$VZ = (DORNA\ FINAL / CUBAS\ FINAL) - (DORNA\ FINAL / CENTRI$   
 $VZ = (( 0,10 / 0,30 ) - (0,10 / 0,70 )) * 402,2$

CONCENTRAÇÃO CUBAS FINAL **0,30 %**



# AGENDA

## Fermentação 4.0



**Resultados Esperados e Obtidos até o momento**

- *Ainda estamos no meio do projeto;*
- *Resultados parciais;*
- *Sempre será muito difícil separar o efeito de outros fatores em indústrias açucareiras.*



# Visão Macro do Projeto

*IA como ferramenta para melhoria de eficiência global da usina*

**NIR**



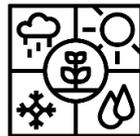
Qualidade da Cana

- Limpa
- Fresca
- Madura

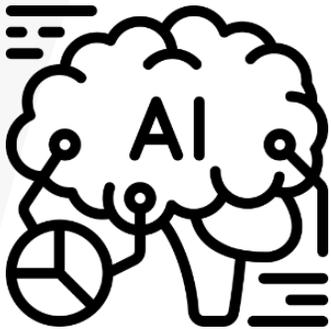


- Supervisório
- RTO's
- G.Digitais

Clima



Econômico-Financeiros



Produto/Origem Solo



ESG  
Créditos de Carbono



Insights Operacionais



Análises Preditivas



Monitoramento On-line



Visão Global dos Processos

1. Novo paradigma para gerenciamento das usinas
2. Causa x Efeito
3. Aumento de Eficiência
4. Economia de insumos

# Evolução do Projeto

2021

2022

2023

2024

2025



**Comissionamento**

**Desenvolvimentos**

**Melhoria Contínua – Controles e Processos**

**Industria 4.0  
(IA)**

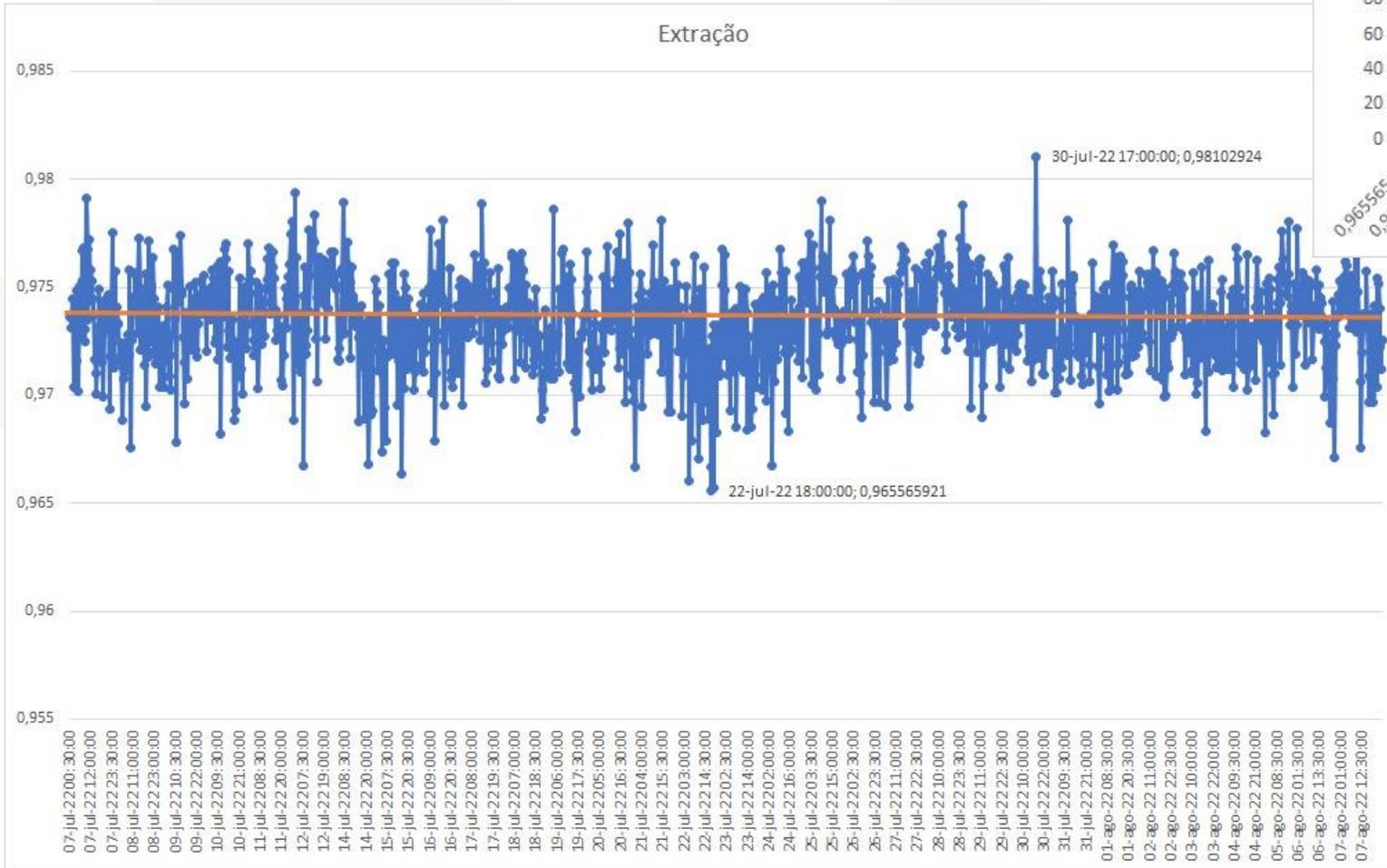
- Instalação e calibração
- Interfaces com sistemas de automação da usina

- NIR em produção
- Controles on-line (by USM)
- Monitoramento on-line de processos

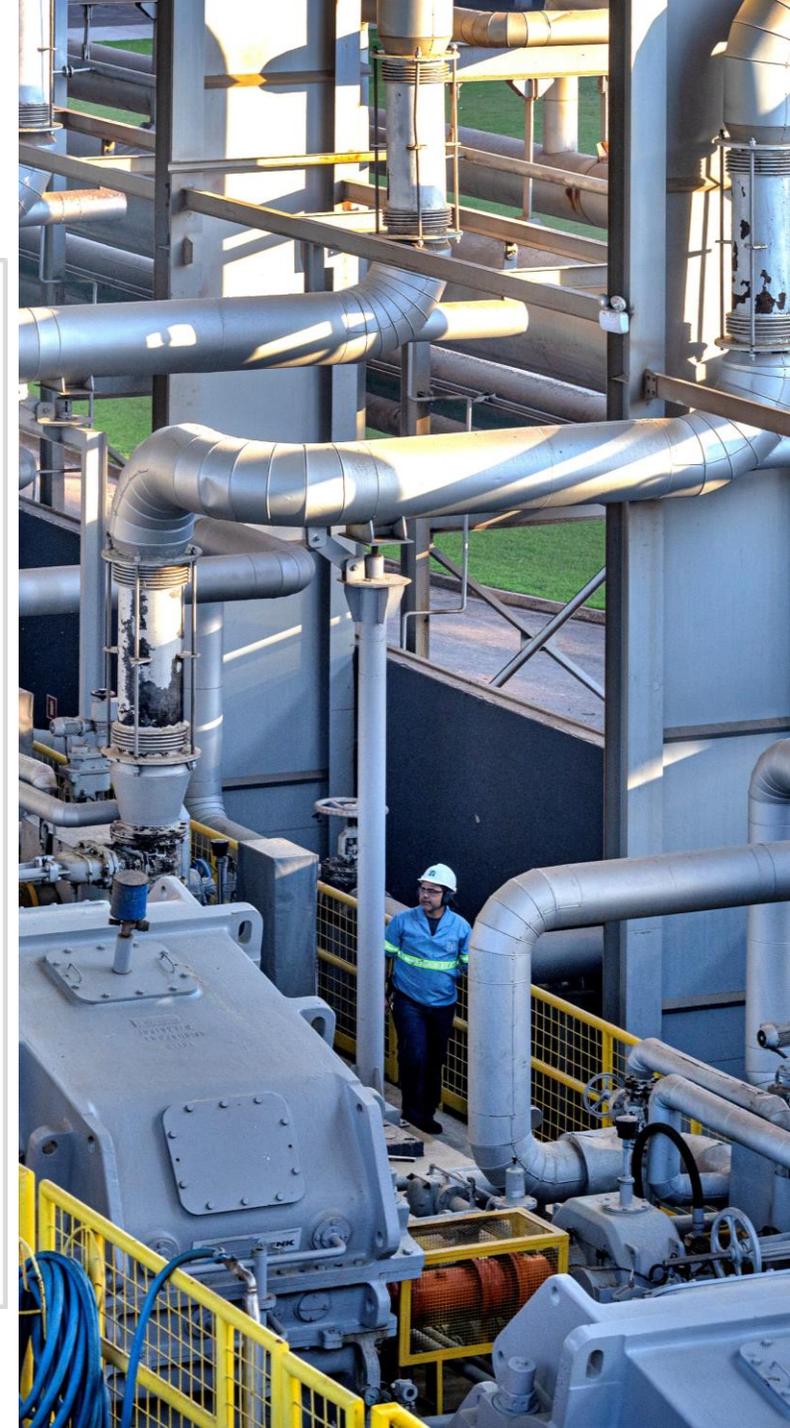
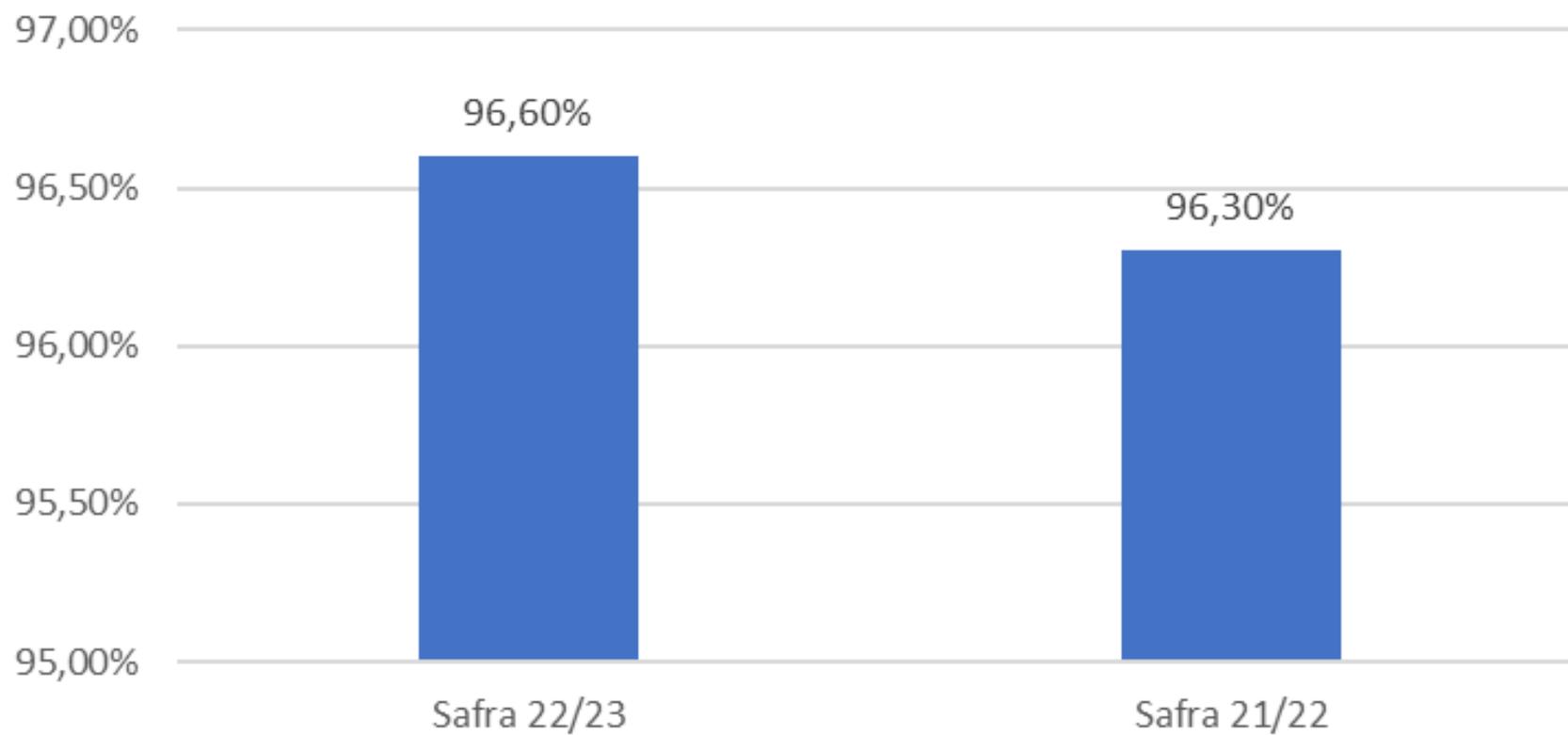
- Banco de dados
- Controle avançado da moenda + ajustes
- Desenvolvimento fermentação

- IA em produção

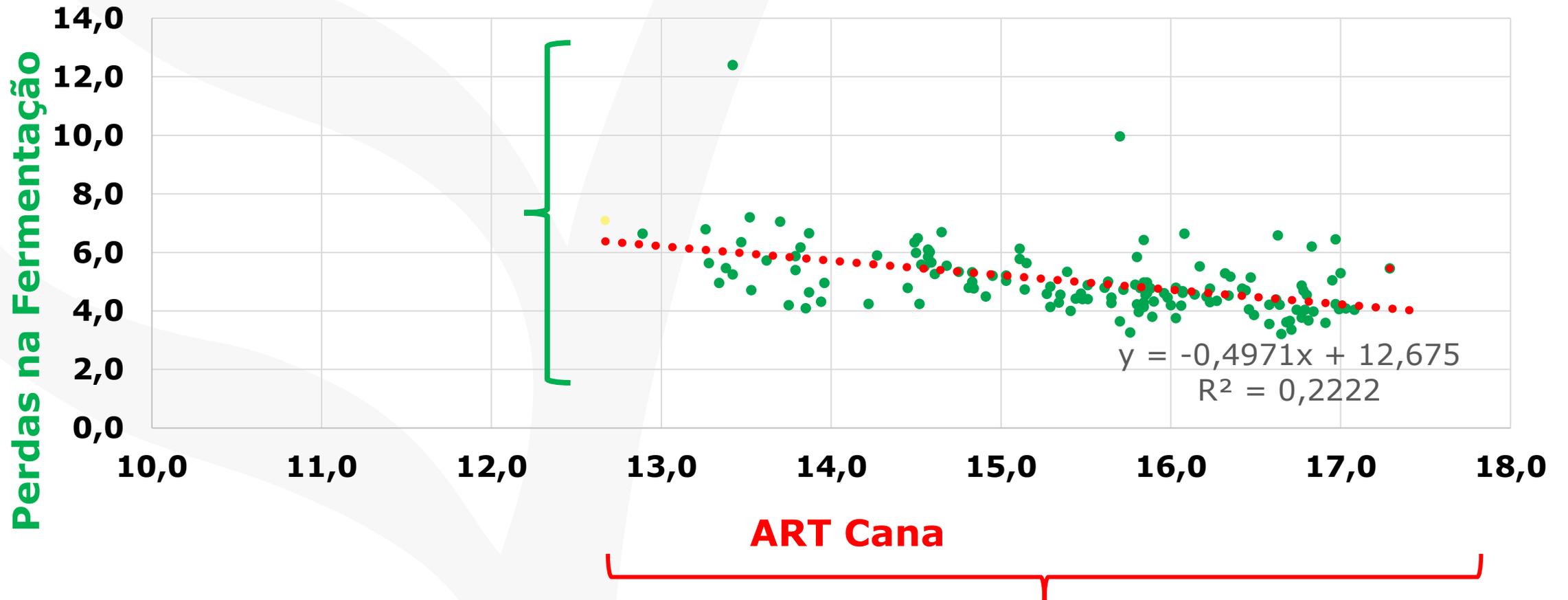
# Extração on-line



## Extração em POL - Moenda Dedini - 90" x 53" - 6 Ternos



# Perdas na Fermentação vs ART cana



## O MAIS IMPORTANTE

- Podemos saber a qualidade da matéria prima que está entrando instantaneamente e continuamente;
- Podemos antecipar eventos importantes como contaminações, falhas e atrasos fermentativos, ou mesmo corrigir desvios imediatamente (30 segundos) como perdas de fermento no vinho por exemplo;
- Estamos construindo um banco de dados de grande extensão e com excelente confiabilidade;
- Sistematização, padronização e automatização serão possíveis de avançarem muito rapidamente, com IA.



# NIR FERMENTAÇÃO

TELA\_NIR.grf

## VALORES INDICAÇÃO NIR

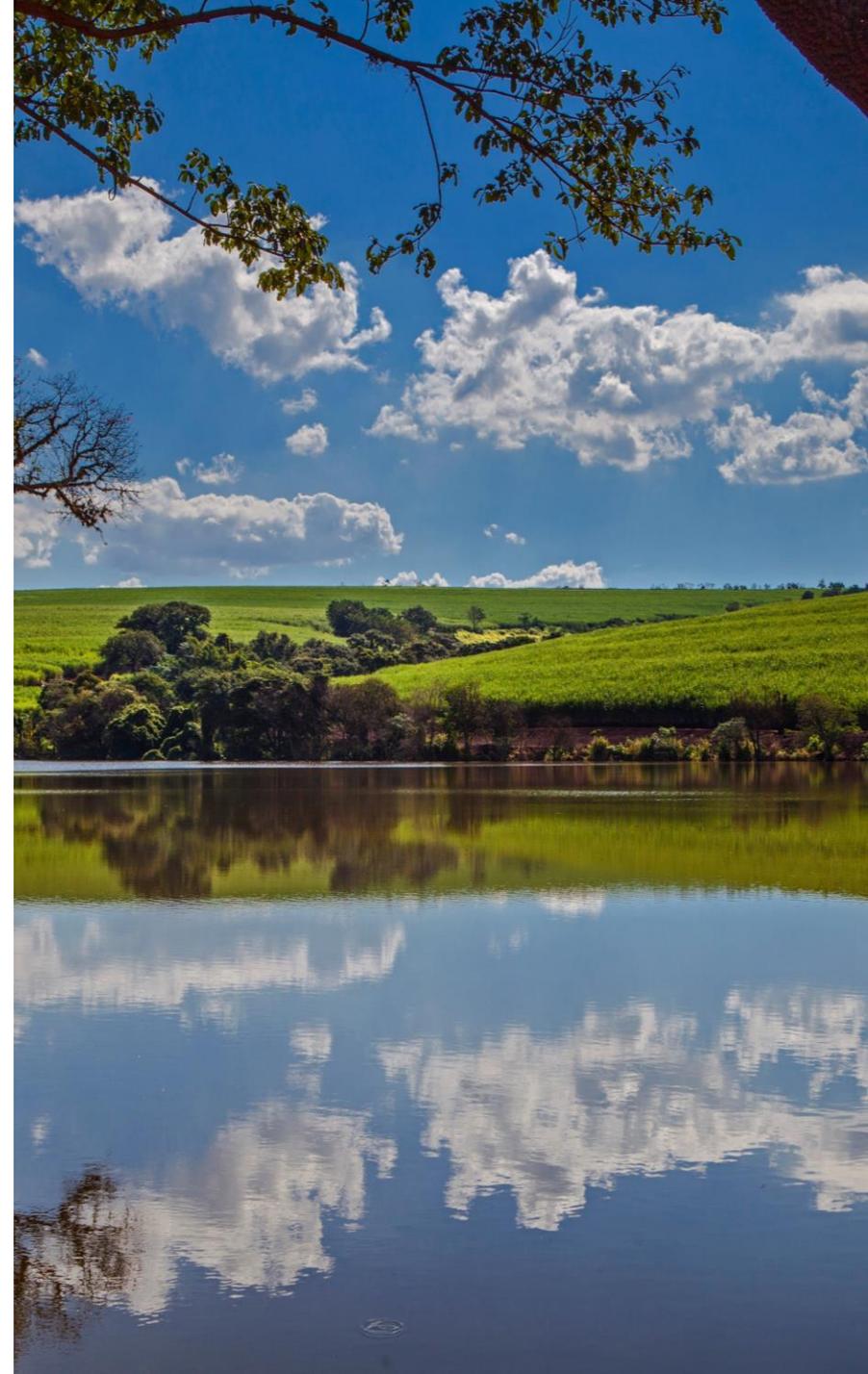
### MOSTO

<b>6,06</b>	PH
<b>19,83</b>	BRIX
<b>16,28</b>	ART
<b>1,25</b>	ÁCIDEZ
<b>621,00</b>	ÁCIDO LÁCTICO
<b>1,08</b>	DENSIDADE
<b>85,58</b>	PUREZA ART
<b>0,25</b>	SÓLIDOS

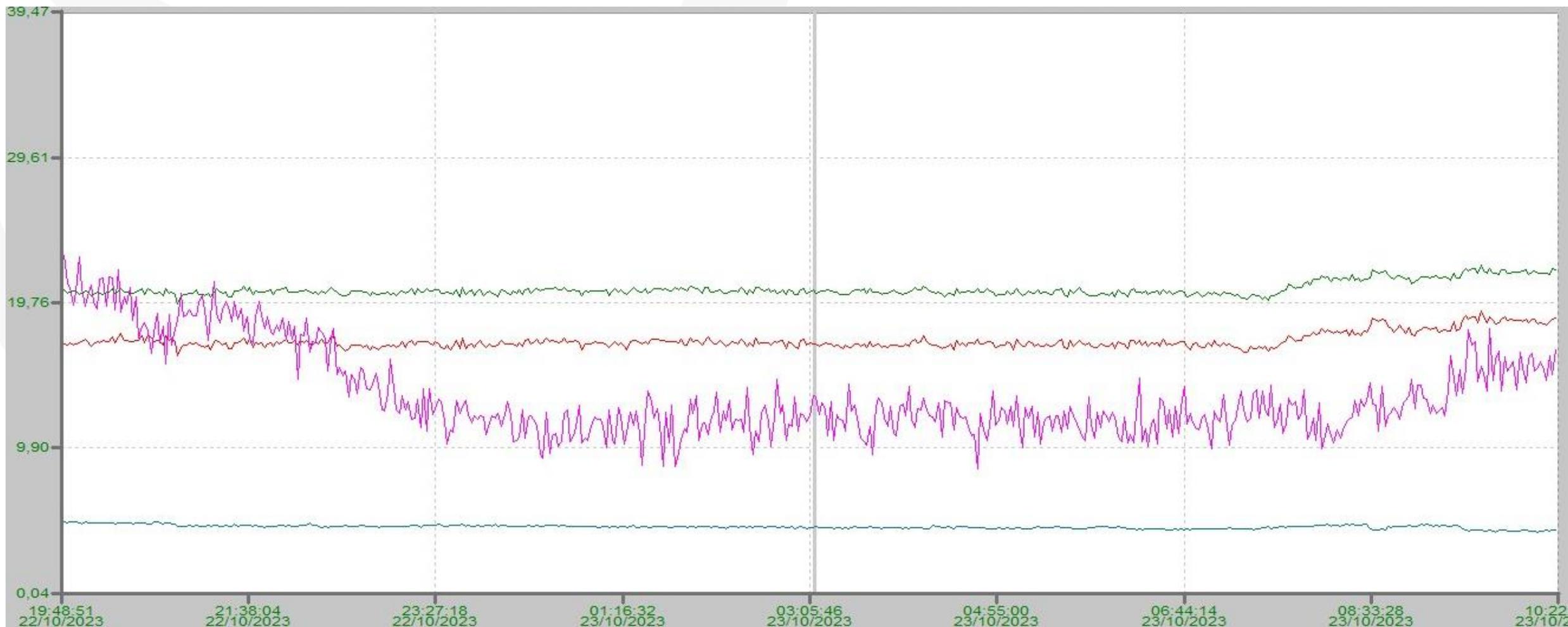
### VINHO

<b>0,40</b>	TEOR LEVEDO
<b>7,49</b>	TEOR ETANOL
<b>0,71</b>	GLICEROL
<b>0,59</b>	ARRT
<b>3,58</b>	ÁCIDEZ
<b>2212,00</b>	ÁCIDO LÁCTICO
<b>60,00</b>	NITROG. AMONIACAL
<b>1423,00</b>	COMP. FENÓLICO
<b>146,00</b>	P205
<b>2243,00</b>	DUREZA
<b>0,43</b>	GLICEROL ENZIMÁT.

FECHA



# EXEMPLO COM ÁCIDO LÁTICO NO MOSTO



ist.AUTUSM.BRIX_MOSTO_OPC.F_C	INDICAÇÃO BRIX MOSTO DESTILARIA - NIR	20,50	19,71	20,67	22,29
ist.AUTUSM.ART_MOSTO_OPC.F_CV	INDICAÇÃO ART MOSTO DESTILARIA - NIR	16,97	16,19	17,17	19,19
ist.AUTUSM.ACIDEZ_MOSTO_OPC.F	INDICAÇÃO ACIDEZ MOSTO DESTILARIA - NIR	1,13	1,04	1,13	1,22
ist.AUTUSM.ACIDO_LACT_MOSTO_O	INDICAÇÃO ACIDO LACTICO MOSTO - NIR	334,42	212,00	337,27	574,00



**Processos Correntes**

**Indústria 4.0 – IA**



# OBRIGADO PELA ATENÇÃO

Rafael Carnietto Bassetto

---

[www.saomanoel.com.br](http://www.saomanoel.com.br)



**São Manoel**



**São Manoel**