



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

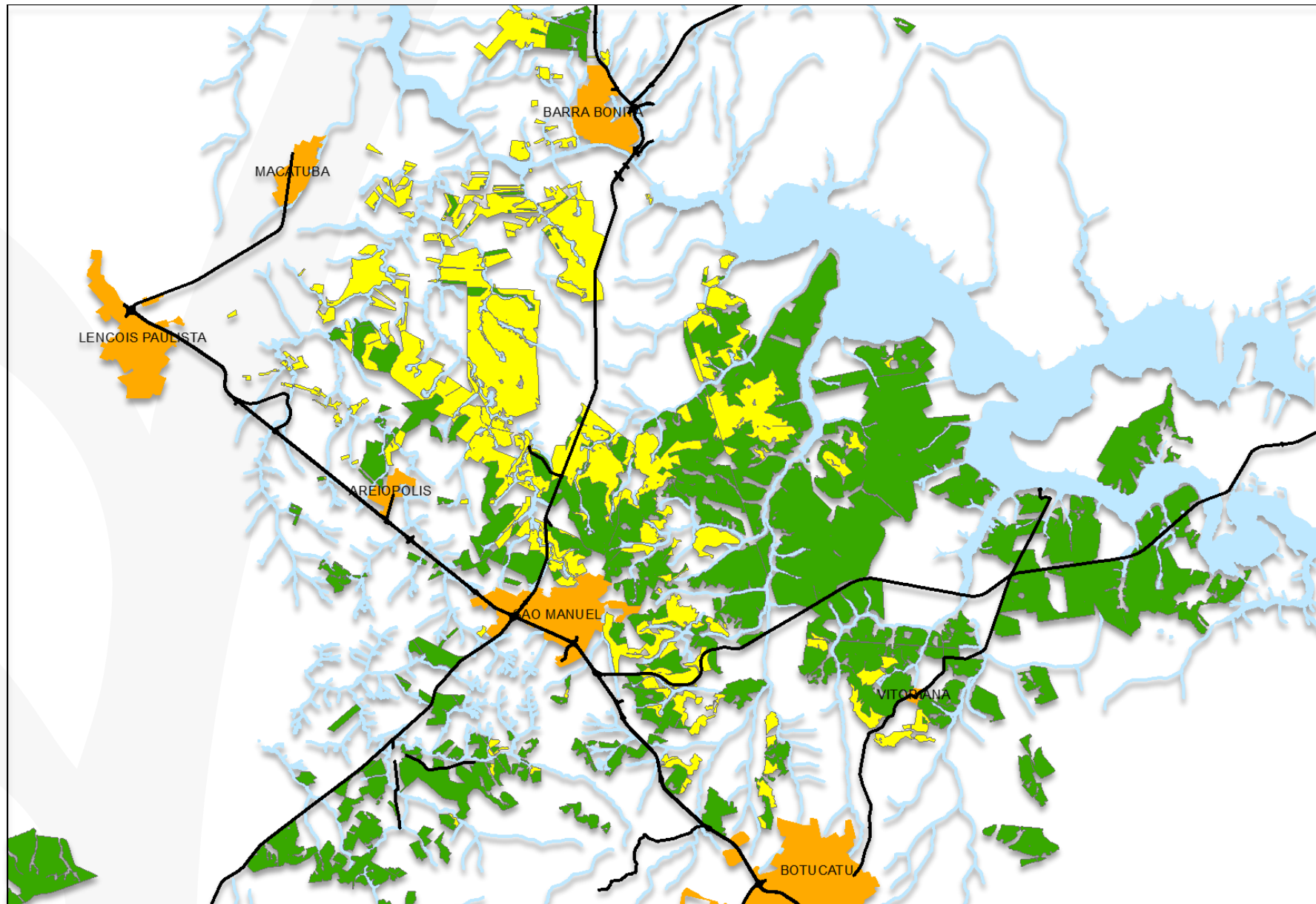
65% Cana transportada com pentaminhão e hexaminhão

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.

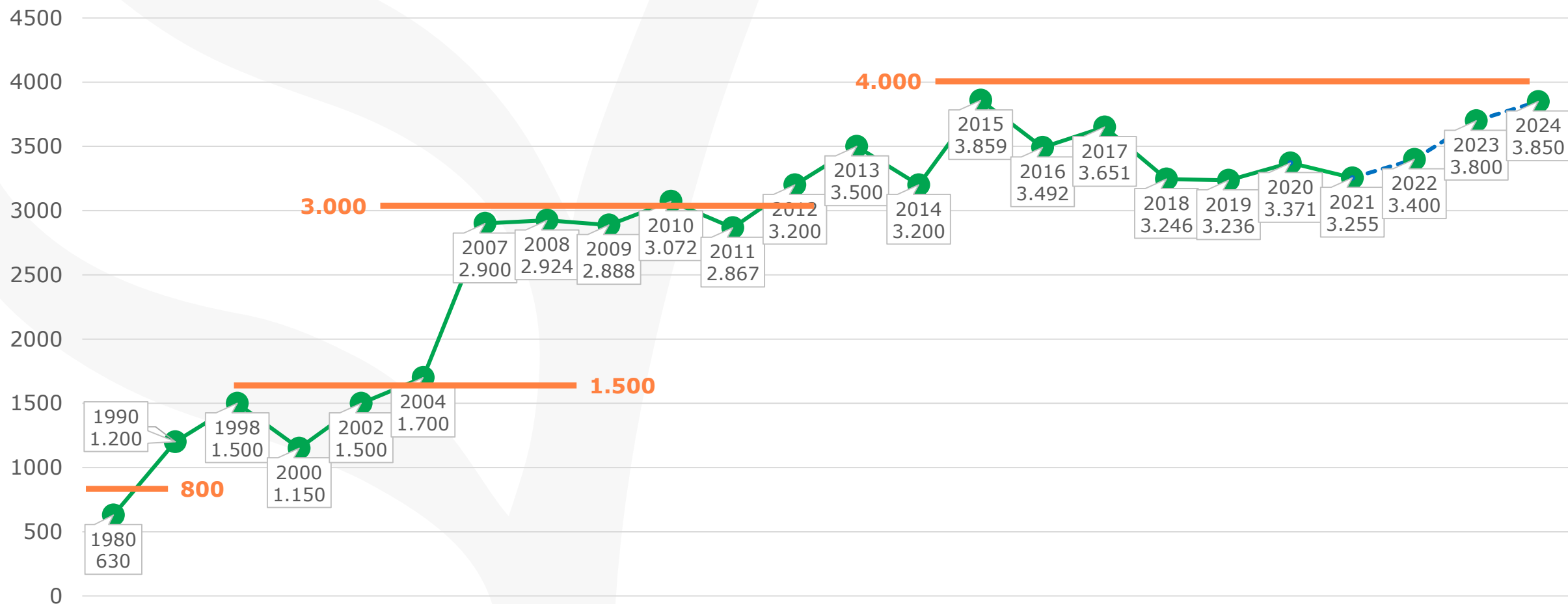




MOAGEM

1.000t

+ 250 mil toneladas de Açúcar Branco
+ 150 mil m³ de Etanol



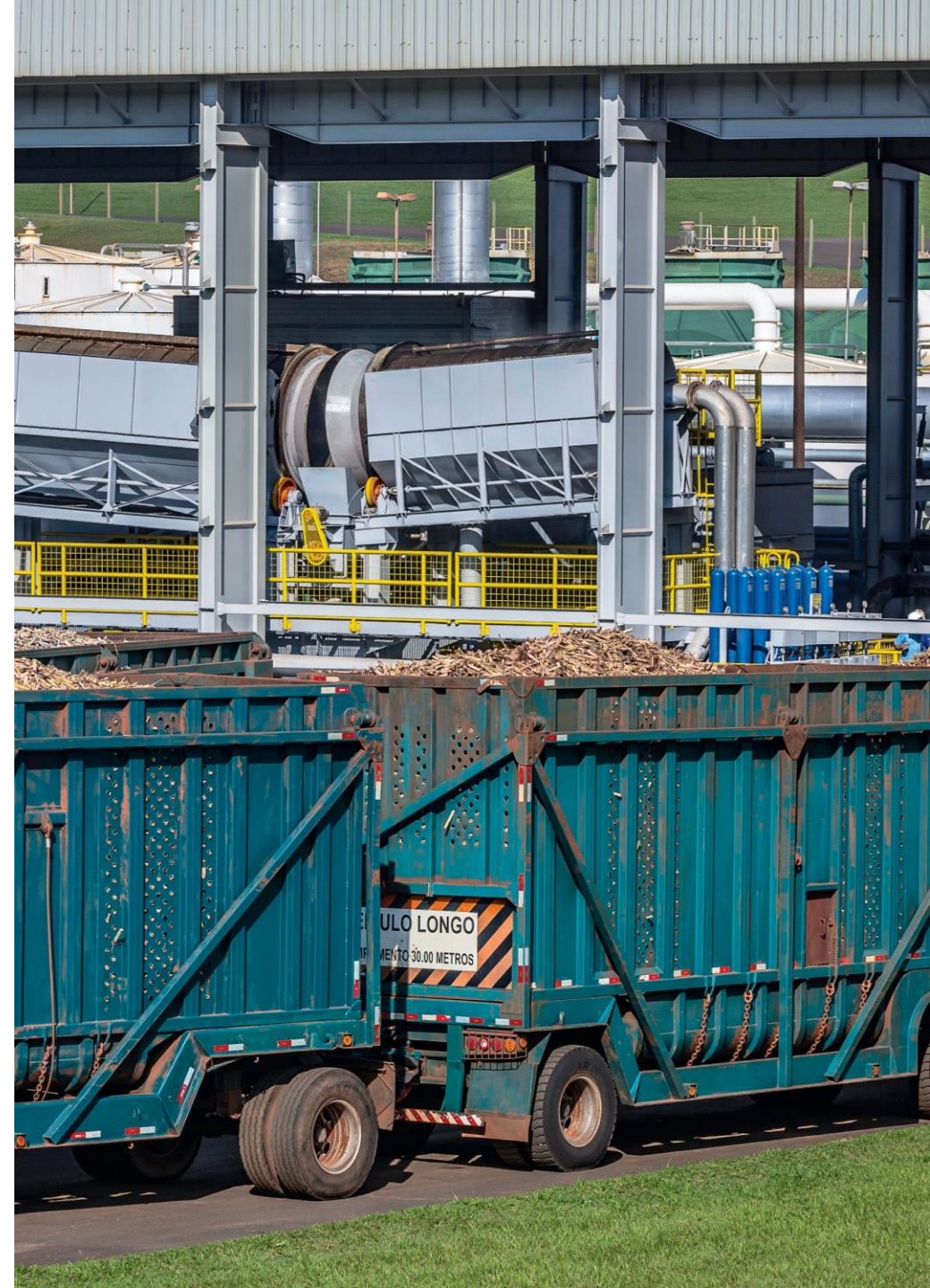
AGENDA

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

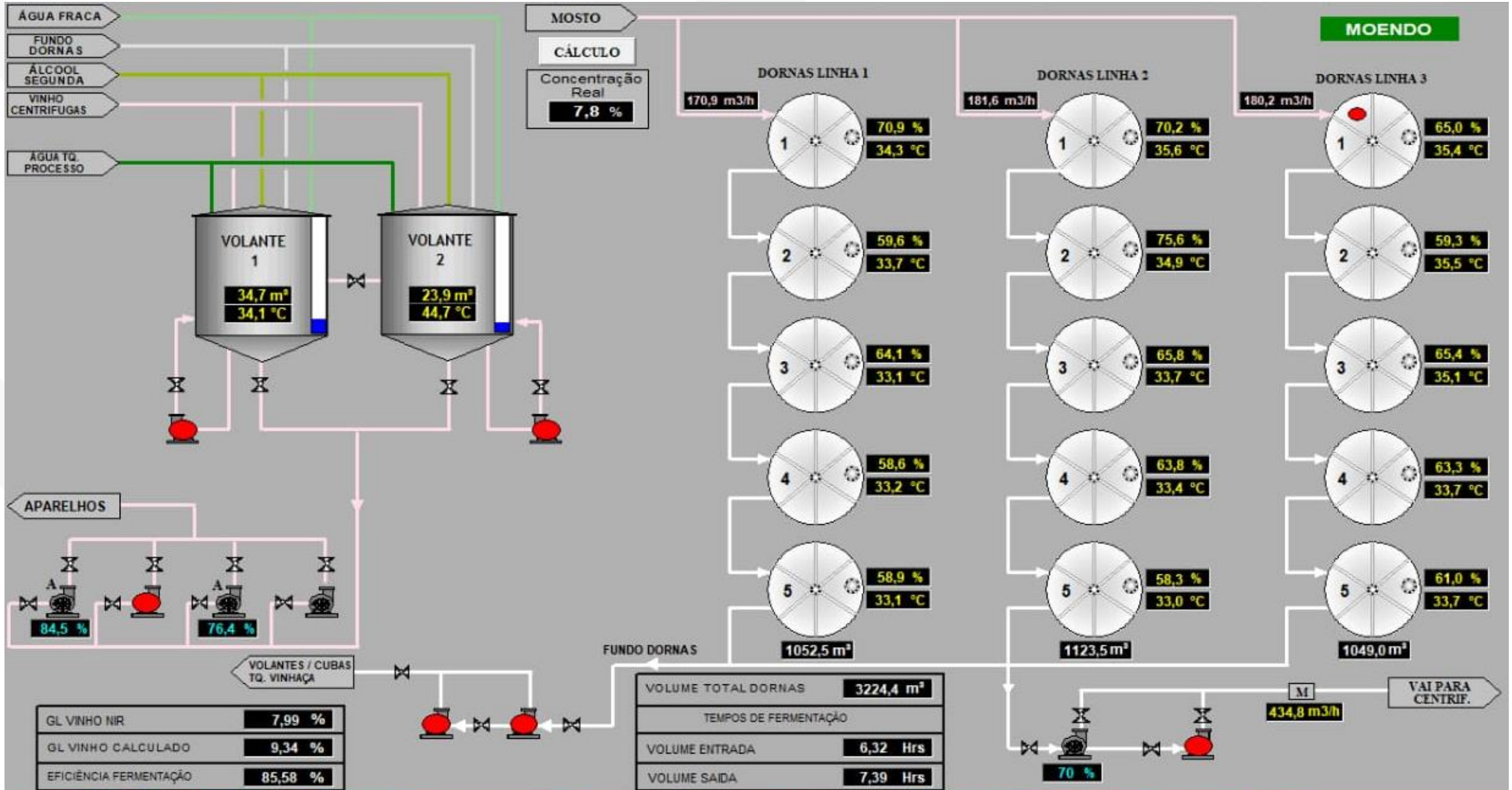
Possuímos:

- 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 m³/dia (8^oGL)

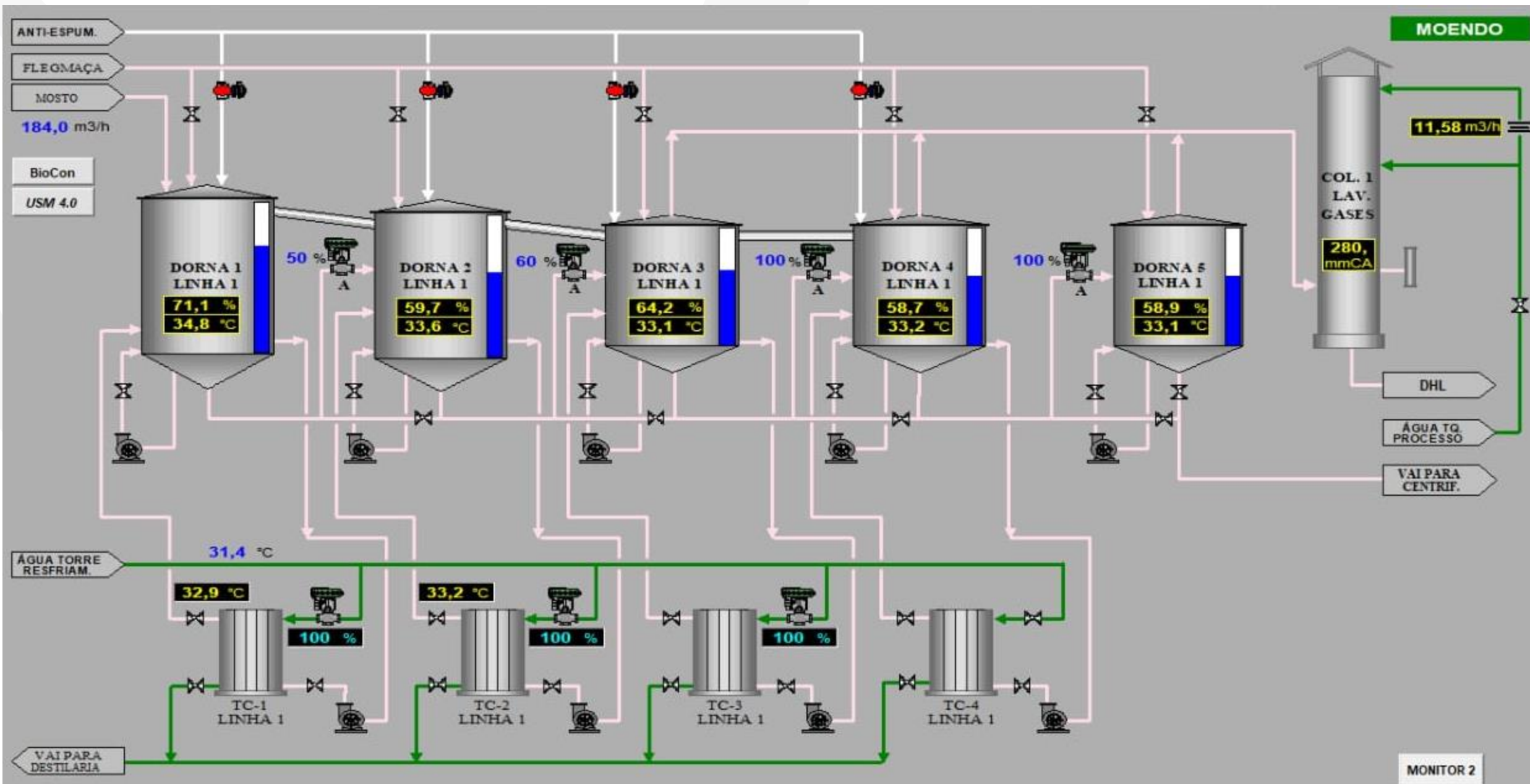
Nossos Problemas

- Floculação;
- Contaminação por lactobacilos
- Trabalhamos com teor alcoólico baixo (7 à 8^oGL), 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



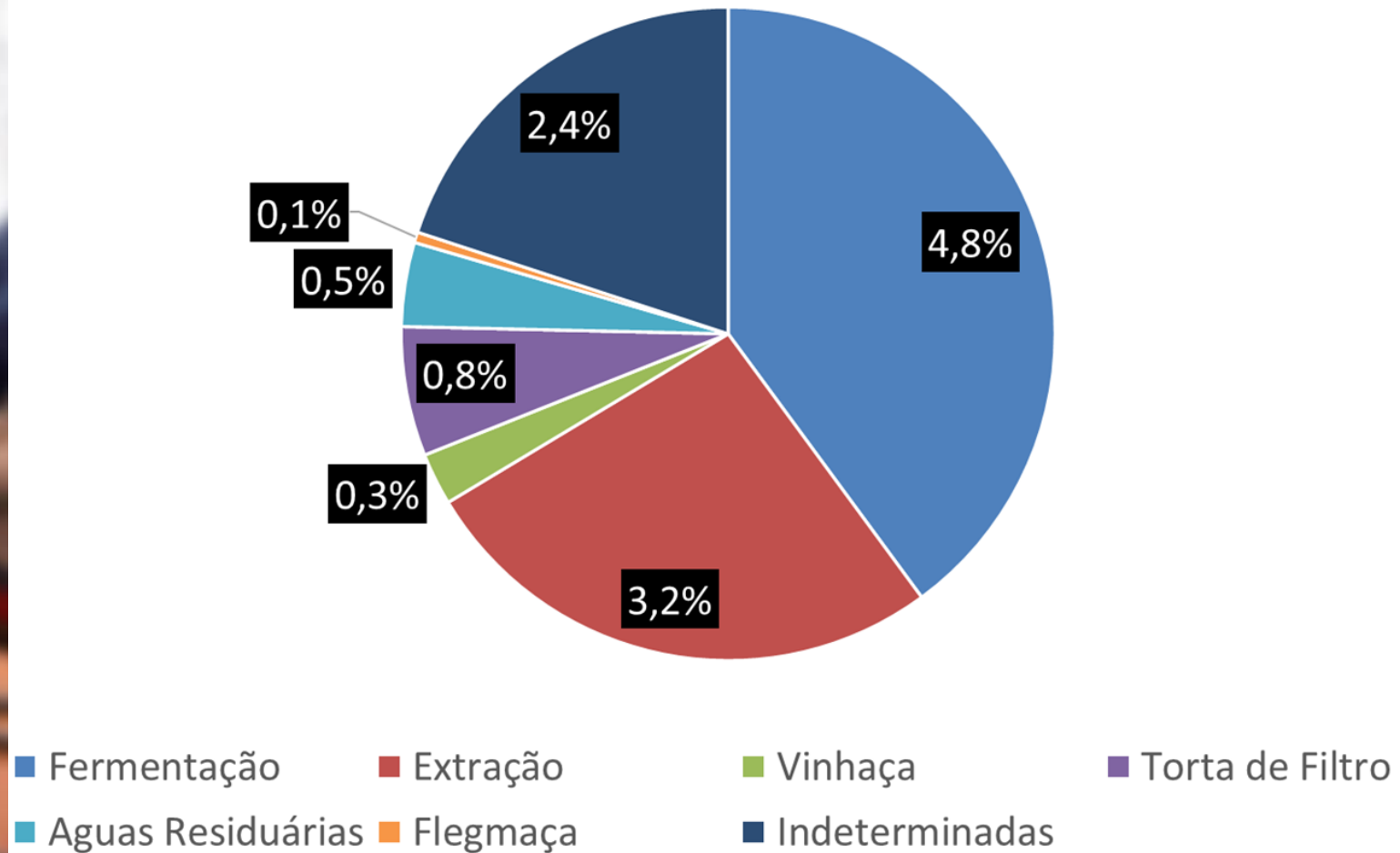
ENTENDENDO PROBLEMA



EVOLUÇÃO

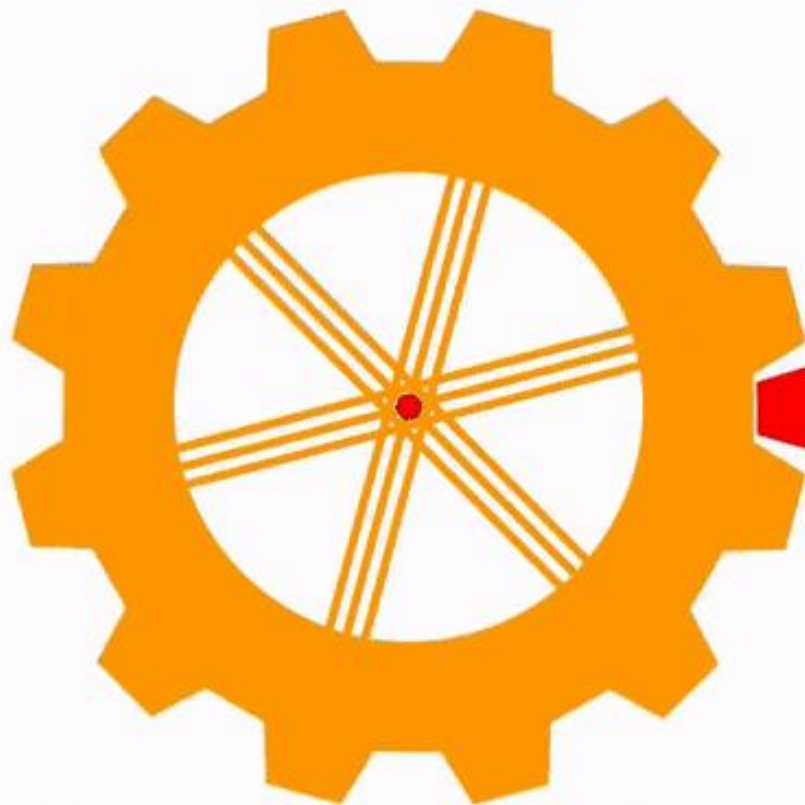
AO MENOS 70% DAS PERDAS INDUSTRIAIS OCORREM NA MOENDA E NA FERMENTAÇÃO

Perdas Industriais



Fábrica de Etanol

MOAGEM



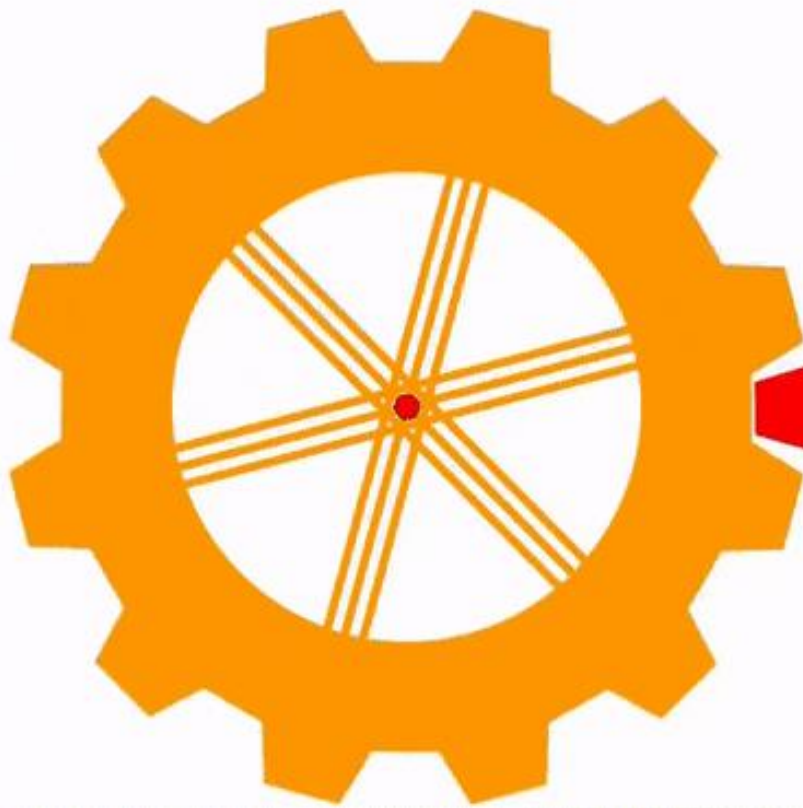
Fábrica de Açúcar



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

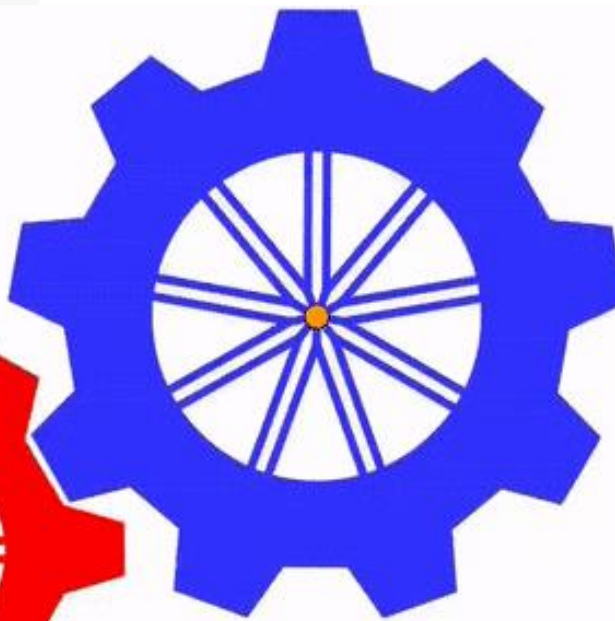
NA REALIDADE... COMEÇA LÁ NO CAMPO... E VAI ATÉ O CLIENTE

**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

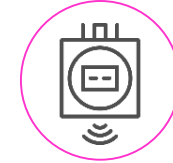
Permitir ganhos de eficiência (maior extração e/ou menor consumo de insumos)

Controles Avançados [IA]

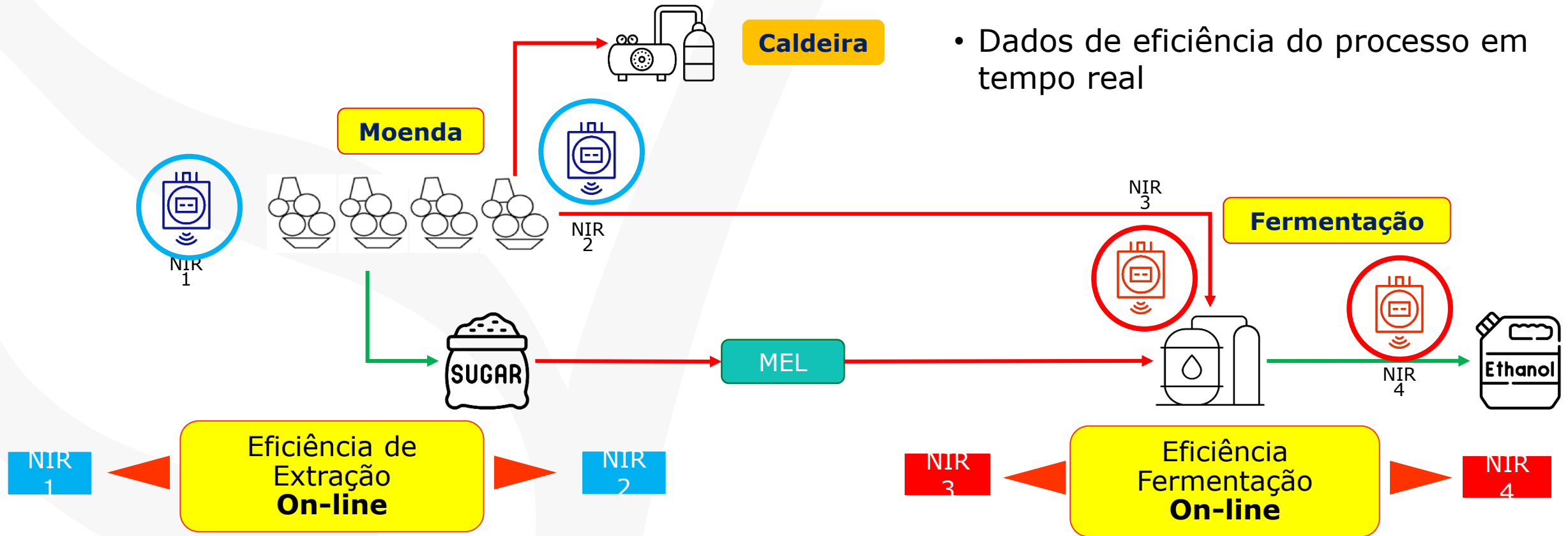
Dados disponibilizados em tempo real

Algoritmos para interpretação dos dados

Otimização da planta como um todo

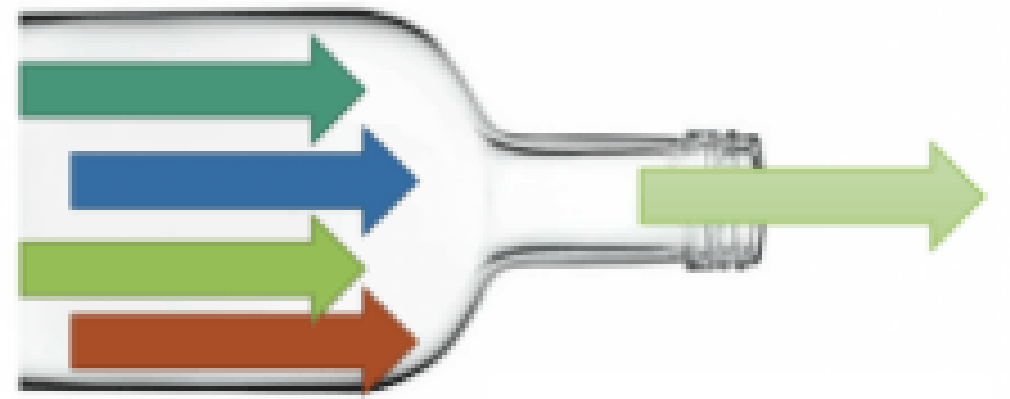


Solução Proposta – Sensores NIR [Near Infrared]



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

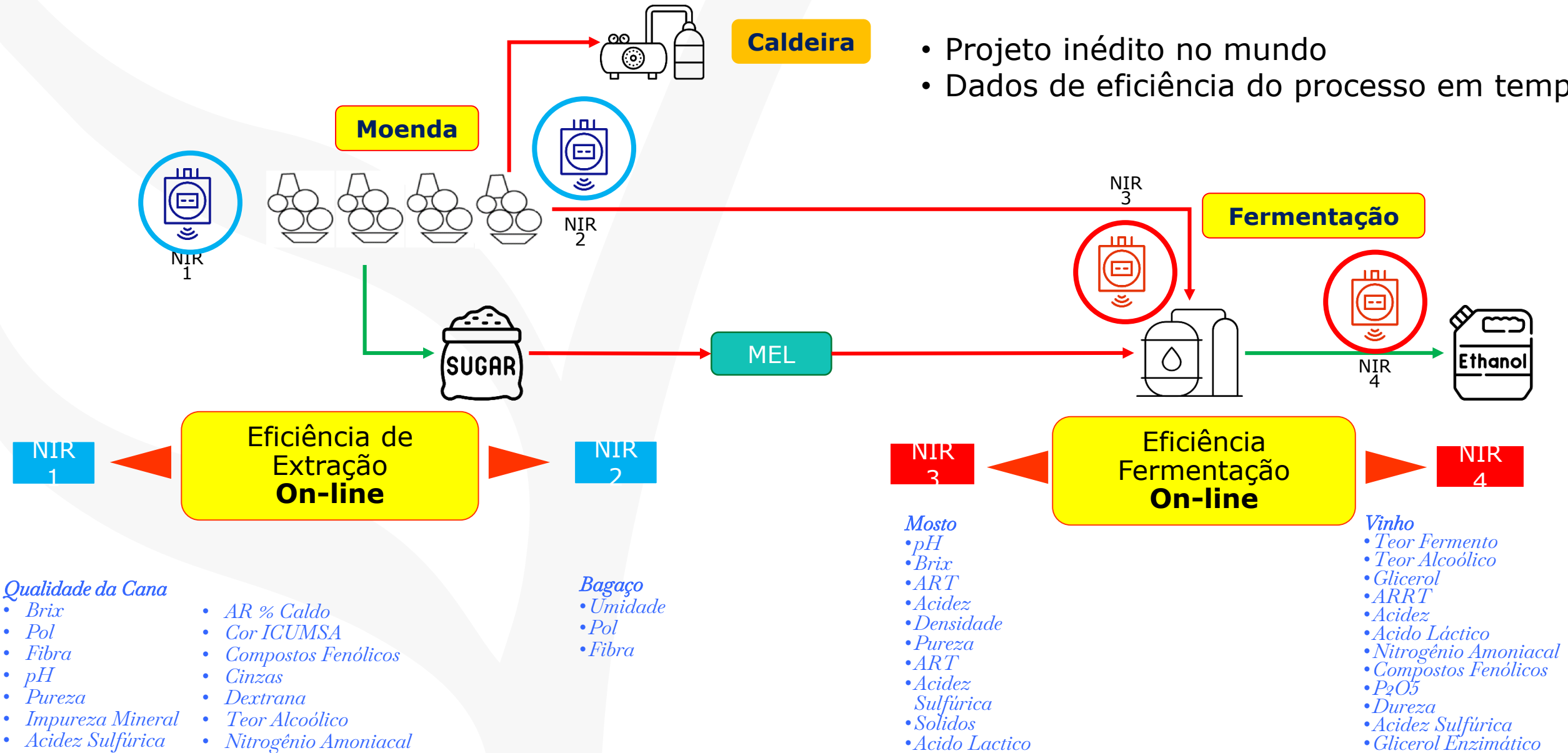


**Equipamentos Envolvidos e modos de
Operação**

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



Solução Proposta – Sensores NIR [Near Infrared]



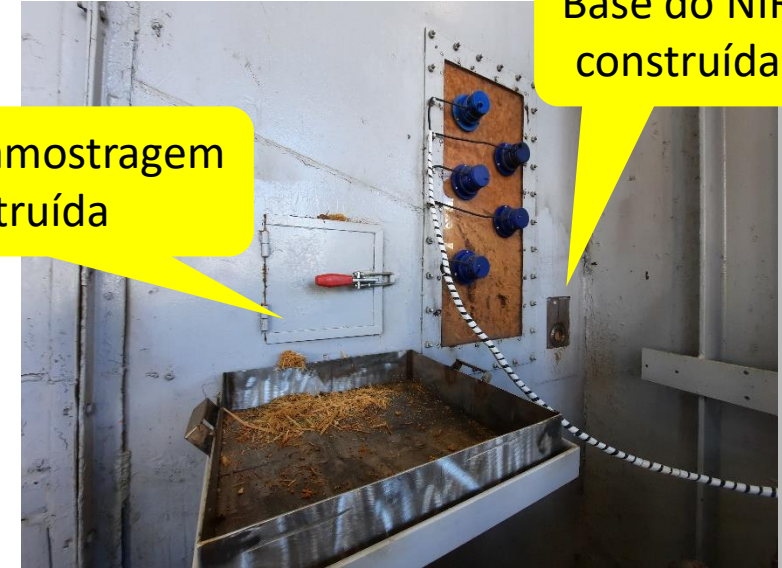
Recursos Necessários para Implementação

Atividades – Instalação dos NIR – Moenda (exemplo)

Posicionamento do NiR e Janela de Amostragem



Janela de amostragem construída



Base do NIR construída

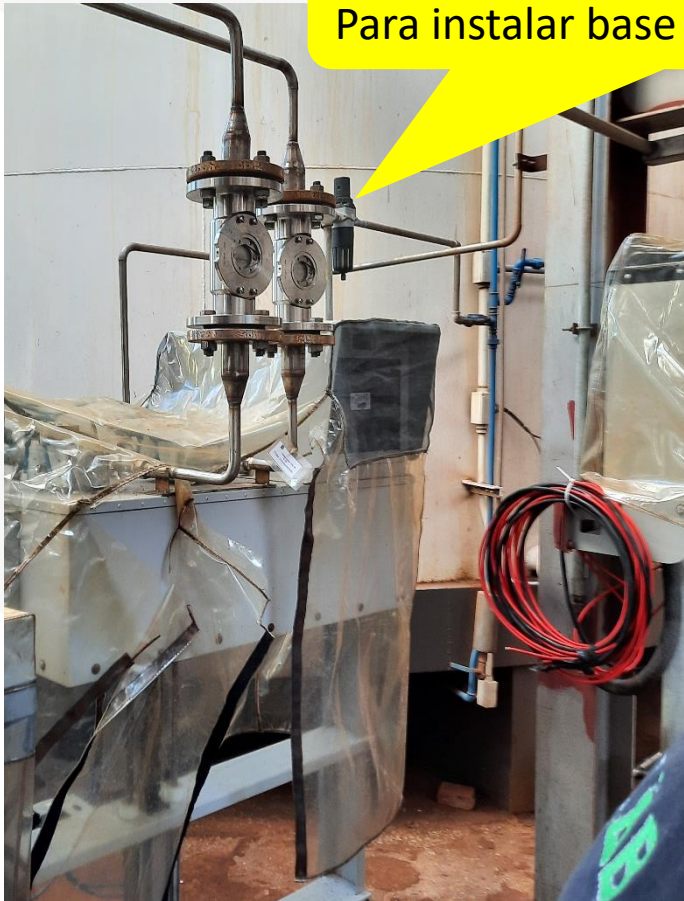


NIR Instalado

Recursos Necessários para Implementação

Atividades – Instalação dos NIR – Fermentação (exemplo)

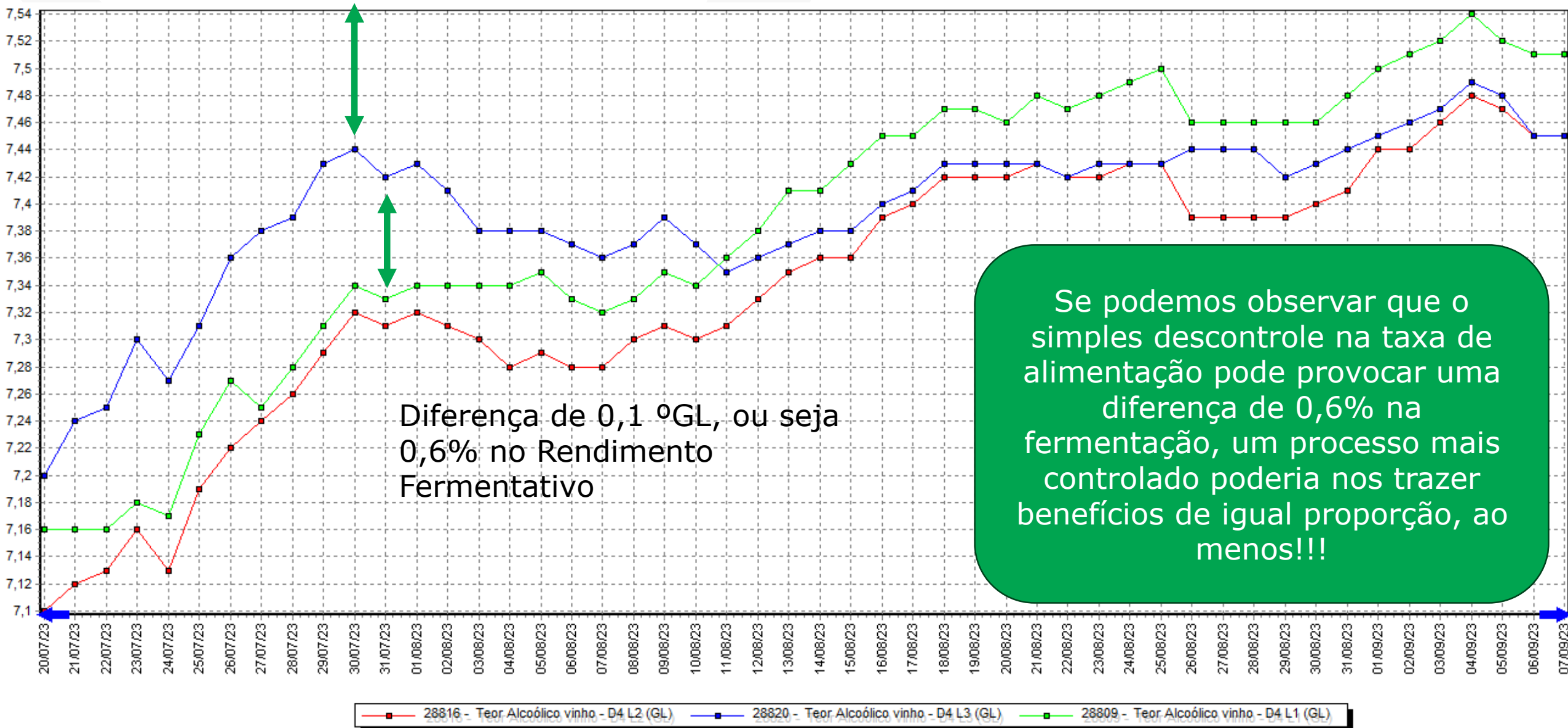
Adaptação na rede da Fermentação
Para instalar base do NIR (vinho e mosto)



NIR (vinho e mosto)
instalados



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

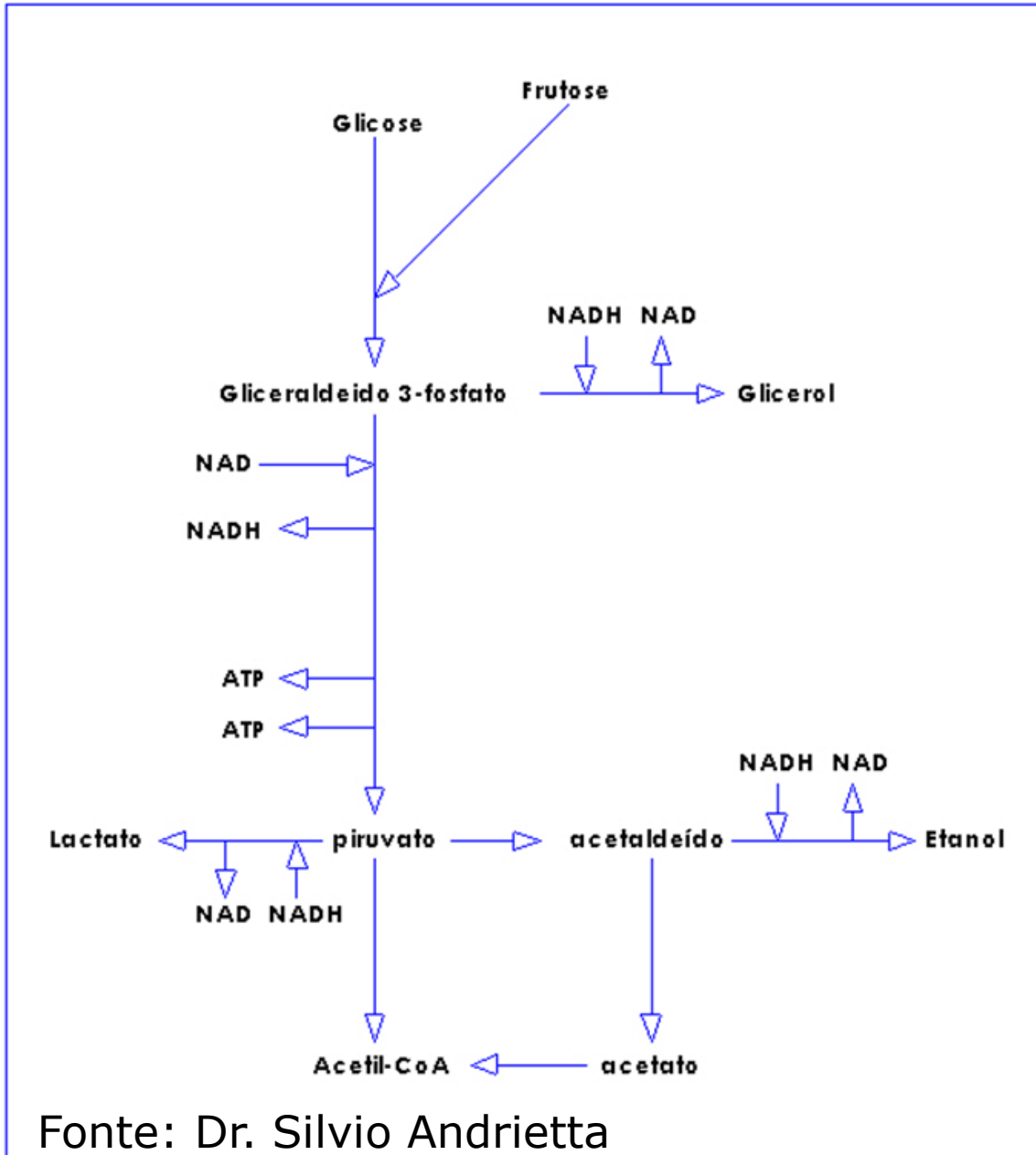


Buscamos agora o “Estado Estacionário” da Fermentação.

- 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 ³ /h
12,50%	436	436 m ³ /h
13,50%	440	418 m ³ /h
15,00%	445	391 m ³ /h
Variação (m ³ /h)	14	72 m ³ /h
Variação (%)	3,3%	17,1%
Capacidade Total Caixa de Caldo Misto	26	26 m ³
Capacidade útil para variação de nível	10	10 m ³
Tempo para Reação	42	8 minutos

TRATAMENTO DE CALDO

CALCULOS_TRAT.grf

CÁLCULOS TRATAMENTO DE CALDO CONTROLE CALDO PRIMÁRIO

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

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

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

HABILITADO

DESABILITADO

FECHA

CALCULOS_TRAT2.grf

CÁLCULOS TRATAMENTO DE CALDO CONTROLE SP CALDO MISTO

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

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

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

$$SP\ CTR = VT - SP\ VZ\ PRIMÁRIO$$

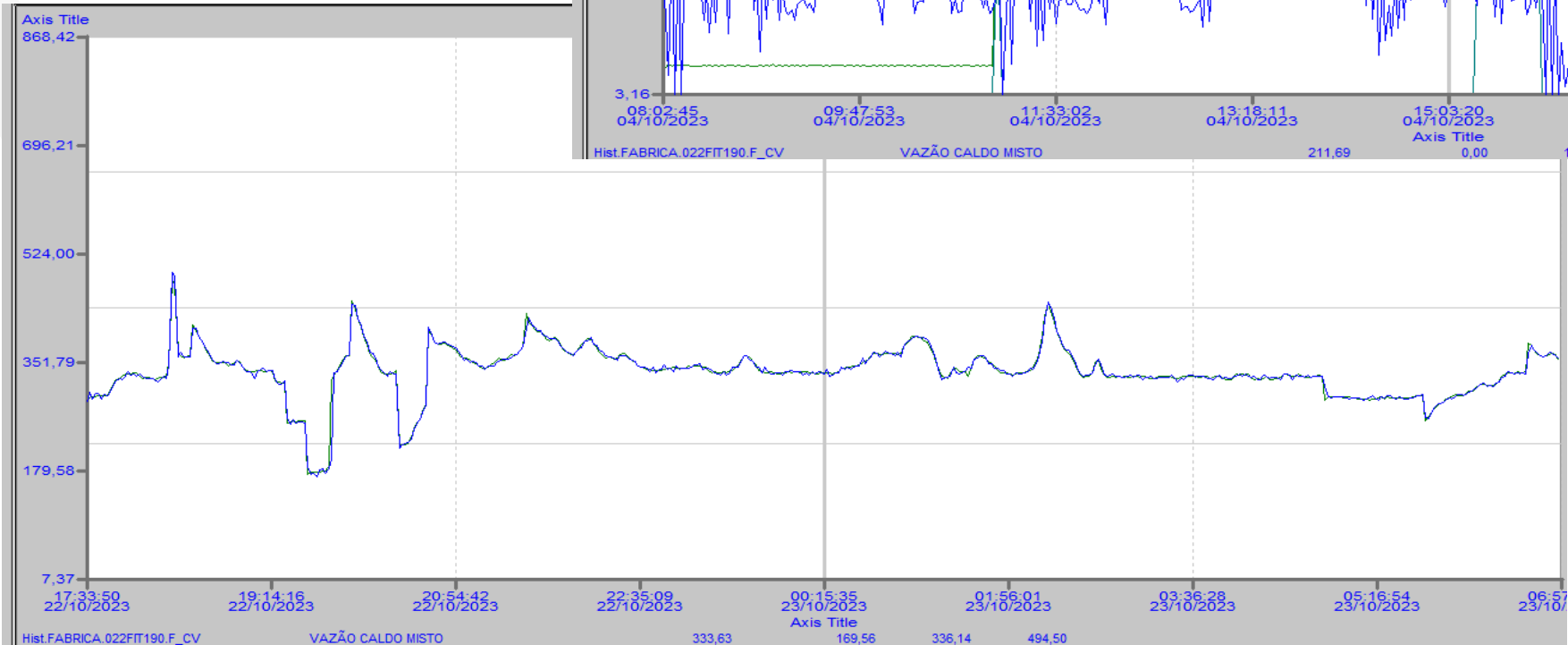
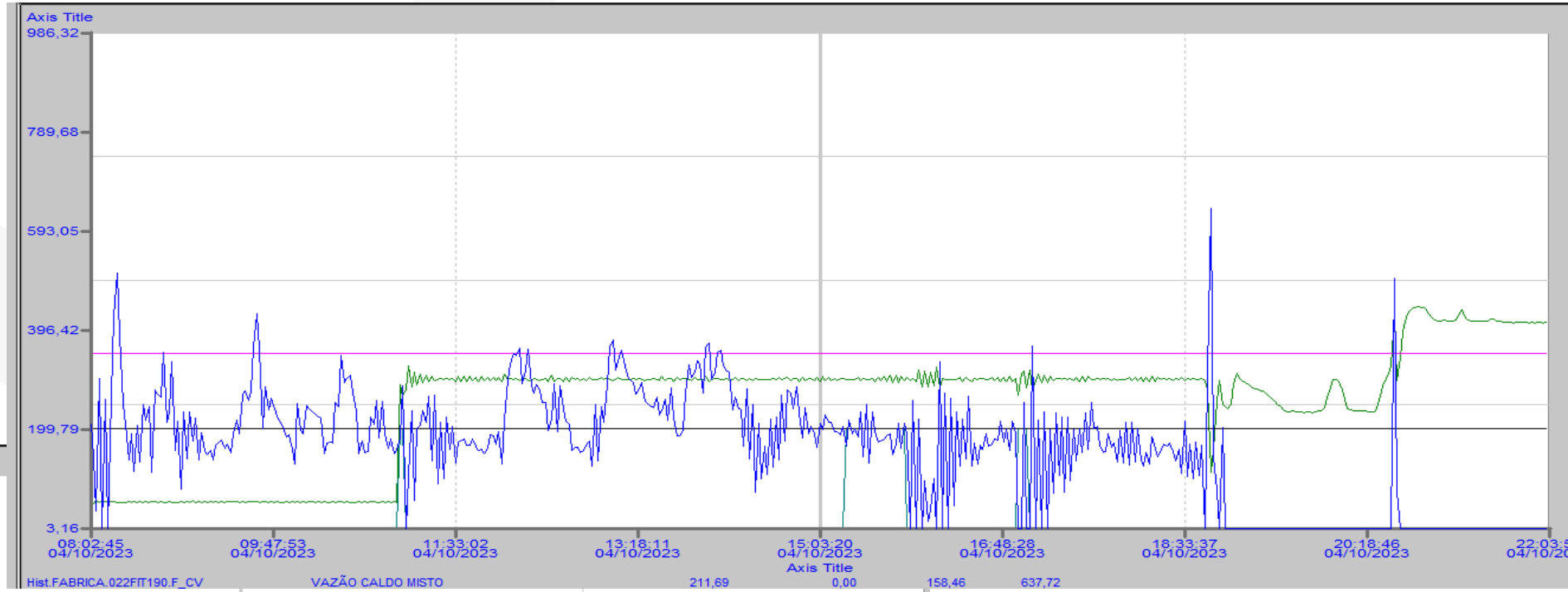
HABILITADO

DESABILITADO

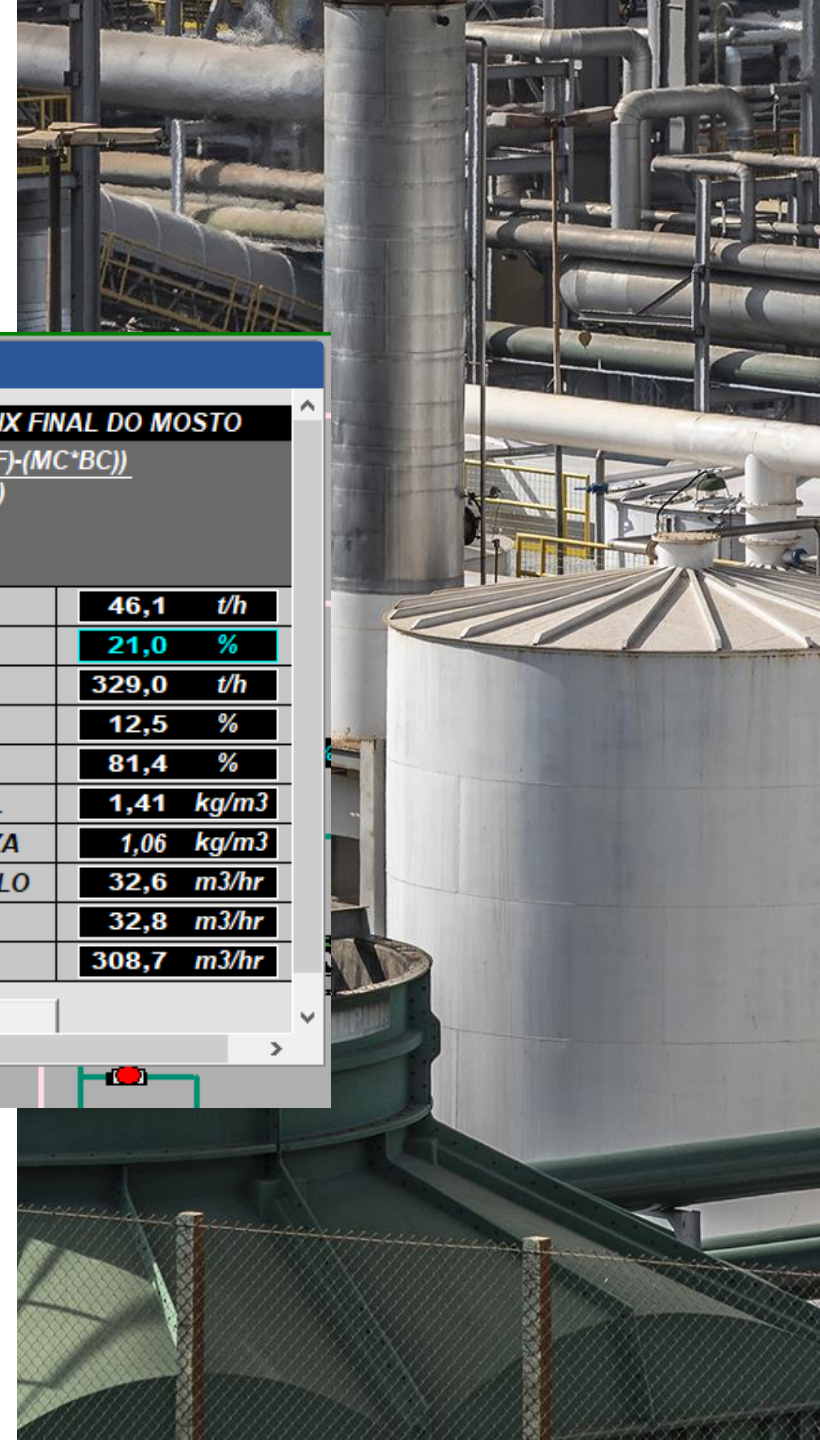
FECHA



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

SP % PV % MV

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 CÁLCULOS

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

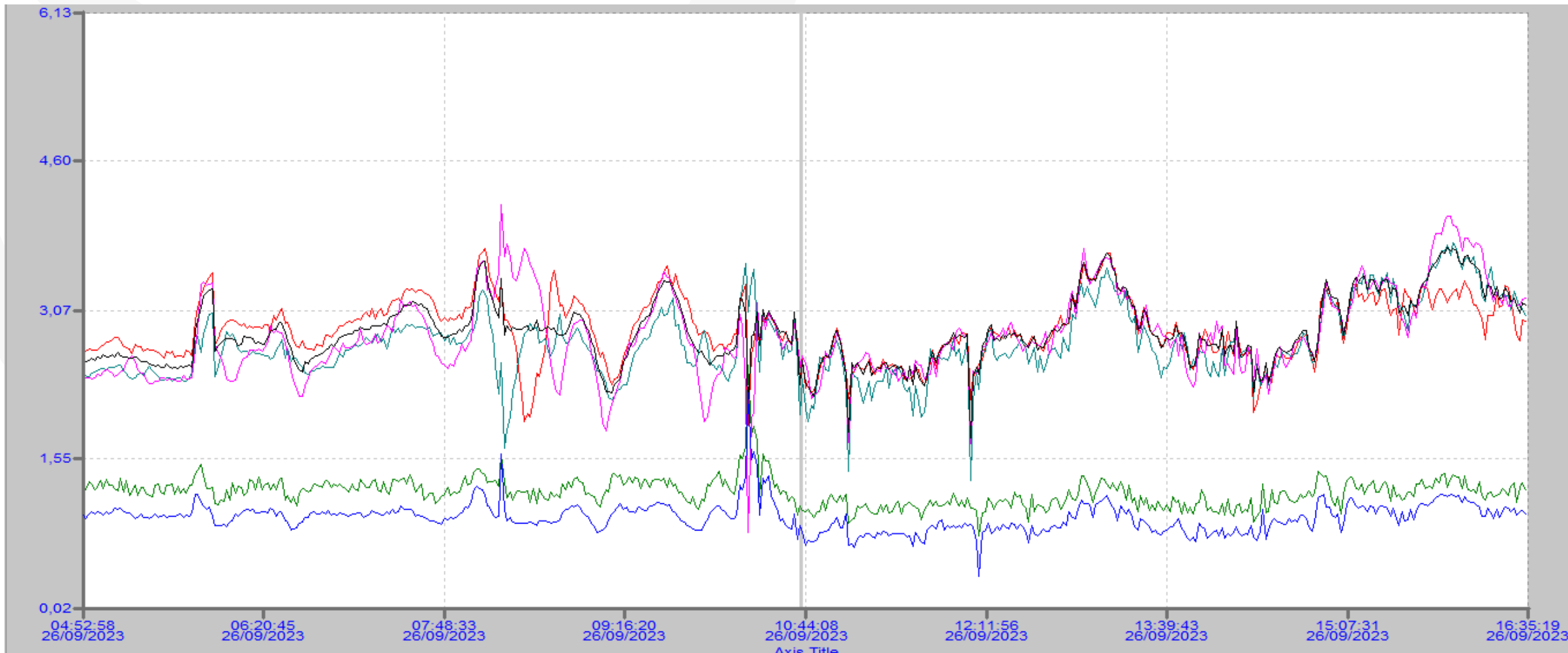
$$MM = \frac{((MC+AGUA)*BF)-(MC*BC)}{(BM-BF)}$$

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

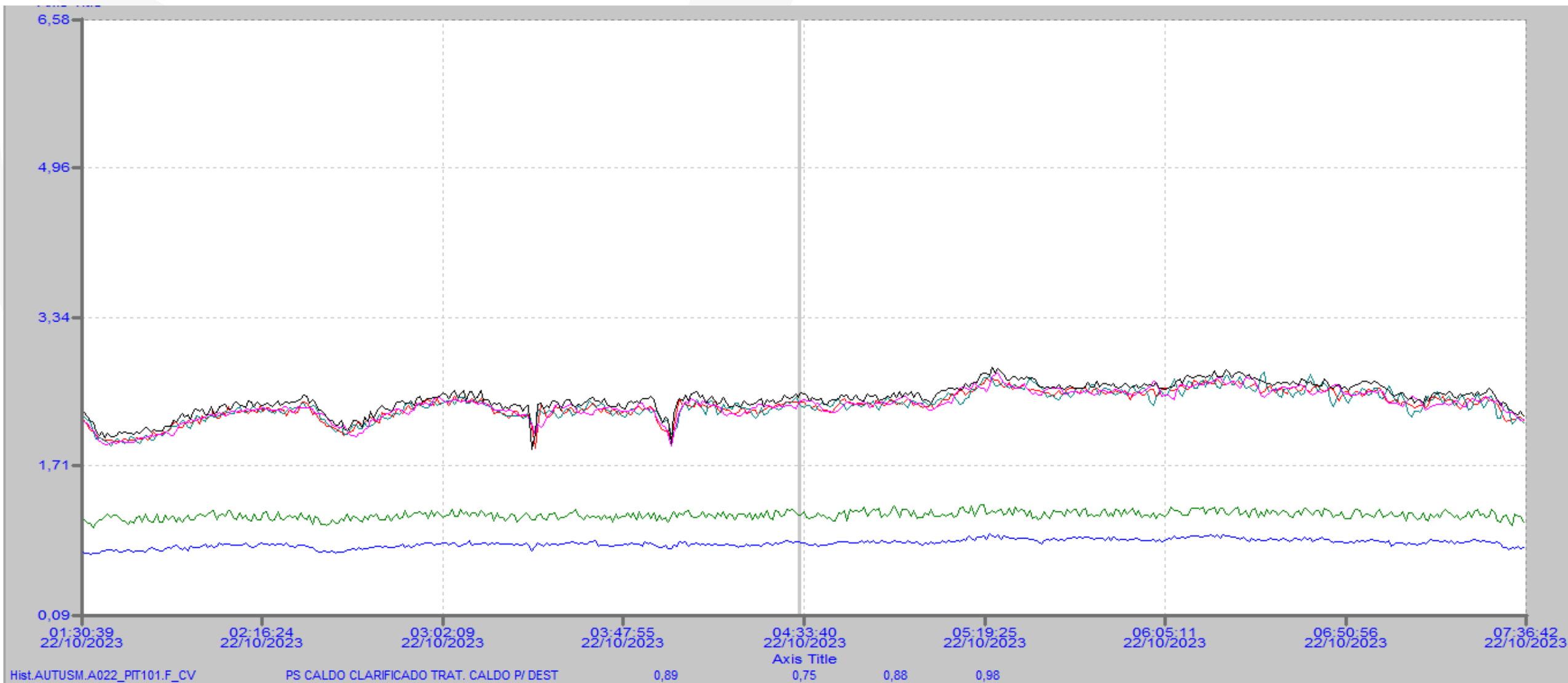
MM	MASSA DO MEL	46,1 t/h
BF	BRUX FINAL DO MOSTO	21,0 %
MC	MASSA DO CALDO	329,0 t/h
BC	BRUX DO CALDO	12,5 %
BM	BRUX DO MEL FINAL	81,4 %
DM	DENSIDADE DO MEL FINAL	1,41 kg/m3
DC	DENSIDADE DO CALDO FIXA	1,06 kg/m3
VMC	SP - VZ MEL FINAL CÁLCULO	32,6 m3/hr
VM	PV - VZ MEL FINAL	32,8 m3/hr
VC	VZ CALDO	308,7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

FECHA

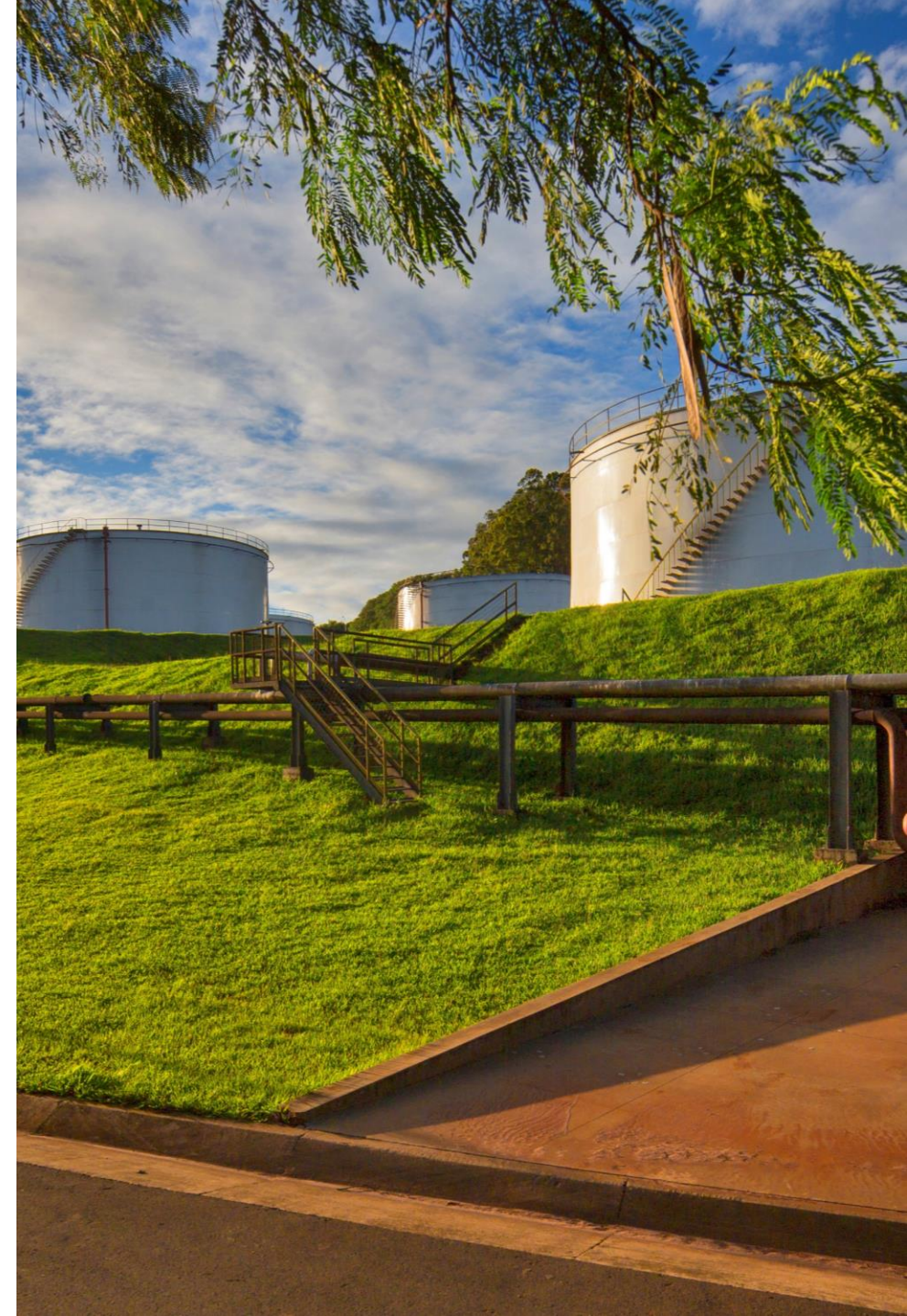
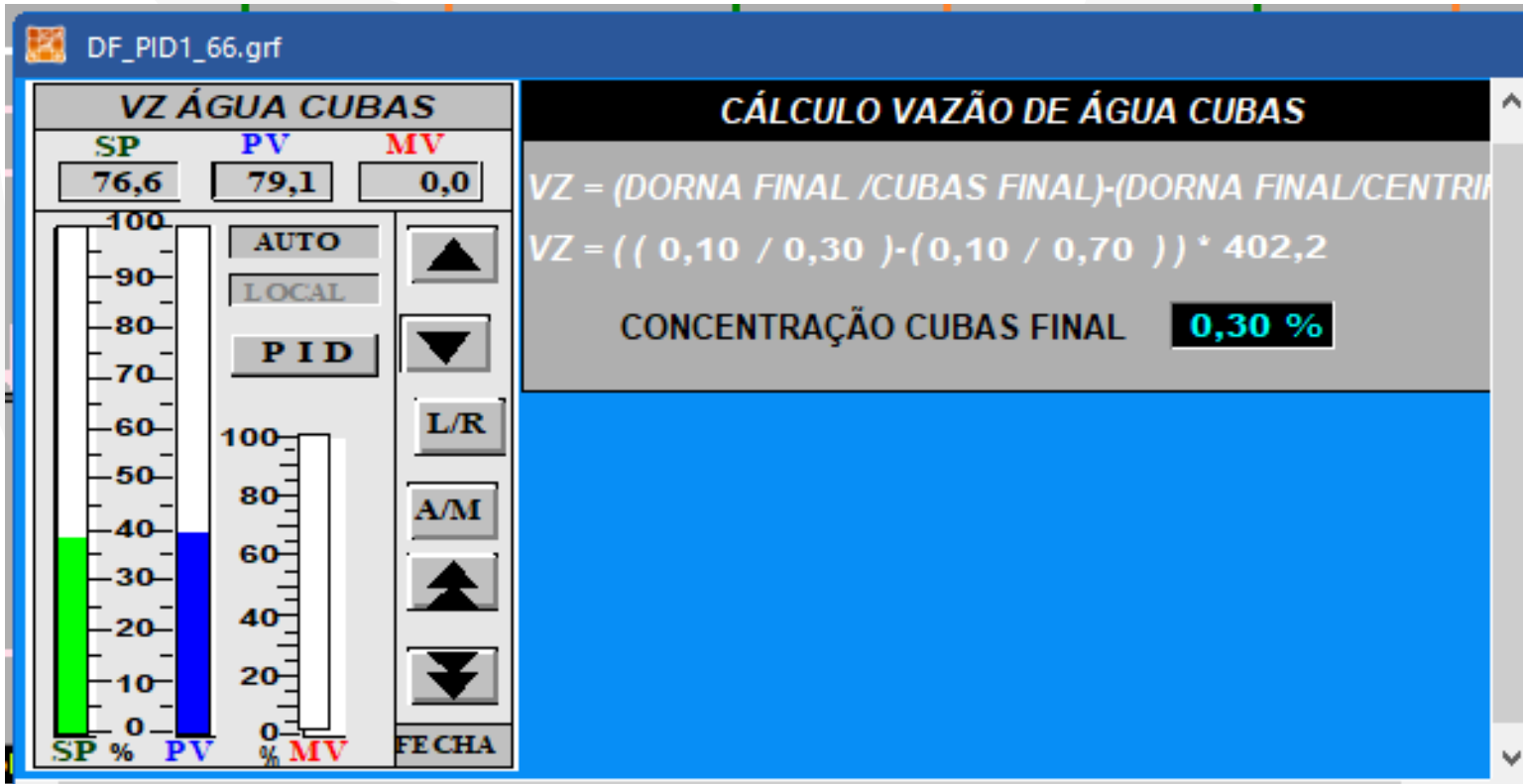
ESTABILIZAÇÃO DA FERMENTAÇÃO - MOSTO



ESTABILIZAÇÃO DA FERMENTAÇÃO - MOSTO



ESTABILIZAÇÃO DO TRATAMENTO DO FERMENTO



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

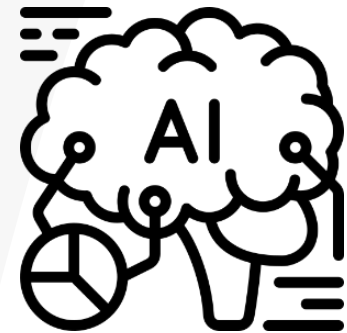


- Supervisório
- RTO's
- G.Digitais

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

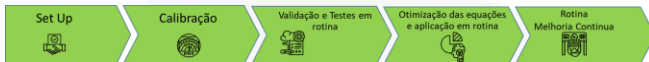
2021

2022

2023

2024

2025



Comissionamento

Desenvolvimentos

Melhoria Contínua – Controles e Processos

**Industria 4.0
(IA)**

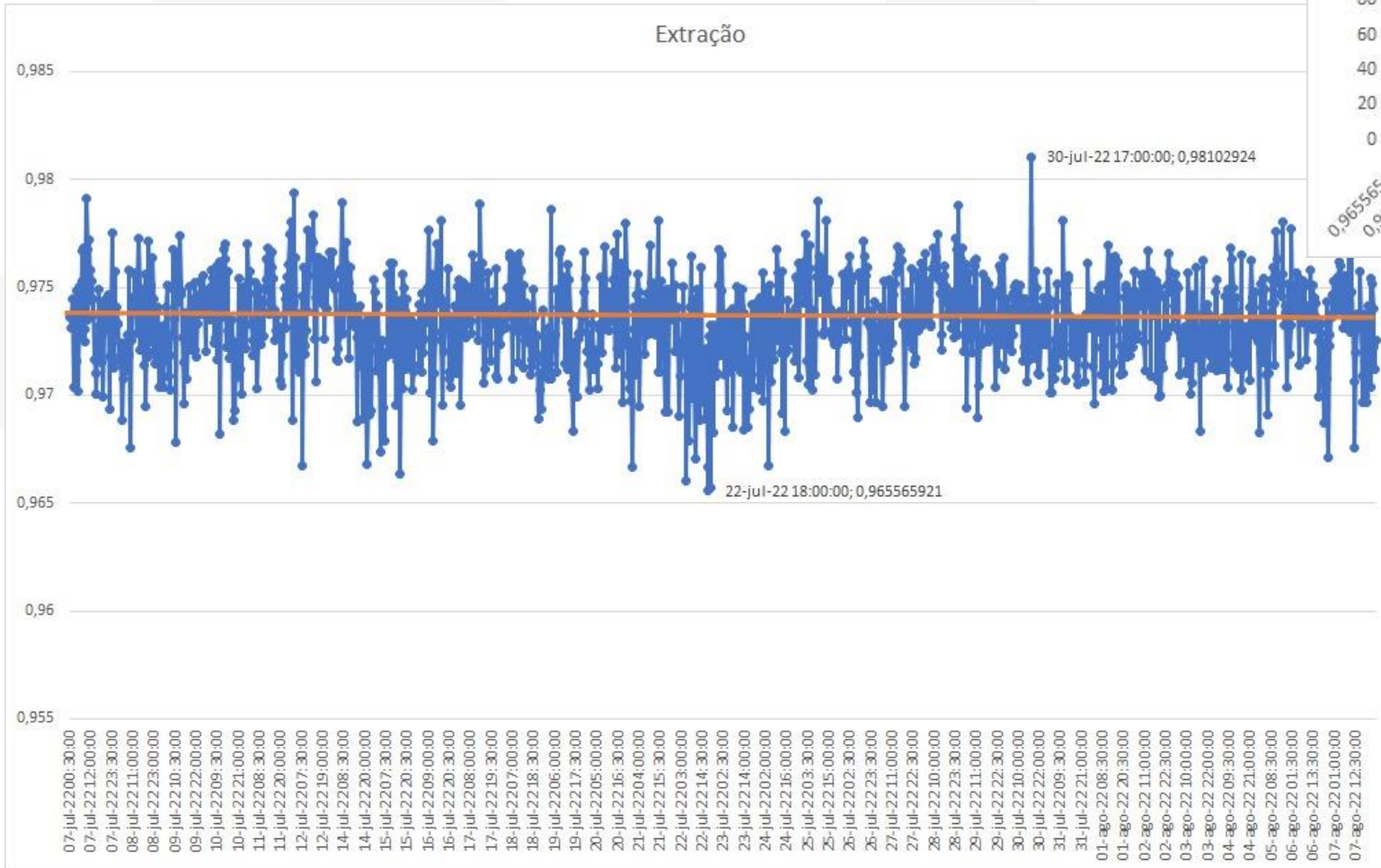
- Instalação e calibração
- Interfaces com sistemas de automação da usina

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

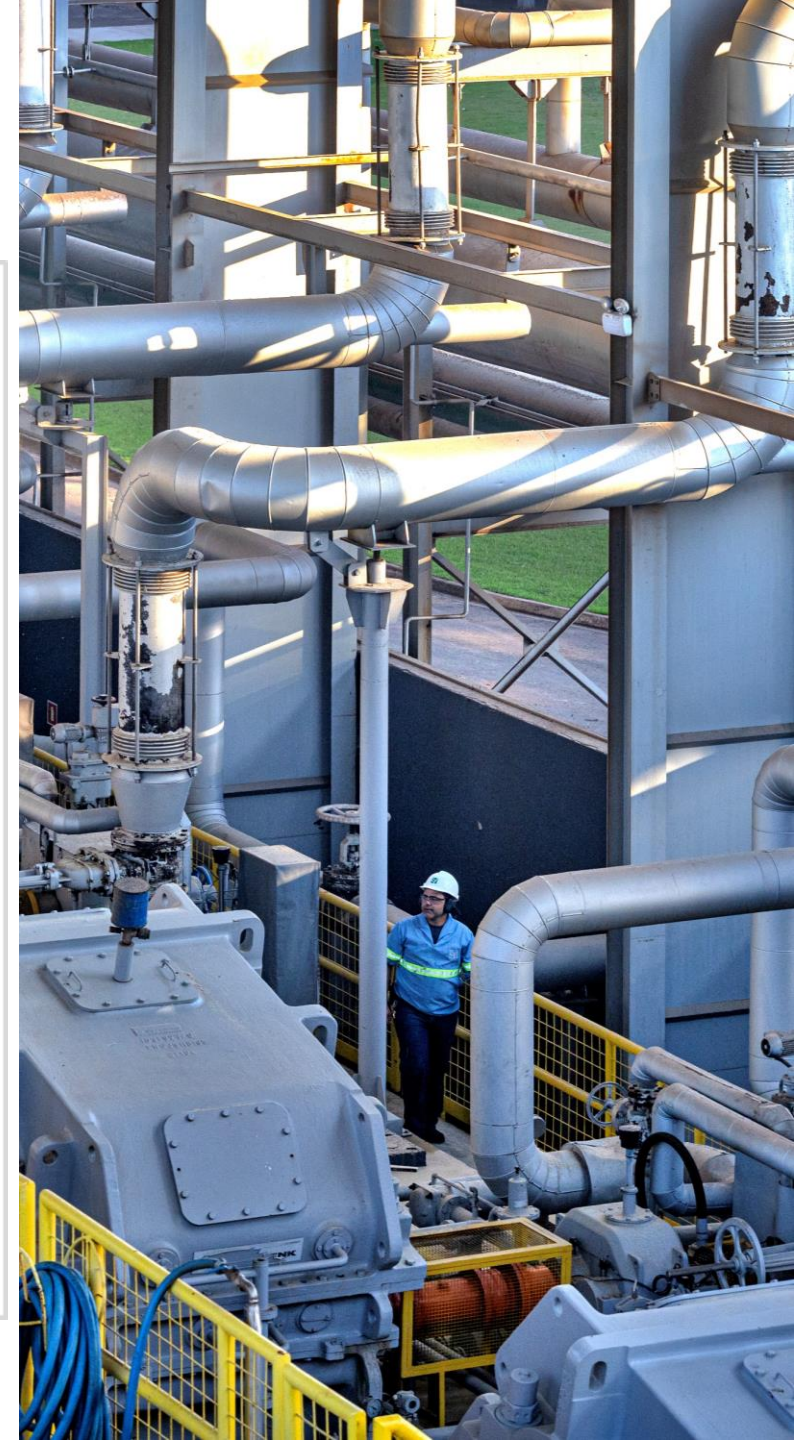
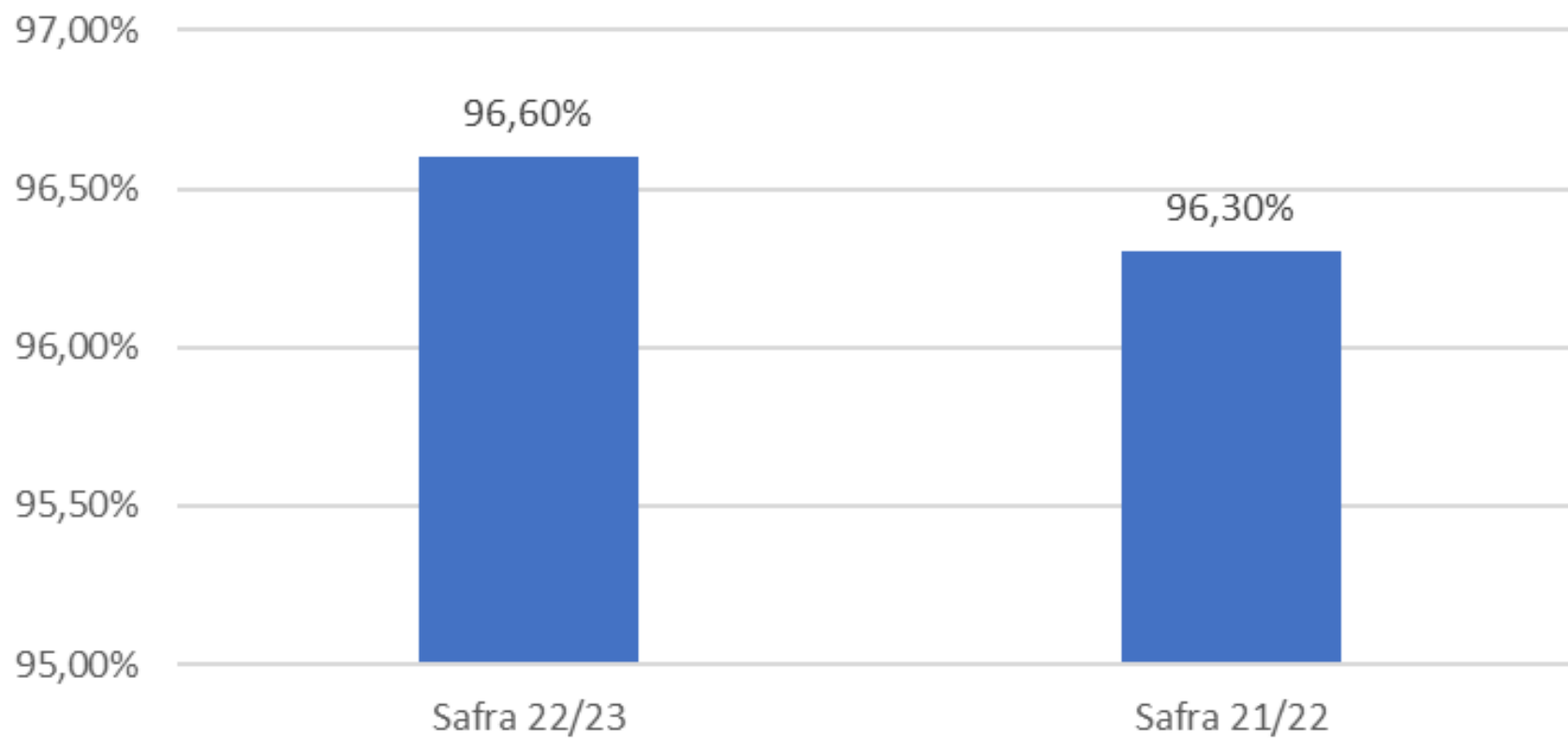
- Banco de dados
- Controle avançado da moenda + ajustes
- Desenvolvimento fermentação

- IA em produção

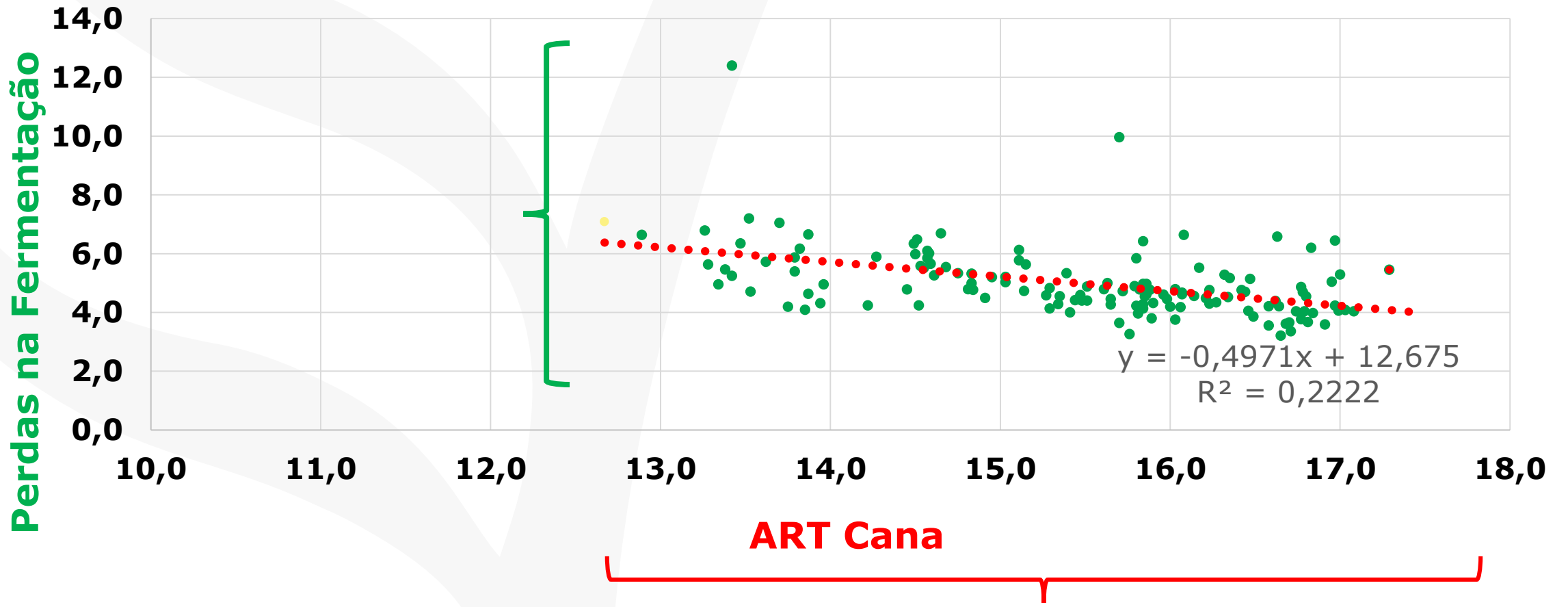
Extração on-line



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

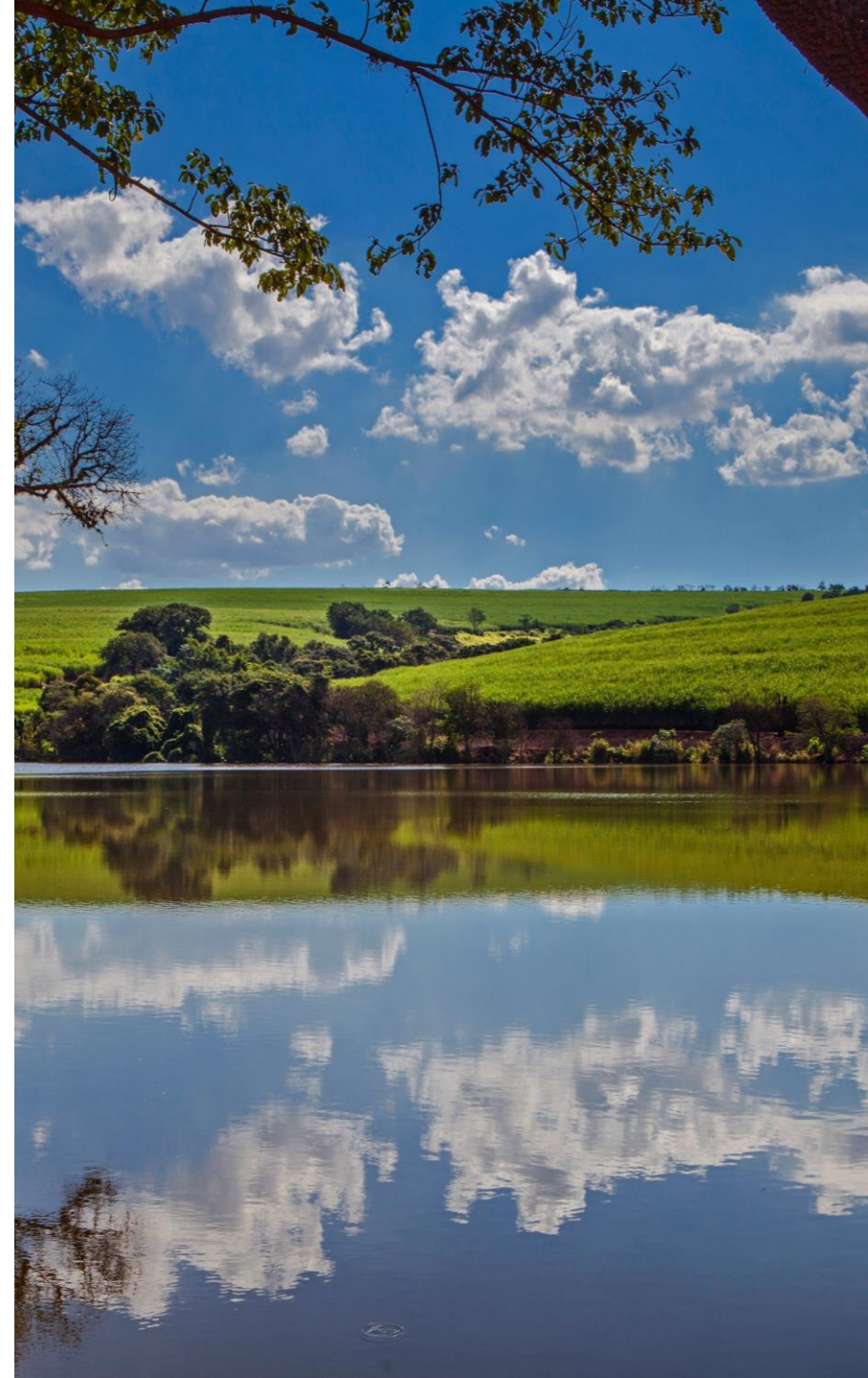
MOSTO

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

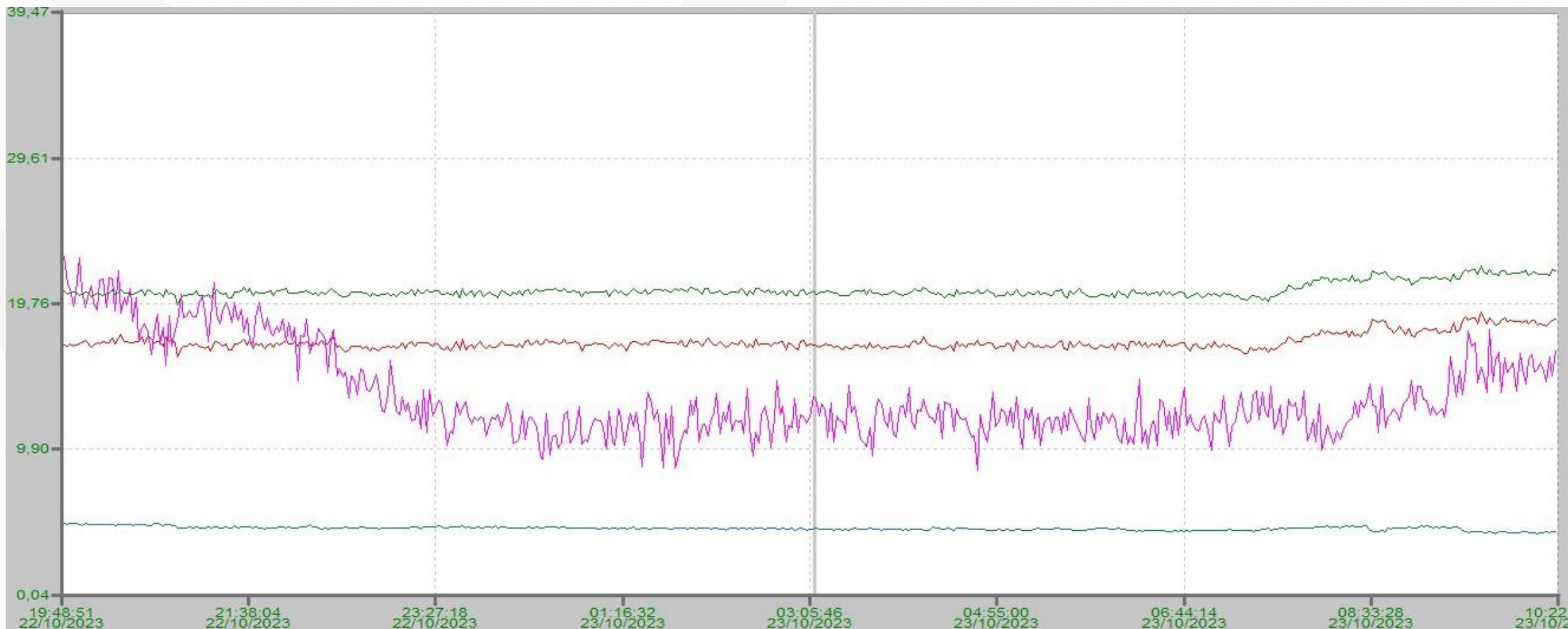
VINHO

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



São Manoel



São Manoel