

Rendimento e Eficiência na Indústria Sucroenergética

Silvio Roberto Andrietta

BioContal
Tecnologia em Bioprocesso

Introdução



- Definição
 - Eficiência
 - Relativo a recuperação de uma dada substância em um processo sem que haja conversão ou bioconversão
 - Rendimento
 - Relativo a obtenção de uma quantidade de um dado produto em função da quantidade de reagente adicionado ao processo onde ocorre transformação química ou bioquímica, sempre atrelada a um fator estequiométrico.

BioContal

Tecnologia em Bioprocesso

Indústria Sucroenergética



- Produtos
 - Açúcar, xarope e melaço
 - Obtido de processos de extração e purificação sem que ocorra nenhuma transformação química ou bioquímica, ou seja, o produto está presente na matéria prima
 - Etanol
 - Obtido em processo onde ocorre uma biotransformação
 - Fator estequiométrico = 0.511 g Etanol/ g de hexose

BioContal

Tecnologia em Bioprocesso

Indústria Sucroenergética

- Subprodutos
 - Bagaço
 - Torta
 - Dióxido de carbono
 - Células de levedura
 - Extrato de levedura
 - Parede celular
 - Álcoois superiores



BioContal
Tecnologia em Bioprocesso

Indústria Sucroenergética



- Tipos de perdas na industria
 - Determinadas
 - Perdas de ART que são medidas diretamente
 - Indeterminadas
 - Perdas de ART que não são medidas diretamente, causadas geralmente por reações químicas ou bioquímicas ocorrida durante o processo
 - Vazamentos e derrames não podem ser consideradas perdas indeterminadas, pois, são passíveis de determinação.

BioContal

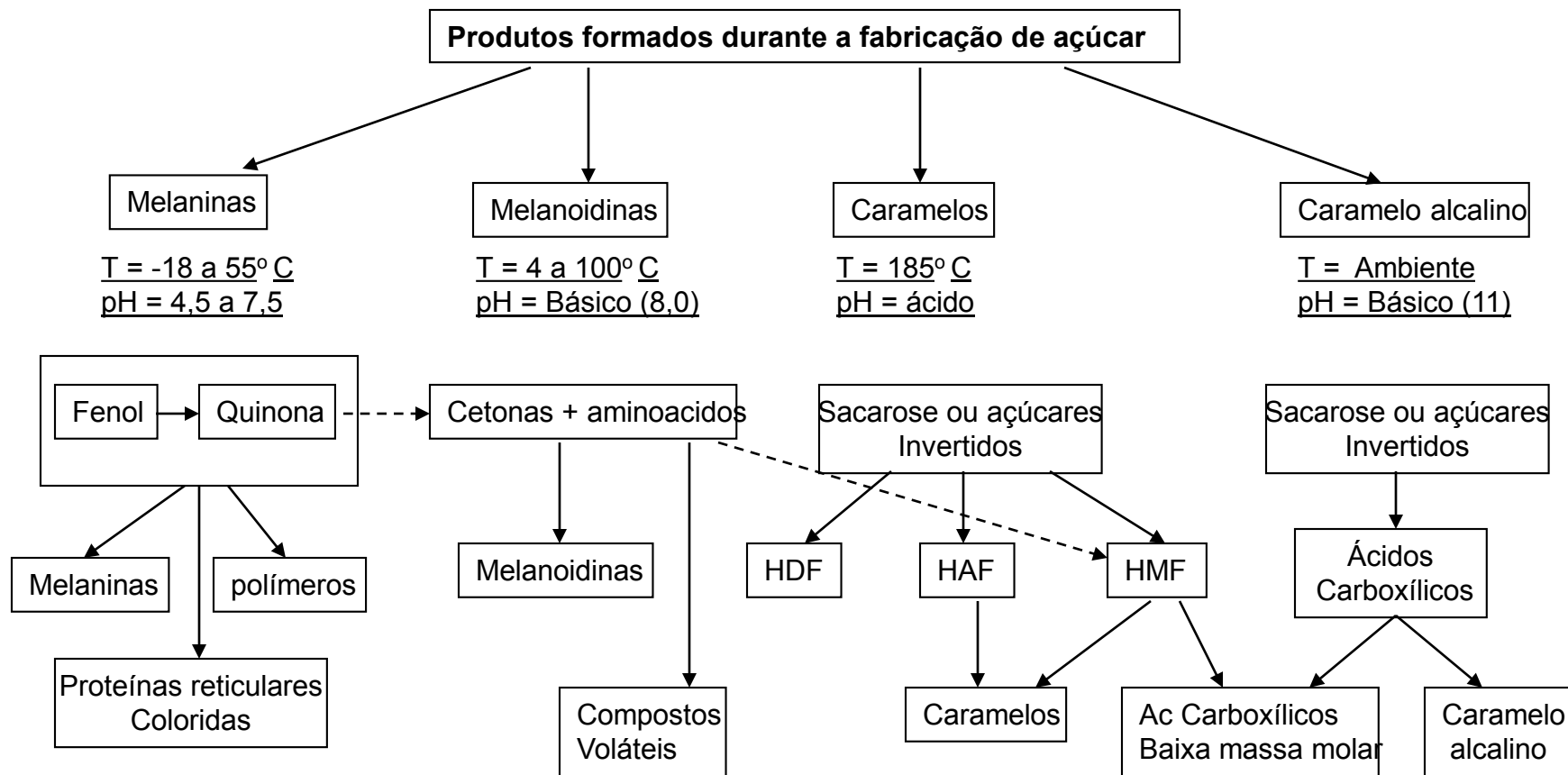
Tecnologia em Bioprocesso

Perdas indeterminadas

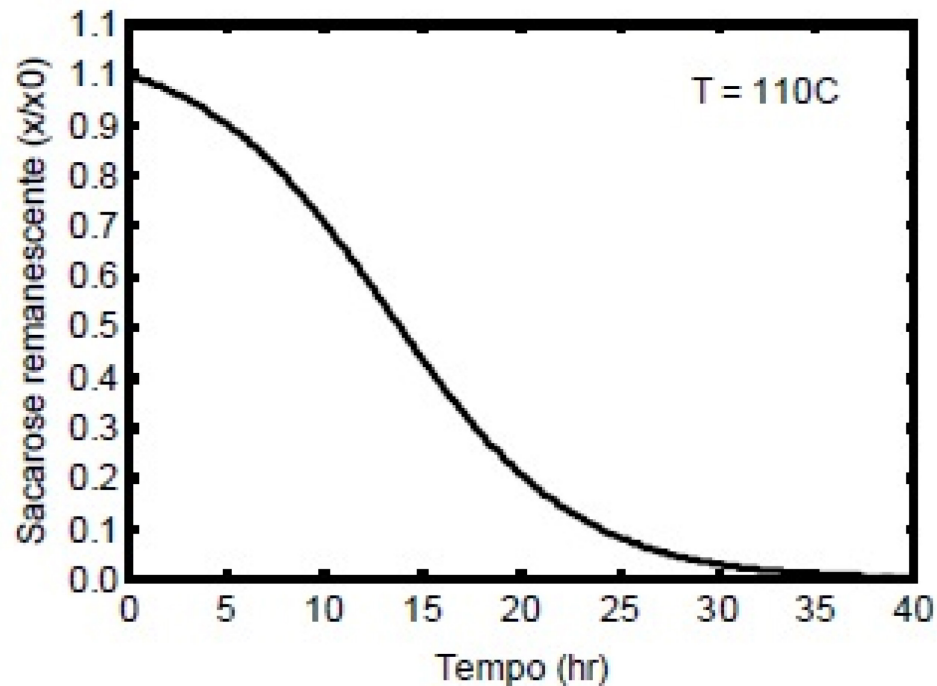


- Transformações químicas
 - Geralmente ligadas a reação de degradação térmica de açúcares redutores por ação de calor
 - Função da temperatura, pH e tempo de exposição
 - Principais produtos – Melanoidinas, ácidos orgânicos e HMF
- Transformações bioquímicas
 - Ligadas a ação de microrganismos contaminantes (bactérias, fungos e leveduras)
 - Ocorrem desde que a cana é colhida

Decomposição de glicose e frutose

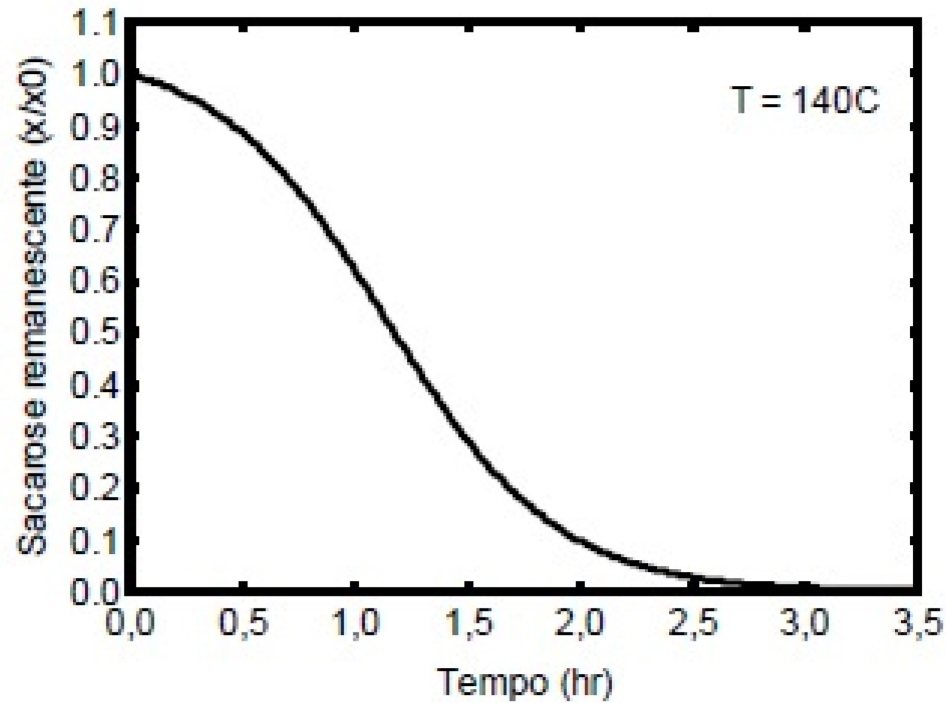


Decomposição Sacarose Caldo a 21 brix e pH 6,4



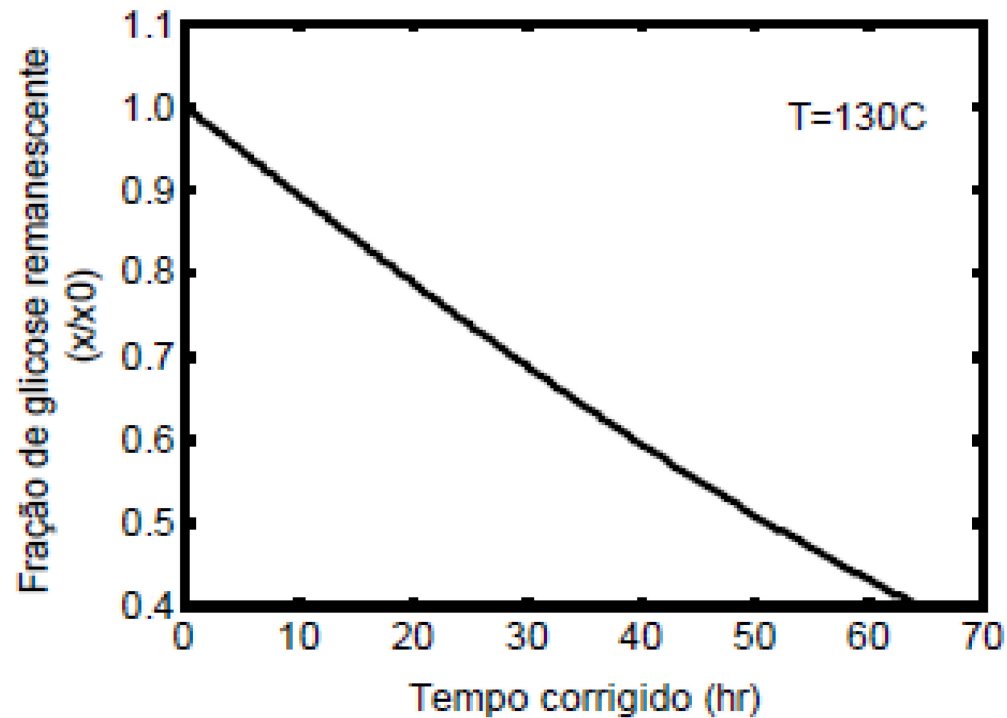
Decomposição Sacarose

Caldo a 21 brix e pH 6,4



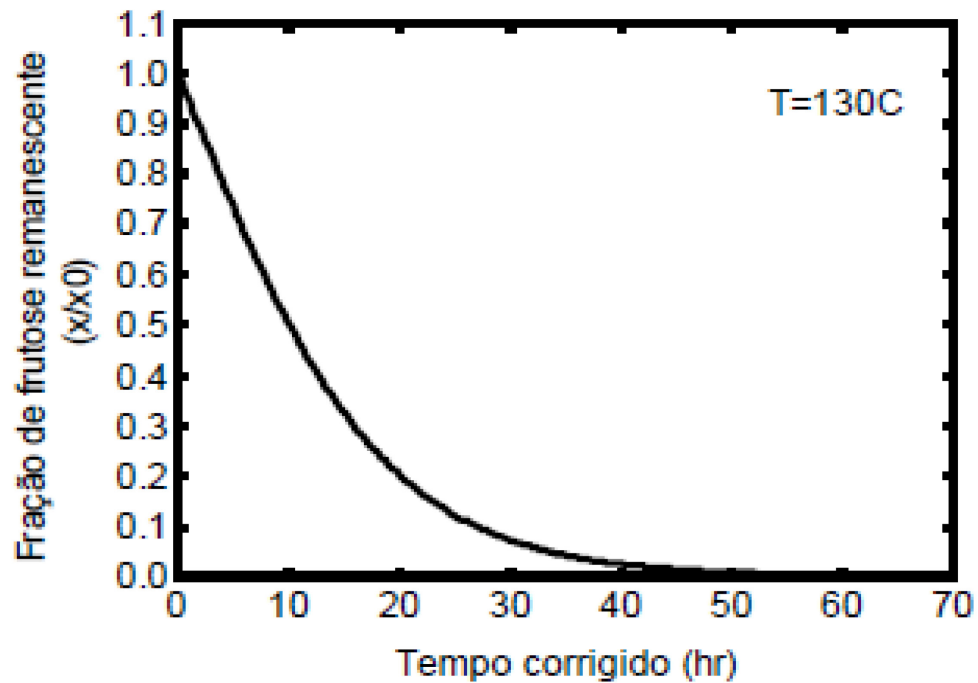
Decomposição Glicose

Caldo a 21 brix e pH 6,4



Decomposição Frutose

Caldo a 21 brix e pH 6,4



Perdas indeterminadas



- Ocorrência de maiores perdas por decomposição térmica
 - Extração
 - Difusores com água de embebição com baixo pH
 - Tratamento de caldo
 - Para fermentação 3 vezes mais ácidos gerados que para a fábrica de açúcar
 - Fábrica de açúcar
 - Evaporação e cozimento
 - Produtos formados: melanoidinas e ácidos orgânicos (acético e lático)

















Perdas indeterminadas



- Ocorrência de maiores perdas por ação microbiana
 - Extração
 - Produtos formados: Gomas e ácidos orgânicos de baixo peso molecular
 - Tanques de armazenagem e tubulação de caldo frio
 - Produtos formados: Gomas e ácidos orgânicos de baixo peso molecular

Tópicos



- Divisão da Usina de açúcar em setores
- Definição das eficiência setoriais
- Perdas determinadas e indeterminada em cada setor
- Definição das grandezas Mix de produção e retenção fábrica
- Definição de eficiência máxima e objetiva
- Cálculo de eficiência industrial
- Determinação de eficiência objetiva para plantas com diferentes fontes de ART



**Eficiência Industrial, objetiva e
relativa**

BioContal
Tecnologia em Bioprocesso

Indústria Sucroenergética

- O que levar em consideração no cálculo de eficiência?
 - Açúcar, xarope e melaço
 - Etanol

Indústria Sucroenergética



- Eficiência industrial
 - Relação entre o ART recuperado em função do ART entrado na industria
- ART Recuperado
 - Produtos (açúcar, xarope, melaço e etanol) obtidos transformados em ART
- ART Entrado industria
 - Todo o ART proveniente da cana processada ou de material açucarado alimentado ao processo

Indústria Sucroenergética

- Métodos de determinação do ART entrado na indústria
 - Prensa (método oficial para pagamento de cana)
 - Quando utilizado representa melhor a rentabilidade da empresa
 - Digestor
 - Método tido como mais preciso
 - Analise demorada
 - Amostras pouco representativas

Indústria Sucroenergética

- Como saber se o desempenho de minha unidade é adequado?
 - Comparar com outras unidades?
 - Estas unidades estão operando da mesma forma que a minha?
 - Estas unidades usam a mesma tecnologia e equipamentos que a minha?
 - A melhor forma é avaliar sua unidade em relação a ela mesmo, utilizando padrões bem definidos, utilizando a forma de operação, tecnologia e equipamentos utilizados

BioContal

Tecnologia em Bioprocesso

Indústria Sucroenergética



- Na avaliação de uma unidade deve-se saber qual a eficiência que pode ser obtida levando-se em conta:
 - Tipo de unidade
 - Destilaria autônomo, anexa, etc
 - Condições operacionais
 - Mix de produção, retenção fábrica
 - Eficiências setoriais de acordo com as tecnologias aplicadas. Exemplo
 - Extração (moenda de 6 ternos, difusor, etc) e outras

Eficiência Objetiva



- A eficiência potencial de uma unidade chamamos de OBJETIVA que é a eficiência obtida quando todas as eficiências setoriais previamente definidas para a planta em questão são atingidas para as condições de operação da mesma.
- Depende da tecnologia aplicada e das condições de processo.
- Quando relacionada com a Eficiência industrial obtida, dá origem a Eficiência Relativa desta planta.

BioControl

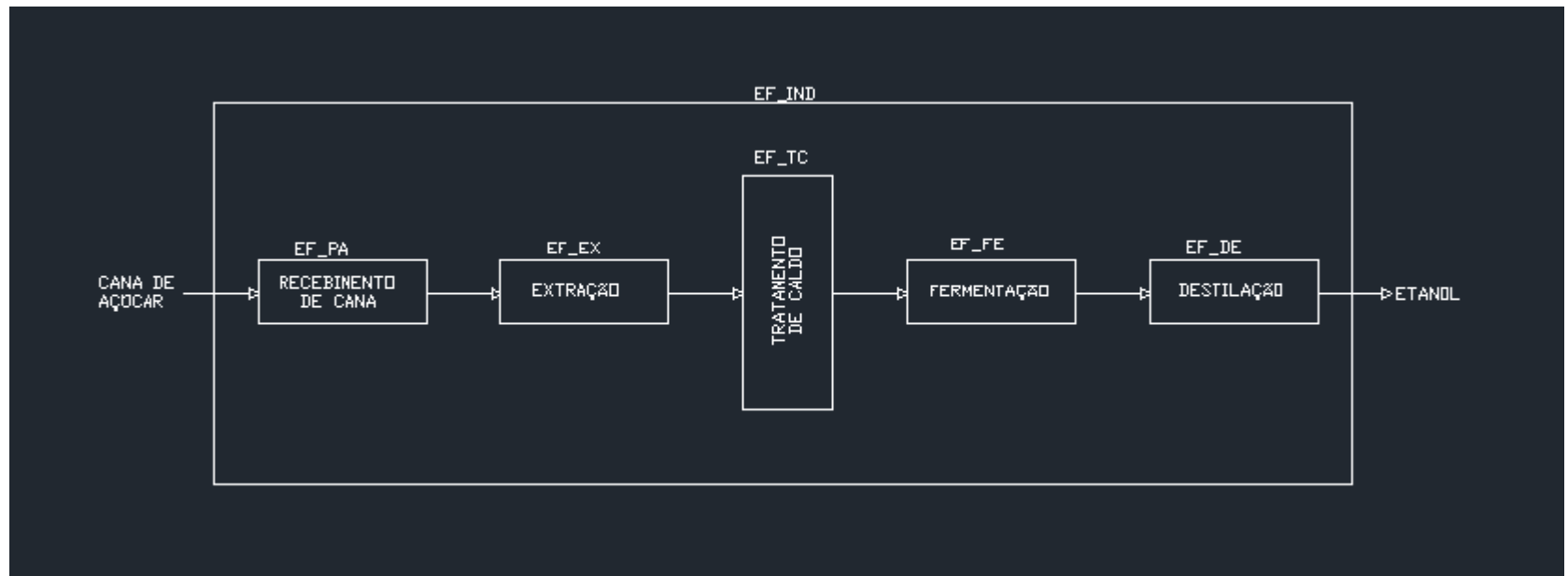
Tecnologia em Bioprocesso

Eficiência Objetiva

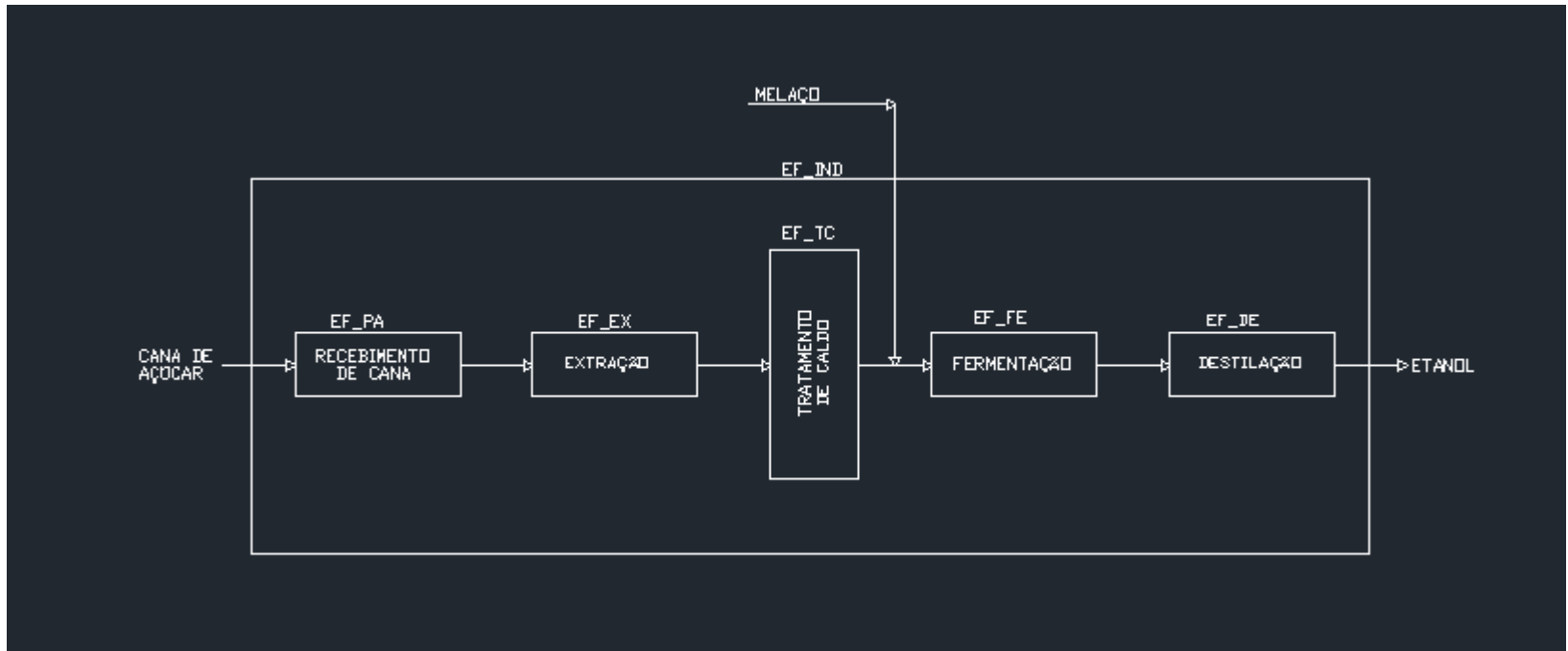


- Balanço para as unidades industriais
 - Destilaria autônoma
 - Destilaria autônoma com compra de melaço
 - Destilaria anexa
 - Destilaria anexa com compra e venda de melaço e xarope
 - Usina sem destilaria com venda de melaço

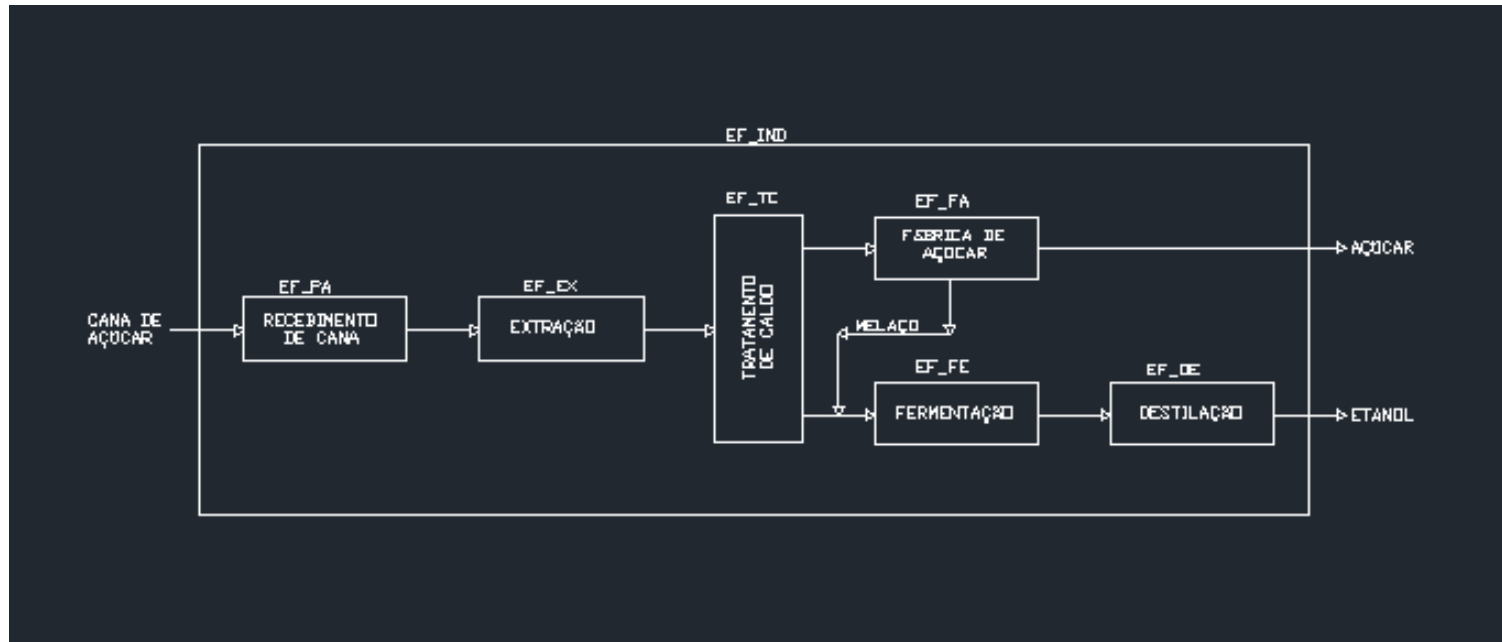
Destilaria Autônoma



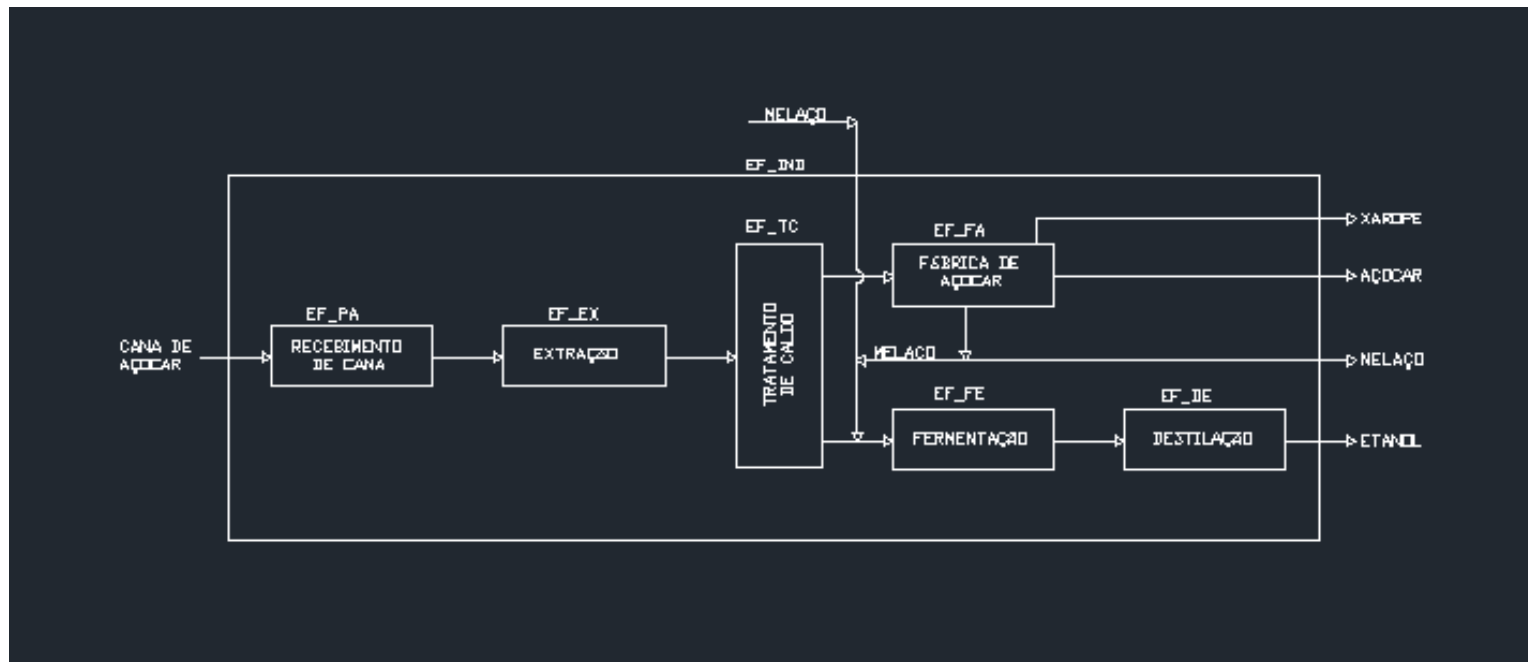
Destilaria Autônoma com compra de melação



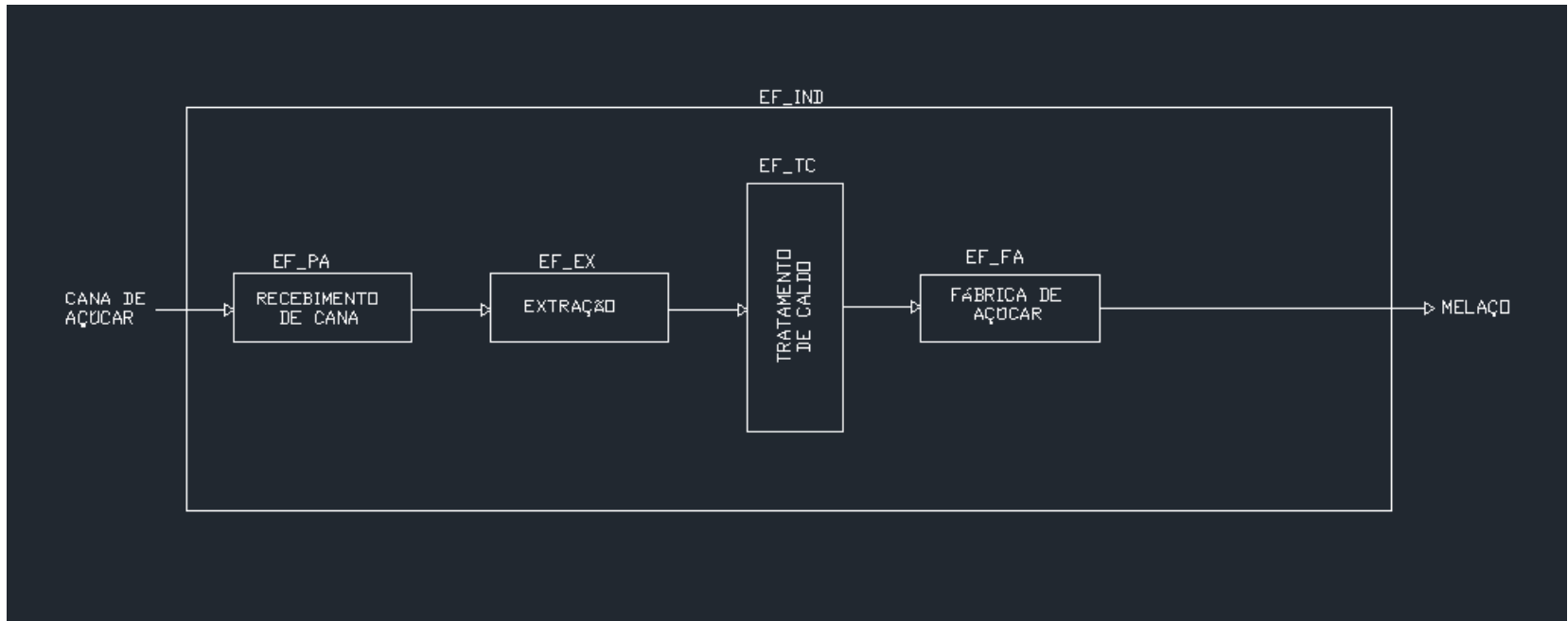
Destilaria Anexa



Destilaria Anexa com compra e venda de melão e xarope



Usina sem destilaria



Eficiências setoriais

DESCRIÇÃO	PONTOS	EQUAÇÃO	VARIÁVEL
Massa ART Recuperado em Etanol	A	ART_B	
Massa ART Entrado Destilação	B	$B = \frac{A}{EF_{DE}} \times 100$	EF_DE - Ef. Destilação
Massa ART Recuperado em Açúcar	C	ART_A	
Massa ART Entrado Fábrica Açúcar	D	$D = \frac{C}{RT} \times 100$	RT - Retenção Fábrica Usar parâmetro SJM
Massa ART Melão contido Produzido	E	$E = D - \left(\left(D \times \left(1 - \frac{EF_{FA}}{100} \right) \right) \right) + C$	EF_FA - Ef. Fábrica
Massa ART Entrado Fermentação	F	$F = \frac{B}{RE_{FE}} \times 100$	RE_FE - Rend. Fermentativo
Massa ART Entrado Caldo Fermentação	G	$G = F - E$	
Massa ART Entrado Tratamento Caldo	H	$H = \frac{(G + D)}{EF_{TC}} \times 100$	EF_TC - Ef. Trat. Caldo
Massa ART Entrado Extração	I	$I = \frac{H}{EF_{EX}} \times 100$	EF_EX - Ef. Extração
Massa ART Entrado Indústria objetiva	J	$J = \frac{I}{EF_{PA}} \times 100$	EF_PA - Ef. Pátio

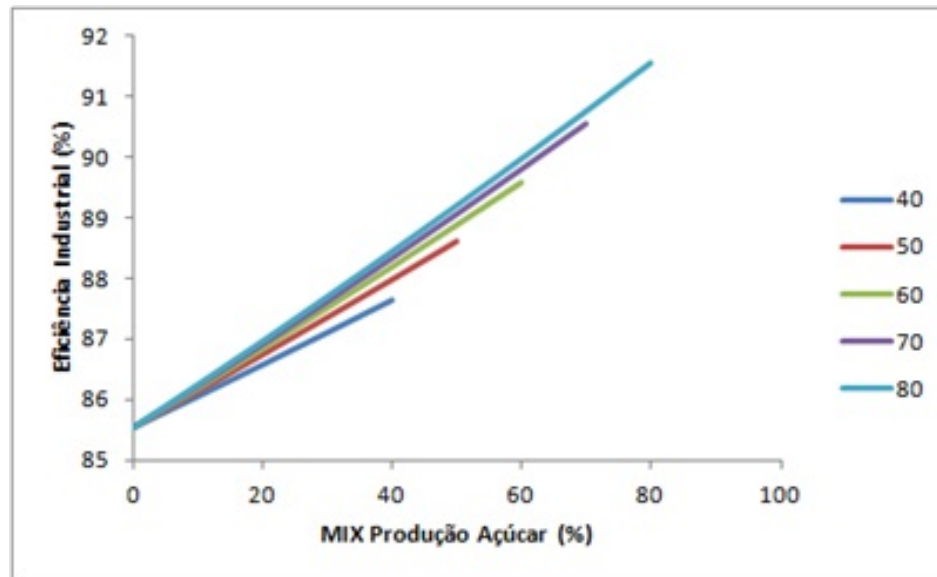
Eficiências setoriais

Tabela de Eficiência Setorial			
Setor	Descrição	Eficiência	Unidade
Pátio	Cana inteira com lavagem	99,00	%
	Cana Picada com lavagem	98,00	%
	Cana Picada ou inteira sem lavagem	99,50	%
Extração	Moenda 4 ternos	95,50	%
	Moenda 5 ternos	96,00	%
	Moenda 6 ternos	96,50	%
	Difusor	97,50	%
Tratamento de caldo	Convencional para moenda	99,50	%
	Convencional para difusor	99,80	%
	Difusor com reciclo de lodo	100,00	%
Fábrica de açúcar	Convencional	98,00	%
Fermentação	Mosto a base de caldo	90,00	%
	Mosto mel e caldo com residual de 0,1	89,40	%
	Mosto mel e caldo com residual de 0,2	88,80	%
	Mosto mel e caldo com residual de 0,3	88,20	%
	Mosto mel e caldo com residual de 0,4	87,60	%
	Mosto mel e caldo com residual de 0,5	87,00	%
	Mosto mel e caldo com residual de 0,6	86,40	%
	Mosto mel e caldo com residual de 0,7	85,80	%
	Mosto mel e caldo com residual de 0,8	85,20	%
	Mosto mel e caldo com residual de 0,9	84,60	%
	Mosto mel e caldo com residual de 1,0	84,00	%
Destilação	Convencional	99,50	%

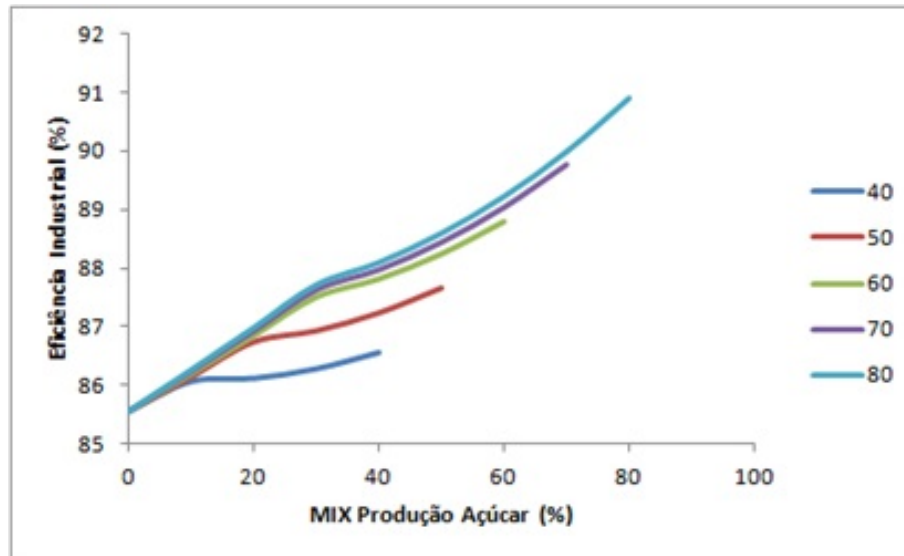
Eficiências Objetivo

EFICIÊNCIAS SETORIAIS (%)		
Pátio	99,5	Cana Picada sem lavagem
Extração	96,5	Moenda com 6 ternos
Tratamento Caldo	99,5	Convêncional para moenda
Fábrica de Açúcar	98	Convêncional
Fermentação	90	Valor fixo para simulação
Destilação	99,5	Convêncional

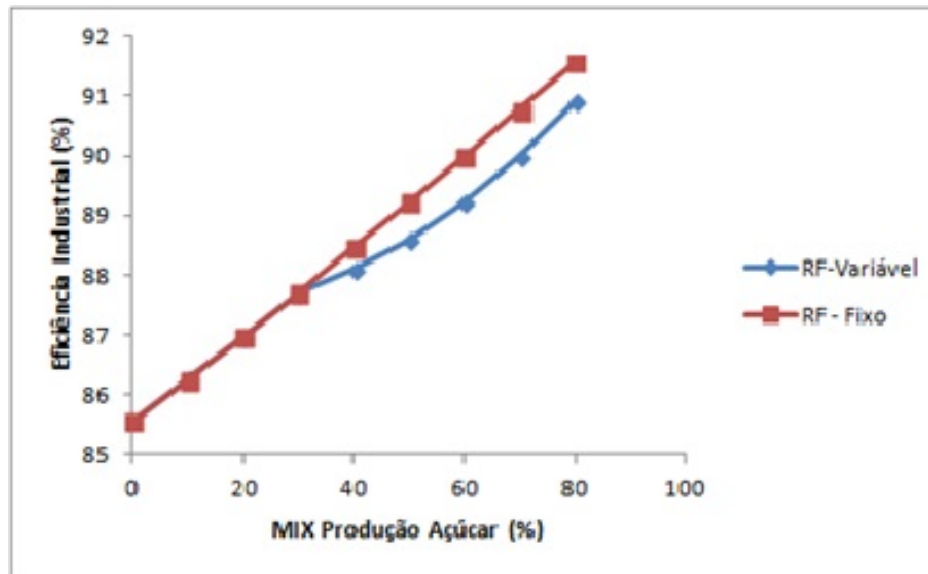
Eficiências Objetivo



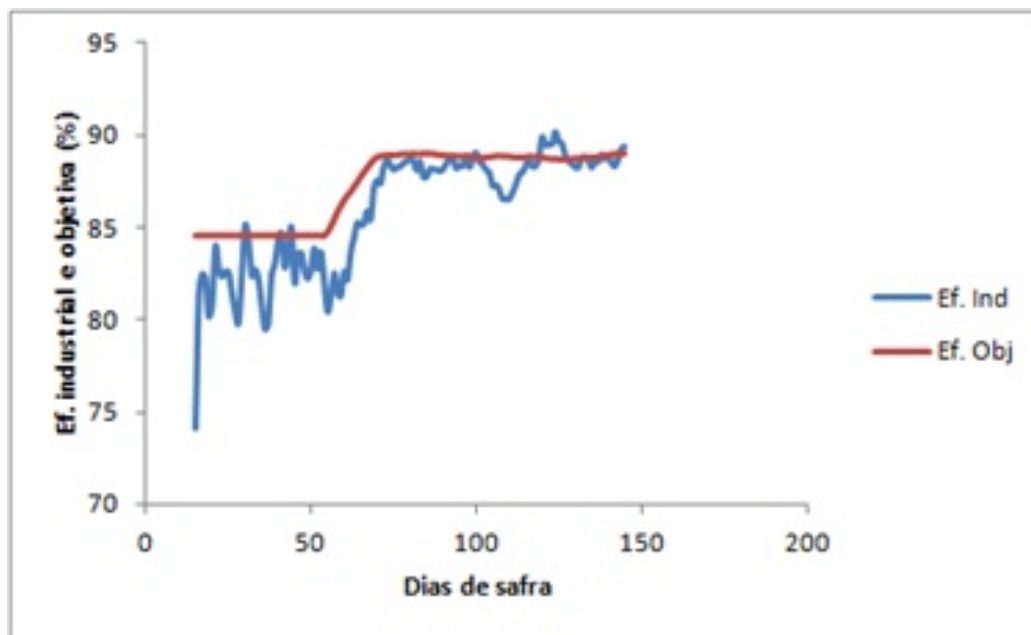
Eficiências Objetivo



Eficiências Objetivo



Eficiências Objetivo





Setor Fermentação

Funcionamento da levedura

Silvio Roberto Andrietta

BioContal
Tecnologia em Bioprocesso

Fermentação



- Definição
 - Todo o processo metabólico ocorrido em anaerobiose que fornece como produto um derivado do piruvato, cuja síntese gera uma molécula de NAD

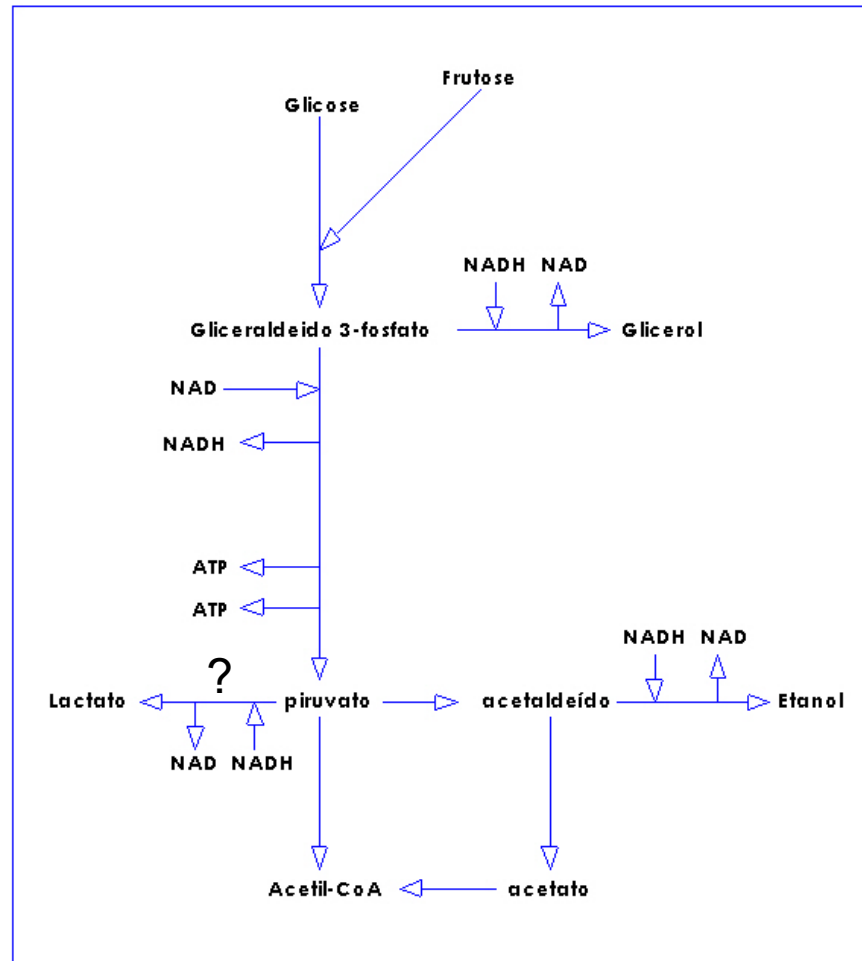
Entendendo o funcionamento da levedura

- Porque a levedura faz álcool?
 - Obtenção de energia
 - Trabalho químico (síntese de moléculas)
 - Trabalho de transporte (nutrientes e íons pela membrana)
- Onde é gerada a energia?
 - Na glicólise até a formação de piruvato
- Quanto gera de energia a produção de glicerol e etanol?
 - Nada

Entendendo o funcionamento da levedura

- Sabendo-se que a levedura é extremamente inteligente e esperta, pergunta-se: Porque a levedura produz estes produtos?
 - Para regenerar o NAD usado na oxidação do gliceraldeído 3-fosfato na glicose
 - Sem estas rotas a levedura morreria em anaerobiose
- Produção de glicerol
 - Varia de acordo com a necessidade de NAD

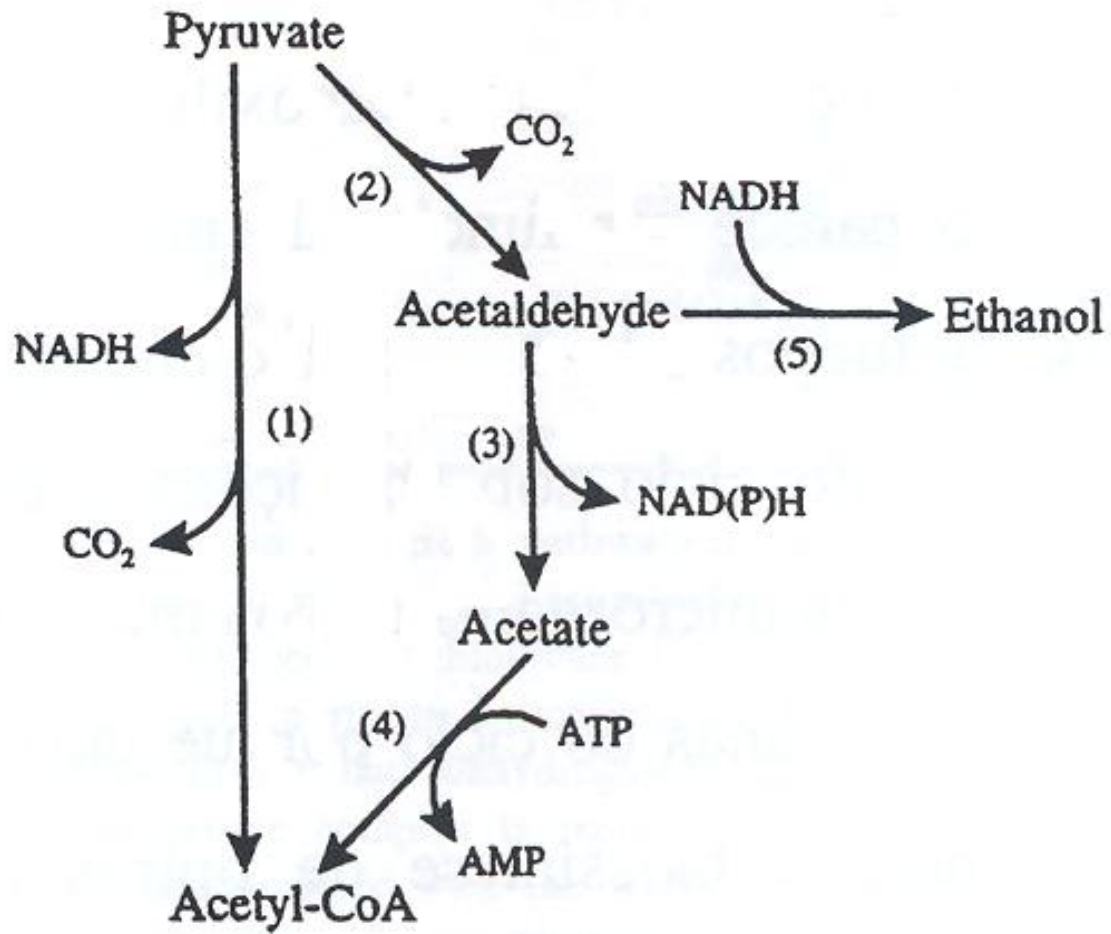
Fermentação Alcoólica



Produção de Biomassa



- Levedura – Microrganismo facultativo
 - Aerobiose
 - Limitação de glicose – Crescimento puramente oxidativo – Produto CO_2 + Água + Energia 38 ATP
 - Glicose não limitada – Crescimento oxido-redutivo – Produção de etanol – Efeito Crabtree
 - Inibição de enzimas do ciclo dos ácidos tricarboxílicos (2 ATP)
 - Saturação da rota da piruvato desidrogenase (não definido)
 - Anaerobiose
 - Processo oxido-redutivo – Produção de etanol, glicerol, acetatos, succinatos e outros e energia 2 ATP



Produção de Biomassa



- Crescimento puramente oxidativo (aeróbico)
 - Energia obtida 38 ATP
 - Rendimento em células $Y_{x/s} = 0,5 \text{ gMS/gART}$
- Crescimento oxido-redutivo (reprimido ou anaeróbico)
 - Energia obtida 2 ATP
 - Rendimento em células $Y_{x/s} = 0,03 \text{ gMS/gART}$

BioContat

Tecnologia em Bioprocesso

Produção de Biomassa



- A produção de biomassa está vinculada à produção de etanol?
 - A levedura produz álcool para obter energia em anaerobiose
 - Produz energia para usar uma parte na síntese de moléculas (reprodução e manutenção)
 - Então a levedura produz álcool para se reproduzir e manter-se viva
 - Produção de etanol vinculada ao crescimento

BioCentral

Tecnologia em Bioprocesso

Produção de biomassa



- A quantidade de energia obtida pela levedura interfere na quantidade de massa obtida?
 - Aerobiose com processo puramente oxidativo
 - Energia – 38 ATP
 - Rendimento em massa – 0,5 g MS/gART
 - Aeróbico reprimido ou anaeróbico – Processo oxido-redutivo
 - Energia – 2 ATP
 - Rendimento em massa – 0,03 g MS/ g ART

BioControl

Tecnologia em Bioprocesso

Produção de Biomassa



- O rendimento em massa em anaerobiose varia de uma linhagem para outra?
 - Sim, em teste laboratório de 0,035 até 0,05 g/g
- Mas se energia obtida por molécula de Glicose consumida é igual, como pode variar a produção de massa?
 - Na glicólise temos 2 ATP. Na glicólise não geramos glicerol e outros produtos. Portanto não sabemos se a energia gerada é igual para todas as cepas (2 ATP)
 - A composição da biomassa produzida não é constante

BioContat

Tecnologia em Bioprocesso

Produção de Biomassa



- Fatores que interferem na produção de biomassa no processo fermentativo
 - Forma de crescimento
 - Eficiência da linhagem na obtenção de energia
 - Composição de biomassa obtida
 - Características nutricionais do meio fermentativo
 - Condições de cultivo

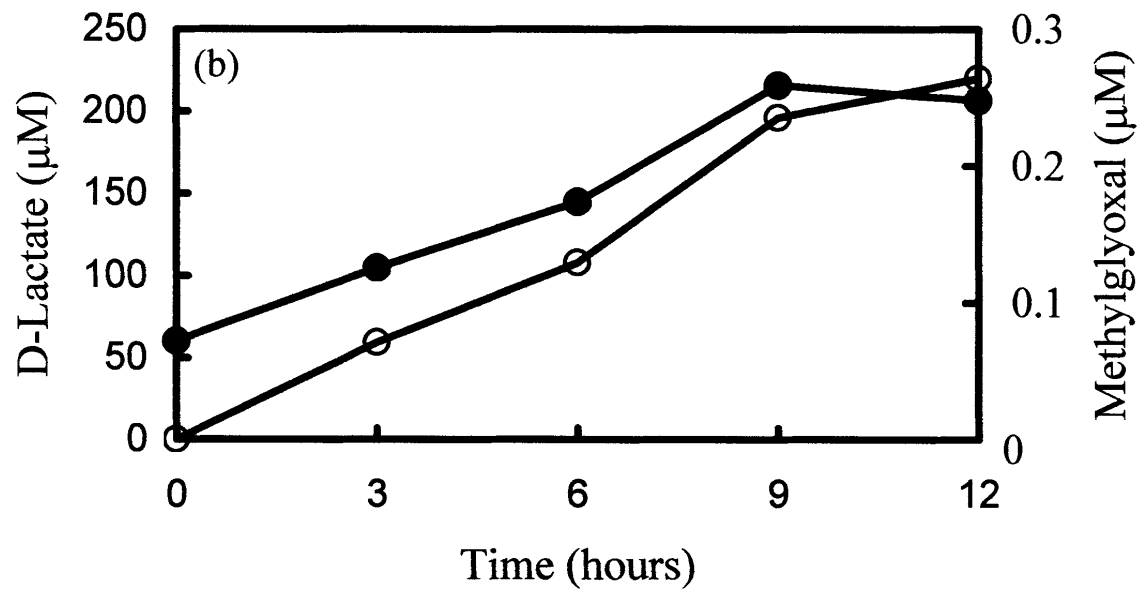
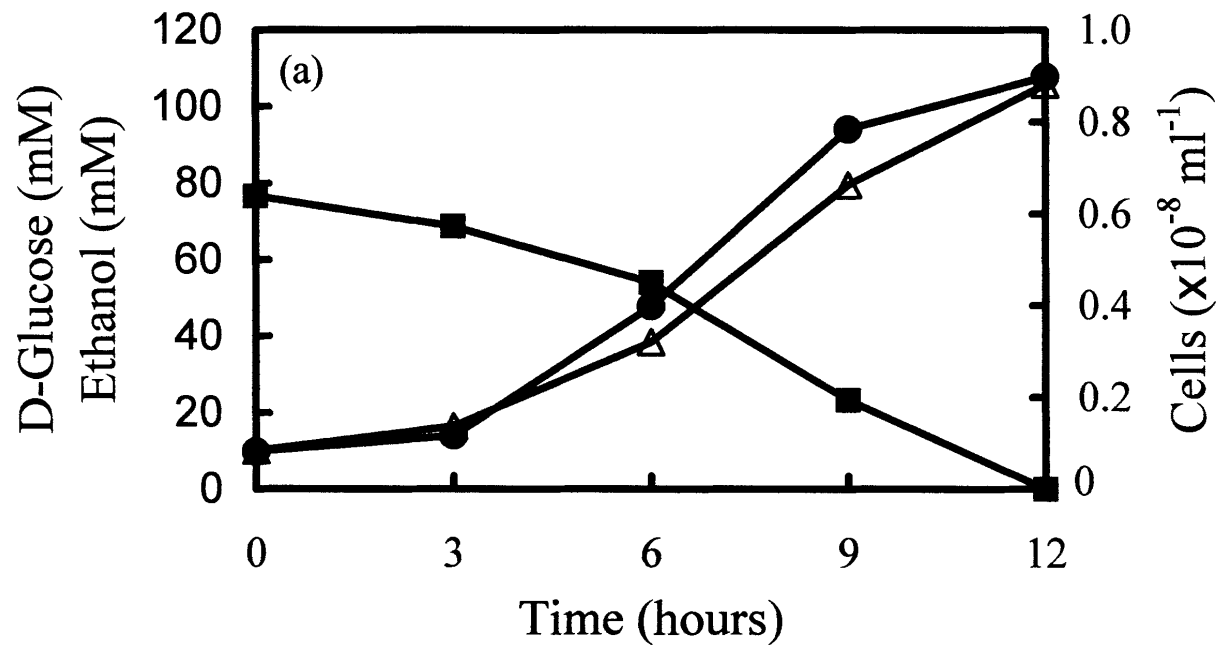
Produção de ácidos



- Acido acético
 - A partir do acetaldeído (1 g/L)
- Acido succinico
 - 0.38 (g/L)
- Acido Láctico
 - metabolismo metilglioaxal (0.5 g/L) ou diretamente pela ação da lactato desidronenase (regeneração de NAD)

BioContal

Tecnologia em Bioprocesso



Produção de acetaldeído e fluxo de metabólicos pela membrana

- Considerando a seguinte reação
 - $ACA + NADH \rightleftharpoons EtOH + NAD^+$
- Se esta reação é reversível, esta possui uma constante de equilíbrio, portanto quanto mais álcool, mais acetaldeído
- Sem controle de fluxo pela membrana, acetaldeído é eliminado da célula

Calculo de rendimento fermentativo

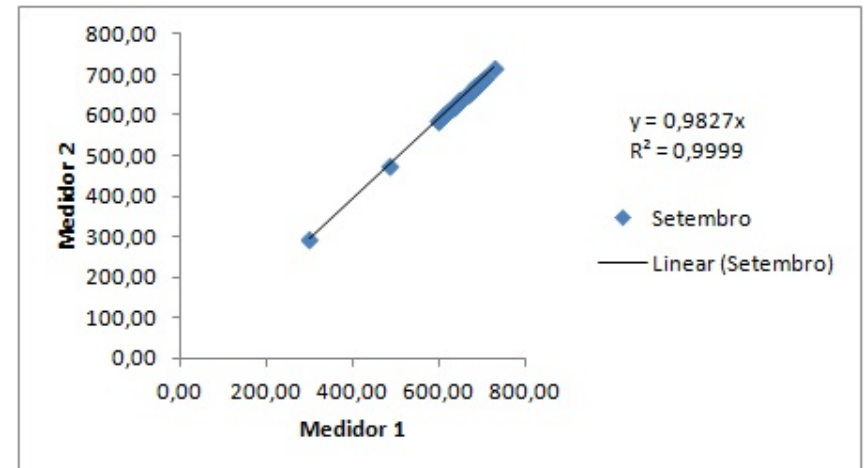
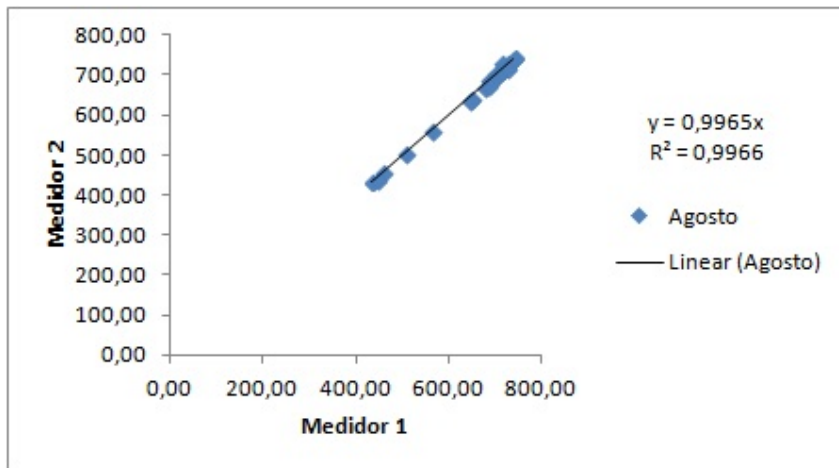


- Por subproduto
 - Baseado na produção de outros produtos que não etanol
- Por balanço de massa
 - Dorna a dorna
 - Determinação de etanol produzido e ART consumido utilizando os volumes de dornas
 - Balanço de massa global
 - Determina o álcool produzido e o ART consumido por balanço de massa global

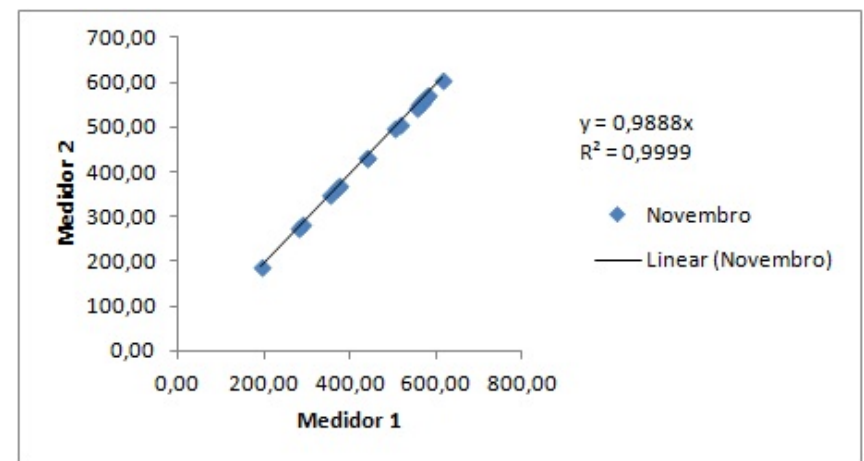
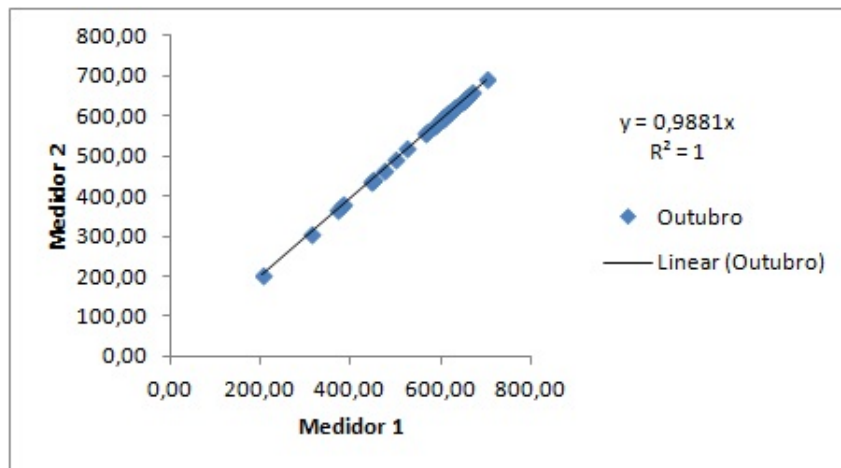
Avaliação de precisão dos medidores de vazão

- Descrição do ensaio
 - Dois medidores de vazão com diâmetros diferentes foram instalados na mesma linha de mosto
 - Valores acumulado diário foram coletados pelo programa supervisorio (pelo sinal 4 a 20 mA).
 - Os testes foram realizados por 4 meses de safra em uma destilaria autônoma.

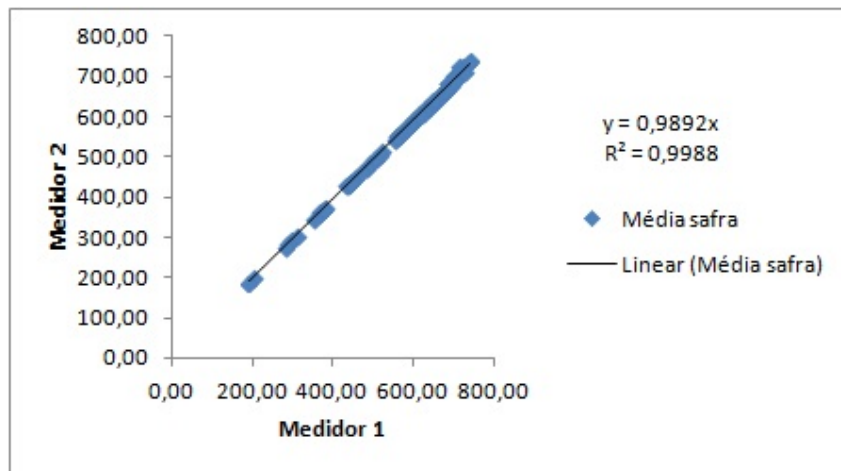
Avaliação de precisão de medidores de vazão



Avaliação de precisão de medidores de vazão



Avaliação de precisão de medidores de vazão



Avaliação do desvio dos medidores			
Mês	Medidor 1 (L)	Medidor 2 (L)	Desvio (%)
Agosto	1000	996,5	0,35
Setembro	1000	982,7	1,73
Outubro	1000	988,1	1,19
Novembro	1000	988,8	1,12
Média	1000	989,2	1,08

Avaliação de precisão de medidores de vazão

Avaliação do Rendimento Fermentativo			
Mês	Medidor 1 (%)	Medidor 2 (%)	Desvio (%)
Agosto	90,02	90,36	0,38
Setembro	90,02	91,60	1,76
Outubro	90,02	91,10	1,20
Novembro	90,02	91,04	1,13
Média	90,02	91,00	1,09

Resultado final Safra									
Mês	Cana Moída (ton)	Massa ART entrado Industria (ton)	Massa ART Entrado fermentação (ton)	Massa ART recuperado em etanol (ton)	Etanol teórico (m3)	Etanol Prod. Fermentação (m3)	Rendimento fermentativo (%)	Eficiência Área 01	Eficiência industrial (%)
Março	101.384,64	11.062,13	10.425,32	8.960,46	6.750,39	5.804,80	85,99	94,24	81,0012101
Abril	626.067,09	82.644,17	74.914,09	68.441,60	48.506,87	44.376,91	91,49	90,65	82,8147947
Mai	745.196,46	104.602,42	93.786,75	88.202,91	60.726,92	57.152,96	94,11	89,66	84,3220512
Junho	678.252,03	98.766,97	88.561,44	83.590,81	57.343,53	54.166,44	94,46	89,67	84,6343811
Julho	729.250,39	109.393,34	97.435,91	92.879,24	63.089,75	60.200,93	95,42	89,07	84,9039278
Agosto	631.418,19	104.971,91	93.736,74	90.092,07	60.694,54	58.362,83	96,16	89,30	85,8249351
Setembro	601.026,32	100.184,34	88.698,95	83.115,77	57.432,57	53.888,27	93,83	88,54	82,9628303
Outubro	513.003,81	81.208,55	73.627,95	67.248,63	47.674,10	43.562,35	91,38	90,67	82,8097821
Novembro	233.226,60	29.085,45	26.744,63	24.595,75	17.317,15	15.933,01	92,01	91,95	84,5637749
Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Janeiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Média safra	4.858.825,53	721.919,28	647.931,77	607.127,24	419.535,82	393.448,48	93,78	89,75	84,0990473

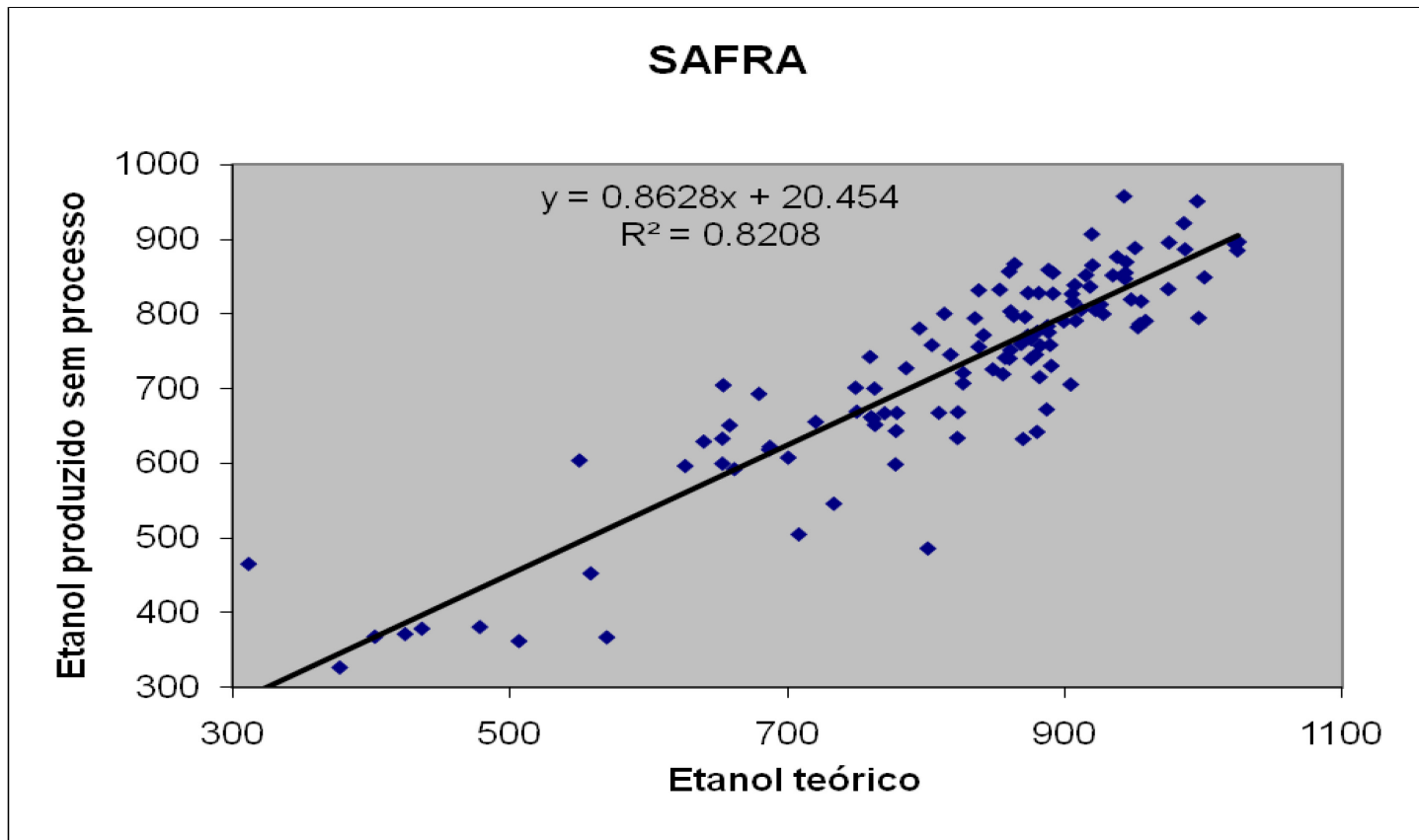


Avaliação de estabilidade de processo utilizando dados de balanço

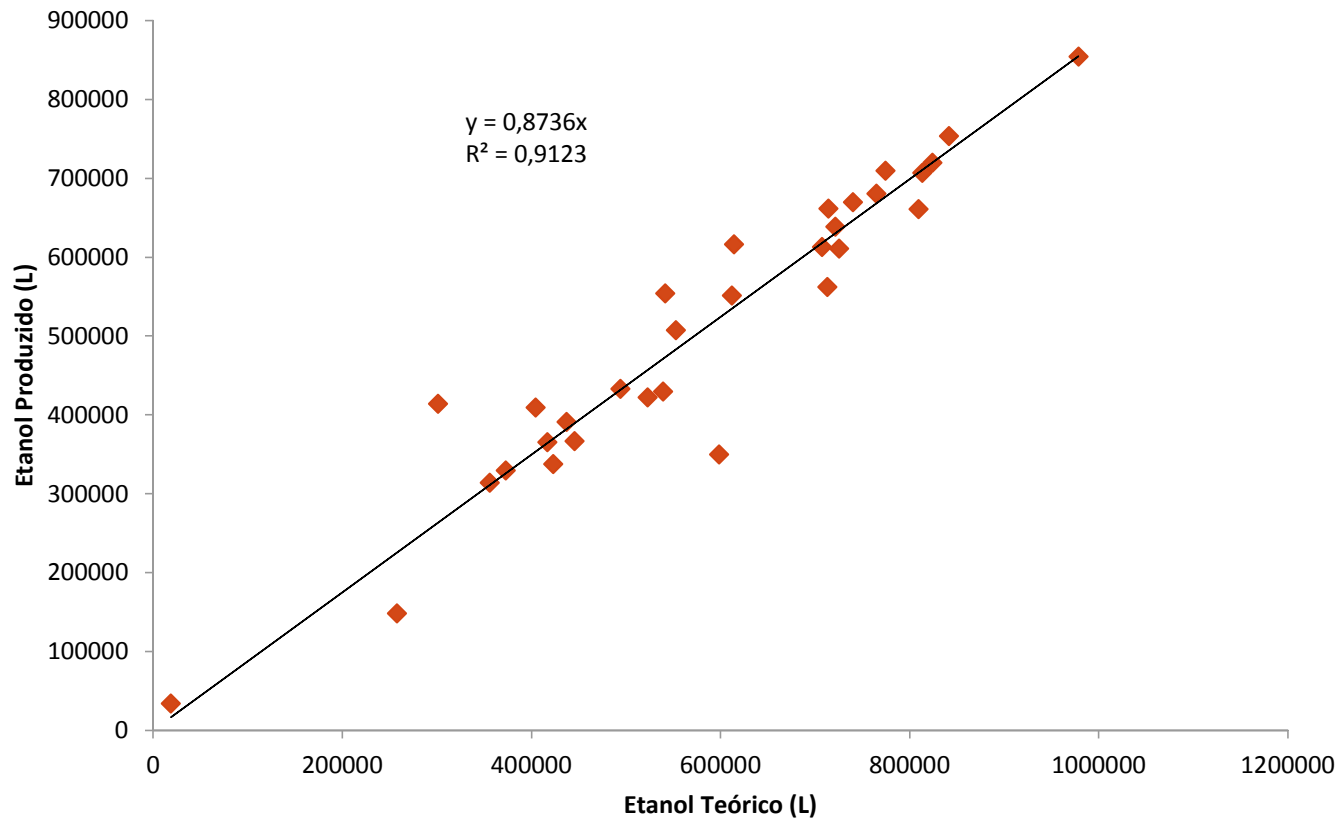
Silvio Roberto Andrietta

BioContal
Tecnologia em Bioprocesso

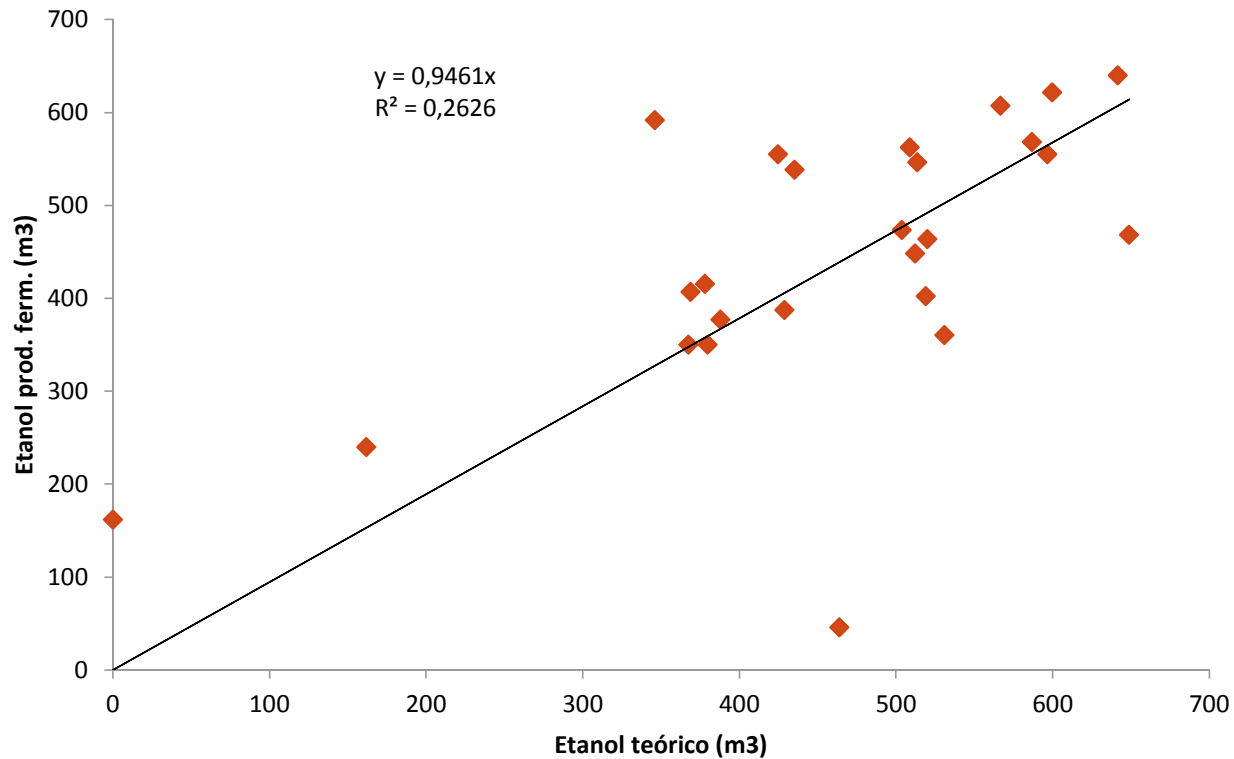
Avaliação de estabilidade operacional utilizando dados de balanço de massa



Avaliação de estabilidade operacional utilizando dados de balanço de massa



Avaliação de estabilidade operacional utilizando dados de balanço de massa





SIMAD – Sistema de Monitoramento a Distância

Silvio Roberto Andrietta

BioContal
Tecnologia em Bioprocesso

SIMAD

- Programa que calcula o rendimento fermentativo, eficiência industrial, eficiência objetiva e relativa.
- Depois de cadastrado no sistema, os dados são alimentados diretamente pela unidade, sem nenhuma interferência da BioContal
- Fornece relatório com os resultados imediatamente após a alimentação dos dados.

BIOCONTAL

Tecnologia em Bioprocesso

SIMAD

- Permite a comparação de sua unidade com as demais, utilizando a eficiência relativa industrial Biocontal
- Fornece dados de estabilidade operacional global e do processo fermentativo
- Acesso pela página www.biocontal.com.br
- Para clientes, fornece relatório comentado após minha avaliação.

Biocontal

Tecnologia em Bioprocesso