



DESEMPENHO DE PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR

T. S. NUNES¹, J. R. D. FINZER²

^{1,2} Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

RESUMO – No Brasil existem muitas usinas que utilizando cana-de-açúcar produzem açúcar e álcool e cogeração de energia, com preocupação com o meio ambiente e gerando milhares de empregos diretos e indiretos. O objetivo deste trabalho foi elaborar o balanço de massa e energia de uma usina sucroalcooleira localizada no Triângulo Mineiro, com dados baseados na safra 2017, a qual tem contribuído significativamente para a produção de açúcar e álcool no Estado de Minas Gerais. Nos balanços aplicados à produção de açúcar, álcool e energia foi utilizado o software (Pim's) o qual é usado diariamente na usina para identificação da produção, perdas e rendimentos.

1. INTRODUÇÃO

O processo de produção de açúcar, álcool e cogeração de energia contribuem muito para a economia da região do Triângulo Mineiro. Um número cada vez maior de usinas que estão em um processo de desenvolvimento com implantação de processos automáticos de controle. Do plantio da cana-de-açúcar até à colheita, todo processo é 100% mecanizado. O maquinário de última geração proporciona o manejo de uma matéria-prima de altíssima qualidade.

A elaboração deste trabalho baseia-se em uma Usina que possui em seu processo industrial uma moenda de 6 ternos automatizados com capacidade de moagem de aproximadamente 21 mil toneladas por dia. No tratamento de caldo existem, um para a produção do açúcar com capacidade de 1200 m³/h, já o segundo voltado para a produção de etanol com capacidade de 1150 m³/h, ambos possuem balão flash para eliminar os gases que prejudicam a decantação, além de 8 trocadores de calor, treze aquecedores e um balão de expansão. A Figura 1 consiste em uma vista de uma usina sucroalcooleira.

Na evaporação são 4 pré-evaporadores e 6 evaporadores. Na fábrica são 6 cozedores, 5 centrifugas automáticas e 2 manuais e 1 secador, A fermentação contém 5 centrífugas, 3 cubas, 6 dornas, 2 tanques de mel, 1 dorna volante e 1 tanque pulmão. Na destilaria, a capacidade da destilação é de 800 m³/dia, existem 4 tanques de estocagem de álcool de 20.000 m³ cada e 3 tanques de vinhaça.

O balanço de massa e de energia na unidade é complexo e de fundamental importância para treinamento científico no processo produtivo.



Figura 1: Imagem de uma indústria sucroalcooleira.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 DADOS HISTÓRICOS

A cana-de-açúcar pertence à família das Gramíneas, gênero *saccharum* L. Existem evidências históricas de que a cana-de-açúcar foi descoberta na Índia Ocidental, por um dos oficiais de Alexandre “O Grande”, em 325 anos antes de Cristo. No Brasil, a cana foi introduzida logo após o seu descobrimento. A cana foi a matéria-prima que alimentou a mais importante indústria no País por longo período. Perdeu-se a hegemonia quando se desenvolveu bastante a cultura em Louisiana, na América Central e Antilhas e quando se intensificou a cultura da beterraba na Europa. O plantio brasileiro passou, então, a visar apenas o consumo interno, até cerca de 1880. Em 1887 foi instalado o Engenho Central, no Estado do Rio de Janeiro que marcou o início da modernização da indústria açucareira no Brasil. Em 1971 já existiam 215 usinas no País.

2.2 PREPARO, MOAGEM E CLARIFICAÇÃO DO CALDO

O transporte da cana até a usina, no Brasil, é predominantemente do tipo rodoviário, com o emprego de caminhões que carregam cana inteira (colheita manual) ou picada em toletes de 20 cm a 25 cm (colheita mecânica). Os caminhões são pesados antes e após o descarregamento. Algumas cargas são aleatoriamente selecionadas e amostradas. A amostragem é importante para possibilitar os ensaios necessários para o controle do processo e determinar o valor a ser pago ao fornecedor de cana pelo “Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (PCTS)”. A % mínima de cana a ser amostrada em relação ao total de cana entregue depende da quantidade de cana entregue pelo fornecedor.

Uma mesa alimentadora recebe as cargas de cana do estoque, ou diretamente dos caminhões, transferindo-as para esteiras metálicas que conduzem a cana até as moendas, passando, antes, pelo sistema de preparo. Nesse sistema a cana é preparada para ser enviada ao desfibrador. O desfibrador é constituído por um conjunto de martelos oscilantes forçando a passagem da cana por uma pequena abertura (1 cm) ao longo de uma placa desfibradora. Moendas são equipamentos destinados à



extração do caldo de cana, constituídos basicamente, por três cilindros (terno) sustentados. No processo utilizam-se de 3 a 7 ternos em série, formando o conjunto de moendas. As camisas são dotadas de ranhuras, que têm a função de facilitar a extração do caldo.

O caldo de cana contém 80 a 85% de água; 10 a 19% de sacarose; 0,3 a 2,5% de açúcares redutores, glucose e frutose; 0,8 a 1,5% de não açúcares, envolvendo ácidos orgânicos como o oxálico, tânico, málico; nitrogenados, amidas, amidas ácidas, substâncias corantes e pequena quantidade de matérias minerais e, ainda, graxas, ceras, resinas, gomas e pectinas. A calagem trata da etapa de adição do leite de cal Ca(OH)_2 , elevando seu pH na ordem de 6,8 a 7,2 objetivando o controle do pH final. No tratamento do caldo segue a sedimentação e a filtração do sedimentado.

2.3 EVAPORAÇÃO DO CALDO, COZIMENTO E CRISTALIZAÇÃO

Em função do grau de embebição, o caldo misto clarificado na alimentação da evaporação possui uma concentração entre 14 e 17° Brix. O caldo clarificado chega à evaporação com cerca de 83 a 86% de água (DELGADO e CESAR, 1976). A cristalização é definida como o fenômeno físico-químico que consiste na formação da fase cristalina. O fenômeno de cristalização envolve três etapas: (1) estabelecimento da força motriz, (2) formação do núcleo do cristal, e (3) crescimento (MULLIN, 1972), resultado do cozimento e cristalização. Após a turbinagem segue-se a secagem da sacarose.

2.4 FERMENTAÇÃO E DESTILAÇÃO

No Brasil, além do açúcar e do melaço, que é um subproduto da produção do açúcar, o caldo da cana é utilizado também na produção de álcool. O álcool é obtido após a fermentação do caldo ou de uma mistura de melaço e caldo, em um processo bioquímico (COPERSUCAR 2007). O vinho proveniente da fermentação possui, em sua composição, 7° a 10°GL (% em volume) de álcool, além de outros componentes de natureza líquida, sólida e gasosa. Além do álcool e a água com teores de 89% a 93%, glicerol, álcoois homólogos superiores, furfural, aldeído acético, ácido succínico e ácido acético. Já os sólidos são representados por bagacilhos, leveduras e bactérias, açúcares não-fermentescíveis, sais minerais, matérias albuminoides e gasosos: CO_2 e SO_2 (COPERSUCAR, 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho é um estudo exploratório do balanço de massa e energia de uma usina sucroalcooleira. Para a análise completa da eficiência produtiva industrial da usina é necessário usar dados como mostrado nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, provenientes de análises realizadas em laboratório da operação da usina durante a safra 2017.

Na Equação (1) tem-se o cálculo do ART% cana, que indica a quantidade de açúcar que está entrando na usina. Na Equação (2) tem-se o cálculo do Rendimento Geral da Destilaria, que indica a média de quanto está sendo o rendimento da fermentação e da destilaria. Na Equação (3) tem-se o cálculo da Eficiência Industrial ART, que indica o quanto está tendo de açúcar na produção de açúcar e quanto tem de açúcar na produção de álcool e o que tem de açúcar no processo, dividindo tudo sobre o que foi alimentado de açúcar na usina.



$$ART \% \text{ cana} = (\text{Pol} \% \text{ Cana PCTS} / 0,95) + \text{AR} \% \text{ Cana PCTS} \tag{1}$$

$$\text{Rendimento Geral Destilaria} = (\text{Eficiência na Fermentação} \cdot \text{Eficiência da Destilação}) / 100 \tag{2}$$

$$\text{Eficiência Industrial ART} = (\text{Kg ART recuperado no açúcar} + \text{Kg ART recuperado no álcool} + \text{Kg ART recuperado em processo}) / (\text{kg de ART entrado na cana}) * 100 \tag{3}$$

sendo:

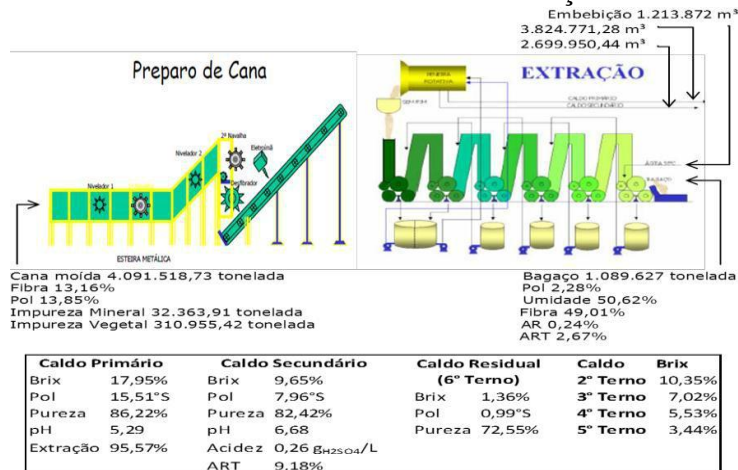
kg ART recuperado no álcool = (Volume álcool 100%(l)) / 0,6475

kg ART recuperado no açúcar = (Produção de açúcar 100% (sc) x 50+ delta processo) /0,95)

kg de ART entrado na cana = Cana Moída entrada · %ART Cana

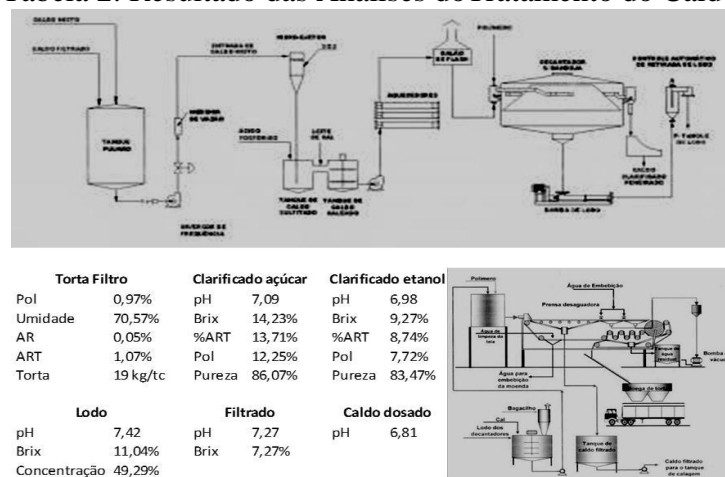
ART Perdas Totais = ((ART Entrada (cana moída x ART caldo prensa) - ART Recuperado) / ART entrada) x 100

Tabela 1: Resultado das Análises da Extração da Cana.



Autor: Acervo, 2018.

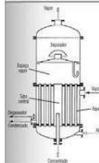
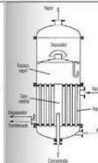
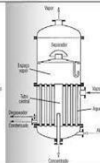
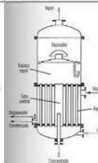
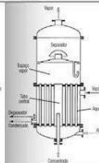
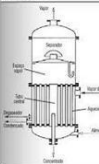
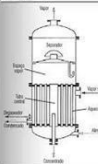
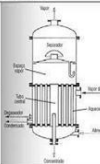
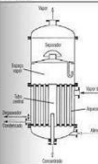
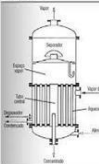
Tabela 2: Resultado das Análises do Tratamento do Caldo.



Autor: Acervo, 2018.

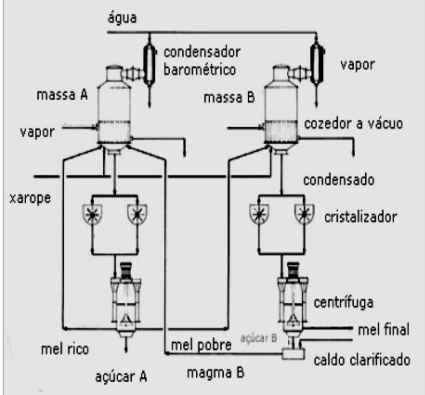


Tabela 3: Resultado das Análises da Evaporação.

					
	Pré 1	Pré 2	Pré 3	Pré 4	Caixa 1
Brix	19,39	21,22	23,44	26,36	30,02
Pressão (kgf/cm²)	1,5	1,5	1,5	1,5	0,850
Temperatura (°C)	115	115	115	115	110
					
	Caixa 2	Caixa 3	Caixa 4	Caixa 5	Caixa 6
Brix	33,16	37,79	44,40	52,59	60,74
Pressão (kgf/cm²)	0,850	0,850	0,35	0,07	-14 pol (vácuo)
Temperatura (°C)	110	110	96	90	82

Autor: Acervo, 2018.

Tabela 4: Resultado das Análises da Fábrica de Açúcar.

		
Massa A		Mel Rico
Brix 90,67%		Brix 78,73%
Pol 77,80%		Pol 59,14%
Pureza 85,81%		Pureza 75,15%
Massa B		Mel Pobre
Brix 90,95%		Brix 80,46%
Pol 65,82%		Pol 57,63%
Pureza 72,37%		Pureza 71,67%
Magma		Mel Final
Brix 90,73%		Brix 78,22%
Pol 85,84%		Pol 46,14%
Pureza 94,61%		Pureza 59,06%
	Açúcar VHP	
Pol 99,28 °Z	Cinzas 0,086%	Glicerol/ART 2,27%
Cor 808 U.I.	Dextrana 18,44 mg/kg	AM 0,87 mm
Umidade 0,09%	Amido 227,51 mg/kg	CV 23,97%

Autor: Acervo, 2018.

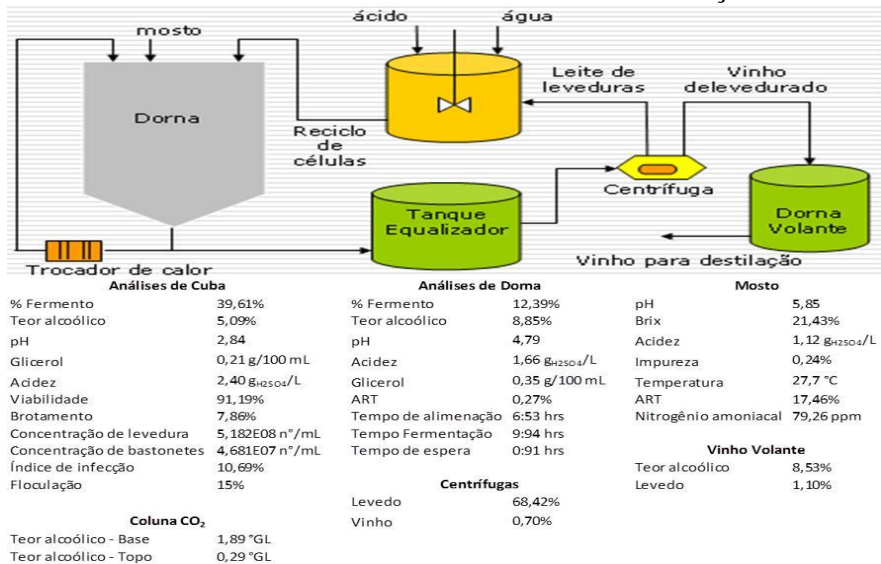
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O controle do processo é feito, tendo como suporte os princípios básicos de observação e medidas que integram a análise do sistema, possibilitando a interpretação dos resultados, e a consequente tomada de decisão. O conjunto de operações de medidas, análises e cálculos feitas sobre as diversas fases dos processos, constituem o que se denomina “Controle Químico”. Todas as etapas do processo são monitoradas de análises laboratoriais de modo a assegurar a qualidade final dos produtos. Os técnicos são submetidos a treinamentos específicos, capacitando-os a conduzir o processo de forma segura e responsável, garantindo a qualidade final de cada etapa que envolve a



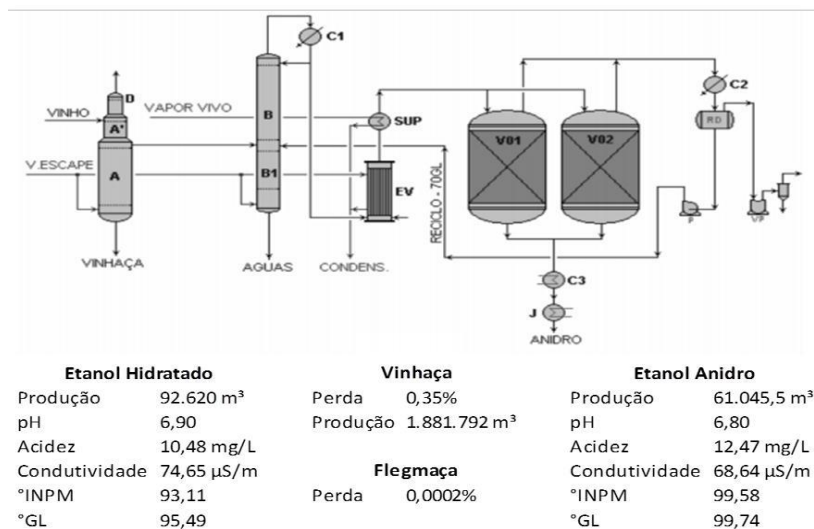
fabricação de açúcar e álcool.

Tabela 5: Resultado das Análises da Fermentação.



Autor: Acervo, 2018.

Tabela 6: Resultado das Análises da Destilaria.



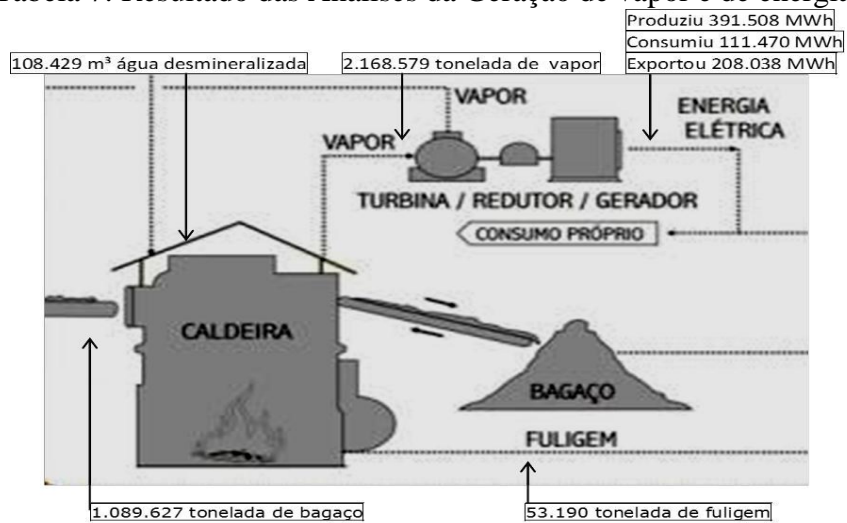
Autor: Acervo, 2018.

Usando o software (Pim's) usando todos os resultados apresentados nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 e através das suas Equações (1), (2) e (3), obteve-se os resultados mostrados na Tabela 8, que mostra ter alcançado as metas de moagem, ART % Cana, atingir as produções de açúcar e álcool e venda de energia elétrica, conseguindo assim um bom rendimento, ou seja, uma melhor eficiência industrial, através de uma boa administração envolvendo diretores, coordenadores e colaboradores de



toda a empresa, com comprometimento, responsabilidade e segurança.

Tabela 7: Resultado das Análises da Geração de vapor e de energia.



Autor: Acervo, 2018.

Tabela 8: Resultados das Metas e do Realizado durante a Safra 2017.

SAFRA 2017	META	REALIZADO
Moagem (ton)	3.800.000	4.091.518
Dias	223	242
Eficiência de moagem %	87,88	91,43
Dias efetivos	193	215
ATR kg/tc	135	139
Etanol hidratado m ³	84.734	92.620
Etanol anidro m ³	52.027	61.045
Açúcar ton	286.476	316.300
Eficiência industrial ART %	90	90,55
Energia vendida MWh	260.000	280.038

Autor: Acervo, 2018.



5. CONCLUSÕES

É importante ressaltar que o rendimento de uma destilaria depende de uma série de fatores, como: qualidade da cana; eficiência de lavagem; preparo para moagem; assepsia da moenda e condução do processo fermentativo. O uso de peneiras moleculares traz redução considerável no consumo de energia, baixo consumo de água de resfriamento e vapor de aquecimento, produção de etanol de alta qualidade (sem traços de desidratante), utilização do vapor vegetal (sobra do sistema) e aceitabilidade do etanol com qualidade internacional, sobretudo, por ser ecologicamente correto.

Como resultado do controle químico do processo os resultados relevantes de produção foram em termos de ampliação de resultados: 7,7% em toneladas de cana na moagem; 9,3% de etanol hidratado; 17,3% de etanol anidro; 10,4% em toneladas de açúcar e 7,7% em energia comercializada.

6. REFERÊNCIAS

CERIBELI, E. **Recepção, preparação, moagem, difusão e clarificação do caldo**. Módulo VI. Processamento na Indústria Sucroalcooleira. Uberaba: FAZU. 2007. Vol I e II.

COOPERSUCAR. **Fundamentos de processamento de açúcar e álcool**. Piracicaba: CTC, 2004. CD ROM.

DELGADO, A. A.e CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Vol I II III. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, 1976. 1061 p.

NETO, W.L.M. Módulo V. Balanço de massa e energia na indústria sucroalcooleira. Processamento na Indústria Sucroalcooleira. Uberaba: FAZU. 2007. Vol I e II. **Faculdades Associadas de Uberaba – FAZU. Fabricação do açúcar e do álcool - Prof. José Roberto Delalibera Finzer 70 p.**

PIMS, **Plant Information Management System**. Disponível em: www.grupovision.com.br/servicos/pims/. Acesso em: 18 nov. 2018.

7. AGRADECIMENTOS

OS AUTORES AGRADECEM À FAPEMIG PELO APOIO PRESTADO.

Uberaba, 31 de Novembro e 01 de Dezembro de 2018