



APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DE EVAPORADORES DE MÚLTIPLO EFEITO

Heitor Almeida Rogério¹, Andréa Oliveira Souza da Costa², Esly Ferreira da Costa Junior³

1. Graduando em Engenharia Química (heitor.vix@gmail.com)
2. Docente do curso de Engenharia Química
3. Docente do curso de Engenharia Química

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre, Alto Universitário, s/n, Caixa Postal 16, Guararema, Alegre, ES, BRASIL. CEP: 29500.000

Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013

RESUMO

A evaporação é uma operação unitária que tem como função concentrar uma solução pela ebulição do solvente. As aplicações mais frequentes dos evaporadores são dessalinização, concentração de suco de frutas, produção de açúcar, produção de café solúvel ou leite em pó, como também para a concentração do licor negro, proveniente da indústria de papel e celulose. Um evaporador é constituído por um trocador de calor e um dispositivo para separar a fase vapor do líquido em ebulição. Esse processo possui um intenso gasto de energia, sendo esta normalmente fornecida por uma alimentação de vapor de baixa pressão. Por esse motivo os evaporadores, normalmente, são associados num sistema de evaporadores de múltiplo efeito para obter um processo com maior eficiência energética. Nesse caso o vapor gerado de um evaporador é utilizado na alimentação de um segundo evaporador e assim por diante.

PALAVRAS-CHAVE: Evaporador, aplicação industrial, eficiência energética.

APPLICATIONS IN INDUSTRIES OF EVAPORATORS

ABSTRACT

Evaporation is a unit operation that aims to concentrate the solution by boiling solvent. The most frequent applications of the evaporators are desalting, concentration of fruit juice, sugar production, production of instant coffee or milk powder, but also to the concentration of the black liquor from the pulp and paper industry. An evaporator consists of a heat exchanger and a device for separating the vapor of the boiling liquid. This process has a high energy expenditure, which is usually provided by a steam supply low pressure. Therefore the evaporators are normally associated in a system of multiple effect evaporators to obtain a process with high energy efficiency. In this case the steam generated in an evaporator is used as feed for a second evaporator and so forth.

KEYWORDS: Evaporator, industrial applications, energy efficiency.

INTRODUÇÃO

A evaporação é a operação unitária que consiste em concentrar uma solução pela ebulição do solvente. Normalmente, suspende-se o processo de concentração antes de o soluto começar a precipitar da solução (FOUST *et al*, 1982).

Na sua forma básica, portanto, um evaporador é constituído por um trocador de calor, capaz de levar a solução à fervura, e de um dispositivo para separar a fase vapor do líquido em ebulição (FOUST *et al*, 1982).

Os evaporadores são divididos em duas grandes categorias: os de tubos longos verticais e os de tubos horizontais. Os tubos verticais podem ser divididos em de filme ascendente, de filme descendente ou de circulação forçada (MCCABE *et al*.1993).

A evaporação é um processo com um intenso gasto de energia em vários processos industriais como, por exemplo, na indústria de papel e celulose, de açúcar, de leite e de café – alimentos em geral (BHARGAVA *et al*., 2010). Por esse motivo os evaporadores, de acordo com KAYA & SARAC (2004), podem ser associados para obter um processo com maior eficiência. Nesse caso o vapor gerado de um evaporador é utilizado na alimentação de um segundo evaporador e assim por diante. Quando isso ocorre o processo de condensação é chamado de evaporação a múltiplo efeito (MCCABE *et al*.,1993).

O QUE SÃO EVAPORADORES

O objetivo do processo de evaporação é a concentração de uma solução que consiste em um soluto não volátil e um solvente volátil. Na maioria dos processos o solvente é a própria água. O processo de evaporação difere do processo de secagem em relação ao produto. Nos evaporadores o produto é líquido, às vezes até com viscosidades altas, enquanto nos secadores o produto é sólido (MCCABE *et al*.1993).

Comumente o processo de evaporação é feito com três propósitos principais: reduzir o volume e o peso do produto (consequentemente reduzir os custos de estocagem e distribuição); aumentar a estabilidade do produto reduzindo a atividade

provocada pela água, caso o solvente seja água; e ser um intermediário de um processo fabril (ADIB & VASSEUR, 2007).

Um exemplo simples de evaporador pode ser um tabuleiro contendo o líquido e colocado sobre uma chapa quente. A superfície da chapa quente é um trocador de calor simplificado, e a separação do vapor se consegue graças à grande área disponível para o escoamento do vapor, com o que se tem uma pequena velocidade de escoamento. Já nas indústrias, o equipamento é construído para operar continuamente, a superfície de troca térmica é grandemente aumentada, a ebulição é muito mais violenta e a evolução do vapor é rápida (FOUST *et al.*, 1982).

Os evaporadores de tubos verticais têm, em geral, de 3,6 a 6,1 m de comprimento, um esquema desse evaporador está apresentado na Figura 1.

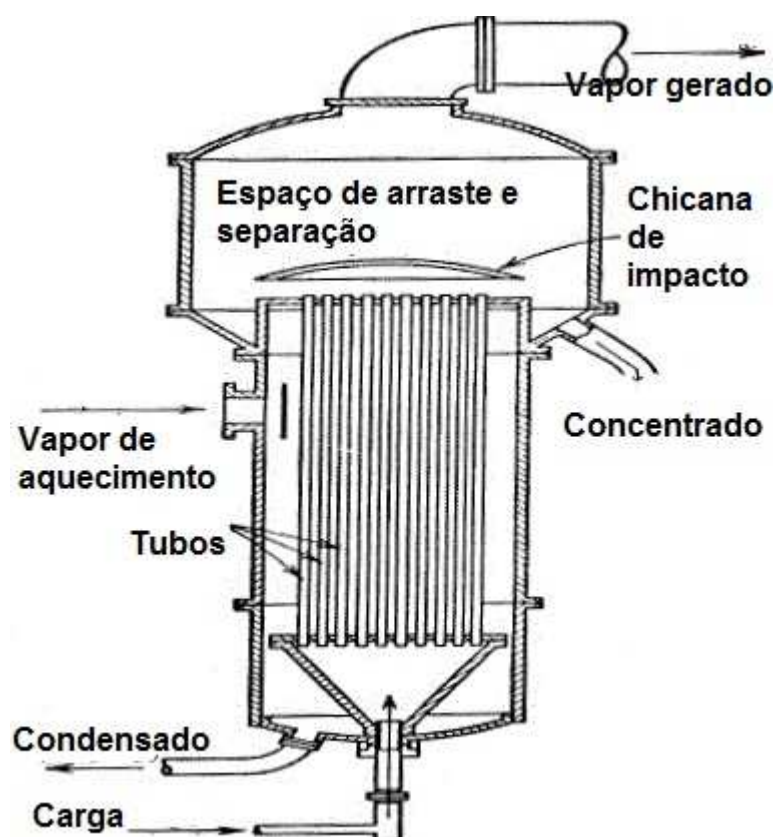


FIGURA 1: Exemplo de evaporador de tubos verticais (Fonte: Adaptado de PARAÍSO, P. R. *et al.*, 2003).

A mistura de líquido e vapor sai pelo topo dos tubos e projeta-se contra uma chicana. A velocidade do licor evaporado é suficientemente elevada para que a chicana atue como um eficiente eliminador de espuma. Para esse tipo de evaporador pode-se esperar coeficientes de troca térmica entre 1100 a 4500W/m²K (FOUST *et al.*, 1982).

De acordo com PARAÍSO *et al.*, (2003), estes evaporadores de tubos verticais são utilizados para a obtenção de óleo de soja. Nesse processo os evaporadores são instalados em série e é comum o aproveitamento de vapores saturados que saem de outro processo. O objetivo do evaporador nesse tipo de planta é concentrar a micela.

Esse tipo de equipamento também é utilizado na indústria de obtenção de

celulose. Onde o evaporador faz parte do processo de recuperação do licor negro. Nesse tipo de indústria os evaporadores também são instalados em série (FIGUEIRÊDO, 2009; CAMPOS & COSTA, 2009).

Como dito em CARVALHO *et al.*, (2009) esse evaporador apresenta um curto tempo de retenção do leite e pode operar em gradiente de temperatura baixa. Com isso o produto sofre uma agressão térmica menor, garante-se, então, um produto de melhor qualidade.

Já o evaporador de tubos horizontais é um tipo clássico de construção e durante muitos anos foi amplamente utilizado. Nele a solução a ser evaporada ferve no exterior dos tubos horizontais, dentro desses tubos o vapor de água se condensa. Os tubos horizontais interferem na circulação natural do líquido fervente e, assim, a agitação do líquido é minimizada. Por esse motivo o coeficiente de troca térmica é mais baixo do que nas outras formas de evaporadores, em especial quando as soluções possuem alta viscosidade. Os coeficientes variam entre 1100 a 2300W/m²K (FOUST *et al.*, 1982).

ONDE SE APLICAM OS EVAPORADORES

Abaixo encontra-se a importância econômica de indústrias que usam os evaporadores de múltiplo efeito. Também encontram-se explicações mais detalhadas do processo que envolve esses evaporadores.

Café solúvel

O café é uma das riquezas essenciais do Brasil. Esse produto contribui com parte substancial das divisas obtidas pelas exportações do País. Sua expansão enriqueceu São Paulo e promoveu o povoamento de várias áreas, incentivando a criação de núcleos urbanos. Atualmente, há uma forte expansão do consumo de café. Sendo o café solúvel parte desse consumo. Esse fenômeno de expansão também é observado em mercados internacionais. Estima-se que, em 2015, cerca de 50%, do consumo mundial de café, seja na forma de café solúvel. No mercado brasileiro, esse aumento de demanda decorre da crescente preferência por misturas para o preparo de *cappuccino* e da expansão das máquinas de bebidas à base de café (ABICS, 2012).

De acordo com a ABIC (2012) no período compreendido entre Maio/2011 e Abril/2012, registrou-se o consumo de 19,975 milhões de sacas, isto representa um acréscimo de 3,05% em relação ao período anterior. Na figura abaixo, Figura 2, há um gráfico que ilustra a crescente expansão desse mercado.

Evolução do consumo interno de café no Brasil

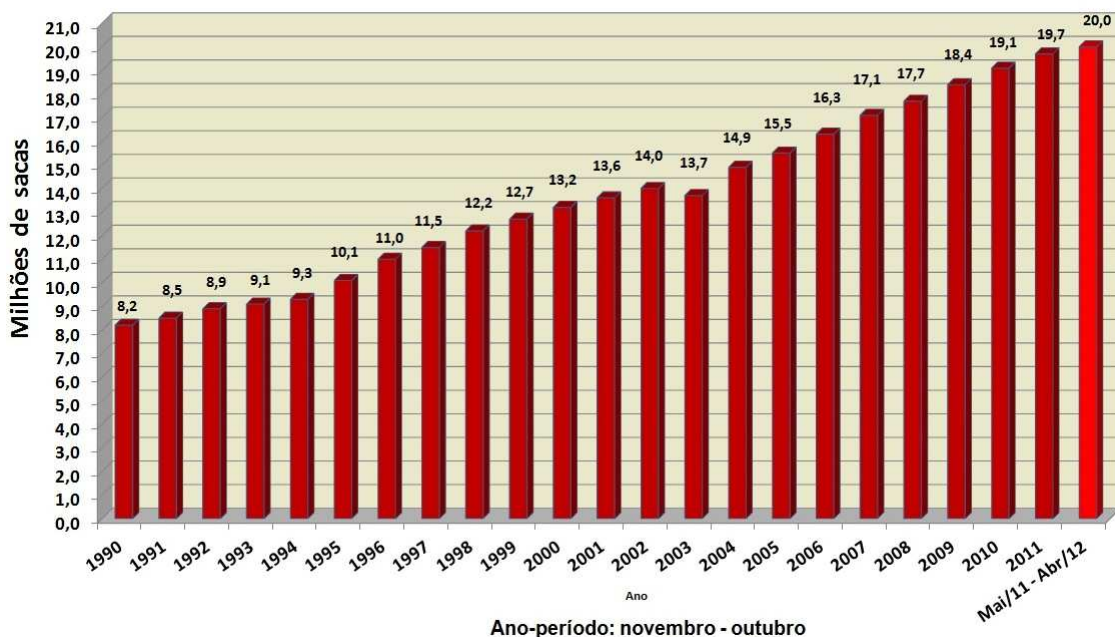


FIGURA 2: Consumo interno de café no Brasil (Fonte: ABIC, 2012).

MÊS	2012			2011			Acum/6 meses		Acum/12 meses	
	Receita	Volume	P.Médio	Receita	Volume	P.Médio	Receita	Volume	Receita	Volume
Janeiro	559.167	1.951.567	286,52	562.831	2.587.517	217,52	4.432.964	15.488.067	7.996.751	29.217.483
Fevereiro	532.176	1.990.450	267,36	580.088	2.481.300	233,78	4.242.352	14.886.033	7.948.839	28.726.633
Março	510.749	1.996.517	255,82	641.646	2.526.850	253,93	3.976.379	14.217.817	7.817.942	28.196.300
Abril	436.050	1.755.950	248,33	603.776	2.306.633	261,76	3.586.366	13.106.467	7.650.216	27.645.617
Mai	427.415	1.815.550	235,42	658.844	2.397.833	274,77	3.210.227	12.138.867	7.418.787	27.063.333
Junho	365.681	1.685.350	216,98	592.321	2.204.600	268,68	2.831.238	11.195.383	7.192.147	26.544.083
Sub-total	2.831.238	11.195.383	252,89	3.639.506	14.504.733	250,92				
Julho	376.173	1.822.050	206,46	487.112	1.812.200	268,80	2.644.580	10.429.917	7.081.208	26.553.933
Agosto	465.101	2.280.883	203,91	722.788	2.592.483	278,80	2.529.593	10.229.500	6.823.521	26.242.333
Setembro	411.489	1.968.533	209,03	776.722	2.664.733	291,48	2.299.436	9.671.183	6.458.288	25.546.133
Outubro				826.063	2.867.300	288,10				
Novembro				803.554	2.783.150	288,72				
Dezembro				744.670	2.628.833	283,27				
Sub-total	1.252.763	6.071.467	206,34	4.360.909	15.348.700	284,12				
TOTAL	4.084.001	17.266.850	236,52	8.000.415	29.853.433	267,99				

FIGURA 3: Médias de exportação de café brasileiro (Fonte: ABIC, 2012).

Na Figura 3, têm-se alguns dados, tabelados, referentes à exportação de café. Sendo o volume em sacas de 60 Kg, a receita em mil US\$ e preço médio em US\$ por saca.

A produção do café solúvel começa a partir da seleção dos grãos, esses devem possuir requerimentos para que o produto seja de boa qualidade. Esses grãos de café são encaminhados para os torrefadores. Esses grãos são torrados para assegurar que no final do processo de fabricação do café solúvel tenha-se o máximo de retenção do aroma. Depois de torrado, passa-se por um processo de granulação. Nesse processo os grãos torrados são fragmentados. O café então passa por um processo de extração. Nesse processo os grãos de café são percolados em água quente, para melhor compreensão, é um processo semelhante ao do coador doméstico. A solução, resultante do processo de extração, é

concentrada. Por fim, depois de concentrado os grãos de café passam por um processo de secagem (IGUAÇU, 2012). A Figura 4 mostra um esquema geral do processo de produção do café solúvel.

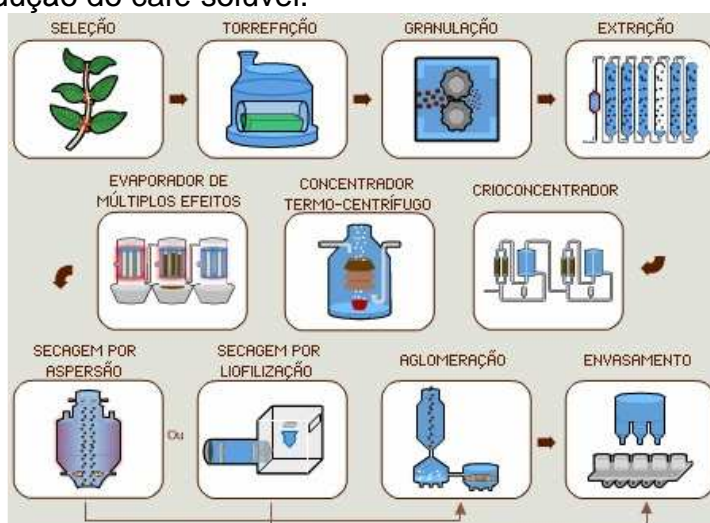


FIGURA 4: Esquema geral do processo de produção do café solúvel (Fonte: IGUAÇU, 2012).

O processo de concentração é dividido em duas etapas. Na primeira é feita uma recuperação de aromas, utilizando um evaporador de simples efeito, no qual os compostos voláteis são retirados e condensados para que possam ser reincorporados ao café desaromatizado depois de concentrado (CLARKE, 2001).

Na segunda etapa, desse processo de concentração, é utilizado um sistema de evaporadores de múltiplo efeito. A evaporação ocorre, geralmente, em evaporadores filme descendente ou de placas. Esse processo deve ocorrer a temperaturas entre 50 e 60°C, para evitar danos ao extrato de café. Frequentemente, pelo mesmo motivo, utiliza-se três ou quatro estágios para permitir economia de energia. O extrato inicia esta etapa com aproximadamente 20% de substâncias sólidas e ao final atinge 50% de sólidos (SCHUINA, 2009).

De acordo com IGUAÇU (2012), no processo de concentração, pode-se usar para concentrar o café, além de evaporadores de múltiplo efeito, concentrador termo-centrífugo e crioconcentrador. O crioconcentrador opera a temperaturas abaixo de 0°C.

Infelizmente, não se podem encontrar muitos dados sobre esse processo, acredita-se que a causa disso seja que esses dados, normalmente, são segredos industriais.

Leite em pó

O leite em pó, sob o ponto de vista econômico, possui grande importância. Em 1997, o Brasil importou mais de US\$ 400 milhões em produtos lácteos. Sendo que aproximadamente 60% deste valor foram de leite em pó, mostrando o potencial deste mercado consumidor dentro do País. Não só há um grande consumo de leite em pó no comércio varejista, mas também em escolas, pois o leite em pó integral é utilizado largamente na merenda (INMETRO, 1998).

Na Tabela 1, tem-se dados sobre a importação e exportação de leite no ano de 2011, os dados da tabela são encontrados no site da MilkPoint.

TABELA 1: Exportação e importação do leite em pó integral.

2011	Volume (kg)			Valor (US\$)		
	Exportação	Importação	Saldo	Exportação	Importação	Saldo
Dezembro	26.916	3.047.710	- 3.020.794	185.017	11.943.640	- 11.758.623
Novembro	5.760	3.682.680	- 3.676.920	37.454	14.891.858	- 14.854.404
Outubro	9.314	3.594.280	- 3.584.966	58.263	14.564.145	- 14.505.882
Setembro	26.754	6.319.795	- 6.293.041	182.205	26.116.470	- 25.934.265
Agosto	5.313	4.750.080	- 4.744.767	30.739	19.621.941	- 19.591.202
Julho	35.161	3.549.240	- 3.514.079	220.562	15.258.525	- 15.037.963
Junho	15.305	2.846.312	- 2.831.007	93.048	12.199.204	- 12.106.156
Maiο	504.104	5.367.286	- 4.863.182	2.176.145	22.402.915	- 20.226.770
Abril	511.682	5.395.180	- 4.883.498	2.223.829	20.550.696	- 18.326.867
Março	30.915	3.017.190	- 2.986.275	160.552	11.178.460	- 11.017.908
Fevereiro	5.170	5.847.426	- 5.842.256	31.978	21.619.549	- 21.587.571
Janeiro	8.774	7.358.118	- 7.349.344	45.398	26.629.788	- 26.584.390

No processo de produção de leite em pó, o leite recebido é refrigerado a uma temperatura entre 3°C e 5°C em recipientes isotérmicos de aço inox até que seja enviado ao processo de fabricação. O leite, antes de começar o processo propriamente dito, é padronizado quanto ao seu teor de gordura. Essa padronização é feita com o objetivo de assegurar a composição correta do produto final. Em seguida o leite é pré-aquecido e pasteurizado a 75°C durante 15 segundos, sendo estocado em recipientes inox a uma temperatura de 5 a 7°C (ITAMBÉ, 2012).

O leite padronizado segue para a concentração. Através de aquecedores tubulares é pasteurizado, novamente, a 85/90 °C por 40 segundos e vai para o conjunto de evaporadores de três efeitos. O conjunto consiste na evaporação de parte da água do leite. O leite possui em média 87% de água e após este processo o valor cai para aproximadamente 57% (ITAMBÉ, 2012).

O leite concentrado ao chegar a uma concentração de sólidos de 43% é imediatamente bombeado a uma torre de secagem. Nessa torre o leite é pulverizado em seu interior contra um fluxo de ar quente a 175 °C. Esse ar quente entra em contato com o leite pulverizado, que está na forma de gotículas. O ar quente absorve umidade das gotículas de leite e ao alcançarem o fundo da câmara estão na forma de leite em pó. O ar quente, normalmente, pode ainda conter leite. Por esse motivo esse ar é transportado para os ciclones de separação, onde a porção sólida do leite remanescente é separada do ar. Depois o pó resultante, saído do ciclone de

separação, se junta com o pó que sai do fundo da câmara de secagem (ITAMBÉ, 2012).

No sistema de evaporadores de múltiplo efeito, normalmente, trabalha-se com valores de temperatura de 66 a 68°C para o primeiro efeito e 45 a 47°C para o último efeito. O gradiente de temperatura de 21°C se divide entre o número de efeitos (normalmente de 4 a 6 efeitos) do sistema de evaporação acarretando menores alterações físico-químicas ao produto (EARLY, 2000).

Considerando que o leite é praticamente água e que está saturado pode-se prever a pressão que o leite se encontra. Isso é possível por meio de tabelas de saturação. Conforme pode ser observado em tabelas de pressão de vapor (HIMMELBLAU & RIGGS, 2006), para o primeiro efeito a pressão está entre 27,18kPa a 28,50kPa, enquanto que no segundo efeito varia de 9,58kPa a 10,54kPa. Observa-se que estes valores de pressão são inferiores à pressão atmosférica padrão (101,323kPa) e portanto algum tipo de bomba de vácuo deve ser empregado. Na Figura 5 é mostrado um esquema geral da produção do leite em pó.

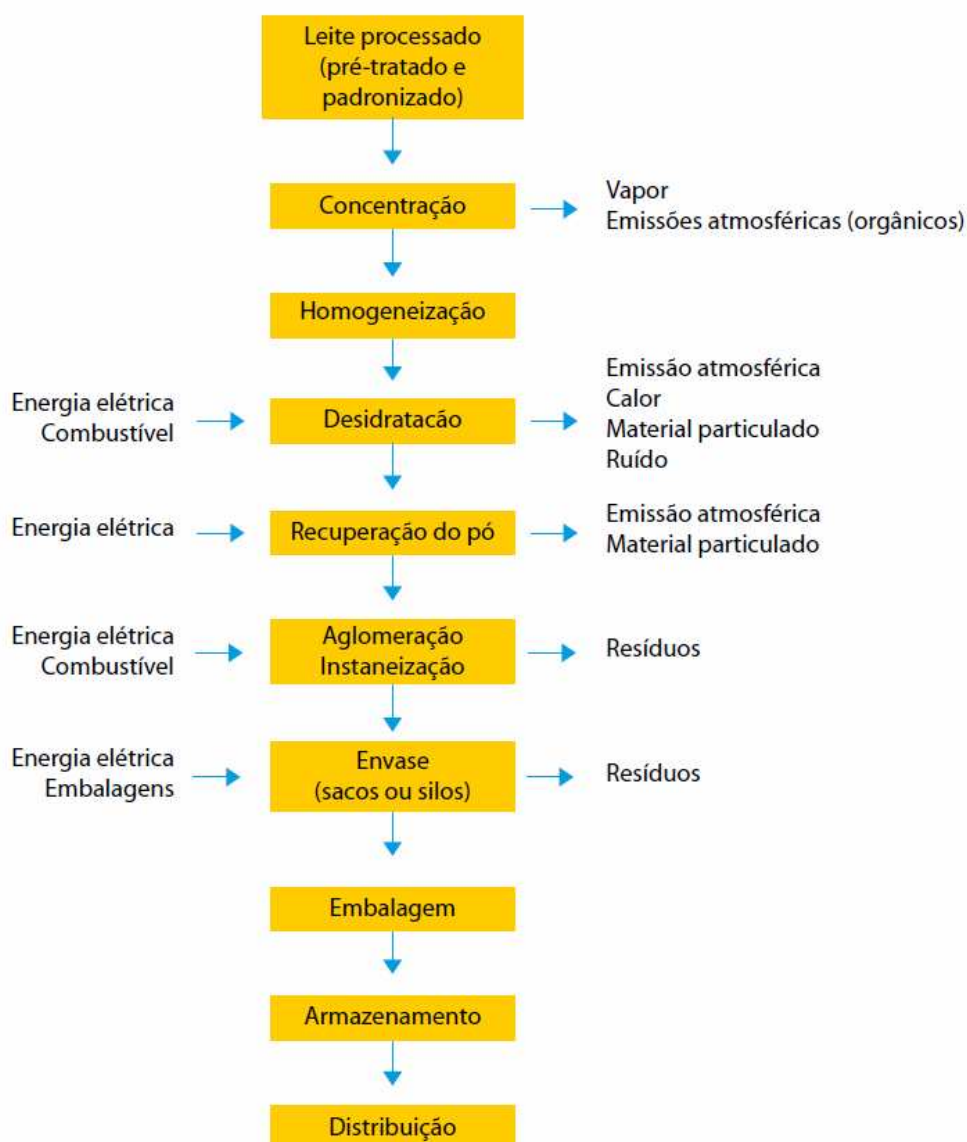


FIGURA 5: Esquema geral do processo de fabricação do leite em pó (Fonte: MAGANHA, 2008).

Açúcar

De acordo com a UNICA (2012), o Brasil é um grande exportador de açúcar, sendo a China um dos maiores compradores. As Tabelas 2 e 3, retiradas do site dessa organização, quantiza o que foi falado.

TABELA 2: Exportação de açúcar.

Mês	2011/2012		2012/2013		Variação (%)	
	Qtd. (t)	Valor (US\$ mil)	Qtd. (t)	Valor (US\$ mil)	Qtd. (t)	Valor (US\$ mil)
Abr	1.302.695	811.025	548.592	319.707	-58%	-61%
Mai	1.599.524	906.483	1.729.668	967.064	8%	7%
Jun	2.487.021	1.401.115	1.659.222	881.717	-33%	-37%
Jul	3.061.255	1.788.586	2.1w490.012	1.308.274	-19%	-27%
Ago	3.302.703	1.946.707	2.456.355	1.269.984	-26%	-35%
Set	2.797.610	1.649.502	2.641.141	1.346.383	-6%	-18%
Out	2.512.420	1.479.057	3.933.339	1.992.626	57%	35%
Nov	2.483.491	1.528.699	2.864.153	1.432.982	15%	-6%
Dez	1.833.207	1.127.415			0%	0%
Jan	1.231.077	745.048			0%	0%
Fev	1.340.434	796.477			0%	0%
Mar	994.264	589.342			0%	0%
Subtotal*	19.546.719	11.511.175	18.322.483	9.518.738	-6%	-17%
Total	24.945.701	14.769.456	18.322.483	9.518.738	-27%	-36%

TABELA 3: Países consumidores e consumo do ano de 2012.

	Países	Qtd. (t)	Participação (%)
1	CHINA	1.990.338	10,86%
2	INDONÉSIA	1.174.909	6,41%
3	EMIRADOS ÁRABES UNIDOS	1.158.762	6,32%
4	EGITO	1.118.379	6,10%
5	ARGÉLIA	1.107.947	6,05%
6	RÚSSIA	1.006.686	5,49%
7	MALÁSIA	882.445	4,82%
8	CANADÁ	825.984	4,51%
9	BANGLADESH	774.519	4,23%
10	ARÁBIA SAUDITA	742.614	4,05%
	OUTROS	7.539.900	41,15%
	TOTAL	18.322.483	100%

O processo de produção do açúcar começa com a lavagem da cana de açúcar. Depois de lavada a sacarose, produto principal do açúcar, é extraída por meio do esmagamento da cana. O bagaço produzido é utilizado nas caldeiras. O caldo proveniente dessas caldeiras é tratado. O caldo resultante vai para o setor de evaporação (JESUS & ALMEIDA, 2004; ALCARDE & SAKAI, 2012).

Depois do processo de evaporação o açúcar passa pelo processo de cristalização e secagem (JESUS & ALMEIDA, 2004). A Figura 6 ilustra um esquema do processo descrito acima.

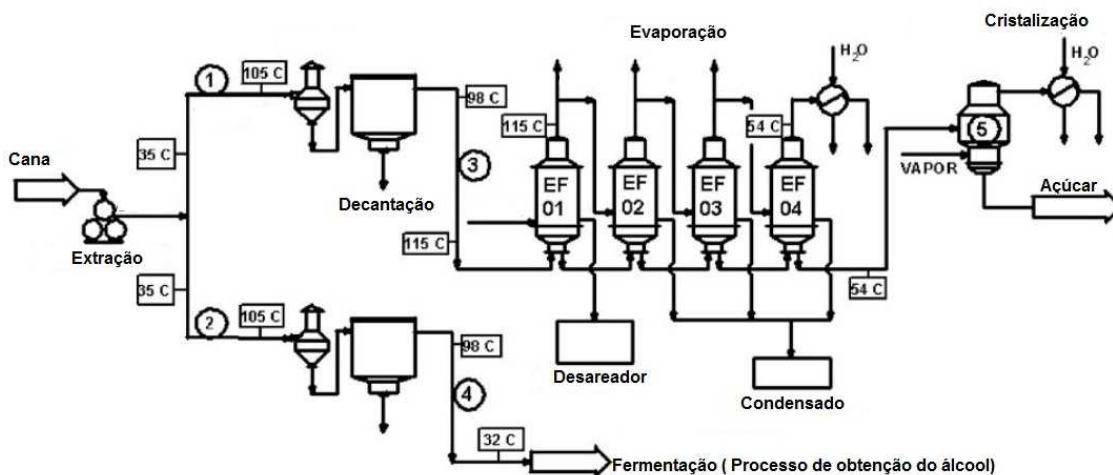


FIGURA 6: Esquema do processo de obtenção do açúcar (Fonte: Adaptado de HIGA *et al.*, 2009).

De acordo com LEWIS (2010) o objetivo do processo de evaporação do açúcar é transformar o caldo em xarope o mais rápido possível. As temperaturas utilizadas nesse processo devem minimizar a perda das propriedades da sacarose. Nas Figuras 7 e 8, LEWIS (2010) apresenta dois casos de sistemas de evaporadores de múltiplo efeito. Neles estão representados temperaturas, concentrações e pressões.

Para medir concentrações, usualmente, é utilizado Brix. Brix é a porcentagem de peso de sólidos solúveis na solução.

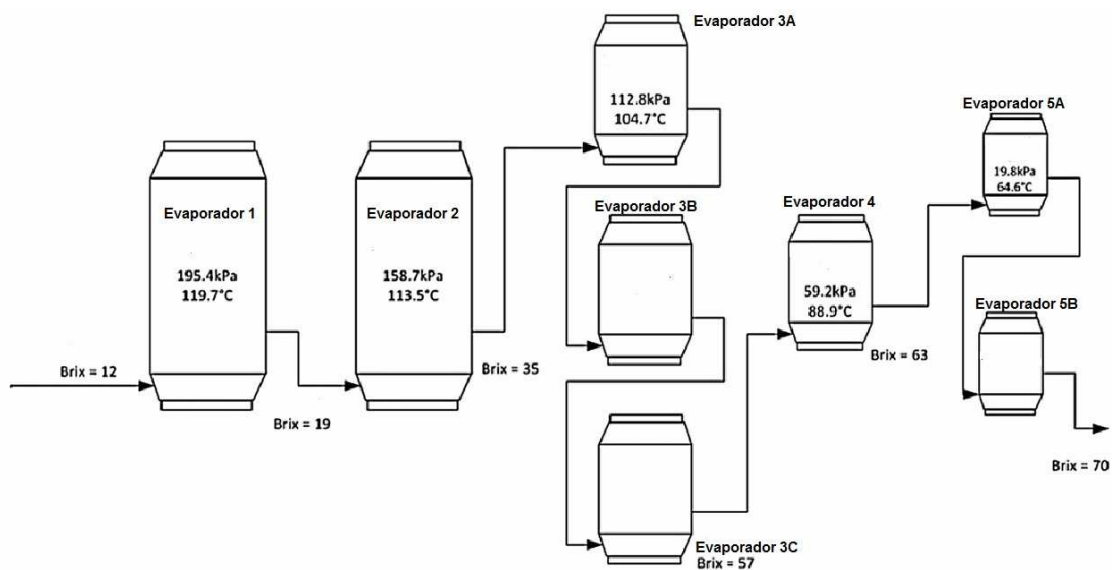


FIGURA 7: Primeiro caso estudado por LIMA (Fonte: Adaptado de LEWIS, 2010).

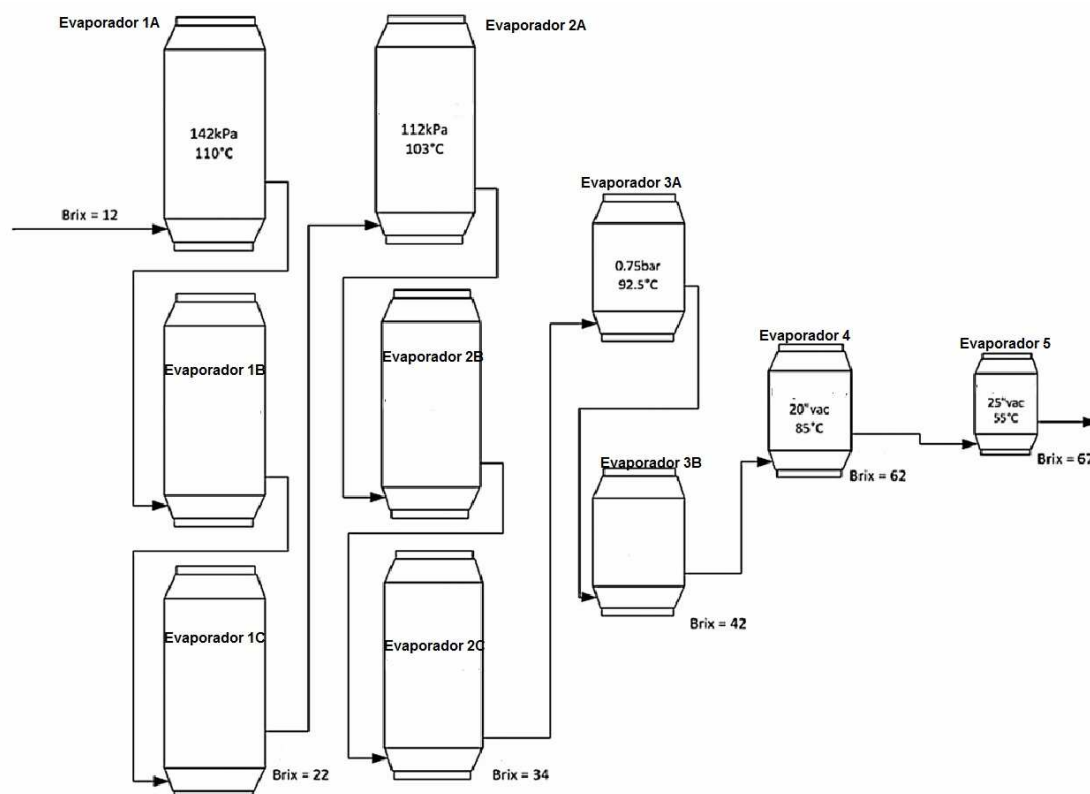


FIGURA 8: Segundo caso estudado por LIMA (Fonte: Adaptado de LEWIS, 2010).

O processo de evaporação é realizado a temperaturas baixas, com o objetivo de não perder as propriedades orgânicas da sacarose. Por causa disso, normalmente, são utilizados equipamentos que reduzem a pressão do vapor. O caldo que entra no processo, de evaporação, possui concentração de 14 a 17 Brix. A concentração nesse processo é elevada até valores entre 50 e 70 Brix (LOPES, 1992).

Celulose e papel

Atualmente, como mostrado na Figura 9, o país é um dos líderes mundiais na produção de celulose e papel, ocupando respectivamente, a 4ª e 6ª colocação no *ranking* de mercado. Sendo, o Brasil, responsável por produção mundial de 7,56% de celulose e 2,5% de papel.

No site da BRACELPA estão disponibilizados alguns dados referentes às importações e exportações de celulose e papel. Esses dados estão representados na Figura 10.

CELULOSE		PAPEL	
País	mil toneladas	País	mil toneladas
1. EUA	49.740	1. China	99.300
2. China	19.542	2. EUA	75.083
3. Canadá	18.308	3. Japão	26.627
4. Brasil *	13.922	4. Alemanha	22.698
5. Suécia	11.859	5. Canadá	12.112
6. Finlândia	10.363	6. Coreia do Sul	11.492
7. Japão	9.020	7. Finlândia	11.329
8. Rússia	7.453	8. Suécia	11.298
9. Indonésia	6.805	9. Brasil	10.159
10. Chile	4.876	10. Indonésia	10.035
11. Índia	3.999	11. Índia	9.655
12. Alemanha	2.725	12. Itália	9.130
Demais	25.215	Demais	89.959
TOTAL MUNDO	183.827	TOTAL MUNDO	398.877

FIGURA 9: Médias de produção de celulose e papel (Fonte: BRACELPA, 2012).

Fluxo	Mil toneladas					
	2010	2011	Evol. %	Jan-Nov		
				2011	2012	Evol. %
EXPORTAÇÃO	10.449	10.530	0,8	9.585	9.388	-2,1
- Celulose	8.375	8.478	1,2	7.700	7.653	-0,6
- Papel	2.074	2.052	-1,1	1.885	1.735	-8,0
IMPORTAÇÃO	1.914	1.847	-3,5	1.716	1.683	-1,9
- Celulose	412	392	-4,9	363	378	4,1
- Papel	1.502	1.455	-3,1	1.353	1.305	-3,5
SALDO	8.535	8.683	1,7	7.869	7.705	-2,1
- Celulose	7.963	8.086	1,5	7.337	7.275	-0,8
- Papel	572	597	4,4	532	430	-19,2

FIGURA 10: Relação mundial de produção de celulose e papel (Fonte: BRACELPA, 2012).

e os evaporadores 5 e 6 fazem parte dos quinto e sexto efeito respectivamente.

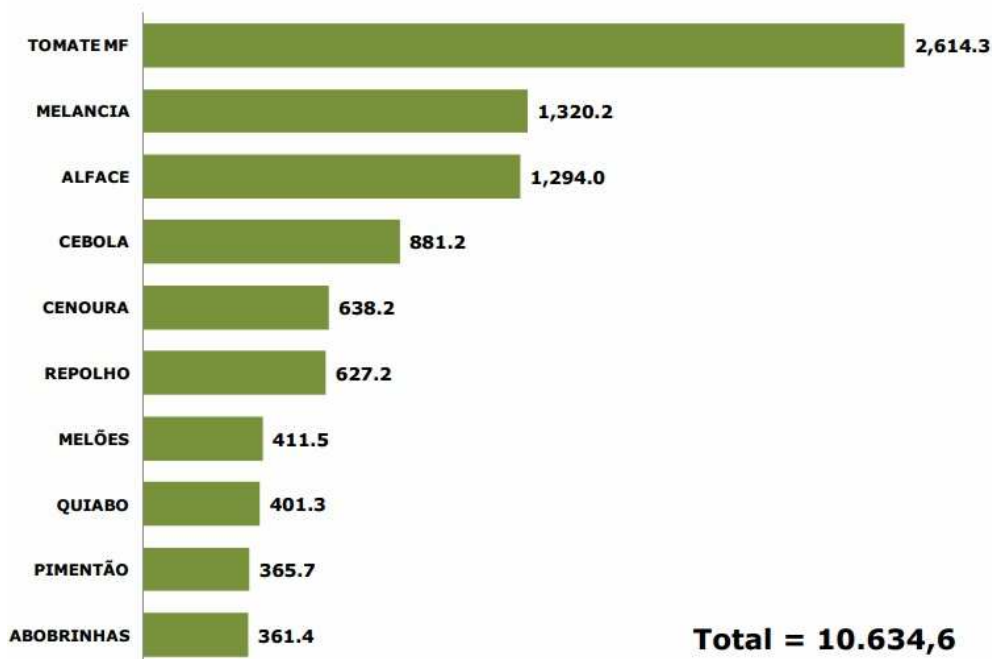
Em CAMPOS & COSTA (2009) obtiveram-se algumas das condições operacionais utilizadas no primeiro efeito da CENIBRA S.A. que utiliza um sistema similar ao da indústria KPP. O licor que entra no evaporador 1C possui um teor de sólidos de 45% e aproximadamente 118°C, a temperatura do vapor de baixa pressão, que troca de calor com esse licor, é de 152°C e este é proveniente da caldeira de recuperação. O vapor gerado do evaporador 1C sai a temperatura de 118°C. O licor que sai de 1C vai para 1B e o mesmo vapor vivo que vem da caldeira vai para o evaporador 1B. A temperatura de saída do vapor gerado de 1B é de 140°C. Posteriormente o licor que sai de 1B vai para a 1A com teor de sólidos de 65%. A temperatura do vapor vivo é de 158°C e sai a 142,5°C. O licor sai do evaporador 1A com o teor de sólido de 71%.

O licor preto forte, que sai do processo de evaporação, é queimado nas caldeiras de recuperação. Os sais fundidos resultantes são denominados *smelt*. Na etapa seguinte, o *smelt* é dissolvido gerando uma solução denominada licor verde, através da adição de cal. Com o licor verde, acontece a reação de caustificação. O licor produzido nesse processo está pronto para ser utilizado novamente na etapa de cozimento (FIGUEIRÉDO, 2009).

Pasta de tomate

De acordo com RODRIGUES *et al.*, (2012), os principais e tradicionais produtos derivados do tomate, que merecem destaque são o suco, a massa e o extrato de tomate.

Em 2011/2010, o valor da produção de tomate, no Brasil foi de 2614,3 milhões de reais. Essa produção representa 24,3% da produção total de sementes (ABCSEM, 2012). A Figura 12 mostra a produção (em milhões de R\$) de tomate e outras sementes.



Nota: As 10 espécies de maior volume representam 84% do total.

FIGURA 12: Produção de sementes em milhões de R\$ (Fonte: ABCSEM, 2012).

No processo de produção da pasta de tomate primeiramente os tomates frescos são lavados. Essa lavagem é feita com água pressurizada, são, também, utilizadas peneiras para remover objetos indesejáveis. Esses tomates lavados são selecionados e vão para a etapa de pré-aquecimento, processo que ocorre em média entre um a três minutos a temperaturas entre 80 a 100°C. O tomate pré-aquecido é cortado, e sua polpa é removida por meio de vácuo. Depois desse processo, essa polpa produzida é selecionada. Essa polpa passa por um fino peneiramento e vai para unidade de evaporação, onde a polpa será concentrada. A polpa proveniente dessa unidade é pasteurizada e, depois, esterilizada. A partir desse processo ela já está pronta para o empacotamento (SOGUT *et al.*, 2010). Abaixo, Figura 13, tem-se um esquema do processo.



FIGURA 13: Representação geral do processo de produção da pasta de tomate (Fonte: Adaptado de SOGUT *et al.*, 2010).

Nas indústrias de produção de pasta de tomate, os evaporadores utilizados, normalmente, estão arranados em sistemas de evaporadores. Nas figuras abaixo, Figura 14 e Figura 15, têm-se dois exemplos de sistemas utilizados nesse tipo de indústria. Na primeira imagem, é utilizado um sistema de quatro efeitos, enquanto na segunda, cinco efeitos.

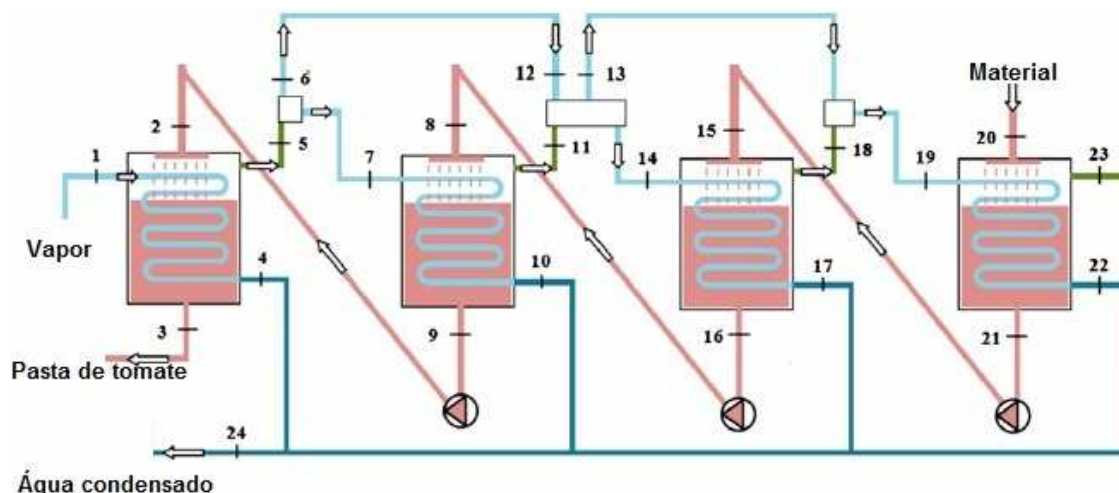


FIGURA 14: Primeiro exemplo de sistema de evaporador de múltiplo efeito utilizado na produção da pasta de tomate (Fonte: Adaptado de SOGUT *et al.*, 2010).

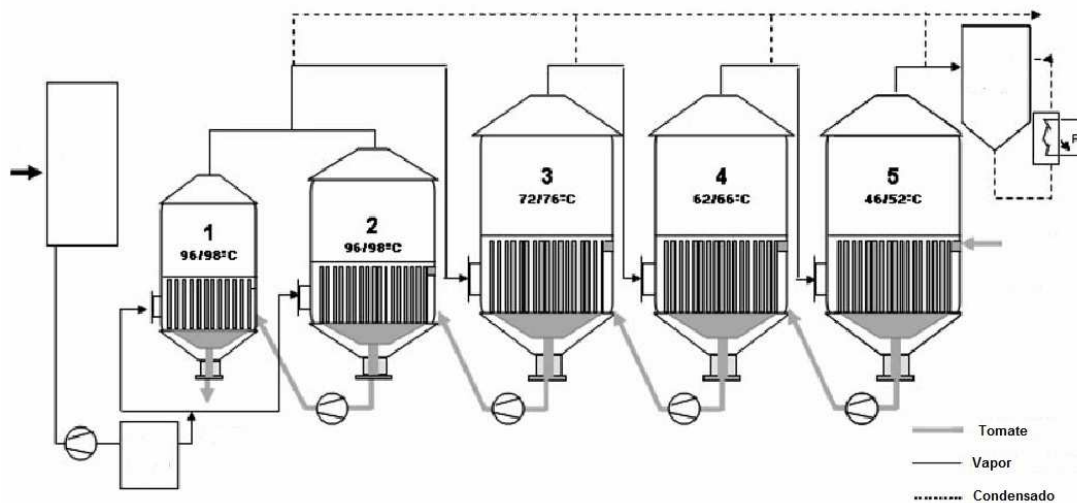


FIGURA 15: Segundo exemplo de sistema de evaporador de múltiplo efeito utilizado na produção da pasta de tomate (Fonte: Adaptado de MIRANDA & SIMPSON, 2005).

De acordo com MIRANDA & SIMPSON (2005), o processo de produção da pasta de tomate, também, tem que ser feito a temperaturas baixas para diminuir o risco da decomposição de substâncias orgânicas.

No processo de evaporação são utilizadas temperaturas entre 45 e 98°C. Para melhores resultados o processo, normalmente, é iniciado a uma temperatura abaixo de 50°C (MIRANDA & SIMPSON, 2005). No trabalho de SOGUT *et al.*, (2010), também, é dito a importância do processo de evaporação ser feito em temperaturas baixas, entre 40 e 85°C.

Dessalinização

No futuro, há uma previsão para o aumento de consumo de água potável. Essa previsão é resultado de alguns fatores, como o aumento populacional, expansão industrial e atividades agropecuárias. Hoje, muitos países já sofrem em relação à baixa reserva de água potável (KHAWAJI, 2008).

No caso das indústrias a qualidade da água, em geral, é um dos fatores importante para um bom desempenho de equipamentos como caldeiras a vapor e trocadores de calor (MONTEIRO, 2009). De acordo com KHADEMI (2009), a dessalinização utilizando evaporadores de múltiplo efeito é largamente utilizada em indústrias, porém não é o equipamento mais utilizado em geral.

Abaixo encontra-se uma representação, Figura 16, de sistema de evaporadores de múltiplo efeito usado para esse processo.

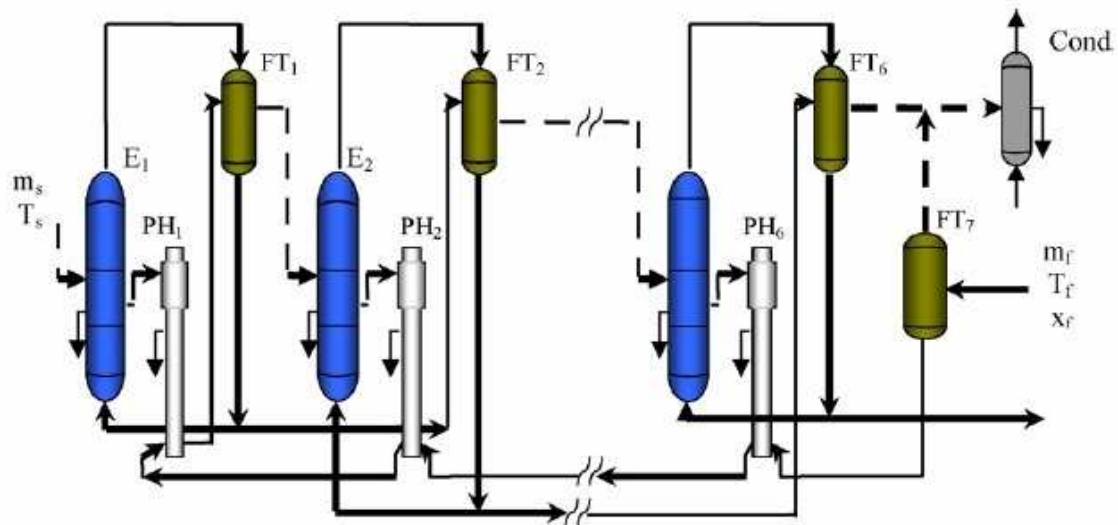


FIGURA 16: Representação de sistema de evaporador de múltiplo efeito utilizado no processo de dessalinização (Fonte: KHADEMI, 2009).

De acordo com KHADEMI (2009), esse processo ocorre em temperaturas entre 45 e 115°C.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Evaporadores são utilizados para concentrar uma solução, onde normalmente o solvente é água. Com o objetivo de economizar energia as indústrias, normalmente, acoplam os evaporadores para que o vapor gerado de um seja utilizado em outro, este sistema é conhecido como evaporadores de múltiplo efeito. Conforme apresentado neste trabalho, na maioria dos casos, o produto de interesse do processo de evaporação é o concentrado, porém no processo de dessalinização, o objetivo é a produção de água pura e, portanto o produto de interesse é o condensado. Mais além, no caso da dessalinização, o concentrado é um subproduto (salmoura) que pode ser aproveitado em outro processo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo) pelo auxílio financeiro (concessão de bolsa de iniciação científica).

REFERÊNCIAS

ABCSEM. **Dados do Setor.** Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/dadosdosegmento.php>>. Acesso em dezembro de 2012.

ABIC. **Indicadores da Indústria.** Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61#1910>>. Acesso em dezembro de 2012.

ABICS. **Histórico**. Disponível em: <<http://www.abics.com.br/historico.htm>>. Acesso em dezembro de 2012.

ADIB, T. A., VASSEUR, J.. Bibliographic analysis of predicting heat transfer coefficients in boiling for applications in designing liquid food evaporators. **Journal of Food Engineering** 87. 2007.

ALCARDE. A. R., SAKAI, R. H.. **Fabricação do açúcar**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONT000fkcg3t9y02wyiv80sq98yq8ekb08p.html>>. Acesso em novembro de 2012.

BHARGAVA, R., KHANAM, S., MOHANTY, B., RAY, A. A.. **Simulation of flat falling film evaporator system for concentration of black liquor**. Computers and Chemical Engineering. 2010.

BRACELPA. **Dados estatísticos**. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/34>>. Acesso em dezembro de 2012.

CAMPOS, S. G. S., COSTA, A. O. S.. **Modelagem Matemática e Análise do Coeficiente Global de Transferência de Calor Para o Processo de Concentração do Licor Negro de Eucalipto em Sistema de Evaporadores de Múltiplo Efeito**. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Engenharia Industrial do UnilesteMG, Coronel Fabriciano, MG, Brasil. 2009.

CARVALHO, P. I. N., COSTA, A. O. S., COSTA Jr., E. F.. **Modelagem Matemática de Evaporadores de Múltiplo Efeito Empregados no Aumento de Teor de Sólidos do Leite**. Congresso Brasileiro de Engenharia Química – IC. 2009.

CLARKE, J. R., VITZTHUM, G.O.. **Coffee Recent Developments**. Editora Blackwell Scienc. pp. 257. 2001.

COSTA, A. O. S. **Alternativa para o Controle de um Sistema de Evaporadores de Múltiplo Efeito**. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Engenharia Química da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2000.

EARLY, R., **Tecnologia de los productos lácteos**. Acribia, 459 p., Zaragoza. 2000.

FIGUEIRÊDO, L. S.. **Modelagem Matemática do Estado Estacionário de um Real Sistema de Caustificação em uma Fábrica de Celulose**. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Engenharia Industrial do UnilesteMG, Coronel Fabriciano, MG, Brasil. 2009.

FOUST, A. S., WENZEL, L. A., CLUMP, C. W., MAUS, L., ANDERSEN, L. B.. **Princípios das operações unitárias**. Editora Guanabara Dois. 2ª Edição. 670p.. 1982.

HIGA, M., FREITAS, A. J., BANNWART, A. C., ZEMP, R. J.. **Thermal integration of multiple effect evaporator in sugar plant.** Applied Thermal Engineering 29. 2009.

HIMMELBLAU, D. M., RIGGS, J. B.. **Engenharia Química: Princípios e Cálculos.** 7ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro. 2006.

IGUAÇU. **Processo de produção do café solúvel.** Disponível em: <http://www.iguacu.com.br/empr_processo_Producao.asp>. Acesso em dezembro de 2012.

INMETRO. **Leite em Pó Integral.** Disponível em : <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/leitepo.asp>>. Acesso em dezembro de 2012.

ITAMBÉ. **Produção do leite em pó.** Disponível em : <<http://www.itambe.com.br/pagina/189/diversao-e-cultura---curiosidades.aspx>>. Acesso em novembro de 2012.

JESUS, C. D. F., ALMEIDA, P. I. F. **Validação da Simulação Dinâmica das Etapas de Evaporação e Cristalização da Produção de Açúcar com Dados Obtidos em Plantas Industriais.** Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil. 2004.

KAYA, D., SARAC, H. I.. **Mathematical modeling of multiple-effect evaporators and energy economy.** Energy 32. p 1536-1542. 2004.

KHADEMI, M. H., RAHIMPOUR, M. R., JAHANMIRI, A.. Simulation and Optimization of Six-effect Evaporator in a Desalination Process. **Chemical Engineering and Processing** 48. p 339-347. 2009.

KHAWAJI, A. D., KUTUBKHANAH, I. K., WIE, J. M.. Advances in Seawater Desalination technologies. **Desalination** 221. p 47-69. 2008.

LEWIS, A. E., KHODABOCUS, F., DHOKUN, V., KHALIFE, M.. **Thermodynamic simulation and evaluation of sugar refinery evaporators using a steady state modelling approach.** Applied Thermal Engineering 30. 2010.

LOPES, C. H., PARAZZI, C.. **Introdução à tecnologia de produção de açúcar.** Apostila Técnica. Araras, UFSCar, p. 14-35. 1992.

MAGANHA, M. F. B.. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lácteos série P+L.** Governo do Estado de São Paulo. 2008.

MCCABE, W. L., SMITH, J. C., HARRIOTT., P.. **Unit Operations of Chemical Engineering.** 5ª edição, capítulo 16. 1993.

MILKPOINT. **Estatística do Leite** . Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/cadeia-do-leite/estatisticas/estatisticas-do-leite-milkpoint-80417n.aspx>>. Acesso em dezembro de 2012.

MIRANDA, V., SIMPSON, R.. Modelling and simulation of an industrial multiple effect evaporator: tomato concentrate. **Journal of Food Engineering** 66. 2005.

MONTEIRO, G. S., SILVA, J. N., LÔBO, H. L. L.. **Simulação e Análise de Sistemas de Dessalinização via Osmose Inversa: Considerações para Análise da Qualidade da Água**. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia. V. 5. 2009.

NGUYEN, X. N., VENKATESH, V.. **Evaporation and Concentration of Black Liquor**. In: Green, R. P., Hough, G., Chemical Recovery in The Alkaline Pulping Processes. 3ª ed. Chapter 2. TAPPI Press. Atlanta. USA. 1992.

PARAÍSO, P. R., ANDRADE, C. M. G., ZEMP, R. J.. **Destilação da Micela I: modelagem e simulação da evaporação do hexano**. Volume 23. p 459-467. 2003.

RODRIGUES, F. M., SOUZA, F. G., RODRIGUES, L. G. S. M.. Produção Artesanal de Extrato de Tomate (*Solanum lycopersicum*) Simples Concentrado e Caracterização Físico-química. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia. V. 8. 2012.

SCHUINA, G. L., COSTA, A. O. S.. **Análise dos Aspectos Físico-Químicos e Simulação Matemática do Processo de Concentração do Extrato do Café**. Congresso Brasileiro de Engenharia Química – IC. 2009.

SOGUT, Z., ILTEN, N., OKTAY, Z.. Energetic and exergetic performance evaluation of the quadruple-effect evaporator unit in tomato paste production. **Energy** 35. p 3821-3826. 2010.

ÚNICA. **Detalhamento das exportações de açúcar pelo Brasil**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=73>>. Acesso em dezembro de 2012.