

# Redução, concentração da Vinhaça

Florenal Zarpelon

O grande volume de vinhaça gerada na produção de Etanol é hoje uma preocupação inegável, pois a preservação do Meio Ambiente se consolidou na consciência de todos.

Um razoável número de trabalhos tem sido publicado objetivando o uso adequado da vinhaça, inclusive como matéria prima para fabricação de outros produtos, principalmente proteínas e biogás, mas estas aplicações têm viabilidade econômica limitada. A aplicação da vinhaça como fertilização tem se constituído num fertilizante formidável, fazendo retornar ao campo os nutrientes, minerais e matéria orgânica, que foram retirados do solo e ainda os incorporados durante o processo produtivo do açúcar e do álcool. Com o aumento vertiginoso da produção do álcool, os volumes produzidos são bastante elevados, merecendo a atenção para as possibilidades de redução destes volumes, visando a racionalização na distribuição no campo, bem como a redução dos custos envolvidos.

A redução do volume de vinhaça pode ser visualizada sob dois aspectos: a redução durante o processo na fermentação / destilação e a concentração em evaporadores de múltiplo efeito. Para facilitar a compreensão, alguma ênfase é dada no tratamento matemático destas alternativas.

## 1 Quantidade de resíduos líquidos produzidos na destilação do Etanol.

A figura 1 indica o fluxograma normalmente utilizado nas destilarias brasileiras, que operam sob pressão atmosférica, e com injeção direta de vapor de  $0,7 \text{ kg/cm}^2$  nas colunas destiladora e retificadora.

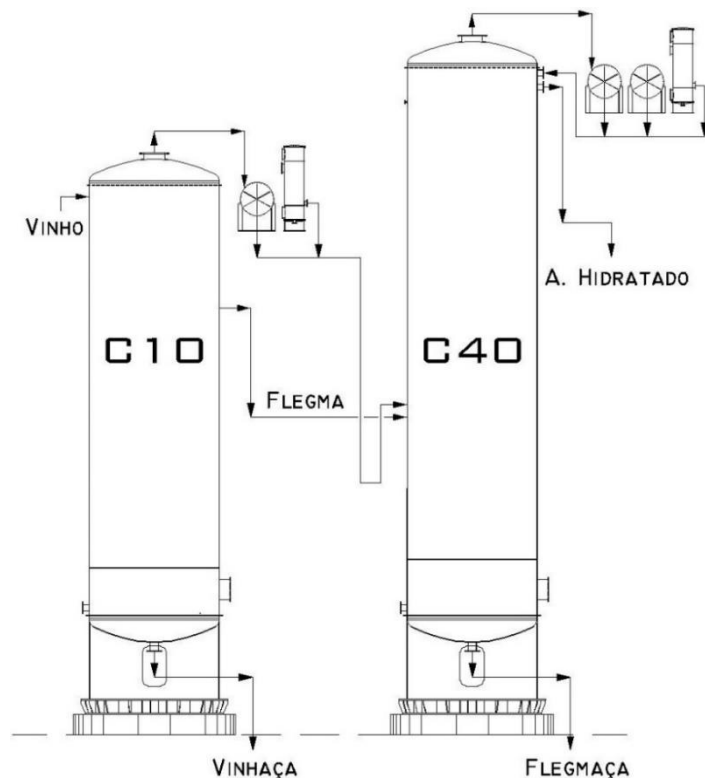


Figura 1 - Diagrama do processo de destilação para fabricação do álcool hidratado.

As quantidades de produtos e resíduos líquidos produzidos para cada 100 litros de vinho são dadas na Tabela 1, considerando-se que não haja perdas na destilação.

Tabela 1 - Produção de Vinhaça e Flegmaça em função do grau alcoólico (GA, %v) do vinho, para produção de Álcool Hidratado (AH) 93,1% m (95,5% v)

Vinho %v	Álcool Litro	Vinhaça L / L AH	Flegmaça L / L AH
7	7,3	$11,6 + 2,2 = 13,8$	$1,0 + 1,2 = 2,2$
8	8,4	$10,0 + 2,0 = 12,0$	$0,9 + 1,1 = 2,0$
9	9,4	$8,8 + 1,8 = 10,6$	$0,8 + 1,0 = 1,8$
10	10,5	$7,8 + 1,6 = 9,4$	$0,7 + 0,9 = 1,6$
11	11,5	$7,0 + 1,5 = 8,5$	$0,7 + 0,8 = 1,5$

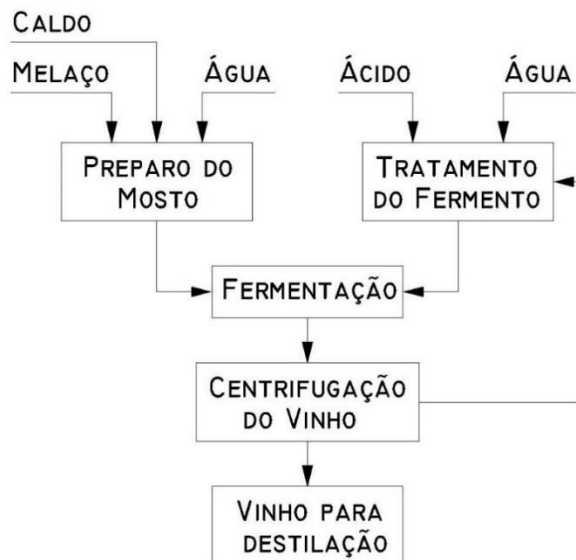
Obs.: O segundo termo da soma em Vinhaça e Flegmaça é o consumo de vapor por injeção direta nas respectivas colunas, que condensando se junta à vinhaça / flegmaça.

## 2 Mosto para a fermentação

O processo de fermentação utilizado na maioria das destilarias brasileiras compreende as seguintes etapas:

- Preparo do mosto
- Tratamento do fermento
- Fermentação
- Separação do fermento

A Figura 2 mostra o diagrama de blocos do processo.



MOSTO + ÁGUA = VINHO

## Figura 2: Diagrama de blocos da fermentação com reciclo de leveduras

Para um determinado Grau Alcoólico (GA) desejado no vinho tem-se o seguinte balanço material:

$$GA = Bm \times dm \times Pm \times Ct \times Ef \times k \quad (1)$$

onde,

GA = Grau alcoólico desejado

Bm = Brix do mosto

dm = Densidade do mosto

Pm = Pureza do mosto, em ART/Brix

Ct = Conversão teórica de ART para Etanol = 0,648 litros Etanol/kg ART

Ef = Eficiência de conversão em relação ao teórico

k = fator de diluição devido a colocação de água no pé-de-cuba.

O retorno do levedo obtido na centrifugação é considerado ter o mesmo grau alcoólico do vinho, para simplificar o tratamento matemático, e que na prática estes valores são razoavelmente próximos.

**Exemplo:**

GA = 10%

Pm = 90

Ef = 90%

k = 0,85 (Água colocada no pé-de-cuba = 15% do volume total do vinho na dorna)

Qual seria o Brix do mosto necessário para se obter o GA desejado?

Tem-se:

$$Bm \times dm \times 0,90 \times 0,648 \times 0,90 \times 0,85 = 10$$

$$Bm \cdot dm = 22,41$$

Para cada Brix tem-se a densidade correspondente; tomando-se a sequência de Brix e densidade, fez-se a regressão obtendo-se a equação

$$Brix = 0,833 \times Bm \cdot dm + 2 \quad (2)$$

$$\text{Logo, } Bm = 0,833 \times 22,41 + 2 = 20,7$$

Pode-se também combinar as equações (1) e (2), obtendo-se diretamente o cálculo do Brix do mosto necessário para o GA do vinho desejado:

$$Bm = GA \times 0,83 / (Pm \times 0,648 \times Ef \times k) + 2 \quad (3)$$

### 3 Brix da Vinhaça

Os sólidos (Brix) contidos na vinhaça podem ser calculados pela seguinte equação:

$$bv = Bm.dm \times (1 - Pm) \times k \times k_1 \quad (4)$$

onde,

$bv$  = Brix da vinhaça

$Bm.dm$  = Brix x densidade do mosto

$k$  = fator de diluição do levedo

$k_1$  = fator de diluição, ou de concentração, devido a água arrastada pelo flegma para a coluna retificadora e ao vapor condensado no pé da coluna destiladora

O fator  $k_1$  pode ter os seguintes valores:

$k_1 = 1$  – quando o volume de vinho é igual ao volume de vinhaça

$k_1 < 1$  – quando o vapor injetado na coluna destiladora é maior que a água arrastada no flegma

$k_1 > 1$  – quando o aquecimento da coluna destiladora é feito indiretamente, através de um trocador de calor (reboiler).

Exemplo:

$Bm.dm = 22,41$

$Pm = 90$

$k = 0,85$

Cálculo de  $k_1$ :

O GA esperado seria 10, produzindo 10,5 litros de Álcool Hidratado, disso produzindo um flegma contendo 0,78 litros de água / litro de Hidratado; o consumo de vapor na destiladora seria de 1,73 kg/litro Hidratado. O fator  $k_1$  seria:

$$k_1 = \frac{100 - 10}{100 - 10 - 0,78 \times 10,5 + 1,73 \times 10,5} = 0,90$$

finalmente,

$$bv = 22,41 \times (1 - 0,90) \times 0,85 \times 0,90 = 1,7$$

O Brix da vinhaça também pode ser calculado através da combinação entre as equações (1) e (3), obtendo-se:

$$bv = \frac{GA \times (1 - Pm) \times k_1}{Pm \times 0,648 \times Ef} \quad (5)$$

A medição do Brix da vinhaça pelo densímetro Areômetro de Brix não é correta, pois o densímetro foi concebido para medir teores de sacarose e sendo vinhaça, sacarose ou algum açúcar redutor é o que não deve ter, porque foram consumidos na fermentação; os sólidos presentes, especialmente sais minerais, têm densidade maior que a sacarose e, deste modo, os valores lidos de Brix são maiores que a realidade.

## 4 Alternativas para a redução do volume de vinhaça

### 4.1 Separação da Flegmaça

Como visto na Tabela 1, para um vinho com GA de 9% v, a produção de vinhaça + flegmaça seria de  $10,6 + 1,8 = 12,4$  litros / litro Álcool

Embora no passado era praticamente normal fazer a incorporação da flegmaça à vinhaça, nos dias de hoje muitas destilarias fazem a separação, proporcionando redução de cerca de 15% do volume de vinhaça.

A flegmaça é uma água com traços de etanol e óleo fúsel, com DQO (Demanda Química de Oxigênio) da ordem de 300 a 1.000 mg/L. O pH é da ordem de 4,0 – 4,5. Pode ser reutilizada em alguma das operações na destilaria, como por exemplo, lavagem de trocadores de calor na fermentação e, após resfriamento, como água na coluna de lavagem dos gases da fermentação para recuperação do álcool, também para diluição de melaços. Praticamente se consome toda a flegmaça nestas operações

### 4.2 Aumento do grau alcoólico (GA) do vinho

Na Tabela 1 nota-se que a produção de vinhaça (excluindo o vapor) com um vinho de 7% v a produção de vinhaça é de 11,6 litros/litro álcool, enquanto que com 11% v a produção é de 7,0 litros/litro álcool. Uma redução de  $(11,6-7,0/11,6) \times 100 = 40\%$ . Do mesmo modo, o consumo de vapor também cai, de 2,2 kg/litro álcool para 1,5 kg/litro álcool.

Estes números mostram que há boas razões para aumentar o GA do vinho. Muitas destilarias já estão operando com vinhos entre 9% v a 10% v, algumas mesmo com GA até mais alto. Obter alto GA do vinho não é tão fácil, demandando conhecimento e controles, talvez por isso, muitas destilarias ainda não dão importância ao assunto. Pode-se destacar como pontos importantes para controle a separação e o tratamento do levedo, infecções, a necessidade de nitrogênio amoniacal livre (NAL), levedura selecionada e baixa temperatura, entre outros.

O Prof. Dr. Mike Ingledew aponta quatro fatores principais como causadores de estresse nas leveduras: GA elevado do vinho, Ácidos Orgânicos (principalmente Acético e Láctico), Íons (entre nós, prefere-se o termo Brix) e Temperatura. Ingledew destaca que simultaneamente mais de um fator de estresse pode conduzir a dificuldades na fermentação. No tocante a temperatura, em seu livro “The Alcohol Textbook”, 5ª edição, pág. 122, menciona categoricamente: “As leveduras *Saccharomyces* podem tolerar bem temperaturas de 35°C em estágios de baixo teor alcoólico, mas à medida que o teor alcoólico aumenta outros fatores de estresse estão presentes, a levedura se torna mais e mais estressada e muitas células morrem antes da fermentação se completar. Em altos níveis de etanol, cada aumento de 1°C ocorrendo numa dorna, acima de 27°C, é um risco que não deve ser desafiado”. Evidentemente, Ingledew muito provavelmente está se referindo a fermentações de 15% v ou até mais que são praticadas nas destilarias de milho nos EUA; em curso que este autor frequentou nos EUA, em 1985, onde as aulas de fermentação foram ministradas pelo Dr. Ingledew, em conversa extraclasse, disse-nos que estudou em laboratório fermentações com melão de cana e nunca conseguiu ter GA maior que 12% com boa eficiência de fermentação. A ideia de pesquisar a obtenção de GA elevado vale também para a cana, especialmente quando as purezas dos produtos sejam mais altas (menos inibição pelos fatores Íons e Ácidos Orgânicos).

No Brasil a empresa Fermentec, bem como algumas usinas, tem estudado a obtenção de GA mais altos, mas acredita-se que há muita tecnologia esperando se tornar de uso geral. Em seminário em Cuba, em 2015, a empresa Fermentis, apresentou seus estudos de fermentação, obtendo GA de 13-14% v, com melaços, fermentação sem reciclo de leveduras e com duração de 45/50 h. Ainda

que falte muito a aprender, a conclusão é que não mais se justifica fazer fermentações alcoólicas com vinhos de baixo GA.

### **4.3 Aquecimento indireto da coluna destiladora**

Conforme visto na Tabela 1, para um vinho com 9%v, o consumo de vapor, considerando a injeção direta na coluna, seria de 1,8 kg/litro álcool, totalizando um volume de vinhaça de  $8,8 + 1,8 = 10,6$  litros/litro álcool. O aquecimento indireto por trocador de calor reduziria o volume de vinhaça em  $(1,8/10,6) \times 100 = 17\%$ .

Ao utilizar um reboiler todo o condensado é recuperado como água quente para uso geral, e é produzido menos vinhaça. A alternativa em princípio pode ser interessante, mas há também dificuldades que são trazidas com esta decisão, entre os quais citam-se:

#### **a) Temperatura / pressão do vapor de aquecimento**

Por ser um trocador de calor de superfície, irá condensar o vapor, portanto, transferindo apenas o seu calor latente de vaporização; a temperatura do condensado estará muito próxima da saturação do vapor, logo, o condensado sairá do trocador numa temperatura maior que a da vinhaça, deixando de se aproveitar alguns graus de temperatura de calor sensível; resumindo, o consumo de vapor aumenta, ainda que pouco. Ainda, sendo um trocador de calor de superfície, o diferencial de temperatura entre o vapor e a vinhaça necessita ser maior, portanto, o vapor necessitará ter pressão maior. Como muitas destilarias hoje usam vapor vegetal V1 ao invés de vapor de escape (VE), o diferencial de temperatura, de 115°C para 110°C, 5°C, é muito pouco. Não havendo na usina um vapor com 120°C (pressão de 1,0 kg/cm<sup>2</sup>), então, o vapor a usar seria o VE que tem temperatura ao redor de 125°C.

#### **b) Incrustações nos tubos**

O reboiler é essencialmente um evaporador, e se se quiser produzir um vinho com maior GA, maior será também a concentração de íons, ou seja, maior teor especialmente de cálcio, cujos sais (sulfito e sulfato) são menos solúveis a quente (isto faz lembrar que o caldo enviado para a fermentação deve ser tratado sem adição de cal). E se o vapor tiver temperatura de pelo menos 120°C, portanto, uma temperatura alta, causará maior precipitação do cálcio. Mas, o pior da incrustação é que necessita de limpeza, primeiro pelo fato de ser equipamento muito próximo da coluna, e depois a limpeza mecânica por chicote com ponta de rosetas, ou por hidro jateamento sempre haverá um perigo de incêndio pela possibilidade de produzir faíscas. A alternativa seria a limpeza química, mais cara e menos efetiva.

Resumindo, entende-se que a colocação de aquecimento indireto não é uma boa alternativa, até porque proporciona pequena redução do volume de vinhaça e pode ocasionar grandes dificuldades operacionais.

## 5 Recirculação da Vinhaça

Quando se fermenta melaço esgotado o Brix da vinhaça pode chegar ao redor de 10, e quando se fermenta caldo misto tratado, chega ao redor de 2, ou até um pouco menos. A vinhaça reciclada poderia ser utilizada na diluição de méis ou xarope e conseqüentemente haveria uma redução do volume final a descartar.

No Brasil, também em outros países, muito já se fez sobre recirculação de vinhaça tendo sempre havido insucessos, perdas da eficiência de fermentação, até mesmo perda do fermento. Este autor visitou, em fevereiro 2014, destilarias da Colômbia que operam com o sistema Praj, sendo as principais características do processo resumidos a seguir: fermentação de mel B, contínua com reciclo de leveduras (separadas por decantação), reciclo de vinhaça, tempo de fermentação da ordem de 25 horas; a vinhaça depois é concentrada em evaporadores Falling Film onde o vapor do 1º efeito (V1v) é utilizado para o aquecimento das colunas destiladora e retificadora, ambas operando sob vácuo. Alguns detalhes: controle apurado (HPLC) da produção de ácidos orgânicos na fabricação do açúcar e na fermentação; alimentação do melaço é feita diretamente sem diluição e também a vinhaça ainda quente, para reduzir contaminação, e o resfriamento é feito somente pelos trocadores de calor das dornas; como as leveduras não resistem ao meio estressante, a propagação de leveduras é contínua e incorporada na fermentação; a temperatura nunca maior que 32°C no primeiro estágio e 30°C no último; desconta-se os infermentescíveis, mencionando-se eficiência de fermentação ao redor de 90%, com GA da ordem de 10%v. Como resultado, é obtido entre 1,8 a 2,0 litros de vinhaça/litro álcool, com cerca de 40°Brix. Também mencionado que na distribuição na lavoura de cana praticamente não há desenvolvimento de odor.

A atuação dos órgãos ambientais da Colômbia, em função de uma experiência anterior em escala menor, não permitiu a instalação das destilarias sem que a questão da vinhaça tivesse solução. Os colombianos buscaram tecnologia a nível internacional e se decidiram com o sistema Praj. Na opinião deste autor, a tecnologia Praj pareceu muito complexa e há caminhos para a concentração da vinhaça menos complexos. Também, como muitos, destacando-se o Prof. Ingledew, visceralmente contrário a recirculação da vinhaça, não parece necessário utilizar este caminho para conseguir reduzir o volume de vinhaça.

Entretanto, como a produção de etanol como aditivo aos combustíveis fósseis é alternativa consagrada, para casos em que se dispõe de pouca capacidade produtiva de etanol tem sido utilizado o caminho de produzir açúcar, para processar a cana, e depois continuar produzindo etanol fazendo a diluição do açúcar mesclando com um pouco do mel estocado. O autor, viveu um momento em que liderou a produção de etanol nesta condição e o reciclo de vinhaça foi uma opção para voltar algum nutriente, minerais, para a fermentação. A experiência foi bem-sucedida, e tem sido praticada por outros. Assim, como contribuição ao conhecimento do assunto este autor repete aqui o desenvolvimento matemático de estudo feito no final da década de 1970.

Ao iniciar o reciclo da vinhaça observa-se as seguintes alterações no processo da fermentação:

- O teor de impurezas no vinho aumenta, provocando o aumento do Brix da vinhaça
- Para um dado GA desejado, o Brix do mosto necessita ser um pouco maior, pois uma parte destes sólidos é proveniente da vinhaça reciclada.

## 5.1 Brix da vinhaça reciclada

Ao iniciar o reciclo da vinhaça, o Brix vai aumentando em relação ao valor inicial até um valor de equilíbrio. O Brix da vinhaça após o processo entrar em equilíbrio, pode ser previsto através de:

$$B_v = \frac{b_v}{1 - r} \quad (6)$$

onde,

$B_v$  = Brix da vinhaça, após a recirculação

$b_v$  = Brix da vinhaça, sem recirculação

$r$  = razão de recirculação adotada, por exemplo, 50%.

Exemplo:

$b_v = 1,7$

$r = 50\%$

$B_v = 1,7 / (1-0,5) = 3,4$

A equação (5) seria a seguinte:

$$B_v = \frac{GA \times (1-P_m) \times k_1}{P_m \times 0,648 \times E_f} \times \left( \frac{1}{1-r} \right) \quad (7)$$

## 5.2 Brix do mosto preparado com vinhaça reciclada

O Brix do mosto é constituído das seguintes parcelas:

- Açúcares Redutores Totais (ART)
- Não Açúcares (NA)

ou seja,

$$B_m = ART + NA \quad (8)$$

Para um dado GA desejado a concentração de ART presente no mosto deve ser igual a:

$$ART = \frac{GA}{0,648 \times E_f} \quad (9)$$

onde, o teor de ART é dado em kg/100 litros de mosto.

O teor de Não Açúcares (NA) pode ser dado pela equação (6) ou (7). Assim, a equação (8) se torna:

$$B_m = \frac{GA}{0,648 \times E_f \times d_m \times k} \times \left( 1 + \frac{(1-P_m) \times k_1}{P_m} \times \frac{1}{1-r} \right) \quad (10)$$



Exemplo:

Calcular o Brix do mosto para as seguintes condições:

GA desejado = 10

Pm = 90

Ef = 0,90

Diluição Pé-de-Cuba de 20%, logo, k = 0,80

Fator de diluição devido a injeção de vapor na coluna destiladora = 0,87

Recirculação vinhaça = 50%

Logo,

$$B_m = \frac{10}{0,648 \times 0,90 \times d_m \times 0,80} \times \left( 1 + \frac{(1 - 0,90) \times 0,87}{0,90} \times \frac{1}{1 - 0,5} \right) = \frac{25,58}{d_m}$$

donde, conforme equação (2),  $B_m = 23,3$

### 5.3 Brix do produto açucarado utilizado no preparo do mosto

O produto açucarado que vai ser utilizado no preparo do mosto pode ser méis, xarope, ou mesmo caldo decantado concentrado e com Brix mais baixo que o xarope.

O Brix do produto açucarado,  $B_{pa}$ , pode ser calculado pelas equações:

$$P_a \times B_{pa} + V \times B_v = M \times B_m \quad (11)$$

$$P_a + V = M \quad (12)$$

onde,

$P_a$  = peso do produto açucarado no mosto

$B_{pa}$  = Brix do produto açucarado

$V$  = peso de vinhaça

$B_v$  = Brix da vinhaça

$M$  = peso de mosto

$B_m$  = Brix do mosto

Em termos percentuais e substituindo o valor de  $V$  na equação (11) pelo valor da equação (12), obtém-se:

$$B_{pa} = \frac{100 \times B_m - (100 - P_a) \times B_v}{P_a} \quad (13)$$

$$P_a = \frac{100 \times (B_m - B_v)}{B_{pa} - B_v} \quad (14)$$

O álcool produzido por unidade de peso do produto açucarado é dado por:

$$\text{Álcool produzido} = Pa \times \frac{Bpa}{100} \times \frac{Ppa}{100} \times 0,648 \times Ef \times Ed \quad (15)$$

onde,

Pa = Peso do produto açucarado

Bpa = Brix do produto açucarado

Ppa = Pureza (ART/Brix) do produto açucarado

Ef = Eficiência de fermentação

Ed = Eficiência de destilação

No preparo do mosto tem-se pa% do produto açucarado para cada 100 kg mosto; assim, para Pa kg do produto açucarado tem-se:

$$\begin{array}{l} pa \dots\dots\dots 100 \text{ kg mosto} \\ Pa \dots\dots\dots x \end{array}$$

$$\text{donde, } x = \frac{100 \times Pa}{pa} \quad (16)$$

que dividido pela densidade fornece o volume de mosto. O volume de vinho é obtido tomando-se a água adicionada no pé-de-cuba, o fator k. Logo, o volume de vinho será:

$$\text{Volume de vinho} = 100 \times \frac{Pa}{pa} \times \frac{1}{dm} \times \frac{1}{k} \quad (17)$$

que multiplicado pelo GA e pela eficiência de destilação (Ed) fornece o álcool (etanol) produzido:

$$\text{Álcool produzido} = 100 \times \frac{Pa}{pa} \times \frac{1}{dm} \times \frac{1}{k} \times \frac{GA}{100} \times Ed \quad (18)$$

Fazendo-se (15) igual a (18), e destacando o valor do Brix do produto açucarado (Bpa) que será usado para preparar o mosto, tem-se:

$$Bpa = \frac{GA \times Bv}{GA - 0,00648 \times Ppa \times Ef \times (Bm - Bv) \times dm \times k} \quad (19)$$

A porcentagem do produto açucarado no mosto é dada pela equação (14).

Exemplo:

O Brix do xarope (não tão concentrado!) a ser diluído com vinhaça recirculada na proporção de 50%, para as condições que se seguem, seria:

GA desejado = 10

Ppa = 90

Ef = 90%

Água utilizada no pé-de-cuba = 20%, logo k = 0,80

Fator devido a injeção de vapor na coluna, k<sub>1</sub> = 0,87

O valor do Brix da vinhaça após recirculação é dado pelas equações (7) e (10).  
Aplicando-se estas equações obtém-se:

$$B_v = 3,32$$

$$B_m = 23,3 \text{ (dm} = 1,10\text{)}$$

Confirmando, o Brix do xarope (produto açucarado), conforme equação (19), deveria ser de:

$$B_{pa} = \frac{10 \times 3,32}{10 - 0,00648 \times 90 \times 0,90 \times (23,3 - 3,32) \times 1,10 \times 0,8} = 43,0$$

A porcentagem de xarope no mosto será:

$$P_a = \frac{100 \times (23,3 - 3,32)}{43,0 - 3,32} = 50,4 \% \text{ (em peso)}$$

Como o xarope estaria mais concentrado (50 Brix), haveria necessidade de diluir, adicionando também água no preparo do mosto.

## 5.4 Comentários sobre a recirculação da vinhaça

Teoricamente, o limite para recirculação da vinhaça seria o ponto em que a concentração de substâncias inibidoras no vinho começar a prejudicar a fermentação. Hoje sabe-se que com méis tem sido provado que a inibição é imediata, resultante de metabólitos das etapas anteriores, e fatores de estresse apontados por Ingledew. Com relação ao que está sendo praticado na Colômbia (Praj), o exposto acima se confirma, uma vez que lá é necessário propagação contínua de leveduras para manter a fermentação.

Uma possibilidade seria numa destilaria autônoma (moagem de cana somente para produção de álcool), onde a alta pureza do produto açucarado (caldo) proporciona bem menos inibição; destilarias autônomas no Brasil são comuns, contudo, não se tem notícia que tenha sido tentado a recirculação da vinhaça.

## 6 Concentração da vinhaça

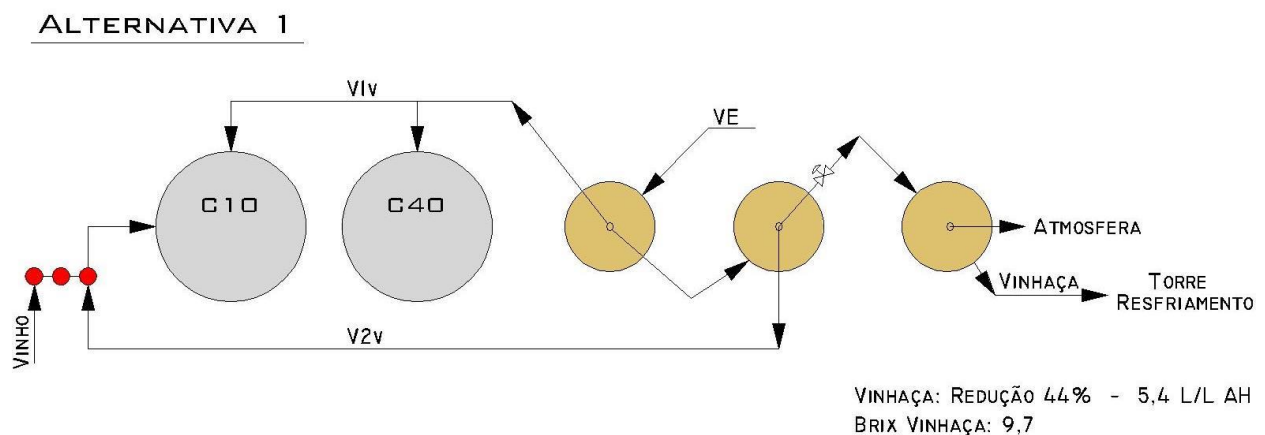
No Brasil, somente recentemente começou a haver interesse em concentrar a vinhaça, fruto do maior rigor na legislação de meio ambiente, exigindo distribuição desconcentrada nas áreas de cana. Do ponto de vista industrial, já há cerca de 20 anos, compreendeu-se que a colocação continuada de vinhaça em áreas restritas de cana resulta em super adubação do solo, fazendo retardar a maturação da cana, e resultando em alto teor de ácido aconítico no caldo no início da safra; o caldo tratado na usina recebe cal, resultando na formação de aconitato de cálcio, cuja solubilidade, ainda que baixa, avança no caldo clarificado, e nos cozimentos para a fabricação do açúcar e cristaliza com a sacarose (“sim-cristalização”, ou cristalização simultânea), produzindo muita incrustação na evaporação do caldo, floculação na fermentação, mas especialmente açúcares com alto teor de cinzas, impróprios para a produção de refrigerantes.

A solução é, de fato, distribuir a vinhaça na grande área de cana, evitando a super adubação. Como levar vinhaça para áreas distantes da usina? Reduzir o volume para viabilizar o transporte por veículos!

## 6.1 Alternativas para a concentração da vinhaça

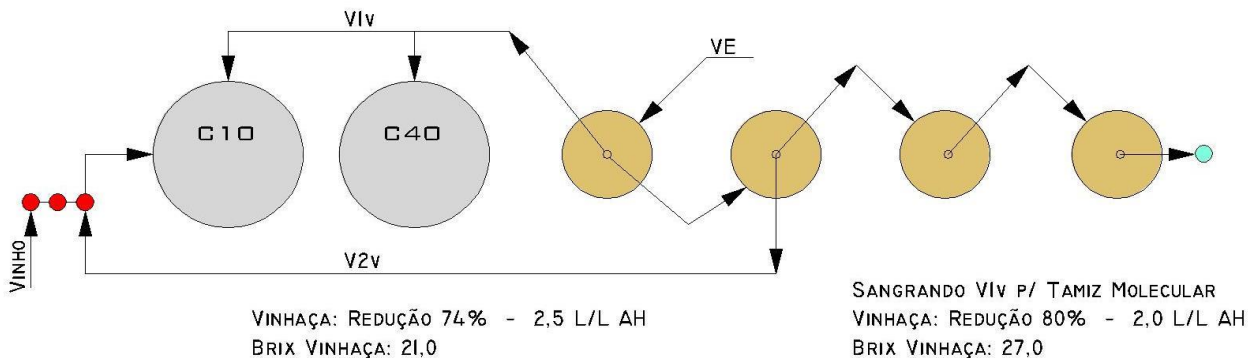
Nos Estados da região Centro-Sul do Brasil, as canas normalmente têm moderado teor de fibra, raramente atingindo médias de safra maiores que 13,5%. Por mais aperfeiçoado que seja o balanço térmico da usina, sempre há preocupação quanto ao consumo de vapor, de outro modo, com a autossuficiência do combustível para as caldeiras, o bagaço. A exportação de potência elétrica no sistema de cogeração é outro fator que consome bagaço. Disso tudo, resulta na busca de soluções para a concentração da vinhaça que sejam antes de tudo de baixo consumo de vapor, o que nem sempre é fácil; e também os sistemas de evaporação da vinhaça geram investimentos caros, pois, sendo a vinhaça um efluente líquido bastante corrosivo (baixo pH) a maioria dos materiais necessita ser de aço inoxidável tipo 316 ou 316L.

Este autor tem estudado o assunto há tempo, e são apresentadas cinco opções, todas dentro do conceito de integração térmica, para minimizar o consumo de vapor. As alternativas apresentadas consideram como referência a vinhaça obtida de um vinho de GA de 10%v, produzido de matéria prima de pureza 75 (ART/Brix refratométrico).



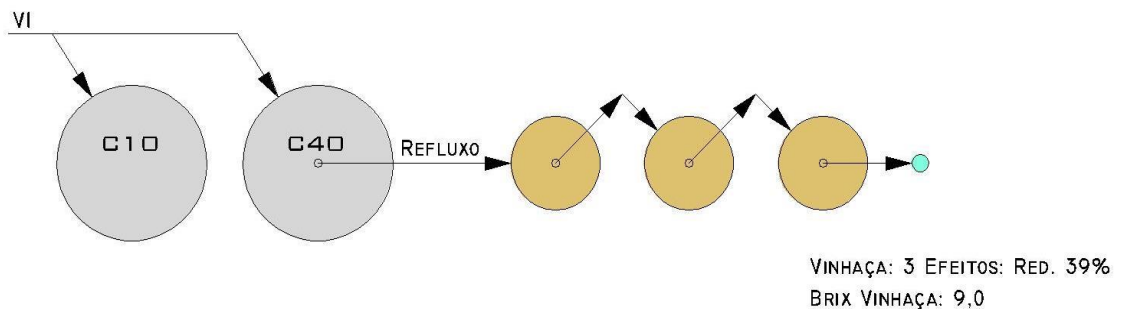
Na Alternativa 1, a mais simples, a evaporação é em dois efeitos, o primeiro efeito utilizando vapor de escape (VE, pressão ao redor de 1,4 kg/cm<sup>2</sup>) produzindo vapor vegetal de vinhaça (V1v) que faz o aquecimento das colunas destiladora e retificadora, ambas usuais, operando a pressão atmosférica, portanto, sem modificações nas colunas. O segundo efeito gera um V2v que é utilizado para o aquecimento do vinho, portanto, a vinhaça saindo da coluna a 110°C segue direto, sem flasheamento, para o 1º efeito. Como este 2º efeito ainda está com pressão (ao redor de 0,3 kg/cm<sup>2</sup>), uma válvula de controle da pressão é instalada na descarga da vinhaça, para um vaso aberto onde ocorre algum flasheamento. Deste vaso, a vinhaça é captada e segue para uma torre de resfriamento de vinhaça. Vale lembrar que na torre de resfriamento de vinhaça, ocorrendo a perda de 55°C (de 100°C para 45°C) a perda de água percentual é calculada pelo delta da perda de temperatura dividido pelo calor latente de vaporização da água, portanto,  $100 \times 55 / 540 = 10\%$ , que não é pouca e é de baixo custo.

### ALTERNATIVA 1/1



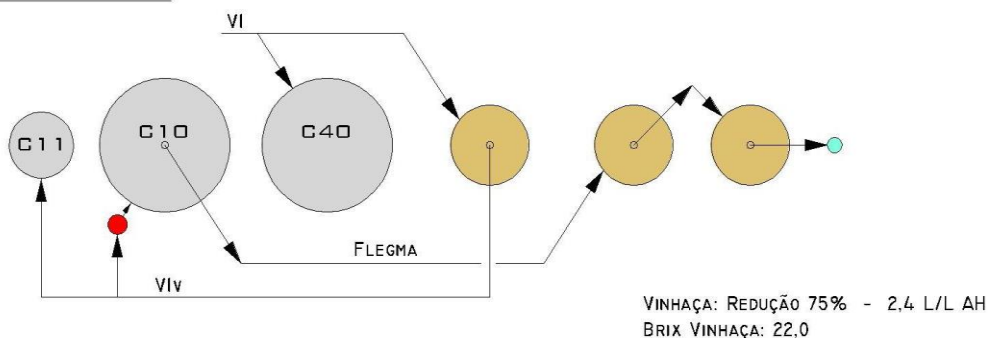
A Alternativa 1/1 é uma variante da Alternativa 1, onde são instalados 4 efeitos, do 1º efeito podendo ser sangrado V1v também para a desidratação do álcool, seja pela Peneira Molecular, ou pelo Ciclohexano. No último efeito, necessita um condensador de superfície, pois os vapores de vinhaça têm ainda razoável teor de DQO, e seria o caso de instalar o chamado condensador evaporativo.

### ALTERNATIVA 2



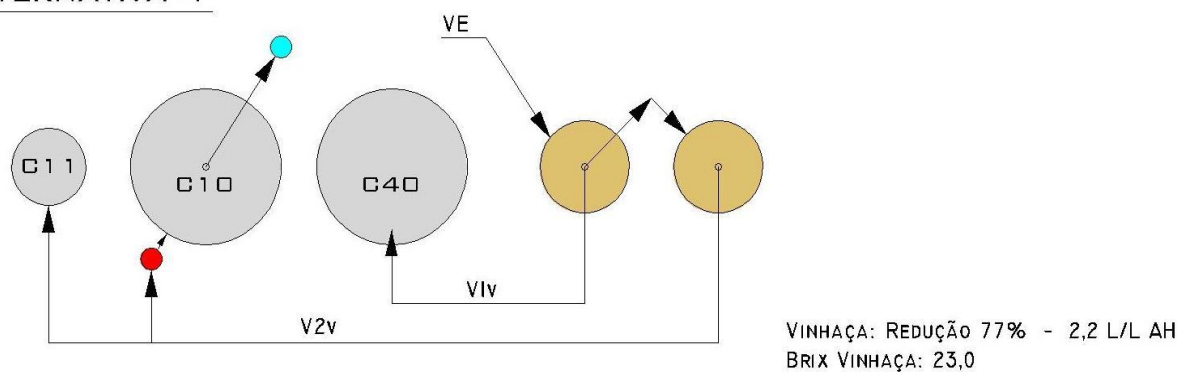
A Alternativa 2 tem sido usada no Brasil utilizando o vapor do álcool da cabeça da retificadora que necessita ser condensado para o refluxo, mas que ao invés de ser condensado nos condensadores da coluna são utilizados no 1º efeito da evaporação. O ruim desta Alternativa é que o vapor alcoólico tem somente 80°C e tem muito pouco calor disponível, não sendo possível aumentá-lo, e que cerca de 35% deste calor é usado para o pré-aquecimento do vinho que segue para a destilação; a modificação do sistema usual para a implantação desta alternativa tem se mostrado operacionalmente problemática e não tem sido bem aceita.

### ALTERNATIVA 3



A Alternativa 3 considera que a coluna destiladora deve operar sob vácuo, portanto num Aparelho existente necessita ser trocada. O vapor V1 oriundo da evaporação do caldo para açúcar segue para a destilaria e é usado para aquecer a coluna retificadora e o 1º efeito da evaporação de vinhaça; o vapor do 1º efeito da vinhaça (V1v) é utilizado para o aquecimento direto, ou indireto, da coluna destiladora e para uma coluna depuradora operando sob pressão atmosférica para a retirada de parte dos gases existentes no vinho, e do pé desta depuradora faz-se a transferência para a coluna destiladora. Como a destiladora é operada sob vácuo, o flegma necessita ser condensado, sendo feito no 2º efeito da evaporação de vinhaça. Como a coluna destiladora não necessita operar sob muito vácuo, podendo operar praticamente na pressão atmosférica (0 kg/cm<sup>2</sup>), o flegma pode ter temperatura ao redor de 80°C, podendo operar dois efeitos ou até mesmo três.

#### ALTERNATIVA 4



Esta Alternativa considera a evaporação em dois efeitos, o primeiro sendo aquecido por VE e o V1v produzido aquece a coluna retificadora. O vapor do 2º efeito (V2v) aquece a destiladora também operando sob vácuo moderado, ou pleno para evitar incrustações na coluna. A condensação necessária seria dos vapores de flegma, que pode ser realizada ainda num 3º efeito para reduzir mais ainda o volume de vinhaça.

É difícil ter preferência por alguma destas Alternativas, pois, depende das circunstâncias, das necessidades de cada caso. A Alternativa 3 ou a 4, considera a coluna destiladora sob vácuo, que ainda que não pareça, é de operação fácil e podendo evitar incrustações com vinhos produzidos de méis, que podem causar dificuldade operacional.



### Referências:

1. Fontes, J.B., Reciclagem do vinhoto, *Saccharum*, dez. 79
2. Teixeira, A.S., Utilização das caldas ou vinhotos na fermentação alcoólica, *Revista Brasileira de Engenharia Química*, jun.79
3. Desmond, R., Aplicação da vinhaça na preparação de mostos de melão, II Semana de fermentação alcoólica, Instituto Zimotécnico, 1:153-9, 1961.
4. Zarpelon, F., Redução do volume de vinhoto, *Revista Stab*, nov/dez. 82