

Por: Eng^o Carlos von Wieser *

Rev. 4 Agosto/2002

UMA ANÁLISE COMPARATIVA

As características físico-químicas e o seu baixo custo fazem da água, quando disponível, o agente ideal para o transporte de calor; isto é, para os processos técnicos de troca térmica.

Água fresca e limpa, elemento básico da nossa vida, como o ar que respiramos ou fogo que nos aquece, é um bem comum da sociedade. Entretanto, só damos a ela o devido valor quando nos falta.

Preservar os recursos hídricos disponíveis, portanto, não é somente um dever cívico, como, pela sua limitação, um dever econômico. A água tem um preço !

Preservar significa reutilizar com um mínimo de desperdícios. A reutilização em circuitos de resfriamento impõe a obrigação de devolvê-la à fonte no estado em que a encontramos. Purificada, se ela foi contaminada no seu uso; fresca, se ela foi aquecida.

Uma vez usada a água para dissipação de calor, ela deve ser resfriada por um método economicamente viável para que possa ser reutilizada; seja novamente no processo de troca térmica, seja para retorno aos cursos hídricos.

O investimento necessário e o custo operacional deste resfriamento dependem não somente da quantidade e qualidade de água que deve ser resfriada, mas principalmente da temperatura desejada para a água resfriada: quanto mais fria, maior o custo e maior o consumo de energia.

Em contrapartida, e via de regra, diminui o custo do investimento do equipamento que é resfriado com a água, na medida em que diminui o nível de temperatura de troca térmica, ou seja, para um mesmo valor de investimento, aumenta a sua capacidade produtiva.

Estes conceitos ganham em importância, na medida em que são implantadas novas instalações que requeiram a evaporação / condensação de fluidos. Entre estas se destacam as Usinas de Açúcar e Destilarias de Álcool, como exemplos atuais, importantes e típicos.

É que estas, em geral, tem água em abundância e a baixo custo. Isto convida a soluções improvisadas, também de baixo custo. A " economia ", entretanto, compromete a médio ou longo prazo o custo industrial, caso se preterir ou esquecer a importância da temperatura baixa da água resfriada, indispensável para a otimização dos processos industriais, envolvidos.

Os responsáveis pela operação de uma Usina, os projetistas e os fabricantes de equipamentos confirmam que em limites práticos aquela Usina, que tem uma temperatura de água mais fria nas dornas, condensadores e trocadores de calor, produz mais e com mais eficiência no uso das instalações que aquela que usa água com temperatura mais alta.

Quantificar essa eficiência maior, em comparação a uma outra unidade, porém com água menos fria, é difícil, pois não existem duas unidades realmente iguais, disponíveis para uma comparação.

Quase por acaso se estabeleceu este valor no passado, como um exemplo, quando em uma destilaria a produção de álcool aumentou em aprox. 20 % com a instalação de uma torre de resfriamento, que reduziu a temperatura da água resfriada em 3 – 4^o C, em relação a temperatura anterior, obtida com a água de um tanque de pulverização.

A água mais fria, neste caso, foi conseguida com a implantação de uma torre de resfriamento de água (TR) substituindo um tanque de pulverização (TP).

Por tradição, ou por facilidades locais, ou ainda, por acreditarem que a torre de resfriamento de água representa um investimento muito alto, empresas ligadas ao setor, por vezes continuam a considerar o TP como a solução mais econômica, “que também funciona na prática “ e tem menor custo de manutenção.

O TP entretanto, apesar de sua aparente simplicidade construtiva, não deve ser considerado como única alternativa válida para o resfriamento de água em Destilarias de Álcool e Usinas de Açúcar, sob risco de decisões erradas.

O desenvolvimento tecnológico havido em torres de resfriamento de água, fez com que esta seja a mais eficiente e a mais econômica forma de se resfriar a água por evaporação nos processos envolvidos.

Usar um tanque de pulverização (TP) em vez de uma torre de resfriamento (TR) de água, pode resultar em investimentos inúteis e prejuízos operacionais.

Um investimento inútil, porque não fornece a água resfriada a temperatura ideal, e quando construído dentro das normas recomendadas pelos manuais de engenharia, pode ter um custo total de investimento maior do que o de uma torre de resfriamento.

A temperatura de água fria ideal para uma Usina é aquela que se pode atingir por um custo global inferior ao valor econômico do conseqüente acréscimo na capacidade produtiva.

A experiência mostra que o rendimento de uma Usina é otimizado, entre outros fatores, quando a água resfriada é disponível com uma temperatura de no máximo 30° C, ou, preferivelmente, com temperatura ainda ligeiramente inferior a esta, se não há outras limitações técnicas (vide abaixo).

O custo e o grau de dificuldade para a obtenção desta temperatura esta diretamente ligado à temperatura do ar no bulbo úmido local, ou seja, quando a temperatura de bulbo úmido baixar (inverno), a temperatura de água resfriada também abaixa proporcionalmente e vice-versa.

Para o estado de São Paulo considera-se uma temperatura de bulbo úmido (média das máximas diárias) de 23° C, para os meses do período da safra. Para a região **N/NE**, esta temperatura está em torno de 26° C. Em outras palavras: No centro Sul consegue-se resfriar água a uma mesma temperatura por um custo menor que no NE, seja por TR ou TP.

Porque é difícil e antieconômico alcançar o nível de temperatura de 30° C em um tanque de pulverização?

Segundo o “ Manual de Engenharia Açucareira “ (E. Hugot), a temperatura mais baixa que pode ser alcançada em tanque de pulverização é dada pela seguinte fórmula:

$$n = \frac{t_2 - t_1}{t_2 - t_0}$$

onde:

n = rendimento

t₂ = temperatura de água quente

t₁ = temperatura de água resfriada

t₀ = temperatura de bulbo úmido local, média das máximas diárias, no período da safra.

O rendimento (**n**) , segundo o mesmo manual, é de 60% para um tanque de pulverização, valor tradicionalmente usado para o seu dimensionamento e para a comparação à seguir.

Em destilarias a água quente, sai das colunas e trocadores com um aquecimento de aproximadamente 18° C acima da água fria, que entra.

Assim, um tanque de pulverização na região do estado de São Paulo ($t_0 = 23^\circ \text{C}$) tem como temperatura de água resfriada (t_1) :

$$0,6 = \frac{48 - t_1}{48 - 23} \Rightarrow t_1 = 33^\circ\text{C}$$

Como os diferenciais térmicos ($t_2 - t_1$) situam-se em torno de 18° C, a água sofrerá um gradativo processo de aquecimento, pois t_2 agora será 51° C e a nova t_1 :

$$0,6 = \frac{51 - t_1}{51 - 23} \Rightarrow t_1 = 34,2^\circ\text{C}$$

Assim, vê-se a impossibilidade de se atingir a temperatura ideal de água resfriada acima indicada como sendo de 30° C, com o tanque de pulverização. O nível real de temperatura de água resfriada, neste caso se estabelece em função da intensidade do vento natural, etc.

Ocasionalmente podem ser verificadas nestes tanques temperaturas inferiores, porém isto se deve ao fato de a medição ter ser efetuada em épocas de temperatura baixa no bulbo úmido (inferior a 23° C), ou ainda devido à mistura com grandes volumes de água fria, renovados continua e abundantemente, proveniente de outras fontes naturais (açudes, represas, lagoas ou rios).

Portanto, mesmo se considerarmos unicamente o fato de um tanque de pulverização (TP) por si só não poder resfriar a água a uma temperatura abaixo de 33° C, isso já o elimina da condição de alternativa econômica para o resfriamento da água em uma usina nova.

Porém, também sob o aspecto de custo de investimento, o TP não é economicamente recomendável. Comparações dos custos de investimento entre um tanque de pulverizadores (TP) e uma torre de resfriamento de água (TR) demonstram isto.

A análise correta dos custos comparativos entre a instalação de um TP ou de uma TR, deve ter por base instalações de igual capacidade; isto é: igual vazão, igual nível de temperatura de água fria e igual carga-térmica à dissipar.

É fácil dimensionar uma TR que resfrie uma determinada vazão de água na faixa de temperaturas que são usuais e típicas de um TP ($t_1 = 33^\circ \text{C}$). Porém é difícil e inseguro dimensionar um TP, que por sua vez resfrie sempre esta mesma vazão de água na faixa de temperaturas típicas para uma TRA.

O exemplo comparativo, a seguir demonstrado, mostra uma instalação padrão de uma Destilaria de 120.000 l/dia de álcool, que resfria 750 m³/h de água em circulação (trocadores de calor e condensadores), de 51° C para 33° C, com base em uma temperatura do ar no bulbo úmido de 23° C (valor representativo para o interior do Estado de São Paulo, durante o período da safra, Maio / Novembro). Para o TP admite-se uma velocidade média do vento natural, horizontal, transversal e na saída do banco dos pulverizadores, de 0,5 m/s, a 600 m acima do nível do mar. Desde que mantidas as condições de igualdade dos parâmetros de comparação, o princípio e os resultados são representativos também para outras áreas geográficas de implantação, com maiores ou menores temperaturas do ar no bulbo úmido. O próprio interessado pode variar os dados básicos para efeito de cálculo, conforme as condições específicas, válidas para um determinado projeto e/ou uma determinada região com a sua temperatura de ar no bulbo úmido, representativa

Foram admitidas as seguintes simplificações, que podem oscilar e assim modificar um determinado valor, para mais ou para menos, e que o interessado em um caso específico pode considerar ou não, sempre em função da disponibilidade de dados complementares, tais como:

- a) O efeito do re-aquecimento pela insolação, à qual está exposta a grande área de superfície do TP, não foi considerado no dimensionamento deste. O efeito, que tem influência restrita no resultado, vai a favor da TR.
- b) O custo do terreno ocupado, valorizado pela sua mínima vizinhança à usina, não considerado, vai também em favor da TR, tendo em vista a expressiva área a maior, que necessita o TP.
- c) Também não foi valorizada a perda de água por arraste. Esta é fixa na TR, perfazendo aproximadamente 0,05% da vazão da circulação (375 l/h neste exemplo), e é variável no TP, com 1 a 10% da vazão em circulação (7.500 – 75.000 l/h), em função da intensidade do vento, da pressão de pulverização, da forma geométrica do TP e ainda da direção dos ventos predominantes em relação ao TP. Valores médios, de arraste, observados, situam-se em torno de 3,0%, acrescidos de eventuais perdas por infiltração ou fugas, principalmente quando o banco de pulverizadores é montado sobre lago ou açude de terra.
- d) Todos investimentos periféricos e/ou auxiliares, tais como bombas, tubulações externas, comandos e controles (elétricos e hidráulicos) etc., foram considerados como sendo de custo similar nas duas instalações alternativas analisadas. Isso muito embora as TR's serem geralmente montadas a menor distância da fonte de calor do que os TP's por ocuparem menos área, e por não incomodarem com "chuveiro". As bombas das TR's são de menor custo que aquelas dos TP's, pela menor pressão da pulverização nas TR's.
- e) Vantagem aparente da insensibilidade do TP contra crescimento de microorganismos, inexistente. O moderno enchimento de contato por de barras lisas de respingos, com efeito de auto-lavagem pela corrente de água, também torna a TR insensível à formação de incrustações por microorganismos. Em ambas alternativas vale, ainda assim, a regra que uma desinfecção da água em circulação mantém as superfícies de troca térmica limpas e com isso, a sua capacidade de carga-térmica nominal inalterada.
- f) Embora o custo de manutenção preventiva seja maior em uma TR, o custo da manutenção corretiva é maior no TP, se este tem seus dutos executados em aço-carbono.

COMPARAÇÃO:

	TORRE DE RESFRIAMENTO (TR)	TANQUE DE PULVERIZAÇÃO (TP)
Método de dimensionamento e Confiabilidade:	Cálculos matemáticos, resultados seguros e confiáveis	Cálculos empíricos, resultados condicionados, que nem sempre se confirmam.
Custo de Manutenção	Médio, por se tratar de materiais resistentes à corrosão, dependendo do nº de células	Elevado na manutenção corretiva pela frequência de troca de peças corroídas.
Reaquecimento por insolação	Nenhum	Moderado, função da área de superfície e profundidade.
Área Ocupada	Reduzida (aprox. 0,07 m ² por m ³ /h).	Grande (1,2 a 1,5 m ² por m ³ /h)
Perda de Água por Arraste	Muito baixa (0,1%)	Elevada (3,0%) (em função do vento)
Consumo de Energia (bombas + ventiladores)	Igual	

EXEMPLO DE COMPARAÇÃO:

01. CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO

Temperatura de água quente	-	t_2	=	51 °C
Temperatura de água resfriada	-	t_1	=	33 °C
Temperatura de bulbo úmido	-	t_0	=	23 °C
Vazão	-	Q	=	750 m ³ /h

02. CUSTOS DE INVESTIMENTO

2.01 TANQUE DE PULVERIZAÇÃO (TP)

Para o levantamento dos custos de investimento de um tanque de pulverização este deve ser corretamente dimensionado, sob risco de não haver comparação justa.

Conforme o “Manual de Engenharia Açucareira”(E. Hugot), se recomenda utilizar

$\frac{Q}{S} = 750 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ para um “rendimento” de 0,6 (60%), sendo:

$Q =$ Vazão de água a resfriar (kg/h)
 $S =$ Superfície necessária do tanque (m²)

$$S = \frac{750.000}{750} = 1.000 \text{ m}^2$$

Esta área é representada por um tanque de 50 x 20 m de área, por exemplo. Acrescentando as margens de segurança, recomendadas, afim de diminuir as perdas de água por arraste pelo vento, forma um tanque de 63,0 x 26,0 m.

O tanque de pulverização típico é escavado em 0,5 – 0,6 m de profundidade com “laje” de 5 cm de cimento magro sobre camada de 10 cm de brita adensada e com revestimento asfáltico. Custo típico da obra civil, inclusive projeto = US\$ 42,00 / m² (inclusive os bordos contra excesso do respingo).

O custo típico do sistema hidráulico, com aspersores, montado dentro do limite do tanque, é de US\$ 33,00/m², aproximadamente, montagem incluída.

O custo somado, portanto, é de: US\$ 75,00/m², nos limites do tanque.

O tanque em apreço terá, portanto, um custo total de US\$ 75.000,00.

2.02 TORRE DE RESFRIAMENTO (TR)

Para as condições de projeto do TP ou seja 750 m³/h nas temperaturas 51/33/23 °C, uma torre de resfriamento de água fabricada com os mais atuais materiais, carcaça em fiberglass, enchimento de contato em PVC, à prova de sólidos em suspensão com enchimento auto-lavável, com bacia em concreto, tem um custo de implantação comparável de US\$ 60.000,00, imposto e montagem incluídas, dentro dos seus limites físicos.

Assim, uma Torre de Resfriamento, nas mesmas condições de projeto, tem um custo inferior ao tanque de pulverização, além de proporcionar todas as vantagens anteriormente mencionadas.

Com um investimento adicional de US\$ 35.000,00, para este exemplo, pode-se implantar uma Torre de Resfriamento, que proporciona uma temperatura de água fria de 30 °C (antes 33 °C), que poderá aumentar a produção de álcool da destilaria em até 20%, ou seja, em mais de 24.000 l/dia de faturamento adicional.

Um outro aspecto que deve ser analisado é o consumo de energia em um ou outro sistema.

De maneira geral pode-se afirmar que se equivalem, pois o consumo adicional de energia dos ventiladores da torre é compensado pelo menor consumo de bombeamento de água, se a água quente for distribuída por gravidade na torre.

3) **TORRES DE RESFRIAMENTO PARA COLUNAS BAROMÉTRICAS:**

Em fábricas de açúcar aumenta a taxa de evaporação nos concentradores com o aumento do vácuo nas colunas barométricas. E o vácuo aumenta com a redução da temperatura da água de condensação, que chega as colunas.

Com o aumento da taxa de evaporação, mediante redução da temperatura de água de condensação, aumenta o arraste de gotas de caldo da superfície em ebulição, para a coluna barométrica, contaminando a água de resfriamento, com acentuada formação de biolimo em todo circuito.

A alta taxa de arraste de caldo, que a alta velocidade de saída do vapor provoca, pode fazer com que uma baixa temperatura da água resfriada (abaixo do limite que um TP consegue produzir), seja indesejada, contraproducente e antieconômica. Os ventiladores da TR consomem neste caso desnecessariamente energia elétrica.

Isto incide principalmente em instalações mais antigas, existentes, onde os diâmetros dos dutos de condução do vapor de descarga foram dimensionados para a velocidade-limite que as colunas barométricas podiam tradicionalmente produzir com a água de condensação na temperatura de um TP e não de uma TR, que ainda não era usual.

Se isto acontece em uma instalação existente, onde o consumo de energia com as torres é exageradamente alto (em comparação teórica com um TP), este consumo poderá ser, sem novos investimentos, drasticamente reduzido, através da diminuição da rotação dos ventiladores axiais, mediante troca das taxas de redução na transmissão do acionamento.

Com uma redução para 50% de sua rotação, um ventilador axial reduz para 15 a 20% (redução em 80 / 85%) o seu consumo de energia, mantendo em 50% a sua tiragem de ar no sistema e com isto também em aprox. 50% sua capacidade.

Assim, reduzindo a rotação dos ventiladores para a metade, atinge-se com uma TR (se esta foi projetada para uma temperatura de água fria de 3 - 4° C abaixo da temperatura que é obtida em TP), aquele nível da temperatura de água resfriada que um TP similar também poderá atingir, reduzindo o consumo de energia.

Importante: Em condições de igualdade de temperatura de água resfriada, uma TRA (com distribuição da água quente por gravidade), consome menos energia (bombas + ventiladores), que um TP.

Em instalações críticas, onde o arraste de açúcar aumenta com a operação de uma torre e se torna excessivo, não é preciso abandonar a torre e voltar ao TP, para reduzir o arraste e o consumo de energia. Basta reduzir a rotação dos ventiladores da torre.

Em projetos de usinas novas sugere-se planejar com temperaturas baixas de água de condensação (3 ... 4 °C abaixo daquelas assumidas para TP's) e limitar com um projeto aprovado o arraste de açúcar, para permitir o aproveitamento máximo de um vácuo melhorado, sem perdas. Isto melhora o rendimento global da usina:

Como conclusão fica que uma moderna Torre de Resfriamento, no lugar de um Tanque de Pulverização traz como vantagem para uma usina:

- Maior produção de álcool e/ou açúcar, sem aumento do consumo de energia;
- Redução do consumo de água;
- Melhor aproveitamento das áreas anexas à usina, e
- Melhor controle dos processos.

* O Engº Carlos von Wieser é co-fundador e diretor técnico, desde 1951 da ALPINA S/A Indústria e Comércio, hoje ALPINA Equipamentos Industriais Ltda, fabricante de instalações, equipamentos e componentes para troca térmica, ventilação e proteção do meio ambiente.

Agosto/2002

PRESERVAMOS ÁGUA + ENERGIA + MEIO AMBIENTE

Spray-Pond X Torre