

Resfriamento Evaporativo de Ar

Material cedido pela Basenge

1-O QUE É:

Genericamente, resfriamento evaporativo ocorre quando algum meio ou produto cede calor para que a água evapore. A evaporação de um produto qualquer é um processo endotérmico, isto é, demanda calor para se realizar. Esta transferência de calor pode ser forçada (quando fornecemos o calor) ou induzida (quando criamos condições para que o produto retire calor do meio). Um exemplo bastante conhecido de resfriamento evaporativo é a Torre de Resfriamento, pois nela uma parcela de água é induzida a evaporar, retirando calor da água remanescente, que se resfria por ceder este calor. No resfriamento evaporativo de ar, o mesmo princípio é utilizado: o ar cede energia (calor) para que a água evapore, resultando numa corrente de ar mais fria à saída do resfriador.

A maneira como induzimos esta troca de calor está melhor explicada no item 4 abaixo.

2-HISTÓRIA:

Na verdade, o homem já utiliza o resfriamento evaporativo há muito tempo. Afrescos do antigo Egito (2500 AC) mostram escravos abanando jarros (de paredes porosas) com água, para resfriar o conteúdo.

Isto é feito ainda hoje em dia (sem os escravos, é claro) nos filtros e bilhas de barro cozido. Uma fração da água armazenada evapora através da parede do vaso, resfriando o líquido remanescente.

Na Roma antiga e na Idade Média, reservatórios de água com paredes umidificadas foram utilizados. A genialidade de Leonardo Da Vinci levou-o a idealizar um resfriador evaporativo em forma de roda d'água.

3- EXEMPLOS PRÓXIMOS:

Embora nem sempre nos demos conta, com alguma frequência sentimos os efeitos do resfriamento evaporativo:

- Quando nos aproximamos de uma cachoeira e notamos o ar mais fresco;
- Quando saímos de uma piscina (deixamos a água, que está mais fria e entramos em contato com o ar, que está mais quente) e temos aquela sensação de frio;
- Quando terminamos de lavar as mãos e as abanamos, sentindo-as esfriarem;
- Quando, num dia quente, acontece uma "Chuva de Verão" e observamos a quase instantânea queda da temperatura;
- A Temperatura de Bulbo Úmido (TBU) que é lida num termômetro com o bulbo envolvido por uma gaze úmida, é a temperatura mais baixa que o ar ambiente pode assumir no local, e corresponde à condição de ar saturado obtida pela evaporação da água na região junto ao bulbo.

Muitos outros exemplos podem ser citados, mas acreditamos que o nosso leitor já tenha compreendido a idéia do RESFRIAMENTO EVAPORATIVO. É simples, mas não custa enfatizar que é com ele que a Terra controla a temperatura sobre sua superfície.

4-O PRINCÍPIO:

O ar atmosférico é uma mistura de ar seco e vapor de água. Para uma dada condição de temperatura e pressão esta mistura tem capacidade de conter uma quantidade máxima de vapor d'água (ar saturado = 100% de umidade relativa ou 100% UR). Na prática esta condição de ar saturado só é observada durante e logo após uma chuva. Normalmente o ar encontra-se insaturado (UR<100%) e, portanto, apto a absorver mais umidade.

Quanto mais seco o ar (menor UR), maior a quantidade de vapor de água que pode ser absorvida.

Para que haja esta absorção é necessário que a água utilizada passe da fase líquida para a fase vapor. Esta mudança de fase demanda uma quantidade de energia que é retirada do meio, no caso o ar, resfriando-o.

Existe um princípio básico nas reações físico-químicas segundo o qual quanto maior a superfície de contato entre os reagentes, maior a velocidade da reação. Assim sendo, devemos procurar aumentar a área de contato entre a água e o ar. Como o ar já se encontra diluído e ocupando todos os espaços disponíveis, resta-nos a água para dispersar.

5-PROCESSOS UTILIZADOS:

Uma maneira de "expandir" a água é através de chuveiros, sprays ou atomização. São métodos bastante eficientes, que atingem elevados índices de umidificação e abaixamento de temperatura. Recomenda-se, no entanto, que este tipo de umidificação seja efetuado dentro do resfriador. Quando lançada no ambiente, mesmo que micro-pulverizada, a água pode encontrar uma região já saturada, o que fará com que não seja absorvida pelo ar e se precipite, molhando o que estiver em seu caminho até o solo. Mesmo sistemas com umidostatos e válvulas solenóides, que cortam o fluxo de água quando determinada umidade relativa é atingida, tendem a gotejar nos bicos até a estabilização da pressão de água no sistema.

Outra maneira adotada é a de utilizar superfícies de contato, isto é, utilizando materiais com elevada superfície exposta. A água é distribuída na parte superior de colmeias ou mantas e desce por canais pré-formados ou aleatórios, molhando todo o meio. O ar atravessa transversalmente a colmeia ou a manta, entrando em contato íntimo com o meio umedecido e absorvendo umidade até bem próximo da saturação.

As principais vantagens deste método são:

- A parte molhada do sistema fica restrita ao equipamento;
- Nunca se ultrapassa o ponto de saturação, pois o ar só absorve a umidade que pode comportar, deixando no equipamento a água excedente;
- Este processo realiza ainda uma lavagem do ar, retendo poeira e sujeiras na colmeia ou na manta, as quais são continuamente lavadas pela água excedente.

Os resultados globais atingidos por qualquer dos sistemas acima descritos dependem ainda do fluxo do ar. É necessária a adequação de vazão e velocidade para que se obtenham as melhores condições ambientais.

Estas considerações são normalmente levadas em conta pelos fabricantes dos equipamentos.

6-ENERGIA ENVOLVIDA:

Quando 1 litro de água (1kg) se evapora, consome aproximadamente 580 kcal. É a mesma quantidade de energia necessária para resfriar 60 litros de água de 30°C até 20°C. Ou para resfriar 208m³ de ar (242kg) dos mesmos 30°C até 20°C.

Como se pode observar pelos números acima, a energia envolvida na mudança de fase da água (calor latente) corresponde a uma grande variação de temperatura da mesma (calor sensível).

Temos aqui a resposta para uma pergunta bastante freqüente: o uso de água gelada melhora a eficiência do resfriador? NÃO, pois o ganho em redução de temperatura é insignificante frente ao obtido pela evaporação.

7-REDUÇÃO DE TEMPERATURA:

De acordo com o já exposto, sabemos que a redução de temperatura será tanto maior quanto menor for a umidade relativa do ar captado pois, assim sendo, para uma mesma temperatura na entrada do resfriador, podemos ter diferentes temperaturas de saída conforme varie a umidade relativa do ar na entrada.

A "**Tabela de Redução de Temperatura por Meio do Sistema de Resfriamento Evaporativo**" em anexo apresenta os valores obtidos para equipamento com colmeias de umidificação.

Para equipamentos corretamente projetados e fabricados, duas regras práticas podem ser adotadas para se saber as temperaturas a serem atingidas em uma determinada região.

A- A temperatura do ar resfriado será $\pm 1^{\circ}\text{C}$ acima da temperatura de bulbo úmido(TBU) do ar captado.

B- A temperatura do ar resfriado será $\pm 2^{\circ}\text{C}$ abaixo da temperatura de saída da água de uma torre de resfriamento eventualmente existente no local (desde que esta esteja operando corretamente).

Um fato muito importante a ser observado é que a umidade relativa varia ao longo de um dia normal. Tendo em vista que a umidade absoluta (gramas de vapor de água/kg ar seco) não se altera muito ao longo do dia, a menos que ocorram chuvas ou se esteja próximo a regiões cobertas por água (mar, rios, represas, etc.), a umidade relativa vai variar inversamente com a temperatura. Assim, quanto mais quente o período do dia, menor a umidade relativa e melhor o desempenho do resfriamento evaporativo.

As curvas "**PERFORMANCE PADRÃO EM DIA TÍPICO DE VERÃO**" em anexo mostram as temperatura resultantes do sistema evaporativo em um dia típico de verão em função do ar captado, para diferentes condições climáticas.

CONDIÇÕES PARA INSTALAÇÕES:

8.1- RENOVAÇÃO DE AR:

Logo após passar por um sistema de resfriamento evaporativo, a ar tem sua umidade relativa elevada para níveis próximos à saturação. Ao adentrar o ambiente este ar se aquece, abatendo as cargas térmicas existentes no local e reduzindo a UR sem, no entanto, voltar aos níveis originais (antes do resfriamento). Caso recirculemos este ar pelo resfriador, a eficiência será menor a cada nova passagem, tendendo a ser nula após poucas recirculações. Teríamos então uma situação de temperatura e umidade elevadas, o que é muito desconfortável.

Assim sendo, a condição fundamental é de renovação total do ar.

8.2- EXAUSTÃO E ABERTURAS:

Como num processo de ventilação comum, a renovação total do ar implica em exaustão ou aberturas compatíveis com a vazão de ar admitida. Assim sendo, portas, janelas, frestas ou exaustores são, via de regra, bem-vindos. Há apenas a necessidade de se verificar a disposição das mesmas para se otimizar a circulação do ar por todo o ambiente.

8.3- ISOLAMENTO TÉRMICO:

Este é um item que, se existente, sempre auxilia. Para instalações novas, entretanto, é dispensável, ao contrário de sistemas de climatização por ar condicionado tradicional. Ocorre que os custos de instalação e de operação dos sistemas evaporativos são tão mais baixos do que os do ar condicionado, que resulta bem mais barato aumentar a capacidade do sistema evaporativo projetado, do que isolar telhados e paredes.

De fato, já nos defrontamos com casos em que só o custo do isolamento térmico de determinado ambiente era maior do que o do sistema de resfriamento instalado.

Ademais, a operação destes últimos envolve apenas os insufladores e/ou exaustores e as bombas de circulação ou aspersão de água, o que significa algo em torno de 1/10 da potência consumida por um sistema de ar condicionado tradicional equivalente.

8.4- QUALIDADE DA ÁGUA:

Como regra geral, é recomendável a utilização de água potável na alimentação dos resfriadores evaporativos.

Água com altos teores de minerais, principalmente cálcio (água "dura"), deve ser evitada pois a concentração dos sólidos solúveis tende a aumentar com a evaporação (só água pura evapora) e, a partir de certo ponto, haverá supersaturação e precipitação dos minerais. Isto pode ser notado pela formação de depósitos na superfície da colmeia ou manta.

Caso seja necessário utilizar este tipo de água, é necessário manter uma purga contínua (bleed-off) de modo a evitar o crescimento da incrustação.

Água com carência de minerais, por outro lado, tende a compensar esta carência captando minerais das colmeias, enfraquecendo a resina enrijecedora.

Com relação ao PH, o ideal situa-se em 7 a 8, sendo aceitáveis valores entre 6 e 9.

8.5- TRATAMENTO DA ÁGUA:

Tendo em vista que o ar é lavado ao passar pelo BEC, as partículas dele removidas tendem a se agregar no elemento umidificador e deste serem carregadas pela água para o reservatório. Entre estas partículas estão fungos, bactérias, algas, etc., as quais, em meio úmido, podem proliferar.

Quando em operação esta proliferação é bastante reduzida pela aeração da água e pela ação do oxigênio como oxidante dos microorganismos. Quando parado, no entanto, pode ocorrer o crescimento de colônias que poderão gerar odores desagradáveis na próxima partida do equipamento.

Para evitar que isto ocorra, algumas providências devem ser tomadas, a saber:

A- Cloração da água no reservatório com pedras de cloro;

B- Purga contínua através de dreno, regulável de acordo com a sujidade do ar captado;

C- Drenagem e limpeza periódicas do reservatório para eliminar sujeira acumulada;

D- Quando for desligar o equipamento, desligar primeiro a bomba e deixar o ventilador funcionando até secar o elemento (de 10 a 30 minutos, conforme a umidade do ar captado); caso o equipamento fique desligado por muito tempo, um final de semana por exemplo, esgotar o reservatório e tornar a enchê-lo quando for religá-lo.

9-APLICAÇÕES:

Considerando-se que o ar disponibilizado é:

- 100% renovado,
- Resfriado,
- Umidificado,
- Filtrado e limpo (para equipamentos com mantas ou colmeias),

De baixo custo de instalação,
De baixo custo operacional,

Temos que o sistema evaporativo tem aplicação em quase todo tipo de ambiente, com uma gama de utilizações muito mais abrangente do que o ar condicionado e a ventilação tradicionais.

Assim sendo, de pequenos a grandes espaços, de áreas pouco povoadas a grandes adensamentos, de locais com baixa carga térmica a grandes geradores de calor, de áreas de lazer a locais de trabalho, todos podem se beneficiar das vantagens do resfriamento evaporativo.

Há ainda aqueles ambientes em que a manutenção de elevada umidade relativa é requisito das condições do processo industrial. Em tais ambientes, dependendo da umidade desejada, pode ser utilizada renovação de ar total, parcial ou mesmo nula.

Como exemplo, citamos abaixo algumas das inúmeras aplicações possíveis:

- Academias de ginástica
- Aeroportos
- Ambiente industriais em geral
- Áreas comuns de shoppings
- Auditórios
- Aviários
- Bancos
- Bares
- Bingos
- Boates
- Boliches
- Cabines de pintura
- Cabines de subestações
- Câmaras de fermentação
- Câmaras resfriadas
- Casas de espetáculos
- Cinemas
- Cozinhas industriais
- Criatórios de animais em geral
- Depósitos
- Escolas
- Escritórios
- Estações de metrô
- Estufas p/plantas, cogumelos, hortifrut, etc
- Feiras e convenções
- Fundições
- Galpões em geral
- Galvanoplastia
- Ginásios de esportes
- Granjas
- Igrejas
- Incubatórios
- Indústrias têxteis
- Indústrias de celulose e papel
- Jardins de inverno
- Lavanderias
- Leilões
- Lojas
- Mercados e mercearias
- Oficinas
- Parques temáticos
- Praças de alimentação
- Restaurantes
- Refeitórios industriais
- Salas de controle
- Salas de máquinas em geral
- Supermercados
- Templos
- Terminais ferroviários e rodov

10-SELECIONAMENTO:

Existem 2 métodos básicos para dimensionamento do sistema de resfriamento evaporativo, a saber:

O Método por Cálculo de Carga Térmica, que é mais preciso, porém envolve levantamento mais correto das condições do ambiente, tais como potências consumidas, transmissão de calor por condução e radiação, número de pessoas, iluminação, calor dissipado por máquinas, etc.

O Método das Renovações de Ar, que é mais empírico e demanda, por sua vez, alguma experiência na avaliação das condições.

A) MÉTODO POR CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

1-Calcular a carga térmica total do ambiente a ser atendido;

2-Determinar a temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo e a umidade relativa do local da instalação;

3-Determinar a temperatura de saída do ar do resfriador (temperatura resultante) conforme "Tabela de Redução de Temperatura por meio do Sistema de Resfriamento Evaporativo" acima.

Nesta tabela entrar com a temperatura externa (temperatura do bulbo seco) e com a umidade relativa;

4-Determinar a temperatura requerida do ambiente a ser atendido. Normalmente de 3°C a 5°C acima da temperatura de saída do ar do resfriador;

B) MÉTODO DAS RENOVAÇÕES DE AR

1-Determinar a temperatura de bulbo úmido do local de instalação;

2-Determinar se a carga térmica gerada internamente é normal ou alta;

Obs.:

. **Carga térmica alta:** locais com fornos, estufas, máquinas de solda, maçaricos, fundições, caldeiras, cozinhas industriais ou grande ocupação humana.

. **Carga térmica normal:** escritórios, lojas com baixa ocupação, fábricas com baixa geração de calor.

3-Determinar o grau de isolamento do ambiente ao calor externo (radiação solar);

Obs.:

. **Ambiente exposto:** Telhado de zinco ou fibrocimento; grandes áreas envidraçadas; telhado translúcido; paredes de alumínio ou fibrocimento.

. **Ambiente isolado:** Telhado isolado termicamente; forro falso; paredes de alvenaria ou com pouca incidência de radiação solar.

4-Determinar o número de trocas de ar requeridas por hora para o ambiente em questão, através da tabela abaixo:

5-Determinar o volume do ambiente;

$$V_{AR} = W \times L \times H$$

$$V_{AMB} = \text{Volume do ambiente (m}^3\text{)}$$

$$W = \text{Largura do ambiente(m)}$$

$$L = \text{Comprimento do ambiente (m)}$$

$$H = \text{Altura abaixo do duto de insuflamento de ar (m)}$$

Obs.: Os dutos devem ser instalados no máximo a m de altura, de preferência a 3,5m.

6-Calcular a vazão de ar requerida para o ambiente.

$$V_{AR} = V_{AMB} \cdot N_{TROCAS}$$

$$V_{AR} = \text{Vazão de ar (m}^3\text{/h)}$$

$$V_{AMB} = \text{Volume do ambiente (m}^3\text{)}$$

$$N_{TROCAS} = \text{Número de trocas de ar (trocas/h)}$$

Os dois métodos acima permitem um bom estudo do sistema a ser implantado. Não dispensam no entanto, a consulta a fornecedores qualificados que analisem, orientem, esclareçam e assumam a responsabilidade não só mecânica dos equipamentos, mas também pela performance da instalação.