



informações para projetistas do sistema HVAC da atualidade

Boletim informativo de engenharia

volume 46-4

Condensação em sistemas de tratamento de ar

Nos sistemas HVAC, a umidade indesejada nas superfícies pode causar danos aos materiais dos edifícios ou a equipamentos mecânicos.

Este Boletim informativo de engenharia focará em como projetar e operar adequadamente um sistema de tratamento de ar de modo a minimizar a condensação indesejada nos sistemas HVAC e como identificar com exatidão as causas dos problemas e normalizar a operação do sistema.

Entender as diferentes fontes de umidade indesejável nos sistemas HVAC pode ajudar a evitar ou solucionar problemas relacionados à umidade.

O arrasto de umidade proveniente de serpentinas de desumidificação, a condensação em superfícies frias e a formação de névoa geralmente têm fontes e estratégias de prevenção diferentes. Como geralmente um fenômeno é confundido com o outro, é importante defini-los de maneira clara.

- **Define-se como arrasto de umidade** as gotículas de água originadas em uma serpentina de desumidificação que não são capturadas na bandeja de dreno.
- **A condensação** ocorre quando a temperatura de uma superfície fica abaixo do ponto de orvalho do ar em contato com ela. A condensação de umidade em uma superfície fria geralmente resulta no acúmulo de gotículas de água.
- **A névoa** é o vapor de água que pode ficar visível quando o ar úmido se mistura com um ar mais frio.

Fontes comuns de umidade em um sistema de tratamento de ar incluem:

- ar externo entrando por tomadas de ar, dampers ou difusores
- vazamentos de serpentinas hidrônicas ou de vapor, ou de suas tubulações e válvulas associadas
- arrasto de umidade, formação de névoa ou condensação relacionada a serpentinas de desumidificação
- umidificadores, resfriadores evaporativos a ar ou lavadores de ar
- condensação que seja um subproduto de queimadores a gás
- infiltração de ar úmido do exterior, ou vazamento de água no estado líquido do exterior
- condensado das bandejas de drenagem
- ar saturado ou supersaturado dos processos prediais

A localização exata de onde vazamentos, gotejamento ou entrada de água do exterior ocorrem dentro do sistema pode ser uma dica para a mitigação e geralmente pode, através de investigação cuidadosa, levar até a origem do problema.

Este Boletim focará na condensação e formação de névoa, com orientações para a prevenção e resolução de problemas.

Condensação. Onde, como e por quê

A condensação precisa de uma superfície cuja temperatura seja mais baixa do que a do ponto de orvalho do ar ao redor dela. Na maioria das vezes, há uma serpentina de desumidificação envolvida, mas há também outros fatores determinantes, incluindo:

- infiltração
- desvio de ar
- controle da serpentina
- temperaturas não uniformes do ar
- formação de névoa

Condensação causada por infiltração.

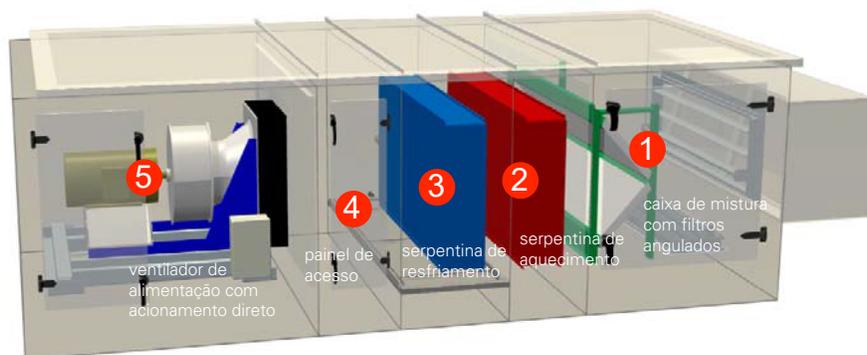
A pressão do ar dentro do gabinete de uma unidade de tratamento de ar (AHU) pode ser tanto positiva quanto negativa em relação ao ambiente externo, dependendo da localização dos ventiladores (alimentação, retorno, ou alívio/exaustão). Quando a pressão dentro da AHU é negativa em relação ao exterior, há chance de o ar externo se infiltrar na AHU.

Essa infiltração pode causar uma condensação interior se o ponto de orvalho do ar vazando for superior à temperatura do ar dentro da AHU. Por exemplo, quando uma AHU está instalada no exterior, em um telhado, o ponto de orvalho do ambiente pode ultrapassar facilmente os 15 °C durante meses úmidos de verão, ao passo que a temperatura do ar produzido pela serpentina de resfriamento pode estar na faixa de 12 °C. Quanto mais úmido o ar ambiente e frio o ar de alimentação, maior será o potencial para que uma condensação ocorra por infiltração.

Onde acontece. Qualquer penetração ou junta no sistema de tratamento de ar — quer tenha sido produzida na fábrica, quer no campo — é um possível caminho para um vazamento de ar. Causas comuns incluem:

- acessórios e penetrações fornecidos de fábrica e/ou campo
- penetrações na tubulação da serpentina (conexões de alimentação e retorno, conexões de drenagem e respiro)
- conexões de alimentação e drenagem do umidificador

Figura 1. Layout típico de climatizador de ar.



- juntas montadas por terceiros, quando a AHU é enviada em peças separadas
 - retenção de condensado na bandeja de drenagem
 - penetrações para a fiação elétrica e de controle
 - portas e painéis de acesso
 - juntas exteriores ou conexões de duto associadas
- A Figura 1 mostra um layout típico para um dispositivo de tratamento de ar. A pressão do ar nas seções de 1 a 4 seria negativa em relação à do ambiente, devido à localização do ventilador de alimentação na seção 5. A infiltração que acontece antes da serpentina de resfriamento (seção 3) não seria necessariamente uma fonte de problemas de condensação, mas a infiltração nas seções 3 ou 4 poderia causar condensação.
- A Figura 2 mostra um sistema AHU em operação onde as conexões da tubulação da água de alimentação e retorno estavam vedadas, mas os orifícios do dreno e de ventilação da serpentina, não. A configuração do ventilador de AHU faz com que essa seção fique sob pressão negativa com relação ao exterior, o que resulta em um caminho livre para a infiltração diretamente a jusante da serpentina de resfriamento.
- Especifique equipamentos de tratamento de ar com uma baixa taxa de vazamento de ar.
 - Minimize e vede adequadamente todas as penetrações.
 - Utilize controles instalados originalmente na fábrica para eliminar a variabilidade durante a instalação no campo e evitar penetrações adicionais no gabinete para a passagem de fiação elétrica ou de controle.
 - Confirme se as portas de acesso estão fechadas e corretamente vedadas.
 - Verifique se os pontos de captura da bandeja de drenagem foram adequadamente dimensionados e preparados. Essa questão é geralmente ignorada como um potencial caminho de infiltração.
 - Utilize imagens térmicas durante a operação da unidade para identificar caminhos de vazamento.

Figura 2. Orifícios do dreno e de ventilação da serpentina sem vedação.



Condensação causada pelo desvio de ar (serpentina de desumidificação).

O ar úmido e não tratado que consegue desviar ao redor (ou através) de uma serpentina de desumidificação se mistura com o ar frio que sai da serpentina e pode causar condensação a jusante dela.

Para montar e vedar corretamente uma serpentina de desumidificação em uma AHU geralmente é necessário que placas de bloqueio (isolamento) sejam adequadamente instaladas para evitar que o ar seja desviado ao redor da serpentina. Além disso, o ar deve atravessar a serpentina sem que haja grandes seções inativas ou espaços que possam propiciar condições variáveis no ar de saída.

Onde acontece. Fontes comuns de desvio de ar são:

- junções onde os bloqueios se encaixam na serpentina ou paredes da AHU,
- folgas entre a moldura e as aletas da serpentina,
- embaixo ou acima da serpentina, onde as estruturas de montagem e retenção são instaladas,
- partes inativas da serpentina (quer sejam parte do projeto, quer sejam causadas pelo controle de capacidade da serpentina),
- canais de fiação interna (controle ou alimentação) onde a fiação atravessa a seção da serpentina.

Orientação. A montagem de fábrica de serpentina de desumidificação geralmente resulta em uma maior atenção dada ao projeto dos bloqueios, instalação e vedação. Utilize juntas e vedantes conforme necessário para minimizar ou eliminar os espaços de ar.

O design da serpentina também desempenha um papel fundamental no desvio de ar. Minimizar folgas e caminhos de desvio é um importante critério de projeto. Utilizar várias filas de serpentina de desumidificação tende a minimizar os riscos de condensação se comparado às serpentina de uma ou duas filas, já que as condições do ar de saída tendem a variar menos.

Condensação causada pelo controle da serpentina.

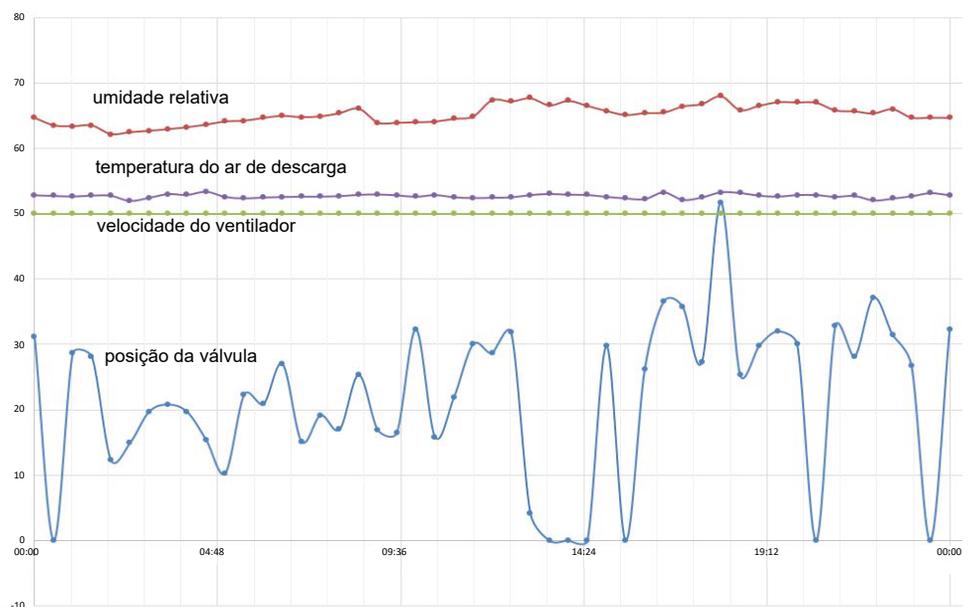
Ao procurar as causas de uma condensação, a revisão das sequências de controle é frequentemente deixada de lado. No entanto, uma análise detalhada da operação da válvula de controle mostra que isso pode ser um problema. Quando um sistema está estável com condições de ar de saída típicas, a temperatura da superfície interior da AHU a jusante da serpentina ficará próxima à do ar de saída. Se a válvula de controle for rapidamente fechada enquanto o fluxo de ar permanece relativamente constante, isso poderá causar condensação.

Depois de vários minutos de a válvula ter sido rapidamente fechada, o ar continuará a ser resfriado (e umidificado) à medida que o condensado residual das aletas da serpentina de desumidificação evapora no ar que passa. Esse ar úmido e resfriado passa sobre as superfícies frias do interior da AHU, possivelmente resultando em condensação. A formação de condensação é mais provável se esse ciclo de controle da válvula for frequente e se o ponto de orvalho do ar entrando na serpentina estiver bem acima da temperatura de bulbo seco do ar de saída.

Orientação. Se o controle cíclico da válvula for indispensável, a válvula deverá ser fechada de maneira gradual, não abrupta. Se for possível, interromper o fluxo de ar junto com o fechamento do fluxo de água também ajuda a minimizar potenciais problemas.

Coletar dados de tendência dos dispositivos de controle ao longo do tempo pode ajudar a diagnosticar essa causa potencial. A Figura 3 mostra dados de tendência da temperatura do ar de descarga, temperatura e umidade do ar de admissão, temperatura da água entrando e saindo do sistema e a posição da válvula em uma AHU. Nesse sistema específico, o setpoint da temperatura do ar de descarga é 11 °C e a velocidade do ventilador é constante, enquanto o controle da válvula é modulado. Em determinados intervalos, a válvula de controle é fechada enquanto a velocidade do ventilador é mantida, o que pode causar condensação nos painéis frios do interior a jusante da serpentina. O intervalo entre cada coleta dos dados deve ser curto, por exemplo, a cada minuto. A Figura 3 mostra um intervalo de 30 minutos. Dados de tendência coletados em um intervalo maior podem mascarar a causa.

Figura 3. Dados de tendência da serpentina.



Condensação causada por temperaturas não uniformes do ar.

A estratificação do ar ocorre quando correntes de ar dentro de um duto ou de uma AHU têm temperaturas diferentes, sem ter sido adequadamente misturadas. Se o ponto de orvalho dessas correntes de ar for superior à temperatura de bulbo seco da corrente de ar adjacente, poderá ocorrer condensação nas superfícies a jusante.

A estratificação do ar pode ser causada por vários motivos, incluindo o design do componente, a operação, a posição e o controle do equipamento.

Onde acontece. A estratificação do ar a jusante de uma serpentina de desumidificação pode ser resultado da entrada de ar estratificado na serpentina, um perfil de velocidade do ar desequilibrado através serpentina ou partes inativas ou com baixo desempenho da serpentina. O design e a disposição dos circuitos devem ser considerados, visto que podem contribuir para a variação das condições do ar de saída, assim como restrições do fluxo de ar e de água.

Um perfil de velocidade do ar não uniforme pode ser resultado da localização do ventilador em relação à serpentina. É menos provável que os ventiladores posicionados a jusante das serpentinas (ar sugado) causem condensação ou formação de névoa quando comparados aos a montante das serpentinas (ar insuflado). Um ventilador de sucção (draw-thru) tende a criar um perfil de velocidade do ar mais uniforme através da serpentina quando comparado a um ventilador de sopro (blow-thru). Isso é especialmente observado em ventiladores centrífugos alojados cuja velocidade de descarga é alta. Além disso, o motor de um ventilador de sucção adicionará alguns graus de aquecimento no fluxo de ar, o que é geralmente adequado para evitar condensação.

A proximidade entre o ventilador e a serpentina de desumidificação também pode impactar o perfil de velocidade do ar. Conforme a distância entre o ventilador e a serpentina diminui, o perfil de velocidade se torna menos uniforme.

Além do mais, aplicações em que há elevados índices de umidade interna (como em lavanderias, chuveiros, processos industriais, piscinas, etc.) podem ser suscetíveis à formação de névoa e condensação quando o ar frio do exterior se misturar com esse ar úmido recirculado.

Orientação. É necessário considerar a orientação dos equipamentos e componentes para evitar problemas de estratificação, se possível. Isso dependerá da flexibilidade de design dos equipamentos. Adicionar misturadores e/ou direcionadores de ar para misturar adequadamente os fluxos pode configurar um processo de tentativa e erro, no entanto, isso pode minimizar a estratificação quando em campo.

Formação de névoa. A formação de névoa pode ser o resultado de umidade em superfícies. No contexto de sistema HVAC, a névoa é o vapor de água visível (neblina) na corrente de ar. À medida que o ar úmido se mistura com o ar mais frio, minúsculas gotículas podem se condensar em partículas suspensas no ar frio, formando uma névoa visível.

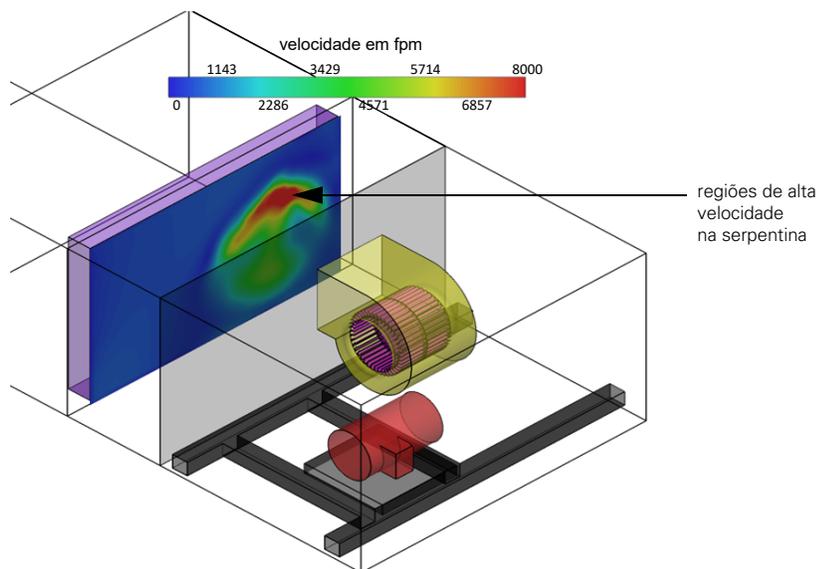
Em determinadas circunstâncias, essa névoa pode ser tão densa que é capaz de reduzir a visibilidade e ser transportada por vários metros a jusante da serpentina de desumidificação. Isso pode ou não ser um problema, dependendo da configuração, construção e uso pretendido do sistema.

Como a névoa é uma neblina muito fina carregada pela corrente de ar, pode ser desafiador contê-la e capturá-la. A umidade pode molhar superfícies e componentes dentro da AHU ou dos dutos e o isolamento imediatamente a jusante dela. Isso pode representar um risco para os componentes elétricos.

Outro ponto negativo da formação de névoa é que ela pode causar níveis mais elevados de umidade no interior. Um serpentina de desumidificação resfria o ar para condensar o vapor de água, o que permite que o condensado seja capturado e removido pela bandeja de drenagem. Em vez de ser capturada, a névoa pode se infiltrar nos espaços e elevar o nível de umidade além do desejado.

Na maioria dos casos, as serpentinas de desumidificação estão envolvidas na produção de névoa. A experiência adquirida no laboratório e no campo aponta vários desencadeadores comuns e condições relacionados que podem levar à formação de névoa.

Figura 4. Regiões de alta velocidade observadas na serpentina voltada para a saída do soprador.



Índice de molhabilidade da superfície insuficiente. A tensão superficial entre a superfície da aleta da serpentina e o condensado resultante da desumidificação determinará se a umidade será adequadamente removida e capturada da corrente de ar pela bandeja de drenagem ou se ela causará arrasto de umidade ou formação de névoa.

Superfícies de aleta *hidrofilicas* têm afinidade com a água e fazem com que a película de condensado escorra adequadamente da superfície para a bandeja de drenagem.

Superfícies de aleta *hidrofóbicas* repelem a água e apresentam uma maior predisposição para o arrasto de umidade (dependendo de vários outros fatores). A formação de névoa pode ocorrer se o condensado resultante formar pequenas gotículas de neblina em vez de grandes.

As propriedades do material ou revestimento da superfície das aletas, bem como contaminantes que se depositem nelas, podem aumentar a probabilidade de uma condição hidrofóbica (repulsão). A experiência de campo aponta que muitas instalações industriais e de processo liberam compostos químicos gasosos no ar que podem aderir às superfícies da aleta da serpentina quando o ar é recirculado de um determinado espaço. Esses compostos podem estar relacionados a materiais plásticos, polímeros, papel, cera, óleos, lubrificantes de processo, agentes de liberação, adesivos, hidrocarbonetos e outros.

A presença deles na corrente de ar pode ser contínua ou mesmo associada a um evento isolado que já passou. Pode ser necessário fazer uma inspeção microscópica para identificar a presença dessas substâncias.

Quando depositadas, a remoção pode até ser possível, mas, em alguns casos, não é praticável. A substituição da serpentina provavelmente aliviará o problema, se a fonte original de contaminação for removida. A limpeza e filtragem do ar para remover os contaminantes nele transportados, ou ainda reorganizar a disposição dos dutos para captar ar de um espaço livre de contaminação, são outras possíveis soluções.

O ar de entrada está muito próximo da saturação. A experiência de testes de laboratório aponta que à medida que o ar de entrada se aproxima da saturação (100% de umidade relativa), é mais fácil que a névoa seja produzida a partir das serpentinas de desumidificação.

Ar de saída estratificado e perfil de velocidade não uniforme. Há uma maior facilidade para a formação de névoa quando o perfil de velocidade do ar não é uniforme. Isso pode acontecer quando o ventilador está próximo demais da serpentina de desumidificação (veja a Figura 4).

Seções inativas da serpentina. Serpentinas onde as superfícies das aletas estão parcialmente ativas são mais suscetíveis à formação de névoa do que as serpentinas das aletas 100% ativas. Potenciais causas disso incluem a operação em carga parcial de serpentinas entrelaçadas ou horizontalmente divididas (face), serpentinas com um grande número de circuitos inutilizados/inativos, ou ligação de aleta a tubo inconsistente que possa comprometer o nível de uniformidade de transferência de calor pela serpentina.

Orientação. Soluções para evitar a condensação também se aplicam à formação de névoa: especificamente relacionada à infiltração, desvio e temperaturas não uniformes do ar. Se sua aplicação prevê a contaminação da superfície da aleta da serpentina, remova as partículas, gases e vapores da corrente de ar para evitar o depósito de contaminantes.

A formação de névoa parece ser mais comum em uma disposição de ventiladores insuflando o ar (blow-thru) do que nos que o sugam (draw-thru). O calor do motor de um ventilador de sucção é geralmente suficiente para elevar a temperatura de bulbo seco alguns graus e remover a névoa, criando uma separação entre a temperatura do bulbo seco e o ponto de orvalho. Como mencionado anteriormente as unidades de sucção (draw-thru) têm geralmente um perfil de velocidade mais uniforme através da face da serpentina, sendo, portanto, menos suscetíveis a interferir na umidade em condensação.

Dispersores de neblina tradicionais frequentemente não são capazes de capturar eficazmente a névoa porque ela é muito fina e simplesmente os atravessa.

Conclusão

As causas da condensação em sistemas de tratamento de ar podem ser complexas. Há inúmeros fatores durante o projeto, a instalação e a operação de um sistema que contribuem para a geração descontrolada de umidade. Não há uma única fonte nem solução, sendo que cada situação deve ser avaliada para que a causa principal seja determinada. Entender a origem do problema geralmente leva a uma solução eficaz.

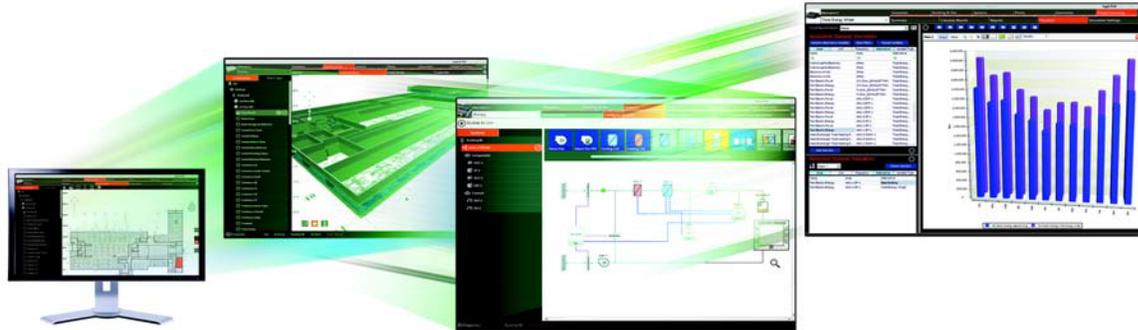
Por Brian Hafendorfer, engenheiro de sistemas, Trane. Você pode encontrar esta edição e edições anteriores da Newsletter dos Engenheiros em trane.com/engineersnewsletter. Para fazer comentários, envie-nos um e-mail para ENL@trane.com.

Referências

- [1] Orientações para o controle de umidade no projeto, construção e manutenção de edifícios. EPA
- [2] Gerenciamento do arrasto de umidade CLCH-PRB030- EN. Os chillers centrífugos da Trane
- [3] Instalação, Operação e Manutenção: Climatizadores de ar Performance Climate Changer® CLCH-SVX07D-EN. Trane.
- [4] ASHRAE, Standard 62.1 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. ASHRAE®
- [5] AMCA® 500-L – Laboratory Methods for Testing Louvers for Rating. Air Movement and Control Association International, Inc.

Anúncio do TRACE® 3D Plus!

Um novo nível de precisão no design de edifícios



O TRACE 3D Plus é uma nova geração de programa de software de design e análise predial que fornece resultados mais rápidos e precisos por meio de um fluxo de trabalho perfeito que se alinha estreitamente com os processos prediais modernos. Os sistemas HVAC e os controles mais modernos podem ser modelados rapidamente e com as complexidades das muitas aplicações de construção da atualidade. O TRACE 3D Plus foi desenvolvido sobre o mecanismo EnergyPlus® do Departamento de energia dos EUA e aprimorado com a experiência de liderança no setor da Trane, para ajudar os projetistas a validar e interpretar seus projetos com confiança e clareza. Todos esses novos recursos aliados a uma experiência mais robusta de suporte, para que você coloque tudo para funcionar rapidamente.

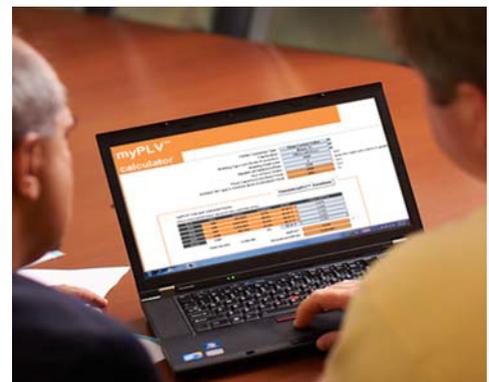
Para conhecer detalhes ou baixar uma versão de avaliação, visite Trane.com/TRACE3DPlus

Estime rapidamente a energia e o custo do chiller com o myPLV®.

O MyPLV utiliza dados de modelo de construção padrão do setor em combinação com informações específicas do usuário, como localização e tipo de prédio, carga máxima do edifício, número e tamanho dos chillers na planta e estratégia de controle de condensador do chiller, para uma avaliação rápida e precisa de quanta energia é utilizada pelo chiller com base nas condições de operação específicas do projeto.

A versão mais recente do myPLV inclui uma nova ferramenta de simulação de energia em uma planta com chiller resfriado a água para avaliar melhor os efeitos anualizados das várias condições de fluxo de água do condensador do projeto, bem como os efeitos gerais na energia com base nos componentes selecionados.

Para começar a usar, baixe gratuitamente uma cópia da ferramenta e recursos em trane.com/myPLV.



Boletim informativo de engenharia ao Vivo!

Planeje-se para se juntar à Trane® em 2018!

www.trane.com/ENL

Decisões sobre o sistema resfriado a água. Muitas decisões sobre o sistema resfriado a água são tomadas durante o processo de elaboração do projeto e, dependendo da aplicação específica, levam a outras decisões sobre o sistema, como tamanho e comprimento da linha de derivação, localização da bomba, uso de válvulas independentes de pressão, tamanho do tanque de armazenamento, etc. Esse ENL aborda os motivos de muitas das decisões sobre o sistema e fornece orientações práticas que podem ajudar a simplificar o projeto de sistemas resfriados a água no futuro.

Tecnologia de comunicação de controle. As recentes inovações no setor tornaram os protocolos de comunicação padrão e abertos que oferecem sistemas de controle flexíveis e interoperáveis mais predominantes atualmente. Esse Boletim de engenharia analisa vários protocolos de comunicação (usando tecnologias com e sem fio), discute onde cada um se aplica melhor e mostra como garantir que as expectativas do proprietário sejam atendidas.

Ventilação controlada pela demanda. A mobilidade dos ocupantes de um edifício é um desafio para a ventilação: Arejar o edifício com ar externo suficiente para ajudar a garantir uma boa qualidade do ar interior sem gastar energia devido à entrada (e condicionamento) excessivos. Esse Boletim de engenharia discute vários métodos usados para variar o fluxo de ar para o exterior com base na demanda real. Ele também analisa os requisitos relacionados.

Para obter mais informações ou registrar-se, entre em contato com o seu escritório local da Trane hoje mesmo!



*Trane,
Uma empresa da Ingersoll Rand*

*Para obter mais informações, entre em contato
com o escritório local da Trane ou envie um
e-mail para comfort@trane.com*

Trane, o Logotipo de Círculo, myPLV, TRACE e Performance Climate Changer são marcas comerciais da Trane nos Estados Unidos e em outros países. ASHRAE é uma marca registrada da American Society of Heating, Refrigerating e Air-Conditioning Engineers, Inc. AMCA é uma marca registrada da Air Movement and Control Association International, Inc. EnergyPlus é uma marca registrada do Departamento de energia dos EUA. A Trane é uma marca da Ingersoll Rand, líder mundial na criação de ambientes confortáveis, sustentáveis e energeticamente eficientes. A família de marcas da Ingersoll Rand inclui a Club Car®, Ingersoll Rand®, Thermo King® e Trane®.

Este boletim é apenas para fins informativos e não constitui aconselhamento jurídico. A Trane acredita que os fatos e sugestões apresentados aqui sejam precisos. No entanto, as decisões finais de design e aplicação são de responsabilidade do cliente. A Trane renuncia a qualquer responsabilidade por ações tomadas sobre o material apresentado.