



fornecendo informações para o projetista do sistema HVAC atual

# Boletim Informativo dos Engenheiros

volume 48-1

O Que Define a

## Eficiência de um Chiller



Este *Boletim informativo dos engenheiros* discute as várias considerações que um projetista de chiller avalia e como essas escolhas de projeto afetam a eficiência geral do chiller.

### Introdução

À medida que nossa infraestrutura de rede elétrica envelhece, os investimentos em instalações atualizadas e de nova produção não estão acompanhando a demanda sempre crescente. Então, como podemos gerenciar essa disparidade? Bem, um método é fornecer equipamentos mais eficientes. O conceito é simples... reduza a demanda do sistema com equipamentos que consumam menos energia.

Os padrões de eficiência, como o padrão ASHRAE® 90.1, levam os fabricantes a desenvolver equipamentos que atendam a essas eficiências mais altas. No entanto, você já considerou como os fabricantes melhoram continuamente? Trata-se simplesmente de avanços tecnológicos ou há mais do que ouvimos os marqueteiros promoverem?

### Importância do projeto

Ao selecionar equipamentos, recursos ou opções particulares, o que geralmente nos atrai é a promessa de maior eficiência. No entanto, na realidade, um componente específico comercializado pode não ser o principal direcionador do desempenho. Além disso, algumas opções de projeto deixam o consumidor com um projeto sub-otimizado e uma grande conta de energia.

Então, como podemos evitar isso? Primeiro, devemos ter uma compreensão básica de como o projeto impulsiona a eficiência e quais elementos contribuem para isso.

**Entradas/opções de aplicação.** A primeira etapa em qualquer novo projeto é entender o que a aplicação requer. Itens como capacidade necessária, perfil de carga, restrições de refrigerantes, requisitos de queda de pressão e outros fatores devem ser determinados. Com isso em mente, as escolhas do engenheiro de projeto afetam a eficiência do chiller em quatro áreas:

1. Eficiência do compressor
2. Eficiência do conjunto de acionamento
3. Eficiência do ciclo do refrigerante
4. Eficiência de transferência de calor da água para refrigerante

Essas áreas consideradas em conjunto e não apenas como um componente definem o desempenho geral. Isso ocorre não apenas no nível do equipamento, mas também no nível do sistema.

## Determinantes de eficiência

**Eficiência do compressor.** No coração do chiller, o compressor converte energia em compressão, sendo responsável pela grande maioria da energia consumida pelo chiller. O compressor é responsável por movimentar o refrigerante por todo o sistema e criar o diferencial de pressão entre o evaporador e o condensador. Esta última parte é chamada de lift.<sup>1</sup> A Figura 1 ilustra o lift em termos de temperatura saturada do refrigerante e temperatura de saída da água. A quantidade de trabalho determina a quantidade de trabalho que um compressor deve realizar. A eficiência com que ele faz esse trabalho é a questão fundamental que estamos explorando. Voltaremos para o lift na seção

de *Transferência de calor de água para refrigerante* uma vez que a temperatura de approach também afeta o lift que o compressor deve fornecer.

Há vários tipos de compressão usados em chillers refrigerados a ar e água. Para esta discussão, vamos nos concentrar na compressão centrífuga. Um compressor centrífugo se baseia no princípio da compressão dinâmica, que converte energia cinética em energia estática. Operando em taxas de compressão de até 4<sup>8</sup>, os compressores de vários estágios alcançam eficiências teóricas de até 88 por cento<sup>2</sup>. Os compressores de estágio único têm eficiências teóricas ligeiramente mais baixas.<sup>2</sup> Deve-se observar que as eficiências teóricas não levam em consideração as perdas de nível do sistema.

O projeto aerodinâmico do(s) rotor(es) e as passagens pelas quais o refrigerante flui definem a eficiência do compressor. Em outras palavras, a eficiência depende do projeto das passagens e do impulsor que otimizam os caminhos de fluxo para criar as velocidades desejadas do refrigerante (também conhecida como velocidade de ponta).

A Figura 2 ilustra como o vapor do refrigerante acelera através das passagens do impulsor em rotação para aumentar sua velocidade e energia cinética. A velocidade do refrigerante e a energia cinética associada diminuem à medida que o volume das passagens do difusor aumenta. Esta redução na energia cinética é compensada por um aumento na energia estática ou pressão estática do refrigerante.

Finalmente, o refrigerante a alta pressão é coletado na voluta ao redor do perímetro do compressor, onde ocorre a conversão de energia.

A taxa de compressão é a razão entre a pressão de descarga e a pressão de sucção. Em um HVAC, a questão principal é mover a massa necessária de refrigerante (capacidade) na menor taxa de compressão<sup>3</sup> possível. Em outras palavras, mova o máximo que puder com o mínimo de trabalho.

Figura 1. lift em termos de temperatura do refrigerante saturado e temperatura de saída da água

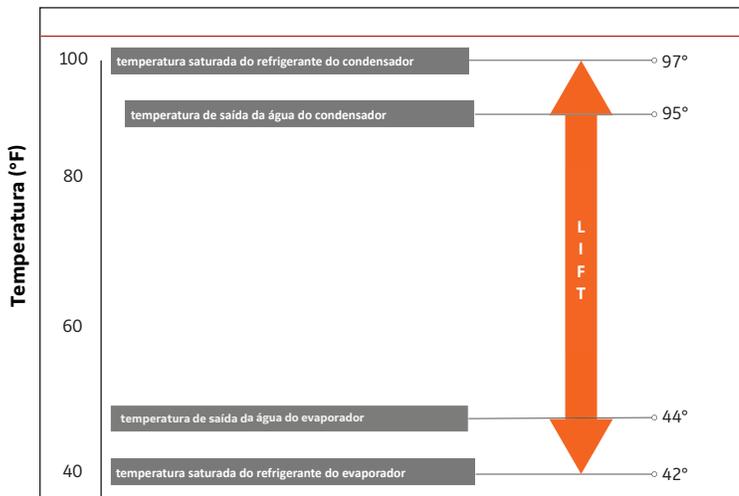
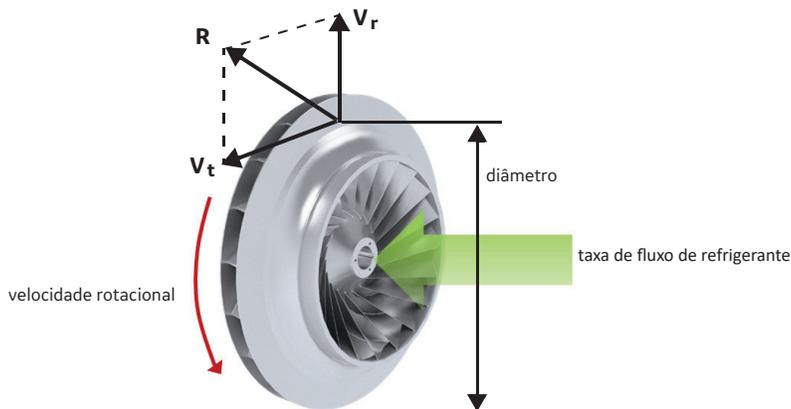


Figura 2. vetor de velocidade



O aumento resultante na pressão e na temperatura do refrigerante é transferido para o condensador. A eficiência com que o projeto aerodinâmico de um compressor lida com essa troca fundamental de energia determina a classificação de eficiência do chiller.

Conforme mencionado anteriormente, existem outros tipos de compressão usados para chillers refrigerados a ar e água. Independentemente do tipo de compressor, a aerodinâmica e o gerenciamento subsequente de perdas desempenham um papel significativo na eficiência final fornecida.

### Eficiência do conjunto de acionamento.

Nesta seção, focaremos na eficiência dos componentes rotativos. Um elemento não discutido anteriormente, mas que anda de mãos dadas com o projeto aerodinâmico, é a velocidade com que o compressor gira. A velocidade específica ( $N_s$ ) é uma função da velocidade do compressor, lift desejado, capacidade e tipo de refrigerante.

O tipo de refrigerante e seu papel no chiller a eficiência serão discutidos na próxima sessão.

$$N_s \propto \frac{\text{Velocidade} \cdot \text{Ton.} \cdot \text{Escolha do refrigerante}}{\text{Lift}}$$

Em essência, a velocidade específica define a velocidade necessária para alcançar a eficiência ideal do compressor em todo o mapa operacional. Uma maneira de pensar sobre isso é imaginar uma piscina. O projeto do compressor define o volume disponível da piscina e a velocidade específica define a quantidade ideal de água necessária para encher a piscina. Você pode nadar na piscina sem atingir este nível, mas está subutilizando o projeto. A velocidade específica permite que o compressor aproveite ao máximo a eficiência disponível.

Assim que a velocidade do compressor for determinada, várias outras considerações de projeto permanecem:

1. Escolha do motor
2. Conjunto de acionamento
3. Escolha do rolamento

**Escolha de motor.** Os motores consistem em um estator e um rotor. Como os nomes indicam, o estator é estacionário e o rotor gira. Em ambos os motores de indução e com ímã permanente (PM), a corrente alternada fluindo através dos enrolamentos de cobre no estator gera um campo magnético giratório que permeia o espaço entre o rotor e o estator, bem como no rotor. Este campo magnético rotativo “empurra ou puxa” o rotor e faz o eixo do compressor girar. A eficácia dessa transmissão determina a eficiência do motor.

Para motores de indução, o campo magnético do estator induz o fluxo de corrente através de barras de alumínio no rotor que, por sua vez, gera um campo magnético no rotor. O tipo de motor predominante visto em chillers refrigerados a ar e água hoje são desse tipo. Os motores de indução dependem de enrolamentos de cobre para produzir o campo elétrico necessário para acionar o rotor. Com eficiências variando de tão baixas quanto 88 por cento a tão altas quanto 95 por cento<sup>2</sup>, eles permanecem uma escolha econômica.

Em um motor com PM, os ímãs no, ou dentro do, rotor fornecem o campo magnético permanentemente, como o nome indica. Um rotor com PM gira na mesma velocidade que o campo do estator rotativo; ao passo que o rotor de indução gira em cerca de 98% desse campo devido à perda magnética. Portanto, os motores de indução geram menos capacidade do compressor e são menos eficientes para um determinado compressor. Além disso, os motores com PM são geralmente menores, mas o alto custo dos materiais magnéticos de terras raras usados nos ímãs do rotor retardou a adoção do PM.

O outro elemento a ser observado trata do resfriamento do motor. Historicamente, isso tem sido debatido entre a comunidade de resfriadores centrífugos com opiniões firmes de ambos os lados. No entanto, nos últimos anos, a indústria tem visto um movimento firme em direção a projetos semi-herméticos. Muito já foi escrito sobre os benefícios dos projetos semi-herméticos, portanto não entraremos em detalhes aqui.

Figura 3. Conversão de energia do compressor centrífugo

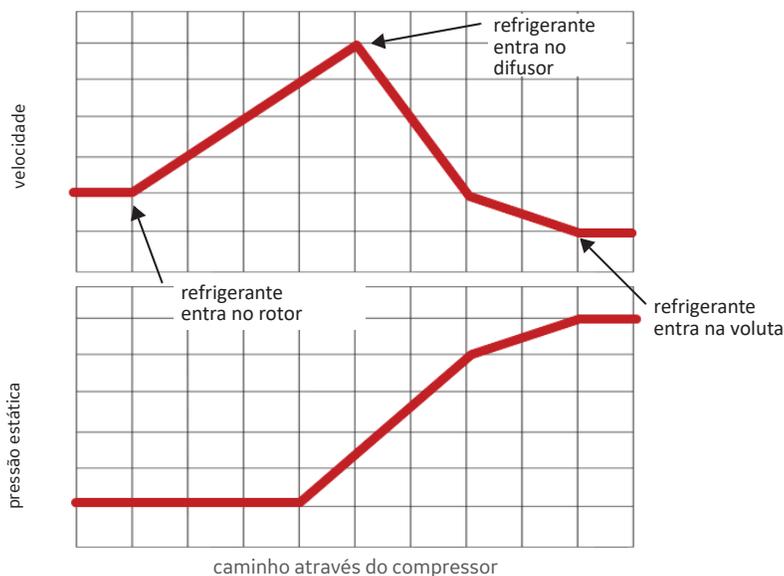
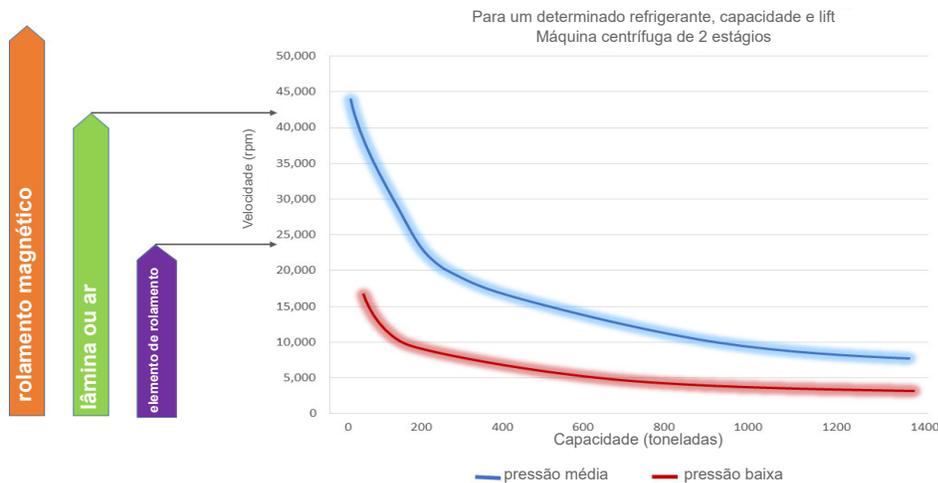


Figura 4. faixa de velocidade para eficiência de pico



**Conjunto de acionamento.** Junto com a mudança da indústria para projetos semi-herméticos, também houve uma mudança firme para os conjuntos de acionamento de transmissão direta. Na busca por maior eficiência, o foco na eliminação de perdas abre caminho para um melhor desempenho. Com as melhorias na tecnologia de rolamentos, alcançar velocidades mais altas sem o uso de engrenagens se tornou mais prático tanto do ponto de vista técnico quanto de custo. Juntamente com o fato de que um projeto de acionamento direto em vez de um projeto baseado em engrenagem aumenta a eficiência, por algumas estimativas, mais de 2%<sup>3</sup>, isso pode explicar essa mudança.

**Escolha do rolamento.** Este tópico provavelmente atraiu a maior atenção na indústria de chillers na última década. Então, vamos primeiro entender por que os rolamentos são necessários e depois ver quando aplicar vários tipos.

No projeto do chiller centrífugo, os rolamentos são necessários para suportar as cargas radiais e axiais geradas pelo eixo do rotor do compressor<sup>4</sup>. Conforme descobrimos na seção **Eficiência do compressor**, a velocidade do rotor é calculada usando metodologia de velocidade específica. A velocidade resultante afeta a determinação subsequente do tipo de rolamento. A Figura 4 ilustra como a capacidade e

a escolha do refrigerante são fatores significativos na decisão. De modo geral, os refrigerantes de média pressão requerem velocidades de compressor mais altas em comparação com os refrigerantes de baixa pressão. Além disso, quanto menor for a capacidade (tonelagem) necessária, maior será a velocidade de compressor necessária para atingir a velocidade específica desejada.

Essa velocidade se torna importante quando se considera que nem todos os tipos de rolamentos são adequados em todas as velocidades. Por exemplo, rolamentos de elementos rolantes começam a perder longevidade ao operar em velocidades superiores a 20.000 RPM. Em velocidades mais altas, os projetos de rolamentos magnéticos, de lâmina ou de ar são mais adequados para manter essas velocidades mais altas durante a vida útil de um chiller centrífugo.

Curiosamente, os próprios conjuntos de rolamentos contribuem muito pouco para a eficiência direta do chiller. Em vez disso, eles simplesmente permitem a velocidade necessária com base nas outras opções de projeto (ou seja, aerodinâmica, conjunto de acionamento) e para determinadas capacidades de resfriamento.

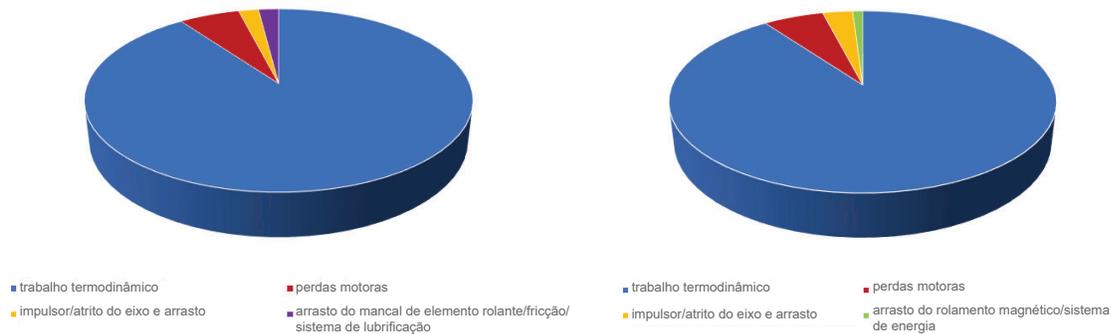
A Figura 5<sup>5</sup> fornece uma comparação de como os tipos de elemento rolante e rolamento magnético contribuem para a eficiência geral de um chiller. Os

rolamentos magnéticos usam energia; enquanto os rolamentos de elemento de rolo têm atrito. Em suma, menos de 1% da diferença na eficiência total do chiller pode ser atribuída à escolha do rolamento. Seja devido ao atrito, arrasto ou sistemas de energia associados, cada escolha de rolamento tem alguma perda que o projetista de componentes tem de lidar ao calcular o efeito geral sobre a eficiência.

**Eficiência do ciclo do refrigerante.** Como mencionado anteriormente, a escolha do refrigerante contribui significativamente para a eficiência geral, tanto direta quanto indiretamente. Ao considerar a contribuição direta, a Tabela 8 na versão 2017 do Manual de Fundamentos da ASHRAE fornece uma visão de quanto. Refrigerantes de baixa pressão, como R-123, têm valores de Coeficiente de Desempenho (COP) mais elevados em comparação com refrigerantes de média (ou seja, R-134a) e alta pressão (ou seja, R-410A)<sup>6</sup>. Digno de nota, esses valores são baseados em um ciclo padrão e as eficiências reais são um produto do projeto final e das condições operacionais reais<sup>6</sup>.

Os chillers com refrigerantes de baixa pressão tendem a ocupar mais espaço em comparação com os chillers com refrigerante de média pressão. Por causa da pressão mais baixa, passagens maiores são necessárias para garantir o fluxo de massa apropriado para atingir o desempenho desejado.

Figura 5. eficiência do chiller com base nos tipos de rolamento



No entanto, se o resultado desejado for a maior eficiência geral, os refrigerantes de baixa pressão são a melhor escolha.

Além do próprio refrigerante, existem várias opções para aumentar a eficiência geral em comparação com um ciclo simples de refrigerante. Três para examinar mais de perto são vários estágios do compressor, economizador no circuito frigorífico e sub-chillers.

Vários estágios de compressor simplesmente significam o emprego de vários impulsores em vez de um. Vários estágios de compressão dividem efetivamente o trabalho em vários impulsores. Portanto, em vez de um impulsor lidar com toda o lift, os vários impulsores lidam com uma parte, resultando em um COP<sup>7</sup> geral mais alto.

Um benefício adicional de vários estágios é a oportunidade de incluir um economizador no circuito frigorífico. Um tipo de economizador comumente usado é o tanque tipo flash. Em um compressor centrífugo de 2 estágios com este tipo de economizador, a mistura de refrigerante entra no economizador onde a porção de vapor se separa e segue diretamente para o impulsor de segundo estágio. Isso reduz a quantidade de energia necessária do compressor, uma vez que o economizador faz o trabalho nessa parte do refrigerante para aumentar a pressão. Quando comparados com um ciclo simples (impulsor único, sem economizador), os economizadores geram um ganho de eficiência de mais de 6%.

Os sub-chillers são vistos principalmente em projetos de média pressão, pois geralmente são necessários para se aproximar da eficiência dos projetos de baixa pressão.

Basicamente, um feixe tubular extra localizado na parte inferior do condensador, os sub-chillers operam exatamente como o nome sugere, resfriando ainda mais o refrigerante do lado do condensador antes do dispositivo de expansão. Quando comparados a um ciclo simples, os sub-chillers podem alcançar ganhos de eficiência de até 4%.

**Eficiência de transferência de calor de água para refrigerante.** Em sistemas de resfriamento, geralmente são usados dois tipos de vasos trocadores de calor, casco e tubo ou placas. Usados predominantemente em tonelagens maiores (> 100 toneladas), trocadores de calor de casco e tubo são nosso foco.

Simplificando, os tubos residem em um invólucro maior (um barril) com água correndo pelos tubos e o refrigerante ocupa o espaço ao redor dos tubos.

Ao considerar a eficiência do trocador de calor, os projetistas determinam como o projeto do tubo e do trocador de calor geral afeta as temperaturas. Definidas como a diferença de temperatura entre o fluido de saída e a condição de saturação do fluido, as temperaturas de approach afetam diretamente o lift do compressor. Por exemplo, se a água sai dos tubos do evaporador a 40°F e a temperatura saturada do refrigerante no reservatório é 38°F (Figura 1), a temperatura de approach é 2°F.

Essa temperatura contribui para o lift que o compressor deve fornecer.

No condensador, uma temperatura de saída da água de 99°F e a temperatura saturada do refrigerante de 100,5°F resulta em uma temperatura de approach de 1,5°F. Mais uma vez, a temperatura de approach contribui para o lift do compressor.

A indústria presenciou temperaturas de approach reduzidas na última década diminuindo para 1°F ou menos. Avanços nos projetos de trocadores de calor e tubos fornecem coeficientes de transferência de calor aprimorados que resultam nessas temperaturas de approach melhores.

Com temperaturas de approach mais baixas, o lift subsequentemente se reduz, aliviando a carga sobre o compressor enquanto ainda atinge as capacidades desejadas do chiller.

Figura 6. impacto do projeto na eficiência do chiller





*Filie-se ao seu escritório local da Trane para receber o Boletim Informativo dos Engenheiros 2019 AO VIVO!*

## **Anote em sua agenda!**

**Controle de sistema de edifícios pequenos.** Inovações recentes fornecem mais opções a serem consideradas para controles em edifícios menores. Este programa irá comparar diferentes configurações de sistemas rooftops, descrever as tecnologias disponíveis para controlar cada tipo de sistema e demonstrar como especificar os controles para atender às necessidades de seu cliente.

**Projeto de serpentina de água gelada para ASHRAE 90.1-2016.** A versão 2016 do padrão ASHRAE 90.1 exige que serpentinas de resfriamento de água gelada sejam selecionadas para  $\Delta T$  de pelo menos 15°F. Este ENL demonstra o processo de seleção de serpentinas e válvulas de controle para atender a esse novo requisito. Ilustra o impacto da configuração da serpentina no desempenho da serpentina em carga parcial e discute o impacto na operação do projeto da planta do chiller.

**Economia de ar e água.** Analisa as vantagens, desvantagens e considerações de economia do ar e da água ao usar um em relação ao outro. Os requisitos e exceções do padrão ASHRAE 90.1 também serão discutidos.

**Considerações de projeto para sistemas de aquecimento hidrônico.** Investiga vários métodos de fornecimento de aquecimento hidrônico eficiente, incluindo o uso de chillers de recuperação de calor, bombas de calor e sistemas de caldeira.

**Entre em contato com o escritório local da Trane para obter datas e detalhes.**

## **Ganhe crédito PDH - sem custos e sob demanda! NOVOS cursos online disponíveis!**

Consulte todos os cursos em [www.trane.com/ContinuingEducation](http://www.trane.com/ContinuingEducation)

**Sistemas de ar de alto desempenho** examina as propriedades dos sistemas de ar de alto desempenho e fornece orientação sobre seu projeto. Os tópicos incluem dimensionamento correto e seleção adequada de componentes, diretrizes de projeto de dutos, estratégias de controle do sistema, seleção para eficiência de carga parcial e muito mais.

**Resposta à demanda em edifícios comerciais** discute as melhorias relevantes que o deslocamento de carga e a resposta à demanda podem fornecer, com exemplos dos tipos de serviços públicos e programas de financiamento disponíveis.



*Para obter mais informações, entre em contato com o escritório local da Trane ou envie-nos um e-mail para [comfort@trane.com](mailto:comfort@trane.com)*

Trane, o logotipo de círculo, Performance Climate Changer e TOPSS são marcas comerciais da Trane nos Estados Unidos e em outros países. ASHRAE é uma marca registrada da American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado, Inc.). Todas as marcas comerciais mencionadas são marcas registradas de seus respectivos proprietários.

**Este boletim informativo tem fins meramente informativos e não constitui aconselhamento jurídico. A Trane acredita que os fatos e as sugestões apresentados aqui são precisos. No entanto, as decisões finais de projeto e aplicação são de sua responsabilidade. A Trane isenta-se de qualquer responsabilidade por ações tomadas com base no material apresentado.**