

Compreensão dos sistemas VAV de zona única

O sistema de volume de ar váriavel (VAV) de zona única não é um conceito novo, mas devido aos novos requisitos do código de energia e à maior atenção à redução do consumo de energia, ele está sendo aplicado com mais frequência. Este boletim analisará esses novos requisitos, discutirá os benefícios e desafios dos sistemas VAV de zona única e identificará aplicações comuns para esse sistema.

Um sistema convencional de volume constante de zona única usa um sensor de temperatura no ambiente para variar a capacidade de resfriamento ou aquecimento, enquanto o ventilador de alimentação fornece uma quantidade constante de ar sempre que o sistema está em operação.

No entanto, em um sistema VAV de zona única, o sensor de temperatura no ambiente é usado para variar a capacidade de resfriamento ou aquecimento e o fluxo de ar fornecido pelo ventilador de alimentação a fim de manter a temperatura do ar de alimentação em um setpoint desejado (Figura 1).

Geralmente, o VAV de zona única tem sido usado para ambientes maiores e densamente ocupados, que têm cargas de resfriamento variáveis. Exemplos comuns incluem ginásios, cafeterias, salas de aula, auditórios, grandes salas de reunião, igrejas e arenas. Portanto, ele está disponível principalmente em unidades de tratamento de ar maiores e em equipamentos de rooftop grandes. Há muito tempo, esse tipo de equipamento está disponível com ventiladores de velocidade variável e resfriamento/aquecimento que podem ser escalonados ou modulados para controlar a temperatura do ar de descarga.

No entanto, devido ao maior foco na redução do consumo de energia, o VAV de zona única está começando a ser usado com mais frequência em salas de aula do ensino fundamental e médio, lojas de varejo, dormitórios e até mesmo escritórios. Uma vez que sua popularidade aumentou para esses ambientes menores, essa funcionalidade está começando a ser oferecida em

equipamentos menores, como pequenas unidades de rooftop ou sistemas split de expansão direta (DX), fan-coils, ventiladores de unidade de sala de aula e bombas de aquecimento por água.

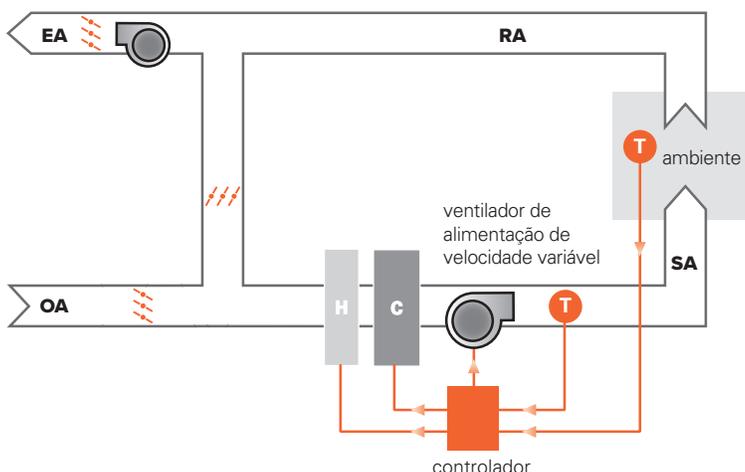
Requisitos da Norma ASHRAE 90.1

Os requisitos para o controle de VAV em sistemas de zona única foram adicionados à edição de 2010 da norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1, *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*.¹ Isso é especialmente relevante porque o Departamento de Energia dos EUA determinou que cada estado deve atualizar seu código para edifícios comerciais para atender ou exceder a norma 90.1-2010 até 18 de outubro de 2013.

Esses requisitos estão incluídos nas disposições obrigatórias da Seção 6.4. Por isso, os projetos devem cumprir os requisitos para o controle de VAV de zona única, independentemente de se utilizar o Approach simplificado (por referência da Seção 6.3), o Caminho prescritivo (Seção 6.5) ou o Orçamento de custo de energia (Seção 11) para fins de conformidade.

A seção 6.4.3.10 (veja a inserção, 2) inclui duas partes: a primeira aborda os sistemas que usam água gelada para resfriamento, enquanto a segunda parte aborda os sistemas que usam expansão direta.

Figura 1. Sistema VAV de zona única



Seção 6.4.3.10 ("Controles de volume de ar variável de zona única") da norma ASHRAE 90.1-2010.

Os sistemas HVAC devem ter controles de fluxo de ar variáveis da seguinte forma:

(a) As unidades de tratamento de ar e de fan-coil com serpentinas de resfriamento por água gelada e ventiladores de alimentação com motores maiores ou iguais a 5 hp devem ter seus ventiladores de alimentação controlados por motores de duas velocidades ou acionadores de velocidade variável. Em demandas de resfriamento menores ou iguais a 50%, os controles do ventilador de alimentação devem ser capazes de reduzir o fluxo de ar para não mais do que o maior dos seguintes valores:

- Metade da velocidade total do ventilador, ou
- O volume de ar externo necessário para atender aos requisitos de ventilação da norma 62.1.

(b) A partir de 1º de janeiro de 2012, todos os aparelhos de ar-condicionado e unidades de tratamento de ar com resfriamento por expansão direta e capacidade de resfriamento nas condições AHRI maior ou igual a 110.000 Btu/h que atendam a zona única deverão ter seus ventiladores de alimentação controlados por motores de duas velocidades ou acionadores de velocidade variável. Em demandas de resfriamento menores ou iguais a 50%, os controles do ventilador de alimentação devem ser capazes de reduzir o fluxo de ar para não mais do que o maior dos seguintes valores:

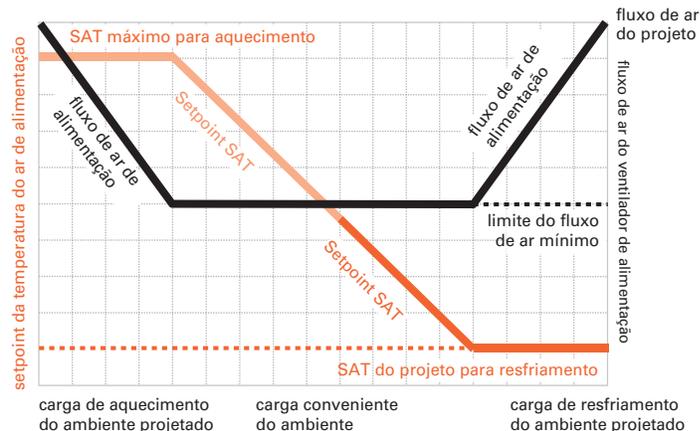
- Dois terços da velocidade total do ventilador, ou
- O volume de ar externo necessário para atender aos requisitos de ventilação da norma 62.1.

Nota do autor: Na parte (a) acima, a frase "Em demandas de resfriamento menores ou iguais a 50%..." pode ser confusa, portanto, o Manual do usuário da norma 90.1 esclarece o seguinte:²

"O termo 'demanda de resfriamento' se refere à carga de resfriamento conveniente do ambiente. Ou seja, quando a carga de resfriamento conveniente do ambiente diminuir para 50% da carga de resfriamento conveniente projetada para o ambiente, os controles do ventilador de alimentação deverão ter o fluxo de ar reduzido para o limite descrito."

Além disso, o Manual do usuário esclarece que o ventilador de alimentação pode ser controlado por um motor de duas velocidades, um motor comutado eletronicamente (ECM) ou um inversor de frequência variável (VFD).

Figura 2. Exemplo de controle SZAVV com ventilador de velocidade variável



Operação do sistema

A Figura 2 mostra um exemplo de sequência de controle para um sistema VAV de zona única que usa um ventilador de velocidade variável. (Observe que o controle pode variar conforme o fabricante, e há nuances que dependem do uso de água resfriada ou DX para resfriamento e se o tipo de aquecedor usado é compatível com o fluxo de ar variável).

Quando o ambiente está na carga de resfriamento conveniente projetada (lado direito do gráfico), esse sistema fornece o fluxo de ar de alimentação máximo na temperatura do ar de alimentação (SAT) projetada para resfriamento (por exemplo, 12 °C). À medida que a carga de resfriamento do ambiente diminui, o fluxo de ar de alimentação é reduzido conforme necessário para manter a temperatura desejada no ambiente. Isso é feito variando a velocidade do motor do ventilador. A capacidade de resfriamento é, então, escalonada ou modulada para manter o SAT no mesmo setpoint do projeto. Se o sistema tiver um economizador na parte de ar, o economizador poderá fornecer todo ou parte do resfriamento necessário para atingir o setpoint SAT.

Eventualmente, a carga de resfriamento conveniente do ambiente diminui até o ponto em que o fluxo de ar de alimentação atinge um limite mínimo (discutido na p. 3). À medida que a carga de resfriamento continua a diminuir, o ventilador permanece no fluxo de ar mínimo, mas agora o setpoint SAT é gradualmente redefinido para cima para evitar o resfriamento excessivo do ambiente.

Dependendo das condições externas, à medida que o setpoint SAT aumenta, eventualmente nenhum resfriamento mecânico será necessário para atingir essa temperatura e, portanto, os compressores são desligados. E até mesmo o economizador na parte de ar é modulado de volta para trazer apenas o fluxo de ar externo mínimo necessário para a ventilação. Quando isso acontece e a carga continua a diminuir, a temperatura do ambiente começa a cair abaixo do setpoint de resfriamento do ambiente, entrando na banda morta entre os setpoints de resfriamento e aquecimento. O ventilador continua a operar com fluxo de ar mínimo, sem compressores ou aquecedores em funcionamento, e a temperatura do ambiente pode oscilar dentro dessa banda morta.

Agora considere o que acontece quando o ambiente eventualmente precisar de aquecimento, ou seja, quando a temperatura do ambiente cair para o setpoint de aquecimento. O ventilador continua a operar com fluxo de ar mínimo e o setpoint SAT é redefinido ainda mais para cima. A capacidade de aquecimento é escalonada ou modulada para manter essa temperatura do ar de alimentação.

Eventualmente, a carga de aquecimento do ambiente pode aumentar até o ponto em que o SAT atinge um limite máximo predefinido (também discutido na p. 3). À medida que a carga de aquecimento do ambiente continua a aumentar, o fluxo de ar de alimentação aumenta novamente, enquanto a capacidade de aquecimento é escalonada ou modulada para manter o SAT nesse limite máximo.

Fluxo de ar mínimo. O limite mínimo do fluxo de ar (Figura 2) pode ser determinado pelo nível de redução do inversor de frequência variável (VFD) ou do motor comutado eletronicamente (ECM). Isso é específico para cada equipamento e pode ser feito para garantir a confiabilidade do motor ou, no caso de equipamentos DX, para garantir a confiabilidade do sistema de refrigeração. Como alternativa, para algumas aplicações, esse limite pode precisar ser alto o suficiente para atender a algum requisito de distribuição de ar.

A norma 90.1 (veja a inserção, p. 2) exige que esse fluxo de ar mínimo não seja maior do que a metade do fluxo de ar projetado para equipamentos de água gelada ou dois terços do fluxo de ar projetado para DX. Mas, se o fluxo de ar externo necessário para atender à norma 62.1 for maior do que esse limite mínimo, o fluxo de ar mais alto relacionado à ventilação poderá ser usado para evitar a subventilação do ambiente.

Temperatura máxima de alimentação durante o aquecimento. A temperatura máxima do ar de alimentação (Figura 2) pode ser determinada pelo fabricante do equipamento por motivos de segurança ou confiabilidade. Como alternativa, em algumas aplicações, essa temperatura pode ser limitada para minimizar a estratificação ao fornecer ar quente a partir de difusores superiores.

Quando os difusores de ar de alimentação e as grelhas de retorno estão montados no teto e o ar de alimentação está quente, a fluatibilidade desse ar quente faz com que parte dele permaneça perto do teto e passe dos difusores de alimentação para as grelhas de retorno. Esse desvio pode causar problemas de conforto e afetar o desempenho da ventilação, exigindo que mais ar externo seja trazido pela entrada do sistema.

Uma maneira de limitar ou evitar esse efeito é fornecer o ar em uma temperatura “não tão quente” durante o aquecimento. Nesse caso, a temperatura máxima de alimentação para aquecimento pode ser definida como -9°C acima do setpoint do ambiente.

Fluxo de ar constante durante o aquecimento. Em alguns equipamentos, o tipo de aquecedor disponível pode não ser capaz de acomodar o fluxo de ar variável. Nesse caso, a sequência de controle variará o fluxo de ar durante o resfriamento, mas depois aumentará para um fluxo de ar constante sempre que o aquecedor for ativado (Figura 3).

Quando a temperatura do ambiente cai para o setpoint de aquecimento, o ventilador aumenta a velocidade máxima e o aquecedor é ligado ou escalonado para aquecer o ambiente. Quando a temperatura do ambiente voltar a subir até a banda morta entre os setpoints de aquecimento e resfriamento, o aquecedor será desligado e o ventilador voltará à velocidade mínima.

Controle de ventilador de duas velocidades. A norma 90.1 determina que o ventilador de alimentação pode usar um motor de velocidade variável ou de duas velocidades. A implementação mais comum de um motor de duas velocidades é provavelmente uma unidade DX que tem dois compressores ou um compressor de dois estágios. Isso permite que o equipamento seja usado com um termostato convencional (com controle COOL1/COOL2).

A Figura 4 mostra um exemplo de sequência de controle ao usar um ventilador de duas velocidades. Quando o termostato solicita os dois estágios de resfriamento, o ventilador de alimentação opera em alta velocidade

com os dois compressores ligados. Quando apenas um estágio de resfriamento é necessário, o ventilador é reduzido para operar em baixa velocidade com apenas um compressor ligado. Em seguida, quando o termostato não exigir resfriamento, o ventilador continua a operar em baixa velocidade com os dois compressores desligados.

Por fim, se o termostato exige aquecimento, o ventilador opera em alta velocidade e o aquecedor é ligado. Quando o ambiente é aquecido, o termostato desliga o aquecedor e o ventilador volta a operar em baixa velocidade.

Assim como no controle do ventilador de velocidade variável, o fluxo de ar mínimo em baixa velocidade do ventilador pode ser determinado pelo projeto do equipamento, por motivos de segurança ou confiabilidade. No entanto, a norma 90.1 exige que esse fluxo de ar mínimo não seja superior a dois terços do fluxo de ar projetado para equipamentos DX ou metade do fluxo de ar projetado para água resfriada.

Controle de ventilação

Outro aspecto importante do controle do sistema envolve garantir a ventilação adequada do ambiente em todas as condições de operação.

Com um ventilador de velocidade constante, a ventilação adequada é obtida por meio da configuração da posição do damper de ar externo durante a inicialização e o balanceamento. Mas com um ventilador de velocidade variável, isso não é mais tão simples.

Figura 3. Exemplo de controle SZVAV com ventilador de velocidade variável e fluxo de ar constante durante o aquecimento

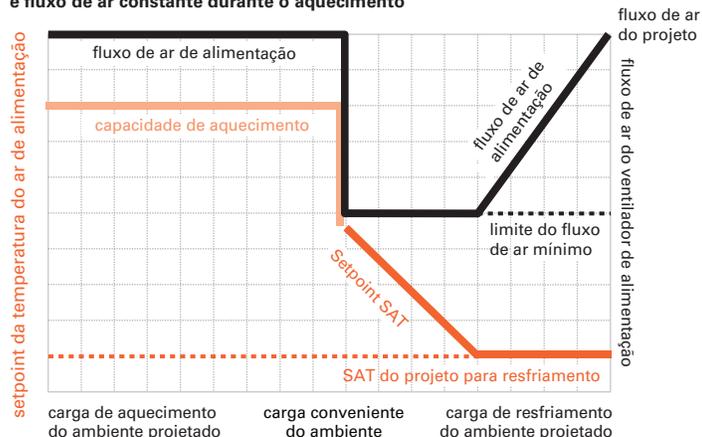
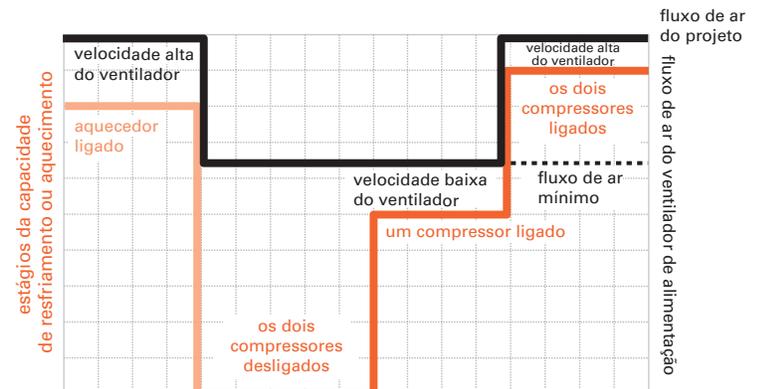


Figura 4. Exemplo de controle SZVAV com ventilador de duas velocidades



Como demonstração, a Figura 5 mostra a pressão estática à medida que o ar passa pelos vários componentes de um sistema VAV de zona única.

O ventilador de alimentação deve criar uma pressão alta o suficiente na descarga do ventilador (A) para compensar as perdas de pressão associadas à passagem do ar pelos dutos e difusores de alimentação e para o ambiente.

Além disso, o ventilador deve criar uma pressão baixa o suficiente em sua entrada (B) para compensar as perdas de pressão associadas à extração do ar de retorno para fora do ambiente e pela passagem de ar de retorno (que pode incluir uma grelha de retorno, plenum de teto e alguns dutos) e, em seguida, puxar o ar através do damper de ar de retorno, do filtro e das serpentinas dentro da unidade de tratamento de ar ou da unidade de rooftop.

Nesse exemplo de sistema, a caixa de mistura é onde o ar externo se mistura com o ar recirculado. Devido à queda de pressão através do caminho do ar de retorno e do damper, a pressão estática dentro dessa caixa de mistura (C) é negativa (menor do que a pressão fora do edifício). Isso faz com que o ar externo seja aspirado para essa caixa de mistura. Durante a inicialização e o balanceamento, o damper de retorno é ajustado de modo que a pressão dentro da caixa de mistura seja baixa o suficiente para garantir que a quantidade desejada de ar externo entre pelo damper de ar externo.

Em um sistema VAV de zona única, o fluxo de ar de alimentação é reduzido durante a operação de carga parcial. Ao empurrar menos ar através dos dutos e difusores de alimentação, a perda de pressão é menor, de modo que o ventilador não precisa criar uma pressão tão alta na descarga do ventilador (D).

Da mesma forma, mover menos ar pelo caminho do ar de retorno também resulta em menos perda de pressão. Isso faz com que a pressão estática dentro da caixa de mistura (E) aumente. Em outras palavras, ela não é tão negativa quanto no fluxo de ar do projeto.

A pressão estática dentro da caixa de mistura (E) tem um efeito direto sobre a quantidade de ar externo que entra no sistema. Se o damper de ar externo permanecer ajustado em uma posição fixa, a quantidade de ar externo que entra por esse damper diminuirá porque a pressão dentro da caixa de mistura não é tão negativa. Como resultado, o fluxo de ar externo diminuirá à medida que o fluxo de ar de alimentação for reduzido.

Para garantir que a mesma quantidade (cfm) de ar externo entre no sistema, o damper de ar externo precisará ser aberto mais quando o fluxo de ar de alimentação for reduzido. Isso exige projetar e programar uma sequência de controle que não era necessária com um sistema tradicional de volume constante.

Para resolver esse problema e garantir a ventilação adequada em um sistema VAV de zona única, considere uma das seguintes abordagens.

Controle do damper de ar externo de duas posições.

Para um sistema com controle de ventilador de duas velocidades (Figura 4), dois setpoints de posição podem ser usados para controlar o damper de ar externo.

Quando o ventilador é operado em alta velocidade, a posição do damper de ar externo é ajustada para trazer a quantidade de ar externo exigida pelo código. Em seguida, quando o controlador muda o ventilador para a velocidade baixa, o damper de ar externo pode ser aberto mais, a fim de trazer a mesma quantidade (cfm) de ar externo.

Observe que esses são os pontos de ajuste da posição mínima. Se o sistema incluir um economizador na parte de ar, o damper de ar externo pode ser aberto mais para economizar quando as condições forem adequadas.

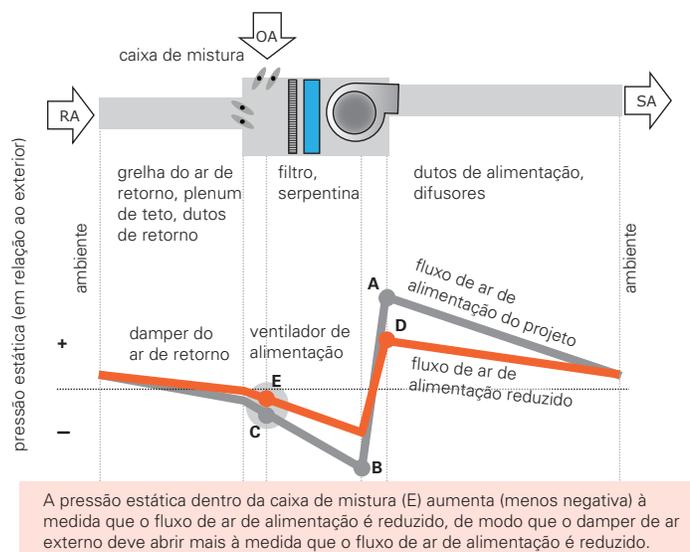
Controle proporcional do damper de ar externo.

Para um sistema com controle de ventilador de velocidade variável, uma solução poderia ser modular a posição do damper de ar externo proporcionalmente à mudança da velocidade do ventilador de alimentação (Figura 6). Essa é uma solução relativamente barata; portanto, é provável que seja usada em muitas das aplicações menores de VAV de zona única.

Com o sistema operando no fluxo de ar de alimentação do projeto (velocidade máxima do ventilador), a posição do damper de ar externo é ajustada para trazer a quantidade de ar externo exigida pelo código. Em seguida, com o sistema operando no fluxo de ar mínimo (velocidade mínima do ventilador), o damper de ar externo pode ser aberto mais, a fim de trazer a mesma quantidade de ar externo.

Durante a operação do sistema, o controlador modula a posição do damper de ar externo proporcionalmente à alteração no fluxo de ar de alimentação, que é determinado pelo sinal enviado ao acionador de velocidade variável do ventilador. Novamente, essa é a posição mínima do damper; portanto, ele pode ser aberto mais para economizar quando as condições forem adequadas.

Figura 5. Necessidade de controle de ventilação no sistema SZVAV



Esse método não é perfeitamente preciso em toda a faixa de fluxos de ar, pois o desempenho do damper não é linear. E não leva em conta influências externas, como vento ou efeito chaminé (Stack Effect). Portanto, isso resulta em um pouco de ventilação excessiva no meio da faixa de velocidade do ventilador, mas muito menos do que se fosse usado um damper de posição fixa (veja a inserção).

Uma maneira de minimizar essa imprecisão é adicionar um terceiro setpoint de posição do damper para determinada velocidade intermediária do ventilador (Figura 6). Isso garante a ventilação adequada nessa velocidade intermediária e minimiza o excesso de ventilação ao reduzir os intervalos entre os setpoints.

Damper de ar externo de medição de fluxo. Outro método para controlar a ventilação é medir o fluxo de ar externo e controlá-lo diretamente. Normalmente, isso é feito com o uso de um dispositivo de medição do fluxo de ar externo, como uma estação de medição de fluxo de ar ou um damper de medição de fluxo (Figura 7).

Esse método é mais preciso em toda a faixa de fluxo de ar e pode responder às oscilações de pressão causadas pelo vento ou pelo efeito chaminé (Stack Effect). Esse approach tem o benefício adicional de fornecer um meio de documentar o fluxo de ar externo trazido para o sistema ao longo do tempo.

No entanto, a medição do fluxo de ar externo aumenta o custo do sistema; portanto, é mais provável que seja usada em sistemas maiores.

Ar externo exclusivo fornecido diretamente a cada ambiente. As três abordagens anteriores são adequadas para um equipamento que tenha uma caixa de mistura e um damper de ar externo, como uma unidade de rooftop, uma unidade de tratamento de ar ou um ventilador de unidade de sala de aula.

No entanto, a maioria dos modelos de fan-coils ou bombas de aquecimento por água tem apenas uma única abertura de entrada, sem caixa de mistura ou damper de ar externo. Normalmente, a ventilação é fornecida por um sistema de ar externo exclusivo.

Em algumas aplicações, o sistema de ar externo exclusivo fornece o ar externo condicionado para o lado de entrada de cada bomba de calor local ou fan-coil (Figura 8).

Em uma unidade de estilo horizontal, o ar pode ser canalizado para ser descarregado no plenum aberto do teto, próximo à entrada da unidade. No caso de uma unidade de estilo vertical, ele pode ser canalizado para um gabinete onde a unidade está instalada. Em ambos os casos, o ar externo se mistura com o ar recirculado no plenum ou no gabinete antes de ser aspirado pela entrada da bomba de calor ou do fan-coil.

Conforme descrito anteriormente (Figura 5), se a unidade local tiver um ventilador de duas velocidades ou de velocidade variável, a pressão estática em sua entrada não será tão negativa quando a velocidade do ventilador for reduzida. Portanto, o fluxo de ar externo diminuirá à medida que o fluxo de ar de alimentação for reduzido.

Damper de ar externo de posição fixa e SZVAV

A norma ASHRAE 62.1-2010, seção 5.3, declara: ³

“O sistema deve ser projetado para manter um fluxo de ar externo não inferior ao mínimo exigido pela Seção 6 em qualquer condição de carga. Observação: Os sistemas de volume de ar variável (VAV) com posições fixas do damper de ar externo devem atender a esse requisito no fluxo de ar primário mínimo do sistema.”

Isso significa que a posição do damper de ar externo deve ser ajustada para trazer o fluxo de ar externo mínimo necessário quando o ventilador estiver operando na velocidade mínima, o que resulta em uma ventilação excessiva considerável e maior consumo de energia quando o ventilador opera em velocidades mais altas (Figura 6).

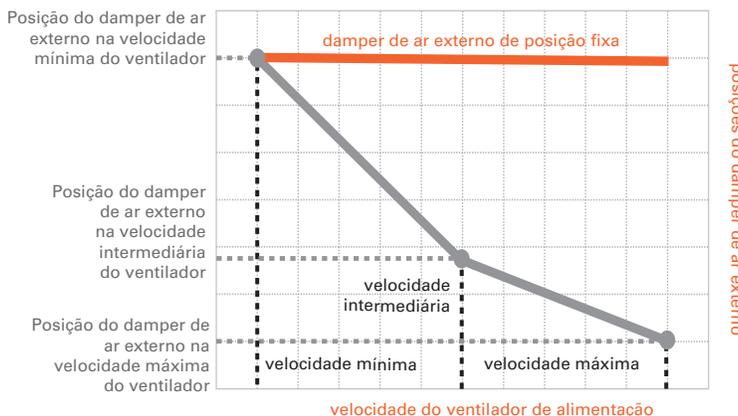
Um desafio adicional é que o ar externo é fornecido por um ventilador separado, e a pressão dentro do duto de ventilação é influenciada pela operação variável de todos os ventiladores locais atendidos pelo sistema de ventilação.

Com essa configuração, para garantir que seja fornecida a quantidade necessária de ar externo, um terminal VAV independente de pressão deve ser instalado no duto de ventilação de cada ambiente (Figura 8). Conforme a velocidade do ventilador local muda, esse damper é modulado para manter o mesmo fluxo de ar externo, independentemente da velocidade do ventilador.

Figura 7. Damper de ar externo de medição de fluxo



Figura 6. Controle proporcional do damper de ar externo



Como alternativa, considere fornecer o ar externo condicionado diretamente para cada ambiente, em vez de para a entrada dos fan-coils ou bombas de calor (Figura 9). Nesse caso, as unidades locais condicionam apenas o ar recirculado.

Uma vez que o ar externo não é distribuído pelo ventilador local, esse ventilador pode operar com um motor de duas velocidades ou de velocidade variável, sem afetar a quantidade de ar externo fornecido ao ambiente.

Esse approach “direto para o ambiente” também oferece a oportunidade de fornecer o ar externo em uma temperatura gelada, em vez de reaquecido até a temperatura neutra. Isso traz vários benefícios em termos de custo de instalação e economia de energia.^{4,5}

DCV baseada em CO₂. Os sistemas VAV de zona única são geralmente usados em ambientes densamente ocupados com população variável. Isso normalmente os torna bons candidatos para o uso de ventilação controlada por demanda (DCV) à base de CO₂.

Com esse approach, um sensor mede a concentração de CO₂ no ambiente que, por sua vez, é usada pelo controlador para redefinir o fluxo de ar externo conforme a população muda. Isso economiza energia por não ventilar demais o ambiente durante os períodos de ocupação parcial.

Embora a norma 62.1 permita o uso da DCV, ela também inclui alguns requisitos para que ela funcione:³

Embora o componente pessoas na

“O fluxo de ar externo de respiração do ambiente deve ser redefinido em resposta à ocupação atual e não deve ser menor do que o componente edifício ($R_a \times A_z$) do ambiente.” (Seção 6.2.7.1.2)

“Os sistemas devem ser operados de modo que os espaços sejam ventilados conforme a Seção 6 quando houver previsão de ocupação.” (Seção 8.3)

taxa de ventilação ($R_p \times P_z$) possa variar, a norma 62.1 estabelece que o controlador não pode reduzir o fluxo de ar externo abaixo do componente edifício na taxa de ventilação ($R_a \times A_z$) para esse ambiente.

A Seção 8.3 esclarece que isso se aplica sempre que houver “expectativa” de ocupação desse ambiente. Ou seja, a norma não está exigindo que esse componente edifício na taxa de ventilação seja fornecido ao ambiente 24 horas por dia, 7 dias por semana. Em vez disso, ela só exige isso durante o período de ocupação normalmente programado.

Uma vez que a pressão da caixa de mistura varia conforme o fluxo de ar de suprimento muda (Figura 5), a DCV deve ser combinada com o controle proporcional do damper ou com um damper de medição de fluxo para evitar que o fluxo de ar externo caia abaixo desse limite mínimo.

Um boletim anterior e o *Manual do usuário da norma 62.1* descrevem uma sequência de controle proporcional que pode ser usada para implementar a DCV em um sistema de zona única.^{6,7}

Benefícios potenciais do SZVAV

Em comparação com um sistema de volume constante, os benefícios típicos do VAV de zona única incluem menor consumo de energia, melhor desumidificação em carga parcial e menos ruído gerado pelo ventilador em velocidades reduzidas.

Menor consumo de energia.

Em comparação com um sistema de volume constante, um sistema VAV de zona única pode resultar em uma economia significativa de energia do ventilador em condições de carga parcial.

A Figura 10 mostra o potencial de economia de energia do uso do controle de ventilador de duas velocidades ou de velocidade variável em uma escola de ensino fundamental e médio de um só andar. O TRACE™ 700 foi usado para modelar o edifício com uma unidade de rooftop atendendo a cada ambiente.⁸ O edifício de referência usa rooftops convencionais de volume constante.

Figura 8. Ar externo condicionado fornecido à entrada de cada unidade local

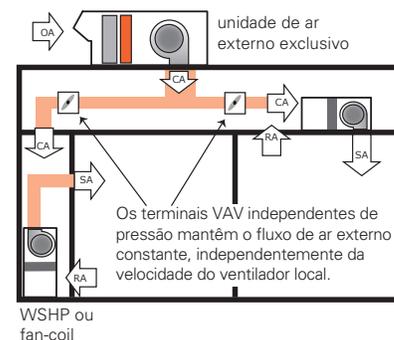
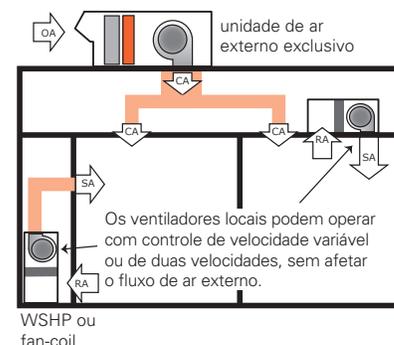


Figura 9. Ar externo condicionado fornecido diretamente a cada ambiente



Nesse exemplo, o controle do ventilador de duas velocidades (velocidade constante do ventilador durante o aquecimento) reduziu o consumo de energia de HVAC em cerca de 25%, enquanto o controle do ventilador de velocidade variável (capaz de variar a velocidade do ventilador durante o aquecimento) reduziu o consumo de energia de HVAC em cerca de 30%.

Obviamente, o impacto do controle do ventilador de duas velocidades ou de velocidade variável no consumo de energia de um edifício específico depende do clima, do layout do edifício e das horas de operação. Nesse exemplo, as altas cargas internas nas salas de aula resultaram em sistemas operando no modo de resfriamento na maioria das horas ocupadas (mesmo em Minneapolis). A operação do aquecedor foi limitada principalmente ao modo de aquecimento matinal.

Para aplicações com mais horas ocupadas de operação no modo de aquecimento, a diferença no consumo de energia entre o controle do ventilador de duas velocidades e o de velocidade variável provavelmente será maior, pois o ventilador de duas velocidades opera em alta velocidade sempre que o aquecedor está ligado.

Melhor desumidificação em carga parcial. Em comparação com um sistema de volume constante, um sistema VAV de zona única melhora o desempenho da desumidificação porque continua a fornecer ar frio e seco em condições de carga parcial.

Para demonstrar esse benefício, a Figura 11 compara o desempenho de dois sistemas que atendem a uma sala de aula de exemplo em Jacksonville, Flórida.⁹ Nas condições projetado de resfriamento, esse sistema mistura 450 cfm de ar externo com 1.050 cfm de ar recirculado e, em seguida, fornece os 1.500 cfm de ar de alimentação resultantes para a sala de aula.

Na condição de carga parcial e ponto de orvalho máximo, não está tão quente lá fora, mas mais úmido. O sistema com um ventilador de velocidade constante (CV) continua a fornecer um volume constante de ar para o ambiente (1.500 cfm). Enquanto isso, à medida que a carga de resfriamento conveniente no ambiente diminui, o compressor liga e desliga, resultando em um ar mais quente fornecido ao ambiente: 17 °C para esse exemplo de condição de carga.

Embora o fornecimento desse ar mais quente evite o resfriamento excessivo do ambiente, o ciclo do compressor resulta em uma temperatura média mais quente da serpentina e menos umidade removida. Esse ar de 17 °C não foi desumidificado da mesma forma que se tivesse sido resfriado a 12 °C. Esse ar de alimentação mais quente e úmido faz com que a umidade relativa do ambiente aumente para 67% nessa condição de carga parcial.

Por outro lado, em condições de carga parcial, à medida que a carga de resfriamento conveniente no ambiente diminui, o sistema com um ventilador de velocidade variável (SZVAV) responde primeiro fornecendo informações para o atual projetista do sistema HVAC, reduzindo o fluxo de ar fornecido ao ambiente e mantendo

uma temperatura constante do ar de alimentação. Nesse mesmo exemplo de condição de carga parcial, o fluxo de ar de alimentação é reduzido de 1.500 cfm para 900 cfm, enquanto o sistema ainda fornece o ar a 12 °C.

A redução do fluxo de ar permite que o sistema continue fornecendo o ar a uma temperatura fria, de modo que a serpentina remova mais umidade. Nessa condição de carga parcial, uma vez que o ar de alimentação ainda está frio e seco, a umidade relativa na sala de aula aumenta para apenas 57% com o ventilador de velocidade variável, em comparação com 67% com o ventilador de velocidade constante (Figura 11).

Nessa comparação, no sistema de ventilador de velocidade variável, a carga na serpentina de resfriamento é de 4 toneladas e o ventilador movimenta 900 cfm. Portanto, para atingir esse nível de umidade mais baixo, é necessário um pouco mais de energia do compressor, embora a energia do ventilador seja muito menor (Tabela 1).

Como outro ponto de comparação, em um dia de chuva leve, o ventilador de velocidade variável resulta em uma desumidificação muito melhor nesse mesmo exemplo sala de aula: 60% de UR, em comparação com 73% de UR com um ventilador de velocidade constante (Tabela 1).

Outro método para melhorar a desumidificação de carga parcial poderia ser a adição de reaquecimento de gás quente (HGRH). Para limitar a

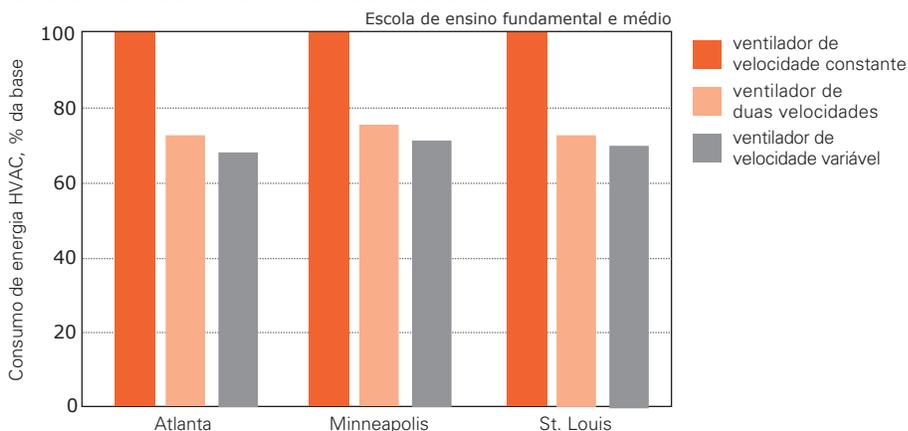
umidade relativa do espaço a 60%, um sistema de volume constante resfria o ar em excesso para aumentar a desumidificação e, em seguida, reaquece-o para evitar o resfriamento excessivo do ambiente. Isso requer mais energia do compressor, além de mais energia do ventilador (Tabela 1).

Em muitas aplicações, o ventilador de velocidade variável pode fazer um trabalho adequado para limitar os níveis de umidade interna, de modo que o sistema pode não exigir outros aprimoramentos de desumidificação, como o reaquecimento de gás quente.

No entanto, se um projeto exigir níveis de umidade mais baixos do que um sistema VAV de zona única pode alcançar, alguns tipos de equipamentos também podem ser equipados com reaquecimento de gás quente. Nesse caso, o ventilador de velocidade variável pode limitar a umidade na maior parte do tempo, mas o reaquecimento pode ser usado se necessário.

No caso de fan-coils ou bombas de aquecimento por água, normalmente um approach mais eficiente seria usar o sistema de ar externo exclusivo para desumidificar o ar externo de forma centralizada, em vez de equipar cada unidade local com reaquecimento.^{4,5}

Figura 10. Exemplo de economia de energia com o controle do ventilador de duas velocidades ou de velocidade variável



Menos ruído gerado pelo ventilador em velocidades reduzidas.

Os equipamentos de distribuição de ar, incluindo ventiladores, dutos e difusores, podem ter um impacto considerável nos níveis de som de fundo em espaços ocupados.

Uma vez que o ventilador opera em velocidade reduzida, um sistema VAV de zona única se beneficia de menos ruído gerado pelo ventilador em condições de carga parcial. O nível sonoro real depende do tipo de ventilador, das condições de operação e da instalação. Mas, em geral, quando a velocidade do ventilador diminui, o mesmo ocorre com o nível de som.

Considerações de aplicação

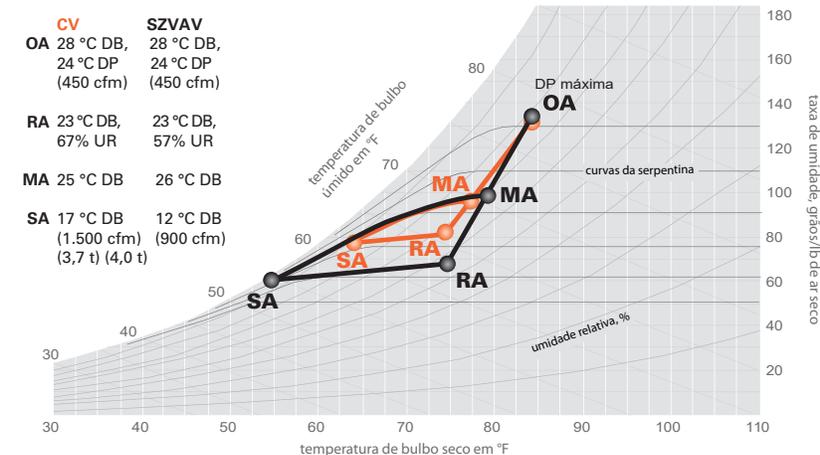
Para obter esses benefícios, a aplicação específica deve estar bem adequada ao uso do VAV de zona única. A seguir estão alguns dos desafios ou considerações ao aplicar esse tipo de sistema.

As cargas em um ambiente grande devem ser razoavelmente uniformes.

Esse sistema de zona única, que responde a um único sensor de temperatura, não tem a capacidade de atender aos requisitos de aquecimento e resfriamento simultâneos.

Se as cargas em um ambiente grande não forem razoavelmente uniformes, isso pode resultar em variações indesejáveis de temperatura em algumas áreas do ambiente que estão mais distantes do sensor de temperatura.

Figura 11. Desumidificação aprimorada em carga parcial para um exemplo de sala de aula em Jacksonville, FL



Projete o sistema de distribuição de ar para acomodar o fluxo de ar variável. Use difusores que proporcionem a distribuição adequada do ar em fluxos de ar reduzidos. Os difusores que são apropriados para sistemas VAV convencionais provavelmente são os mais adequados.

Manter os dutos tão curtos e simétricos quanto possível é uma boa orientação geral. Os sistemas com dutos mais longos ou assimétricos não impedem necessariamente o uso de VAV de zona única, mas são mais suscetíveis a fluxos de ar desiguais entre os difusores, conforme a modulação do ventilador de alimentação.

Garanta a ventilação adequada à medida que o fluxo de ar de alimentação muda. Em sistemas menores, é mais provável que seja usado o controle de damper proporcional ou de duas posições, enquanto os sistemas maiores podem usar um dispositivo de medição de fluxo de ar, como um damper de medição de fluxo.

Quando um sistema de ar externo exclusivo for usado, considere a possibilidade de fornecer o ar externo condicionado diretamente para cada ambiente, em vez de para a entrada do equipamento local.

Se estiver implementando a ventilação controlada por demanda, forneça algum método para variar o fluxo de ar de alívio (exaustão) para evitar pressão negativa no edifício quando a DCV reduzir o fluxo de ar de entrada. Da mesma forma, se um ambiente tiver algum tipo de requisito mínimo de exaustão, como um banheiro, cozinha ou vestiário, a DCV não poderá reduzir o fluxo de ar de admissão abaixo da exaustão exigida, a menos que o ambiente receba ar de compensação de alguma outra fonte.

Tabela 1. Comparação de desumidificação de carga parcial: CV versus SZVAV

	ventilador de velocidade constante	ventilador de velocidade variável	ventilador de velocidade constante com HGRH
DPT máxima (28 °C DBT, 24 °C DPT)			
umidade do ambiente, %UR	67%	57%	
carga de resfriamento, toneladas	3,7	4,0	
fluxo de ar do ventilador, cfm	1.500	900	
ameno, chuvoso (21 °C DBT, 20 °C WBT)			
umidade do ambiente, %UR	73%	60%	60%
carga de resfriamento, toneladas	1,6	1,9	2,4
fluxo de ar do ventilador, cfm	1.500	750	1.500

Considere a operação do sistema durante o aquecimento.

A norma ASHRAE 90.1 aborda o VAV de zona única durante a operação de resfriamento. Se o fluxo de ar variável também for desejado durante a operação de aquecimento, o equipamento provavelmente exigirá algum tipo de aquecimento modulante, como um aquecedor a gás de modulação ou uma serpentina de aquecimento a água quente.

Caso contrário, se o equipamento tiver aquecimento elétrico ou a gás ligado/desligado, o fabricante poderá exigir que ele opere com fluxo de ar total sempre que o aquecedor for ativado (Figura 3). Portanto, verifique com o fabricante ao especificar ou comprar um equipamento VAV de zona única.

O controle do ventilador de velocidade variável requer um sensor de temperatura de ambiente.

Um termostato convencional (com controle COOL1/COOL2) pode ser usado normalmente para o controle do ventilador de duas velocidades, mas o controle de velocidade variável exige um sensor de temperatura de ambiente conectado ao controlador da unidade.

É importante comunicar isso ao especificar ou comprar um equipamento VAV de zona única. Se estiver substituindo um equipamento antigo (controlado por um termostato convencional) por uma nova unidade de ventilador de velocidade variável, isso provavelmente exigirá a substituição do termostato por um sensor de ambiente. Os sensores de ambiente sem fio facilitam muito esse processo, especialmente para os projetos em que pode ser difícil puxar os fios.

Por John Murphy, engenheiro de aplicações, e Beth Bakkum, designer de informações, da Trane. Você pode encontrar essa questão e questões anteriores do Boletim de Engenharia em www.trane.com/engineersnewsletter. Para fazer comentários, envie um e-mail para comfort@trane.com. informações para projetistas do sistema HVAC da atualidade

Referências

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90,1-2010: *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*.
- [2] [American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). *Manual do usuário da norma 90.1-2010*.
- [3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Norma ANSI/ASHRAE 62.1-2010: *Ventilação para qualidade aceitável do ar interno*.
- [4] Murphy, J. e B. Bakkum. *Water-Source and Ground-Source Heat Pump Systems*, manual de aplicação SYS-APM010-EN, 2011.
- [5] Murphy, J., P. Solberg, M. Schwedler, and J. Harshaw, "Energy-Saving Strategies for Water-Source and Ground-Source Heat Pump Systems," *Engineers Newsletter Live program* (2012).
- [6] Murphy, J. e B. Bradley. "CO₂-Based Demand-Controlled Ventilation with ASHRAE Standard 62.1." *Boletim de Engenharia* 34-5 (2005).
- [7] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). *Manual do usuário da norma 62.1-2010*.
- [8] Trane Air-Conditioning and Economics (TRACE™ 700). Disponível em www.trane.com/TRACE
- [9] Murphy, J. e B. Bradley. *Dehumidification in HVAC Systems*, manual de aplicação SYS-APM004-EN, 2002.

www.Trane.com/bookstore

Aprenda estratégias de design de HVAC e ganhe crédito

Clínicas de ar-condicionado. Uma série de apresentações instrutivas que ensinam sobre fundamentos, equipamentos e sistemas de HVAC. A série inclui manuais do estudante coloridos, que podem ser adquiridos individualmente. Aprovado pelo American Institute of Architects para unidades de aprendizado 1.5 (Saúde, Segurança e Bem-estar). Entre em contato com o escritório local da Trane para se inscrever para o treinamento em sua área.

Engineers Newsletter Live. Uma série de programas de 90 minutos que oferece informações técnicas e instrutivas sobre aspectos específicos de projeto e controle do HVAC. Os tópicos variam de estratégias do sistema de água e ar até os padrões e códigos do setor do ASHRAE. Entre em contato com o escritório local da Trane para obter a programação ou visualize programas anteriores visitando www.trane.com/ENL.

Crédito de educação continuada sob demanda para LEED® e AIA. Esses programas sob demanda de 90 minutos estão disponíveis sem nenhum custo. A lista de tópicos sobre HVAC inclui muitos cursos específicos de LEED. Todos os cursos disponíveis em www.trane.com/continuingeducation.

Boletim de Engenharia. Esses artigos trimestrais abordam tópicos adequados relacionados a design, aplicação e/ou operação de sistemas comerciais e aplicados de HVAC. Inscreva-se em www.trane.com/EN



Manuais de aplicação. Guias de referência abrangentes que podem aumentar seu conhecimento prático dos sistemas HVAC comerciais. Os tópicos variam de combinações de componentes e conceitos inovadores de projeto a estratégias de controle do sistema, problemas do setor e fundamentos. A seguir são apresentados apenas alguns exemplos. Visite www.trane.com/bookstore para obter uma lista completa dos manuais disponíveis para encomenda.

Sistemas Geotérmicos Centrais discute o design adequado e o controle de sistemas em cascata bidirecionais geotérmicos centrais que usam áreas de perfuração. Este manual abrange a tubulação do sistema geotérmico central, considerações sobre design do sistema e considerações na parte de ar. (SYS-APM09-EN, fevereiro de 2011)

Sistemas VAV de água resfriada focaliza sistemas de água resfriada, de volume-de-ar-variável (VAV). Para incentivar o projeto e a aplicação adequados de um sistema VAV de água resfriada, este manual discute as vantagens e as desvantagens do sistema, analisa os vários componentes que constituem o sistema, propõe soluções para desafios comuns de design, explora diversas variações do sistema e discute o controle de nível do sistema. (SYS-APM008-EN, atualizado em maio de 2012)

Sistemas de bombas de aquecimento por água e geotérmicas examina componentes, configurações, opções e estratégias de controle do sistema de água resfriada. O objetivo é fornecer aos projetistas do sistema opções que eles possam usar para atender aos desejos dos proprietários das construções. (SYS-APM010-EN, Novembro de 2011)



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

A Trane acredita que os fatos e as sugestões apresentados aqui são precisos. No entanto, as decisões de projeto e aplicação finais são de sua responsabilidade. A Trane se isenta de qualquer responsabilidade por ações tomadas com relação ao material apresentado.