



informações para projetistas do sistema HVAC da atualidade

Boletim informativo de engenharia

volume 49-1

Impacto da temperatura em ponto de orvalho do ar de alimentação do DOAS na unidade dos ambientes



O uso de um sistema dedicado de ar externo (DOAS) para condicionar o ar externo separadamente do ar recirculado pode fazer com que seja mais fácil verificar se um fluxo de ar suficiente chega em cada zona. E quando esse ar externo é desumidificado para ficar mais seco que o espaço, isso também pode ajudar a evitar níveis altos de umidade no espaço.

Mas muitos sistemas dedicados de ar externo projetados e instalados hoje não estão fazendo a desumidificação correta. Este *Boletim informativo de engenharia* analisa uma das possíveis razões que levam a esse fato.

Introdução

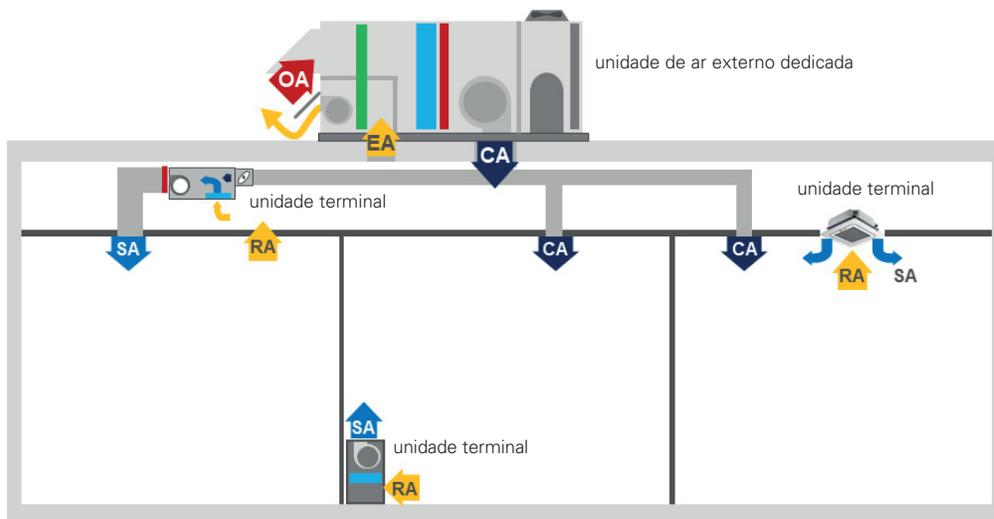
Em edifícios com unidades terminais em zona para resfriamento e aquecimento (como VRF, sistemas split de expansão direta, PTACs, vigas frias ou unidades terminais de resfriamento sensível), um sistema dedicado e separado de ar externo é usado com frequência para fornecer ventilação.

Como o nome indica, esse sistema usa uma unidade dedicada para condicionar todo o ar externo (OA) que entra para ventilação (figura 1). Enquanto isso, uma unidade terminal fornece resfriamento ou aquecimento em cada zona.

Um ponto de orvalho de 12,7 °C não é bom o suficiente?

Para muitos projetistas de HVAC, uma prática comum de projeto tem sido especificar a unidade OA dedicada para desumidificar o ar externo a uma temperatura de ponto de orvalho de 12,7 °C (equivalente a 9,22 gr/kg ao nível do mar) e então reaquecê-lo a uma temperatura de bulbo seco “neutra” (21,1° C, por exemplo).

Figura 1. Sistema dedicado de ar externo (DOAS)



Retratada em um gráfico psicrométrico (Figura 4), a unidade OA dedicada desumidifica o ar externo (OA) quente e úmido para 12,7 °C de ponto de orvalho, e depois o reaquece para 21,1 °C de bulbo seco (CA). A unidade terminal resfria 462 l/s de ar recirculado (RA) de 22,7 °C para 12,7 °C de bulbo seco (SA). A sala de aula recebe um total de 627,7 l/s (165 l/s de ar externo condicionado do DOAS mais 27,7 m³/min de abastecimento de ar resfriado da unidade terminal), retratado como a condição combinada marcada "SA + CA" na Figura 4.

Seguindo a linha SHR do espaço de 0,83 do ponto SA + CA, a condição resultante no espaço (RA) é 22,7 °C de bulbo seco e UR de 55 por cento; **mais alta** que a UR desejada de 50 por cento.

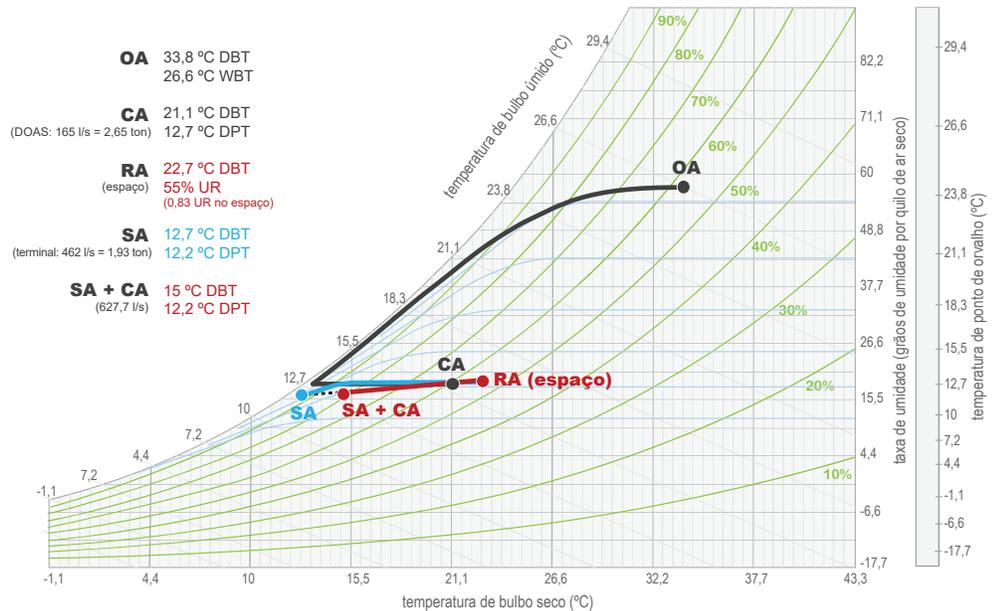
Por que isso acontece? A unidade OA dedicada desumidifica o ar externo que entra para um ponto de orvalho de 12,7 °C, que possui uma taxa de umidade maior que a desejada no espaço. Assim, o DOAS ainda acrescenta carga latente ao espaço, e a unidade terminal não tem capacidade de desumidificação (latente) suficiente para remover essa carga latente acrescentada mais a carga latente do espaço.

O que acontece em condições de carga parcial? Neste exemplo da sala de aula, imagine que a carga de resfriamento sensível do espaço seja de apenas 60 por cento da carga do projeto, ou 3,57 kW (Tabela 1). No entanto, todos os alunos ainda estão presentes na sala, então a carga latente do espaço permanece inalterada (1,18 kW). Isso causa uma redução no SHR do espaço, de 0,83 no projeto para 0,75 na condição de carga parcial.

O DOAS continua fornecendo 165 l/s de ar externo condicionado para a sala de aula nas mesmas condições, ainda compensando 0,33 kW da carga de resfriamento sensível do espaço. Assim, a unidade terminal precisa compensar os 3,24 kW (3,57-0,33) restantes da carga sensível.

Como a carga sensível é menor no espaço, o controlador da unidade terminal reduziu a velocidade do ventilador neste exemplo, fornecendo o fluxo de ar mínimo de 349 l/s (462 l/s x 0,75, presumindo uma velocidade mínima do ventilador de 75 por cento).

Figura 4. DOAS fornecendo 12,7 °C de ponto de orvalho nas condições do projeto (carga total)



Para compensar os 3,24 kW restantes de carga sensível no espaço, a unidade terminal precisa resfriar esses 349 l/s de ar recirculado a 15 °C de bulbo seco: $3,24 \text{ kW} = 0,081 \times 349 \text{ l/s} \times (22,7 \text{ °C} - \text{DBT}_{sa})$.

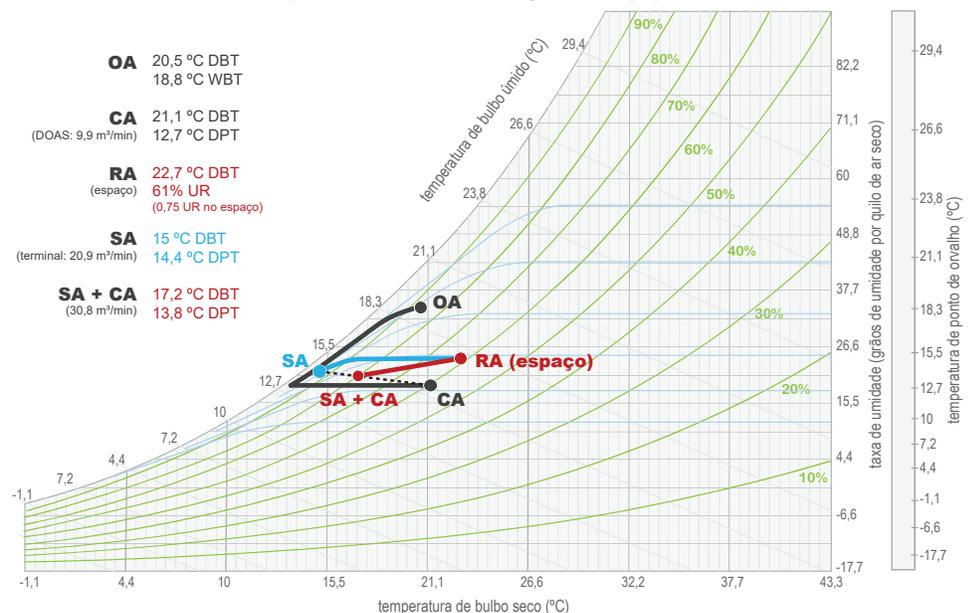
Nessa condição de carga parcial, o ar externo (OA) é mais frio, mas ainda úmido (Figura 5). A unidade OA dedicada ainda faz a desumidificação aos mesmos 12,7 °C de ponto de orvalho antes de reaquecer para 21,1 °C de bulbo seco (CA).

Como descrito, a unidade terminal agora resfria 349 l/s de ar recirculado (RA) de

22,7 °C para 15 °C (SA), para que a sala de aula receba um total de 514 l/s (SA + CA). Seguindo a linha SHR do espaço de 0,75 de carga parcial, a condição resultante no espaço é 22,7 °C de bulbo seco e UR de 61 por cento; **muito mais alta** que a UR desejada de 50 por cento.

No exemplo da sala de aula, a especificação arbitrária da unidade OA dedicada para desumidificar o ar externo a um ponto de orvalho de 12,7 °C não resultou no nível de umidade do espaço desejado, especialmente em carga parcial.

Figura 5. DOAS fornecendo 12,7 °C de ponto de orvalho em condições de carga parcial.



E se, em vez de 12,7 °C de ponto de orvalho, a unidade OA dedicada for ajustada para um ponto de orvalho menor?

Conforme a Figura 6, nas condições do projeto (carga total), a unidade OA dedicada agora desumidifica o ar externo (OA) quente e úmido para 7,2 °C de ponto de orvalho, mas ainda o reaquece para 21,1 °C de bulbo seco (CA). De novo, a unidade terminal resfria 462 l/s de ar recirculado (RA) de 22,7 °C para 12,7 °C de bulbo seco (SA). A condição resultante no espaço é 22,7 °C de bulbo seco na UR desejada de 50 por cento.

Já que o ar externo condicionado (CA) é mais seco, o ar combinado de 627,7 l/s fornecido ao espaço (SA + CA) também é mais seco, e a condição resultante no espaço é 22,7 °C de bulbo seco na UR desejada de 50 por cento.

Na condição de carga parcial do mesmo exemplo (Figura 7), o ar externo (OA) ainda é desumidificado para 7,2 °C de ponto de orvalho e reaquecido para 21,1 °C de bulbo seco (CA). A unidade terminal, agora operando na velocidade mínima do ventilador, resfria 349 l/s de ar recirculado (RA) de 22,7 °C para 15 °C de bulbo seco (SA). A condição resultante no espaço é 22,7 °C de bulbo seco e 51 por cento de UR.

Como mencionado, a especificação arbitrária da unidade OA dedicada para fornecer 12,7 °C de ponto de orvalho pode não resultar no nível de umidade do espaço desejado, especialmente em carga parcial. Pode ser necessário um ponto de orvalho menor (7,2 °C neste exemplo) para alcançar os resultados desejados.

Como determinar o ponto de orvalho necessário do ar de alimentação do DOAS

O ponto de orvalho “certo” do ar de alimentação do DOAS para uma determinada aplicação depende do tipo de espaço e do nível de umidade interna desejado, assim como do tipo de unidades terminais usadas (veja a barra lateral das unidades terminais exclusivamente sensíveis).

Figura 6. DOAS fornecendo 7,2 °C de ponto de orvalho nas condições do projeto (carga total).

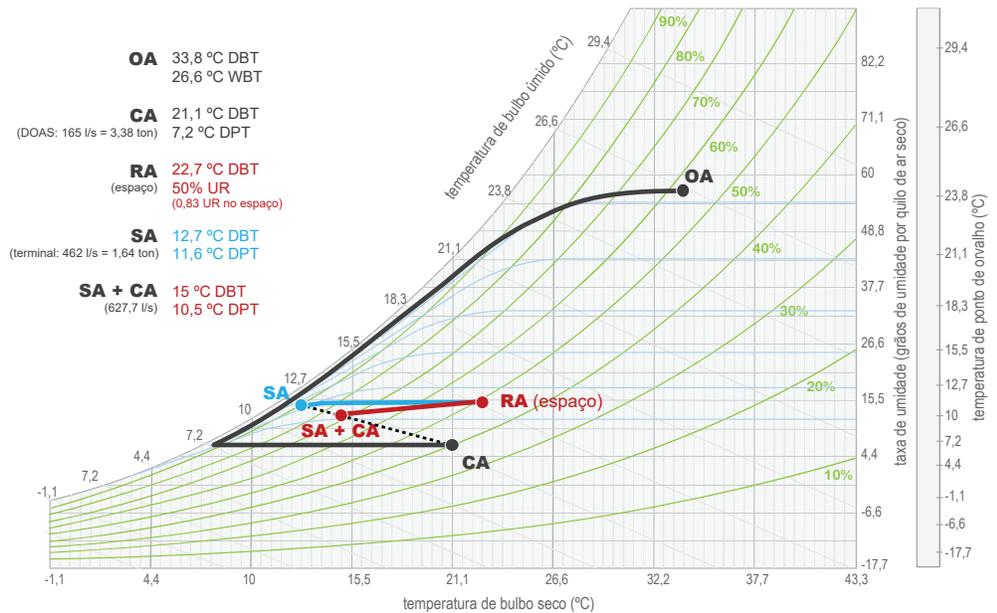
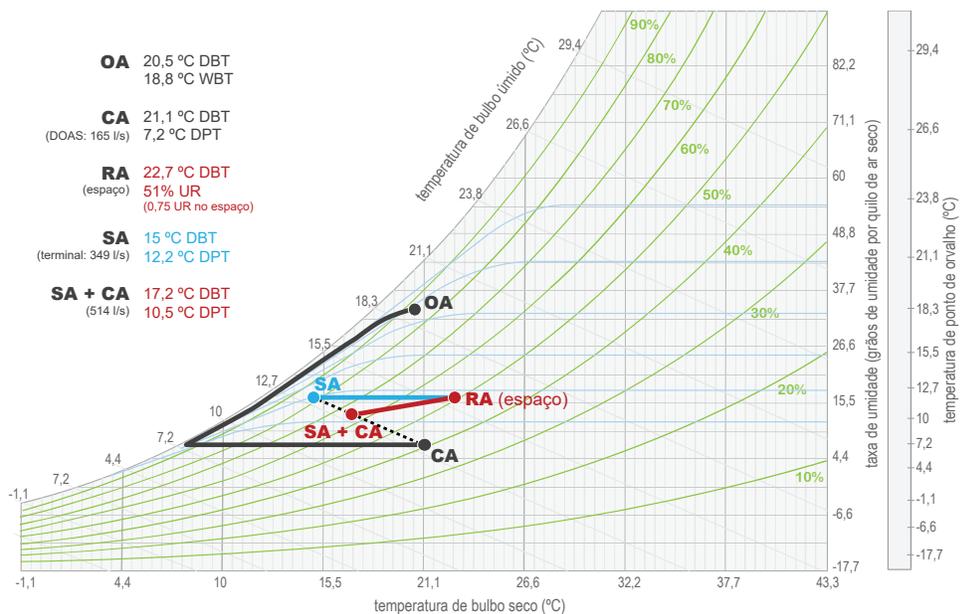


Figura 7. DOAS fornecendo 7,2 °C de ponto de orvalho em condições de carga parcial.



Unidades terminais exclusivamente sensíveis

Alguns tipos de unidades terminais (como vigas resfriadas, painéis de resfriamento radiante ou terminais de resfriamento sensível) são projetados para fornecer apenas resfriamento sensível, sem desumidificação. Quando este tipo de equipamento de terminal é usado, o DOAS é a **única** fonte de desumidificação e deve ser dimensionado para desumidificar o OA para que ele fique suficientemente seco e mantenha o ponto de orvalho do espaço baixo o suficiente para evitar condensação nos terminais exclusivamente sensíveis. Por exemplo, se uma água de 13,8 °C for fornecida aos terminais, o DOAS pode ser projetado para evitar que o ponto de orvalho do espaço suba acima de 12,7 °C, criando uma folga de 1°C.

A seguinte equação de carga latente pode ser usada para determinar a taxa de umidade necessária (W_{ca}) do ar externo condicionado fornecido pelo DOAS:

$$Q_{\text{espaço, latente}} = 0,082 \times V_{\text{oz}} \times (W_{\text{espaço}} - W_{ca})$$

em que:

- $Q_{\text{espaço, latente}}$ = carga latente no espaço, kW
- V_{oz} = fluxo de ar externo fornecido ao espaço, l/s
- $W_{\text{espaço}}$ = taxa de umidade desejada no espaço, gr/kg
- W_{ca} = taxa de umidade necessária do ar externo condicionado fornecido pelo DOAS, gr/kg

O valor de 0,082 nessa equação não é uma constante, mas é derivado das propriedades do ar em condições "padrão". O ar em outras condições e elevações causará a mudança desse fator.

No exemplo descrito anteriormente da sala de aula K-12, a carga latente do espaço é estimada em 1,18 kW, e o fluxo de ar externo necessário é de 165 l/s (ver Tabela 1). Se as condições desejadas do espaço forem 22,7 °C de bulbo seco e 50 por cento de UR, a taxa de umidade será 8,65 gr/kg. Usando a equação anterior, com a finalidade de remover a carga latente do espaço inteiro, os 165 l/s de ar externo devem ser desumidificados para 6,27 gr/kg, igual a aproximadamente 7,2 °C de ponto de orvalho.

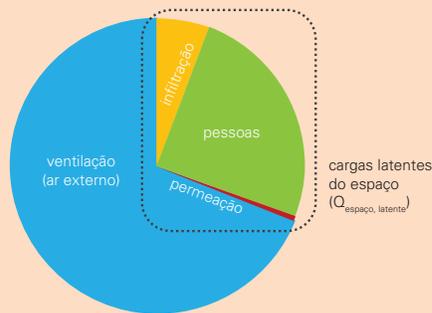
$$1,18 \text{ kW} = 0,082 \times 165 \text{ l/s} \times (8,65 \text{ gr/kg} - W_{ca}), \text{ então } W_{ca} = 6,27 \text{ gr/kg}$$

Carga latente do espaço ($Q_{\text{espaço, latente}}$)

O gráfico de pizza na Figura 8 retrata as fontes de carga latente para uma sala de aula K-12 como exemplo. Neste caso, o ar (externo) de ventilação representa quase dois terços do total da carga latente. O terço restante é a carga latente do espaço que ocorre dentro dos limites do espaço condicionado (na maior parte devido às pessoas e à infiltração).

A carga latente relacionada ao ar exterior afeta a capacidade de desumidificação do equipamento, mas apenas a porção do espaço da carga latente ($Q_{\text{espaço, latente}}$) dita o quanto o ar fornecido deve estar seco. Essas cargas vão variar em tipos de espaços diferentes, baseado no nível de atividade e na densidade de ocupantes.

Figura 8. Cargas latentes para sala de aula K-12 do exemplo.



Fonte: *Humidity Control Design Guide*, ASHRAE© 2001, p. 278

É seco o suficiente para compensar a carga latente do espaço inteiro e manter a taxa de umidade do espaço ($W_{\text{espaço}}$) no nível desejado.

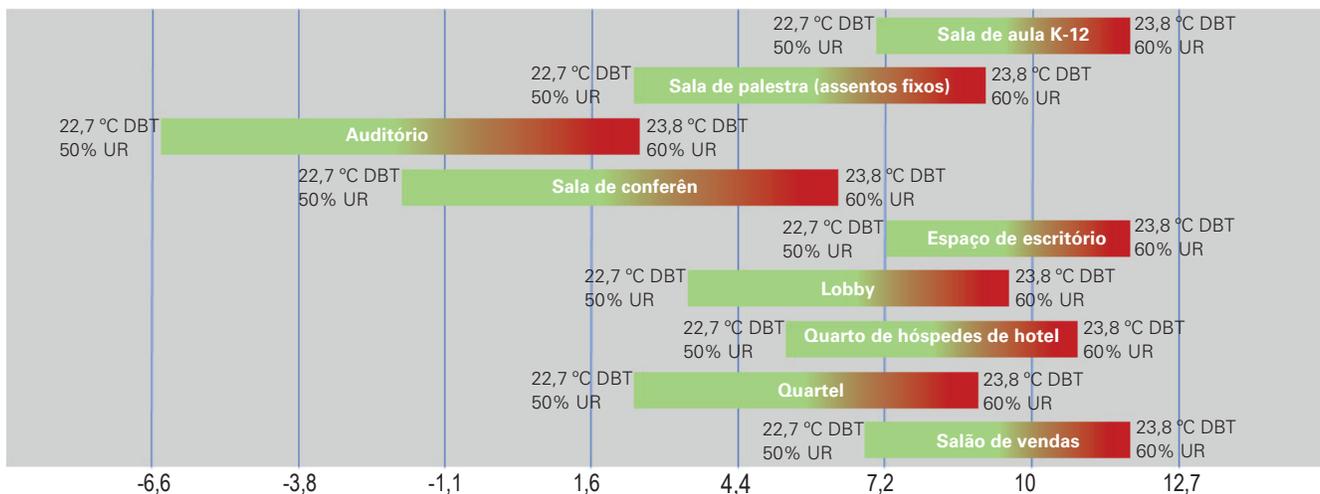
O ponto de orvalho necessário do ar de alimentação do DOAS varia para outros tipos e condições de espaço. A Figura 9 compara o ponto de orvalho necessário para diversos tipos de espaços diferentes, presumindo as taxas de ventilação mínimas e as densidades padrão dos ocupantes segundo o ASHRAE Standard 62.1.

No exemplo da sala de aula K-12 (barra superior do gráfico), se as

condições desejadas do espaço forem 22,7 °C de bulbo seco e 50 por cento de UR, o ar externo condicionado precisará ser desumidificado para aproximadamente 7,2 °C de ponto de orvalho (como calculado anteriormente). Mas se o DOAS fornecer um ponto de orvalho maior, a umidade do espaço será maior.

Para espaços com taxas de ventilação menores, como um auditório ou sala de conferência, pode ser necessário um ponto de orvalho muito baixo; ou o DOAS pode ser projetado para fornecer um fluxo de ar de ventilação maior que o mínimo para desumidificar esses espaços suficientemente.

Figura 9. Comparação dos pontos de orvalho do ar de alimentação do DOAS para diversos tipos e condições de espaço.



A temperatura necessária do ponto de orvalho do OA condicionado para manter o nível de umidade desejado do espaço, °C
(Presumindo a densidade de ocupação padrão, 155 ou 200 Btu/h/pessoa de carga latente do espaço e em elevação ao nível do mar.)

Ar neutro contra ar frio

Alguns engenheiros de HVAC projetam o sistema de ar externo dedicado para reaquecer o ar externo desumidificado para uma temperatura de bulbo seco "neutra" (21,1 °C por exemplo). Mas essa operação desperdiça energia quando as zonas também precisam de resfriamento.

Quando água resfriada ou uma serpentina de refrigeração são usadas para desumidificar o ar externo (OA para CC na Figura 10), um subproduto desse processo de desumidificação é a refrigeração sensível. A temperatura de bulbo seco do ar que sai da serpentina de resfriamento (CC) é mais fria que o espaço. Se esse ar desumidificado for, então, reaquecido para temperatura neutra (CC para CA), uma parte do resfriamento executado pela unidade OA dedicada será desperdiçada.

Se as zonas precisam de resfriamento, por que não usar o resfriamento sensível feito pela unidade OA dedicada? Caso contrário, as unidades terminais serão forçadas a compensar mais carga de resfriamento sensível do espaço, aumentando o uso de energia.

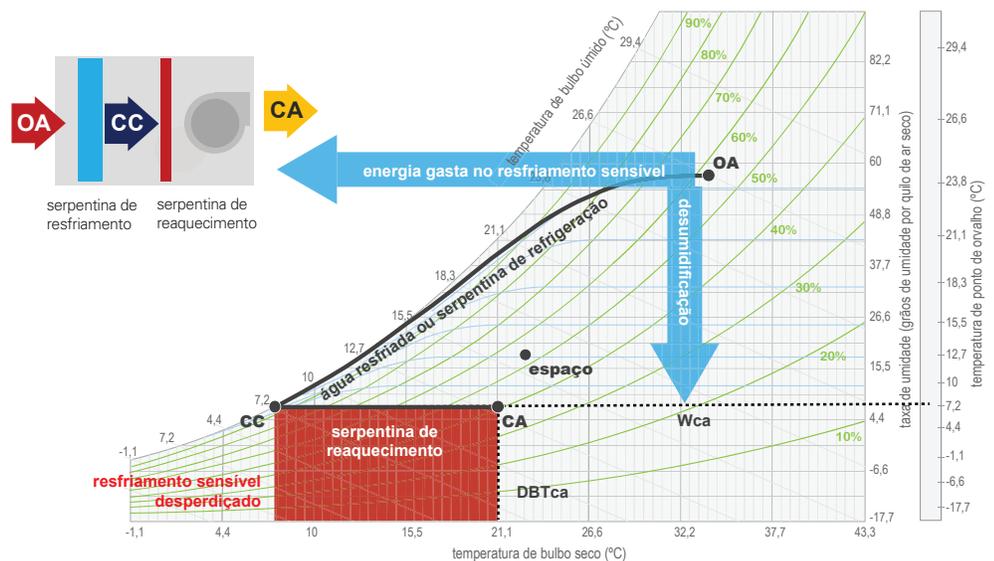
Para endereçar a ineficiência do ar em temperatura neutra, a versão de 2016 do ASHRAE Standard 90.1 acrescentou um novo requisito que proíbe um DOAS de reaquecer o ar externo desumidificado para mais de 15,5 °C de bulbo seco, sempre que a maior parte das zonas precisarem de resfriamento. Isso se aplicará mesmo que o calor recuperado seja usado.

6.5.2.6 Controle de aquecimento do ar de ventilação

As unidades que fornecem ar de ventilação para diversas zonas e operam em conjunto com sistemas de resfriamento e aquecimento em zona não devem usar recuperação de calor para aquecer o ar fornecido acima de 15,5 °C quando cargas representativas de edifícios ou a temperatura do ar externo indicar que a maioria das zonas necessitam de resfriamento.

ASHRAE 90.1-2016

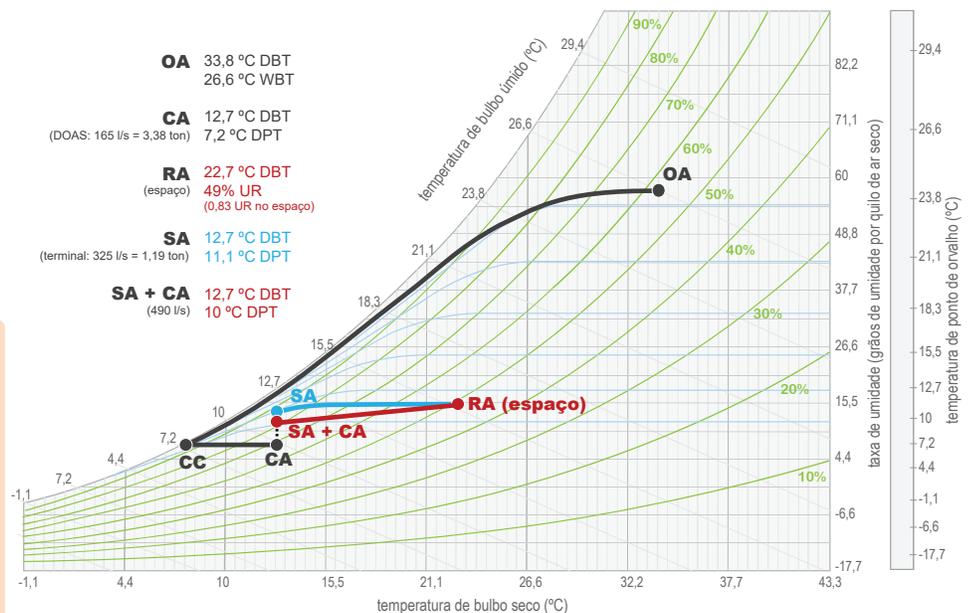
Figura 10. Energia desperdiçada pelo resfriamento sensível quando o ar externo desumidificado é reaquecido para "neutro".



No entanto, pode haver casos em que o reaquecimento seja necessário para evitar o resfriamento excessivo de um espaço. Ou, dependendo do ponto de orvalho necessário, o fornecimento de um ar tão frio pode não ser ideal para alguns engenheiros. Na Figura 11, o ar externo é desumidificado para 7,2 °C de ponto de orvalho, o que corresponde a uma temperatura de bulbo seco de cerca de 7,2 °C (CC). Em vez de

reaquecer esse ar para neutro, considere reaquecê-lo apenas o suficiente (CC para CA) para evitar fornecer ar mais frio que o desejado aos espaços (para 12,7 °C neste exemplo). Essa ação tem a vantagem do efeito de resfriamento sensível desse ar frio e desumidificado, reduzindo, assim, a necessidade de um novo resfriamento nas unidades terminais de zona.

Figura 11. DOAS fornecendo 7,2 °C de ponto de orvalho e 12,7 °C de bulbo seco nas condições do projeto (carga total).



Reflexões finais

Na maioria dos climas, a unidade OA dedicada deve ser dimensionada para desumidificar o ar externo a um ponto de orvalho suficientemente baixo para compensar a carga latente do espaço e manter o seu nível de umidade no limite desejado ou abaixo.

A especificação arbitrária de uma unidade dedicada para fornecer 12,7 °C de ponto de orvalho pode não resultar no nível de umidade do espaço desejado, especialmente em carga parcial. Um ponto de orvalho menor é necessário com frequência para que os resultados desejados sejam alcançados.

O ponto de orvalho “certo” para uma determinada aplicação depende do tipo de espaço e do nível de umidade interna desejado, assim como do tipo de unidades terminais usadas.

Uma unidade OA dedicada, dimensionada para desumidificar para um ponto de orvalho menor, precisará de mais capacidade do que uma unidade dimensionada para desumidificar para um ponto de orvalho maior (Tabela 2). No exemplo da sala de aula descrito neste boletim, a desumidificação de 165 l/s, nas condições de ar externo do projeto, para 12,7 °C de ponto de orvalho requer 9,32 kW de capacidade (Figura 4), enquanto a desumidificação desse ar para um ponto de orvalho de 7,2 °C requer 11,88 kW (Figura 6).

No entanto, quando o espaço está mais seco, a entalpia do ar recirculado que entra na unidade do terminal é menor, reduzindo a capacidade de resfriamento necessária. Quando o DOAS fornece 12,7 °C de ar em ponto de orvalho, a unidade terminal requer 6,78 kW para resfriar 462 l/s de ar recirculado para 12,7 °C de bulbo seco (Figura 4). Mas quando o DOAS fornece 7,2 °C de ar em ponto de orvalho, a unidade terminal requer apenas 5,76 kW de capacidade (Figura 6).

Por fim, se o DOAS for projetado para desumidificar o OA para 7,2 °C de ponto de orvalho, mas depois reaquecê-lo para apenas 12,7 °C de bulbo seco, esse ar frio frequentemente permitirá que a unidade terminal seja reduzida ainda mais. Neste exemplo, o fluxo de ar do projeto da unidade terminal é reduzido para 325 l/s e sua capacidade de resfriamento é reduzida para 4,18 kW (Figura 11).

O impacto no custo do sistema geral depende dos custos relativos de instalação do DOAS contra o sistema terminal.

Por John Murphy, Trane. Para assinar ou ver edições anteriores do Boletim de engenharia, acesse trane.com/EN. Envie seus comentários para ENL@trane.com.

Recursos

- [1] ANSI/ASHRAE, Standard 62.1-2016, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta: ASHRAE. 2016.
- [2] ANSI/ASHRAE/IES, Standard 90.1-2016, *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: ASHRAE. 2016.
- [3] ASHRAE, Inc. *Design Guide for Dedicated Outdoor Air Systems*. Atlanta: ASHRAE, 2017.
- [4] ASHRAE, Inc. *ASHRAE Handbook – Fundamentals*. Atlanta: ASHRAE, 2017.
- [5] Murphy, J. 2018. “Common Pitfalls in the Design and Operation of DOAS.” *ASHRAE Journal* (setembro): 10-17.
- [6] Trane®. *CoolSense® Integrated Outdoor Air system catalog*. SYS-APG004*-EN. 2019.
- [7] Trane. *Dedicated Outdoor Air Systems application guide*. SYS-APG001*-EN. 2019.
- [8] Trane. *Variable Refrigerant Flow Systems system catalog*. SYS-APG007*-EN. 2020.
- [9] Trane. “Horizon® Dedicated Outdoor Air Systems.” <https://www.trane.com/Horizon>.

Tabela 2. Impacto das condições do ar fornecido pelo DOAS (sala de aula K-12 do exemplo)

	Condições do ar de alimentação do DOAS		
	21,1 °C DBT 12,7 °C DPT (Figura 4)	21,1 °C DBT 7,2 °C DPT (Figura 6)	12,7 °C DBT 7,2 °C DPT (Figura 11)
Capacidade da unidade OA dedicada	9,32 kW	11,88 kW	11,88 kW
capacidade da unidade terminal	6,78 kW	5,76 kW	4,18 kW
fluxo de ar do projeto da unidade terminal	462 l/s	462 l/s	325 l/s

Entre em contato com o representante local da Trane para ver o Boletim de engenharia 2020 AO VIVO.

Marque no seu calendário!

Impacto do ponto de orvalho do DOAS na umidade do espaço.

Sistemas dedicados de ar externo (DOAS) são usados em uma variedade de tipos de edifícios para fornecer ventilação; e quando o ar externo for desumidificado, um DOAS pode ajudar a prevenir altos níveis de umidade no espaço. Mas muitos sistemas projetados e instalados hoje não estão fazendo a desumidificação correta. Este boletim de engenharia vai demonstrar como os níveis de umidade do espaço são afetados pelas condições de descarga de ar do DOAS, tanto com carga total quanto com carga parcial.

Agricultura interna: considerações de projeto do sistema HVAC.

Espaços condicionados para plantas em vez de seres humanos introduzem novos desafios. Este boletim de engenharia vai discutir sobre plantas, os desafios de desumidificação que elas trazem e como o resfriamento de precisão para agricultura interna é diferente comparado com o resfriamento de conforto. Também discutiremos configurações comuns de sistemas aéreos e hídricos usados para manter as condições do espaço, garantindo uma colheita saudável.

Aplicação de VRF em uma solução de edifício completa. Este boletim de engenharia se baseia no programa VRF de 2014 "Applying Variable Refrigerant Flow (Aplicação de volume de refrigerante variável)" com discussões detalhadas sobre várias considerações. Os tópicos incluem: quando usar configurações de recuperação de calor em vez de bomba de calor, como escalar sistemas VRF para incluir outros sistemas de edifício, entrega de ventilação, gerenciamento de umidade e muito mais.

Descarbonização dos sistemas HVAC. Muitos municípios estão agindo para reduzir as emissões de carbono, o que inclui a redução, ou remoção, de gás natural para aquecimento. A indústria de HVAC vai precisar encarar o desafio de aquecer edifícios com calor elétrico. Este boletim de engenharia vai cobrir a motivação para eletrificar, áreas atualmente afetadas por esta tendência e sistemas potenciais para alcançar as necessidades de eletrificação.

Entre em contato com o escritório local da Trane para obter informações detalhadas e para saber as datas.

Sistemas de ar externo dedicados Horizon™

Os sistemas de ar externo dedicados Horizon™ da Trane® são especificamente projetados para condicionar até 100% do ar externo durante o ano todo, reduzir as cargas latentes e aumentar o conforto e a eficiência energética do sistema de todo o edifício, além de manter sua integridade.

Acesse www.trane.com/Horizon



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.

Trane, o Logotipo de Círculo, CoolSense e Horizon são marcas comerciais da Trane nos Estados Unidos e em outros países. ASHRAE é uma marca comercial da American Society of Heating, Refrigerating, e Air-Conditioning Engineers, Inc. ANSI é uma marca registrada do American National Standards Institute. Todas as marcas comerciais mencionadas pertencem aos respectivos proprietários.

©2020 Trane. Todos os direitos reservados.



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