

Considerações sobre economia de energia em projeto de sistemas de tratamento de ar para laboratórios de análises físico-químicas

Autor: J. Fernando B. Britto é engenheiro mecânico, sócio da Adriferco Engenharia, secretário do GEC-4 e membro do Conselho Editorial da revista SBCC

Contato: adriferco@gmail.com

Ao serem elaborados projetos de sistemas de tratamento de ar para os laboratórios de análises físico-químicas, devem ser levadas em consideração quatro preocupações fundamentais: a proteção dos usuários e dos processos e os riscos de incêndio e de vazamentos químicos.

Tanto para a proteção dos usuários quanto dos processos, quando se utilizam reagentes voláteis nos processos ou quando estes necessitam do fornecimento de grandes quantidades de calor (geralmente fornecidos por combustão), os mesmos são usualmente executados em capelas de reagência dotadas de ventilação mecânica exaustora, conforme indicado na figura 1:

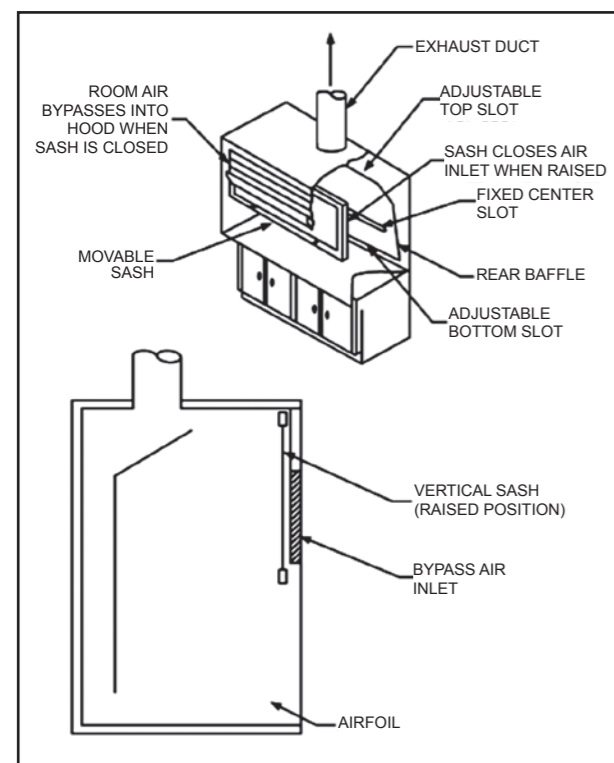


Figura 1 – Capela de Exaustão

Fonte: 2007 ASHRAE Handbook – HVAC Applications

Por: J. Fernando B. Britto

Adicionalmente, os reagentes químicos utilizados nos processos geralmente são armazenados em armários especiais (ver figura 2), geralmente dotados de superfícies internas e externas protegidas contra corrosão e construção à prova de explosão (anti centelhante), os quais também são dotados de ventilação mecânica exaustora.



Figura 2 – Armário de Reagentes

Fonte: Vidy®

Estas duas medidas também auxiliam na redução dos riscos de incêndio, pois removem os fumos e vapores voláteis emanados pelos reagentes e suas reações, bem como os fumos oriundos dos processos de combustão.

Além disso, usualmente, tanto as capelas de reagência quanto os armários de reagentes possuem disposi-

tivos para contenção e drenagem de vazamentos dos químicos neles contidos. Outros vazamentos, ocorridos sobre as bancadas ou o piso do laboratório usualmente são tratados por diluição, neutralização ou aplicação de materiais absorventes ou adsorventes.

Do ponto de vista do sistema de tratamento de ar, a preocupação deriva da grande quantidade de ar de renovação necessária para reposição das necessidades de exaustão e, principalmente, devido à vazão desta exaustão não ser constante, uma vez que nem sempre todas as capelas estão em operação e que estas podem operar com vazões diferentes quando suas guilhotinas estão abertas completa ou parcialmente.

Em instalações mais modernas, os sistemas de exaustão das capelas de reagência são dotados de dispositivos destinados a manter uma velocidade de escoamento constante sobre a área de abertura da guilhotina da capela e, portanto, variam a vazão de exaustão em função do tamanho da abertura frontal.

Como o ar admitido pela capela vem do ambiente no qual esta foi instalada, que usualmente é climatizado, isto permite uma significativa economia de energia no sistema de tratamento de ar do ambiente, porém introduz uma variação ainda maior nas necessidades de insuflação do ambiente.

Por outro lado, uma vez que em grande parte dos casos a dissipação, o tempo de utilização e a simultaneidade de operação dos instrumentos empregados nos ensaios laboratoriais costumam produzir uma carga térmica sensível interna (HSI) relativamente pequena e muito variável, principalmente nos ambientes onde são localizadas as capelas de reagência, nos quais a necessidade de exaustão costumam ser muito grandes.

Então, sendo a vazão de insuflação requerida pelo ambiente em função da carga térmica interna determinada pela equação:

$$\rho * V/dt = HSI * (c_p * \Delta t)^{-1}$$

Sendo: ρ = massa específica do ar na insuflação [kg/m³]

V/dt = derivada do volume no tempo

(vazão volumétrica) [m³/s]

HSI = fluxo do calor sensível interno

(carga térmica interna) [kW]

c_p = calor específico do ar seco à pressão constante [1,0048 kJ/kg. °C]

Δt = diferencial entre a temperatura de entrada e saída do processo [°C]

Pode ocorrer de a vazão de ar de insuflação requerida pela carga térmica ser relativamente pequena, chegando a ser inferior à necessidade total de exaustão imposta pelas capelas, incorrendo em um descompasso entre a condição de temperatura de saída da serpentina requerida para manutenção da umidade no ambiente e o calor removido em função do diferencial de temperatura entre a insuflação e a condição a ser mantida no ambiente, acarretando na necessidade de reaquecimento do ar de insuflação para garantir as condições termogrômétricas internas do ambiente.

Por exemplo, em um dado laboratório com HSI = 2,0 kW, para se manter uma temperatura interna de 22°C com umidade relativa de 50%, com altitude local de 750m, seria necessário insuflar o ar com temperatura de 11,7°C e umidade específica de 8,7 g_{vapor}/kg_{ar seco}, resultando em uma vazão de insuflação de ~620 m³/h.

No entanto, como esta sala possui uma capela de exaustão com vazão de 1200 m³/h, é necessário reaquecer o ar de insuflação a uma temperatura de 16,7 °C, de forma a manter as condições termogrômétricas internas e o balanço de massa do sistema (lei da conservação da massa). Isto impõe uma potência de reaquecimento mínima de 1,87 kW, chegando a 3,87 kW quando os equipamentos no interior do laboratório estiverem desligados.

Entretanto, se considerarmos que a vazão total de exaustão em laboratório moderno não é constante, a vazão de insuflação também poderia variar, através da utilização de dispositivos de Volume de Ar Variável (VAVs) na insuflação, controlados em função das condições internas e das necessidades de exaustão, o que permite uma economia de energia muito grande em relação aos sistemas com vazões fixas.

Esta economia deriva de múltiplos fatos:

1. Ao se reduzir a necessidade de exaustão também se reduz a necessidade de ar de reposição, que pode estar sendo captado em condição desfavorável ao processo, requerendo seu resfriamento e desumidificação.
2. Ao se reduzir a vazão de insuflação ocorre redução das necessidades de refrigeração e de reaquecimento, além de diminuir o consumo do moto ventilador.
3. Como o ar externo costuma ser a maior fonte de entrada de particulado no sistema, sua redução aumenta a vida útil dos filtros de ar e facilita a manutenção da qualidade do ar no ambiente.

4. A soma de todos os fatos acima também prolonga a vida útil dos componentes mecânicos do sistema e a redução do nível de ruído da instalação.

Apenas como referência, um sistema localizado ao nível do mar, operando com 100% de ar externo admitido a 34°C com umidade específica de $16,6 \text{ g}_{\text{VAPOR}}/\text{kg}_{\text{AR SECO}}$ e saindo da serpentina a 12,7°C com umidade relativa de 90%, irá demandar 4,2 TR para cada 1000 m³/h de ar insuflado no ambiente, de forma a manter uma condição interna de 22°C com 50% de umidade relativa, admitindo-se calor latente interno nulo. Isto representa um consumo elétrico entre 5 e 6 kW.h apenas para atender as necessidades de refrigeração, dependendo da eficiência do sistema implantado.

Quando acrescentamos a este sistema a potência de aquecimento requerida para manter a umidade relativa do ambiente, este valor aumentará substancialmente, como verificamos no exemplo anterior.

Para que o sistema de tratamento de ar do laboratório possa ser dotado de dispositivos VAV, devem ser verificadas as seguintes condições:

- As condições termoigrométricas à montante do dispositivo VAV sejam mantidas constantes de forma a limitar o número de variáveis envolvidas no processo e permitir a manutenção da condição de umidade no ambiente.
- A vazão de insuflação deve ser ajustada tanto em função das necessidades de exaustão quanto das condições termoigrométricas do ambiente, devendo ser

corrigida a temperatura de insuflação (por reaquecimento) caso as necessidades impostas pela exaustão sejam maiores que as requeridas pelo ambiente.

- A vazão de ar externo do sistema deve ser constantemente ajustada, à medida que as vazões de exaustão e, conseqüentemente, de insuflação variam.

A forma mais econômica de fazê-lo utiliza uma unidade VAV adicional na admissão do ar externo, a qual é atuada por um sensor de pressão relativa instalado no ambiente, conforme diagrama da figura 3:

Porém como a velocidade do moto-atuador do VAV é relativamente pequena (seu curso total geralmente leva 90s, embora existam alguns dispositivos novos com maior velocidade), ocorre muita alternância na pressão relativa do ambiente.

Este problema pode ser contornado instalando-se dutos de alívio para o exterior, dotados de grelhas localizadas junto ao nível do forro, em frente às capelas. Durante as operações de redução da vazão de ar externo, quando os ambientes se tornam “mais positivos” não se percebem problemas significativos, embora ocorra vazamento de ar também para os ambientes circunvizinhos, porém, durante o aumento da vazão exaustão e estes dispositivos podem introduzir grandes quantidades de ar sem quaisquer tratamentos diretamente no ambiente.

Um método mais eficiente utiliza uma unidade de pré-tratamento de ar (make up air unit) com moto-ventilador acionado por inversor de frequência, que

também pode ser controlado pelo sensor de pressão do ambiente. Neste caso, o inversor pode variar de 0 a 100% em um intervalo de 5s, o que reduz sensivelmente a duração da alternância na pressão do ambiente.

O método mais adequado ajusta a vazão de ar de reposição por meio do monitoramento das vazões de exaustão das capelas ou da condição de abertura de suas guilhotinas, paralelamente ao monitoramento da pressão relativa do ambiente. Isto permite definir previamente as posições mínimas necessárias dos moto-atuadores dos VAVs e/ou a vazão da unidade de pré-tratamento de ar para cada condição do processo.

E, se os moto-ventiladores de exaustão também possuírem inversores de frequência, o intervalo necessário para sua aceleração pode ser ajustado para se adequar à atuação dos demais dispositivos, praticamente eliminando a alternância na pressão do ambiente.

- Deve ser previsto um sistema de recirculação para os momentos quando o fluxo de ar insuflado for maior que o exaurido (capelas desligadas).
- Em função do número de variáveis a serem controladas, pode ser necessária a implantação de um CLP (controlador lógico programável) para efetuar o controle necessário.

Obviamente, há algumas limitações que devem ser observadas com relação ao uso de dispositivos VAV em laboratórios:

- Devem ser verificadas as vazões mínimas necessárias para garantir a qualidade do ar interior e a diluição de eventuais contaminantes, especialmente em ambientes classificados quanto à concentração de particulado ou explosividade.
- Quando utilizadas unidades do tipo expansão direta, é necessário limitar a vazão mínima do sistema de forma a evitar a formação de gelo sobre a serpentina, o que, além de reduzir a vazão circulante, pode causar severos danos ao equipamento. Além disso, nestes casos a redução do fluxo de massa de ar circulante pode causar excesso de desumidificação, dificultando o controle das condições no ambiente, além de causar ciclagem excessiva dos compressores, podendo levar à sua queima. Nestes casos é interessante prever a instalação de dispositivos de controle de condensação ou de “by

pass” de gás quente, o que acaba por minimizar os ganhos obtidos com a redução da vazão.

- Quando utilizadas unidades do tipo expansão indireta a redução de capacidade pode tornar o controle de capacidade térmica por redução da vazão de fluido refrigerante (por exemplo: válvula de água gelada) pouco eficiente em baixas capacidades (mesmo ao se utilizarem algoritmo do tipo PID, uma vez que não há qualquer indicativo prévio da redução de capacidade). Usualmente, ao operar abaixo de 25% da capacidade nominal, sistemas de controle do tipo proporcional passam a operar como sistemas do tipo liga/desliga, pois ocorre uma mudança no regime de escoamento do fluido, reduzindo significativamente a capacidade de troca térmica da serpentina.

Na maioria dos casos, a oscilação nas condições termoigrométricas acarretada por este problema pode ser tolerada pelos processos executados no interior do laboratório, contudo, em determinadas áreas esta variação pode acarretar problemas para os instrumentos.

Este problema pode ser solucionado empregando-se sistemas de alimentação de fluido refrigerante com dispositivo de “blend” (recirculação de parte do fluido que sai do trocador), que operam com vazão constante do fluido e variam a temperatura do suprimento.

Em alguns casos se empregam serpentinas de resfriamento e desumidificação com dois ou mais estágios.

Por último, mas não menos importante, é necessário tratar os gases removidos pelos sistemas de exaustão antes de descarregá-los na atmosfera.

Também é recomendada a utilização de dispositivos de filtragem fina (classes F8 ou F9, conforme NBR 16401) no ar de insuflação para proteção de diversos instrumentos, principalmente no caso de instrumentos ópticos de alta resolução e de microscopia, que podem ter sua acuidade afetada pela deposição de particulado em suas lentes.

Bibliografia

- 2005 ASHRAE Handbook – Fundamentals
- 2007 ASHRAE Handbook – HVAC Applications
- ACGIH Industrial Ventilation
- ABNT NBR 16401

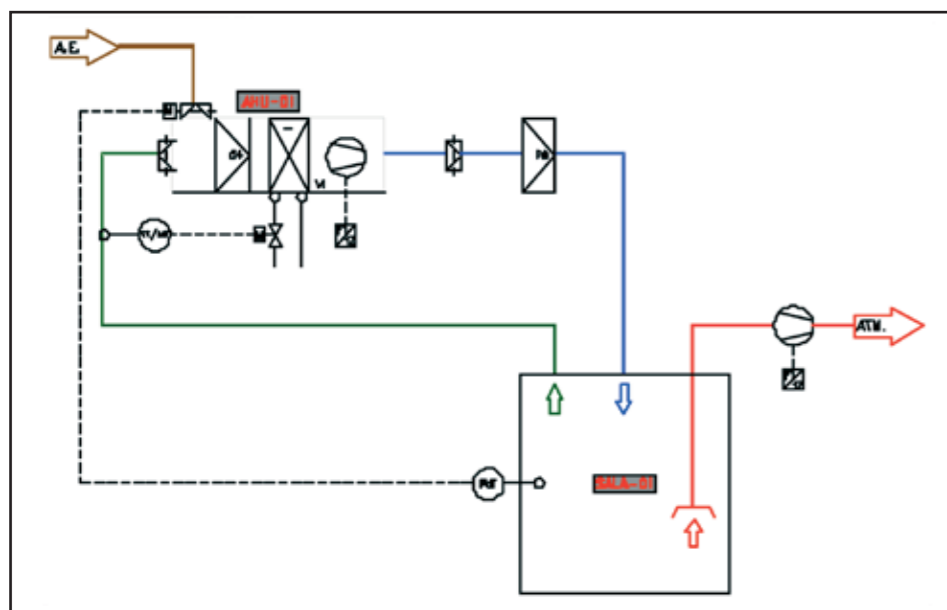


Figura 3
Fluxograma do sistema de tratamento de ar