

Considerações sobre memoriais de cálculos e fluxogramas de engenharia

Autor:

J. Fernando B. Britto é engenheiro mecânico, sócio da Adriferco Engenharia, secretário do GEC-4 e editor-assistente da revista SBCC

Contato:

adriferco@gmail.com

Por: J. Fernando B. Britto

O presente artigo foi extraído do Guia para Projetos de Áreas Limpas em acordo com a Norma NBR/ISO 14644 – Parte 4.

Ele consiste em uma adaptação do item que versará sobre a elaboração de Memoriais de Cálculo e Fluxogramas de Processo, sendo que a versão completa deste documento constará do Guia para Projetos, o qual acreditamos que será de grande auxílio a todos aqueles que pretendem iniciar novos projetos de áreas limpas e ambientes controlados.

1. Memoriais de cálculos

1.1 Objetivo

Durante a elaboração do anteprojeto, os recursos técnicos necessários para atender aos requisitos do usuário e aos parâmetros básicos dos sistemas são definidos somente com base em estimativas ou em informações preliminares.

Porém, é na etapa do Projeto Básico que são consolidados tanto as informações a respeito dos equipamentos e processos produtivos, como o leiaute das áreas de produção e os parâmetros básicos dos sistemas.

É nesse momento que realmente iniciamos a execução dos Memoriais de Cálculos dos sistemas, cujos objetivos serão definir os equipamentos supridores dos recursos exigidos pelo processo, além de suas respectivas redes de distribuição.

1.2 Definição

Os Memoriais de Cálculo são um conjunto de documentos nos quais, além dos próprios cálculos, são registradas as informações que lhe deram origem, tais como:

- As premissas e objetivos do projeto ou do cálculo

- Os dados básicos utilizados
- As normas e fontes de consulta adotadas

No entanto, embora o objetivo seja dimensionar os recursos para suprir as necessidades do processo, os memoriais de cálculo são na realidade estimativas bastante precisas das condições de operação desses sistemas.

O processo de dimensionamento dos sistemas de suprimento de recursos geralmente ocorre de forma iterativa, composta de três etapas interdependentes:

- O dimensionamento da capacidade da instalação ou dos fluxos
- O dimensionamento das redes de distribuição dos recursos
- A seleção dos equipamentos supridores dos recursos

Cada uma dessas etapas será descrita a seguir:

1.3 Dimensionamento da capacidade da instalação ou dos fluxos

Na maioria dos casos, a capacidade da instalação é definida simplesmente pela somatória dos fluxos de cada um dos pontos de consumo. É o caso do consumo de recursos requerido pelos equipamentos de processo, tais como: ar comprimido, fluidos térmicos, matérias-primas, energia elétrica, etc.

Porém, alguns dos recursos necessários dependem de diversas outras considerações, tais como: dados arquitetônicos, localização e tipo dos equipamentos de processo, ocupação, parâmetros básicos de operação, riscos ambientais, permeabilidade, diferenças de potencial (elétrico, de pressão, de saturação, etc.), condições qualitativas do suprimento, etc.

Dentre esses recursos, podemos citar por exemplo:

- As instalações de iluminação, que dependem de:
 - níveis de iluminância requeridos;

- modulação do forro;
- luminárias e lâmpadas escolhidas;
- características do processo produtivo.
- As instalações de tratamento de ar, que dependem de:
 - fontes de calor internas e externas dos ambientes;
 - condições internas de temperatura, umidade e pressão;
 - concentrações de partículas em suspensão nos ambientes;
 - velocidades de escoamento ou fluxos mínimos exigidos;
 - etc.

Nesses casos, os fluxos de cada um dos pontos de consumo só podem ser efetivamente determinados após a consolidação do leiaute da produção e dos demais recursos interdependentes.

Além disso, quando os recursos requeridos são fluidos térmicos, como no caso dos sistemas de tratamento de ar e de arrefecimento ou aquecimento, existem diversas formas de supri-los para atender às necessidades da instalação.

A necessidade de diferentes temperaturas de suprimento ou de retorno dos fluxos, ou até mesmo de ambas as condições (alterando o diferencial de temperatura do fluxo), pode implicar na subdivisão dos sistemas de modo a otimizar os recursos ou o desempenho energético da instalação.

Por exemplo, considerando a equação básica para determinação do fluxo de calor:

$$Q = m * c * (t_1 - t_0)$$

Verifica-se que, para um mesmo fluxo de calor “Q” e usando-se um fluido com calor específico “c”, o fluxo “m” será inversamente proporcional ao diferencial de temperatura que varia de “t₁” para “t₀”.

Sabendo-se que quanto menor o fluxo “m”, tanto menores serão as redes de escoamento, então é desejável que se maximize o diferencial entre “t₁” e “t₀”, porém, para que isto seja viável, deve ser verificado o impacto no rendimento energético da instalação ou em seu custo de implantação, de forma a obtermos uma boa relação de custo/benefício, verificando, sempre que necessário, os escoamentos mínimos para manutenção das classificações requeridas pelos ambientes e processos.

Se considerarmos ainda que o fluido utilizado no fluxo “m” é compressível e que seu volume varia com a

temperatura, então as velocidades de escoamento também irão variar com a temperatura, alterando o dimensionamento do dispositivo que promove o escoamento (ventilador, exaustor, turbina, etc.) e de sua respectiva rede de distribuição.

Além disso, devem ser levados em consideração quesitos de segurança na escolha das condições de suprimento dos recursos, tais como: tensão de alimentação; temperaturas, pressões ou ruídos elevados; emissividade; toxicidade; etc.

1.4 Dimensionamento das redes de distribuição dos recursos

O dimensionamento da rede de distribuição de cada recurso inicia-se com a elaboração de desenhos unifilares das respectivas redes. Nesses são indicadas as localizações e necessidades de cada ponto de consumo, sendo traçada uma rede de distribuição que interconecte estes pontos.

Somados os fluxos em cada trecho dessa rede, obtêm-se o fluxo total onde a rede de distribuição é conectada ao equipamento gerador do recurso. Esses desenhos são chamados de encaminhamento preliminar dos fluxos.

Após a determinação do encaminhamento preliminar, efetua-se um pré-dimensionamento de cada um dos trechos em que ocorre o escoamento dos fluxos (tubos, dutos, calhas, esteiras, etc.), o que geralmente é efetuado com base em tabelas técnicas fornecidas por normas (ABNT, ISO, ASTM, etc.) ou por instituições (ASHRAE, SMACNA, ABRVA, etc.).

Com base no trajeto e no pré-dimensionamento da rede, é efetuada uma estimativa dos requisitos energéticos necessários para promover o escoamento dos fluxos (perda de carga, queda de tensão, queda ou elevação de temperatura, etc.). Nesse momento, verifica-se também a necessidade de dispositivos adicionais para promover o balanceamento dos fluxos em cada trecho da rede.

Durante a execução da estimativa, pode ser detectado que os requisitos energéticos da rede ou de determinados trechos dessa tornaram-se muito elevados, acarretando alto consumo ou requerendo equipamentos de maior capacidade. Em ambos os casos, haverá maiores custos de aquisição e de manutenção. Quando isto ocorre, é conveniente redimensionar a rede e revisar a estimativa.

1.5 Seleção dos equipamentos

Concluída a determinação dos fluxos de cada recurso, a estimativa dos requisitos energéticos e, conseqüentemente, o dimensionamento da rede, pode-se então, selecionar o equipamento adequado para realizar o suprimento desses recursos.

Espera-se sempre, que os equipamentos possuam alguma folga de capacidade, de forma a permitir alguma variação na disposição das redes ou ainda absorver pequenas modificações na instalação no futuro. Porém, esta folga de capacidade deve ser bem planejada, de modo a não causar grande impacto no controle das condições do suprimento.

Por exemplo, quando se superdimensiona um trocador de calor, deve-se verificar se os dispositivos de controle de capacidade possuem autoridade em condições normais de operação.

Cabe lembrar que a troca térmica é função da velocidade do fluido e, conseqüentemente, da turbulência interna do escoamento.

Ao reduzirmos a vazão, também reduzimos a turbulência, podendo entrar em regime de escoamento laminar e reduzir significativamente a capacidade de troca.

Quando isso ocorre, embora o dispositivo de controle possa ser do tipo proporcional, com algoritmo de controle do tipo PID, esta passa a operar em pulsos, como se fosse um dispositivo do tipo Liga/Desliga, podendo causar flutuações nas condições do processo.

Além das condições básicas (somatória dos fluxos atuais e futuros da instalação e os requisitos energéticos da rede), deve ser avaliada uma série de características adicionais que podem afetar os equipamentos supridores dos recursos, tais como:

- As curvas características
- O rendimento energético do equipamento
- Os níveis de ruído e vibrações permitidos
- Dimensões físicas dos equipamentos
- Disponibilidade de recursos (automação, monitoramento, acesso, etc.)
- Facilidade de obtenção do equipamento e de peças de reposição
- Disponibilidade de assistência técnica
- Adequação às condições de suprimento dos recursos requeridas pelo processo
- Custo de obtenção
- Prazo de entrega

- Facilidade de configuração, acionamento, desligamento, assepsia, operação, etc.
- Adequação às condições de alimentação disponíveis (tensão e frequência de alimentação, pressão e temperatura das redes de alimentação de fluidos primários, etc.)

Outrossim, em equipamentos que permitem variação de rotação, é importante verificar que o ponto de selecionamento esteja suficientemente abaixo da máxima rotação permitida pelo fabricante, de forma a possibilitar elevações futuras de rotação sem que estas excedam os limites construtivos do equipamento.

De especial importância para execução dos memoriais de cálculos são as curvas características, o rendimento energético e a adequação às condições de suprimento dos recursos.

Muitas vezes, ao término da seleção, verifica-se que os custos para que o fornecedor de um determinado equipamento se adapte a uma condição específica é muito elevado, porém este (ou outro) pode fornecer um equipamento com condições de suprimento relativamente próximas às previstas nos cálculos, nestes casos é de extrema importância que os cálculos sejam revisados para avaliação do impacto no sistema.

Também é comum que fabricantes diferentes produzam equipamentos com ranges de operação diferentes e que a escolha por determinado fabricante imponha condições de operação ao sistema que não tenham sido previstas nos cálculos.

Outrossim, quando se utilizam equipamentos moto-atuados (compressores, ventiladores, bombas, etc.) é importante que se verifique e adeque as tensões de alimentação elétrica à requerida pelos equipamentos, principalmente no caso de equipamentos importados ou quando estes possuem dispositivos de proteção que limitam suas condições de operação em função da corrente absorvida pelos mesmos.

Por exemplo, alguns moto-compressores adquiridos do mercado norte-americano são projetados para operar com tensão de alimentação de 480V, porém no Brasil adota-se uma tensão de 440V. Aparentemente não haverá nenhum problema quanto a este fato, no entanto se considerarmos que isto representa uma redução de 9,3% na tensão de alimentação do motor, isto irá acarretar na necessidade de aumento da corrente para manutenção da potência nominal na ponta do eixo, porém como a

corrente máxima será limitada pelo controlador de capacidade da unidade (para evitar superaquecimentos), então ocorrerá uma redução na capacidade máxima disponibilizada pelo motor, reduzindo o desempenho total do equipamento.

Adicionalmente, quando os motores se encontram distantes da subestação, ocorrerá uma queda de tensão ao longo da rede de alimentação, o que pode agravar ainda mais a situação.

1.6 Considerações adicionais

É muito importante que todas as informações utilizadas na determinação dos fluxos em cada ponto de consumo, no dimensionamento dos trechos da rede de distribuição e na seleção dos equipamentos, sejam claras e inequívocas, de forma a conferir rastreabilidade aos memoriais de cálculo.

Além disso, deve ser fornecido juntamente com o memorial de cálculo, as folhas de dados básicos para seleção dos equipamentos e de seus componentes, de modo a viabilizar a aquisição dos mesmos.

Outrossim, ao ser avaliado o valor de aquisição de um equipamento, devem ser verificados também os componentes que o conectam ao sistema.

Por exemplo: o equipamento “A” possui menor custo de aquisição que o equipamento “B”, porém necessita de maior potência. Como os dispositivos de proteção (disjuntores, relês, etc.), de acionamento (inversores, *soft starters*, etc) e o cabeamento de alimentação também serão maiores, é possível que a diferença de custo de aquisição do conjunto seja maior que a diferença de custo dos equipamentos.

Além disso, um consumo maior irá acarretar maior custo de produção.

2. Distribuição de fluidos

2.1 Considerações sobre a seleção de equipamentos para a distribuição de fluidos

Como descrito anteriormente, a seleção dos equipamentos que impulsionam os fluidos ao longo das redes

está intimamente ligada com o projeto e dimensionamento das próprias redes de escoamento.

Com base nas vazões, perdas de carga e condições dos fluidos nos pontos de entrada dos equipamentos, o projetista seleciona os equipamentos (bombas hidráulicas, ventiladores, compressores, etc).

Excetuando-se os compressores (que possuem particularidades próprias), os ventiladores e bombas hidráulicas para os quais, em aplicações utilizando fluidos Newtonianos (que ocorrem na maior parte das aplicações) podemos aplicar as Leis de Semelhança com grande eficácia (confiabilidade maior que 90%), segundo as quais, a vazão volumétrica irá variar de forma diretamente proporcional ao aumento de rotação, multiplicada por um coeficiente alfa com valor muito próximo a 1,0.

Deste modo, por simplificação, quaisquer aumentos de rotação (n) devem produzir aumentos de vazão (Q) equivalentes.

No entanto, segundo esta mesma Lei, a pressão estática irá aumentar ao quadrado desta relação e potência absorvida deverá aumentar proporcionalmente ao cubo da relação de rotações:

$$\frac{n'}{n} = \frac{Q'}{Q} = \left[\frac{\Delta p'}{\Delta p} \right]^{1/2} = \left[\frac{BHP'}{BHP} \right]^{1/3}$$

$$\therefore BHP' = BHP * \left[\frac{n'}{n} \right]^3$$

Exemplificando, ao provisionarmos um aumento de 10% na rotação (n'/n = 1,1), teríamos um aumento semelhante da vazão e necessitaríamos de um provisionamento de 33,1% na potência absorvida (BHP' = BHP * 1,1³). Para uma provisão de apenas 5% de aumento de rotação, necessitaríamos de uma reserva de potência de 15,8%, e para 15% de provisionamento a reserva seria de 52,1%.

Como a potência nominal do motor (N) selecionado situa-se numa faixa 10% a 20% superior à potência absorvida (BHP), para suprir eventuais desvios no rendimento de projeto do equipamento, bem como a redução da eficiência causada pelo desgaste, o motor selecionado deveria, então, possuir potência nominal com valor 25% a 75% maior que a potência absorvida prevista na condição de projeto, dependendo do tamanho do provisionamento desejado.

Outrossim, para que o provisionamento seja viável, deve ser verificada a posição do ponto de cruzamento

entre as curvas do sistema e do equipamento, na condição de projeto (ponto de seleção) e na condição máxima prevista, de forma a evitar que na condição de máxima rotação, o ponto de cruzamento das curvas esteja fora da faixa de utilização recomendada pelo fabricante.

2.1.1 Determinação da pressão estática final em função da saturação dos filtros.

Uma vez que a resistência ao fluxo imposta pelos filtros varia ao longo do tempo, é importante que os equipamentos comportem uma determinada saturação dos filtros, a qual deve ser prevista e especificada nos memoriais de cálculos.

Usualmente, os fabricantes especificam os diferenciais de pressão iniciais e finais recomendados para cada tipo de filtro, devendo o projetista e o usuário definirem conjuntamente qual será o limite adotado em cada caso, além de prever recursos para monitoramento dos filtros.

Em equipamentos com múltiplos estágios de filtragem, há que se considerar o fato de que os filtros raramente irão se saturar simultaneamente, permitindo adotarem-se coeficientes de simultaneidade. Contudo, cabe lembrar que cada troca de filtros representa horas de produção parada e, às vezes, a necessidade de nova validação do processo.

Também deve ser avaliado o custo energético imposto pela maior saturação dos filtros, o que pode representar uma parcela significativa da potência total do sistema.

Por exemplo, adotando um ventilador com potência de 9,38 kW, $\Delta p_{TOTAL} = 1930$ Pa, dotado de 4 filtros finos com $\Delta p_{INICIAL} = 150$ Pa e $\Delta p_{FINAL} = 450$ Pa, com uma curva de saturação praticamente linear e reduzindo a saturação final destes filtros para 300 Pa, o que importaria uma redução de 50% na vida útil dos filtros, estimada em 4320 horas, teríamos portanto uma redução de consumo de ~ 3900 kW.h. Caso os filtros tivessem um custo de reposição de \$ 300,00 por unidade, então, o custo da energia deveria ser de pelo menos \$ 0,31/kW.h para se justificar a troca, excluindo-se o custo de parada da produção.

Contudo, é pouco provável que a saturação ocorra de forma linear, o que reduziria o retorno financeiro obtido com a substituição prematura dos filtros. As curvas de saturação variam em função do tipo e da concentração de partículas em suspensão no sistema e deve ser avaliada em cada caso.

Em sistemas onde se utilizam filtros de ar do tipo terminal, pode ser interessante aplicar uma bateria adicional de filtragem, com classe semelhante a dos terminais, instalada no equipamento ou na rede de dutos, onde é mais fácil sua substituição e ensaio, reduzindo a necessidade de intervenções nos ambientes controlados. Nestes casos, tomando-se os cuidados adequados na manutenção dos sistemas, raramente ocorrerão mudanças no estado de saturação do filtro terminal, cujos custos de reposição chegam a atingir o triplo em relação aos filtros instalados nos equipamentos em função de seu menor número e da maior acessibilidade.

2.2 Efeito das condições do fluido na seleção dos equipamentos

Usualmente, os fabricantes de equipamentos que promovem escoamentos utilizam fluidos e condições padronizadas (ar e água limpos, 20°C, nível do mar, etc.) na determinação de suas curvas de capacidade e expressam estas condições em seus catálogos.

Por razões econômicas, é impossível determinar e fornecer as curvas de capacidade para cada tipo de fluido.

Nota: Entende-se por fluidos toda matéria não sólida (líquidos e gases, inclusive o ar).

Além disso, as condições em que ocorrem os escoamentos afetam o desempenho dos equipamentos de diversas maneiras, por exemplo:

- A temperatura e a pressão de admissão dos fluidos afetam as características construtivas do equipamento, além da densidade e viscosidade dos fluidos.
- A composição química dos fluidos pode determinar o material ou tratamento superficial a ser empregado.
- A altitude local afeta a densidade e a pressão de saturação líquida dos fluidos.
- A densidade altera o diferencial de pressão promovido pelo equipamento, além da vazão mássica do sistema.
- A viscosidade altera o escoamento interno do fluido e, conseqüentemente, o rendimento mecânico do equipamento.

Cabe ao projetista avaliar o impacto produzido pelas condições de seu escoamento e, em função da criticidade do processo, determinar a necessidade de ensaios no fabricante.

No entanto, existem processos em que as condições de escoamento variam ao longo do tempo, principalmente em processos térmicos.

Para fluidos considerados incompressíveis (líquidos), desde que não sejam excedidos os limites indicados pelos fabricantes, o principal impacto da variação de temperatura e pressão de admissão do fluido sobre o equipamento, se deve à variação da viscosidade do fluido. Nestes casos, a variação na densidade geralmente é pouco significativa.

As normas ANSI/HI, dentre outras fontes, fornecem os coeficientes de correção de vazão, pressão e rendimento mecânico para as curvas das bombas, em função da viscosidade do fluido.

Já no caso dos fluidos compressíveis (gases), o principal impacto se deve à variação da densidade do fluido. De modo geral, estas variações acarretam pouca mudança na viscosidade do fluido, sendo estas consideradas desprezíveis, desde que não ocorram mudanças (parciais ou totais) de estado (congelamento, condensação ou evaporação).

Tanto no caso das mudanças de viscosidade, quanto da densidade do fluido que estará sendo impelido, ocorrerão mudanças no rendimento mecânico do equipamento, o que afetará diretamente a vazão, a pressão de descarga e a potência consumida pelo equipamento, cabendo ao projetista avaliar o impacto destas mudanças em seu processo e, se necessário, prever dispositivos para compensar as variações.

Os manuais de termodinâmica, bem como outras literaturas específicas, fornecem tabelas e equações que permitem auxiliar na determinação das correções necessárias.

3. Fluxogramas de engenharia

3.1 Objetivo

Os fluxogramas de engenharia têm por objetivo primordial propiciar uma rápida visualização dos escoamentos (fluxos) fluido-dinâmicos e de materiais supridos, recirculados ou removidos em cada etapa de um processo, para cada um dos pontos de consumo, além de especificar as condições desses fluxos.

Os fluxogramas também devem indicar cada um dos dispositivos necessários para realização dos processos

envolvidos em um determinado sistema.

Certamente, não é tarefa fácil desenhar fluxogramas de engenharia, os quais requerem um conhecimento prévio das necessidades de cada ponto de consumo, além do modo como serão gerados, reciclados ou descartados estes recursos.

Por este motivo, iremos nos ater apenas à discussão dos conceitos necessários para elaboração dos fluxogramas de engenharia.

3.2 Descrição

O melhor modo de representação dos fluxos e dispositivos requeridos em um processo é na forma de um diagrama esquemático, o qual deve representar graficamente:

- Os pontos de consumo com suas condições requeridas
- As redes de suprimento, retorno ou descarte
- Os dispositivos utilizados na distribuição e regulação do escoamento dos recursos distribuídos
- Os equipamentos necessários para obtenção dos fluxos nas condições especificadas
- As quantidades e condições dos insumos requeridos pelo processo
- Os pontos de controle do processo, com seus respectivos parâmetros

Normalmente os fluxogramas de engenharia são apresentados na forma de diagramas, nos quais os dispositivos de suprimento, os processos envolvidos e os pontos de consumo são representados simbolicamente.

Quando estes desenhos pretendem demonstrar a distribuição de recursos ao longo de uma construção, às vezes é desejável que os fluxos sejam representados nas próprias plantas de arquitetura da área limpa, de forma a definir melhor o encaminhamento dos mesmos.

3.2.1 Sistemas de pequena ou média complexidade

Quando a complexidade de um sistema ou do processo envolvido neste é relativamente pequena, é recomendado que todas as informações que definem este sistema estejam em um mesmo documento (fluxograma).

Isso se verifica tanto do ponto de vista dos dispositivos que produzem os fluxos (consumo elétrico ou de fluidos motores ou térmicos, capacidade total de suprimento, etc.), quanto dos pontos de consumo (vazão, diferencial de pressão e condições de suprimento de cada fluxo).

Também deve-se estabelecer todos os pontos de controle, regulação proteção ou monitoramento de grandezas físicas, tais como: vazão, temperatura, umidade, pressão, corrente, tensão, frequência, etc., tomando-se o cuidado de indicar os valores de todos os parâmetros controlados ou monitorados.

3.2.2 Sistemas de grande complexidade ou abrangência

Em determinados casos, devido à complexidade ou à abrangência de um sistema ou do processo envolvido neste, é necessário subdividir o sistema em zonas ou subsistemas, resultando na apresentação de diversos

fluxogramas parciais. É exemplo disso o fluxograma de um sistema de tratamento de ar, o qual pode ser subdividido de forma a representar o sistema de geração e distribuição de fluido refrigerante, os subsistemas de tratamento de ar das zonas, o diagrama de pontos de controle e de instrumentação do processo, etc.

Sempre que um determinado processo é representado por diversos fluxogramas parciais, é necessário que se indique claramente todos os pontos de interdependência entre os diagramas, além de serem citados todos os documentos que complementam as informações especificadas em cada um dos diagramas parciais (vide figura 1).

Desenhos de Referência

Empresa	Des. n*	Título do Desenho
Noname	4102-d-36	Engineering Flow Diagram-Air Conditioning

Desenhos Complementares

Empresa	Des. n*	Título do Desenho
Noname	02p15-10-00	Fluxograma de AR/pl – Make-Up
Noname	02p15-10-01	Fluxograma de AR/pl – ahu-01
Noname	02p15-10-02	Fluxograma de AR/pl – ahu-02
Noname	02p15-10-03	Fluxograma de AR/pl – ahu-03
Noname	02p15-10-04	Fluxograma de AR/pl – ahu-04
Noname	02p15-10-05	Fluxograma de AR/pl – ahu-05
Noname	02p15-10-06	Fluxograma de AR/pl – ahu-06

Figura 1

Para complementar este conjunto de informações, pode ser necessário apresentar um desenho ou diagrama que permita ao leitor compreender como a subdivisão se processa, no qual também devem ser identificados os dispositivos que processam e suprem os fluxos internos de cada zona, os dados e condições de cada ponto de consumo e os pontos de interdependências entre os diversos subsistemas ou zonas.

Por exemplo: o desenho de zoneamento de um sistema de tratamento de ar deve conter os *tags* de cada unidade de tratamento de ar; o nome, *tag* e as condições de cada ambiente, além dos fluxos que são transferidos de um subsistema para outro devido ao diferencial de pressão.

3.3 Dados complementares

Os projetistas usualmente assumem que todas as pessoas que irão ler os fluxogramas de engenharia possuem conhecimentos técnicos prévios suficientes para analisá-los. No entanto, esquecem-se que mesmos profissionais experientes podem cometer erros devido a interpretações equivocadas das informações indicadas.

Por outro lado, apesar de existirem várias normas internacionais, não existe um consenso quanto ao padrão de simbologias, cores e traçado das linhas (tracejada, cheia, traço-ponto, etc.) a serem utilizados nos fluxogramas.

Devido a estes motivos, além de outros menos óbvios, é de primordial importância que todo fluxograma seja acompanhado por uma legenda e simbologia bem definida, de forma que este documento possa ser entendido por qualquer usuário.

Outrossim, todos os valores indicados no fluxograma devem ser idênticos aos indicados nos memoriais de cálculo que lhes deram origem. Além disso, como nem sempre é possível indicar todas as informações necessárias para aquisição dos dispositivos que compõem o sistema em um único documento, os fluxogramas devem ser complementados por descritivos técnicos, descritivos de funcionamento, folhas de dados dos componentes e planilhas de pontos de controle.

3.4 Indicação correta dos fluxos

Na maior parte dos fluxogramas de engenharia, os fluxos se constituem de fluidos incompressíveis ou ainda de materiais sólidos, não havendo variação na densidade dos mesmos. Por exemplo, fluxos de: materiais, água tratada, óleos térmicos, etc.

Em alguns casos, embora os fluxos sofram variação de massa específica, estes fluidos se encontram totalmente contidos dentro de suas tubulações (vapor / condensado) ou não retornam ao sistema após sua utilização (ar comprimido).

Para os casos descritos acima, não há diferença significativa quando se indicam as vazões relativas a

estes fluxos em unidades de massa ou de volume, mesmo quando se indicam as vazões na forma volumétrica referida a condições padronizadas conforme o Sistema Internacional de Unidades.

No entanto, é sempre desejável que, quando os escoamentos sofram variação de volume durante o processo, estes possuam suas vazões indicadas em unidades de massa, de forma que se possa aplicar a “Lei da Conservação de Massa” e o “Princípio da Continuidade” (a somatória dos fluxos de entrada é igual à somatória dos fluxos de saída). É um erro bastante comum desprezarem-se as variações de densidade do fluido, o que pode acarretar no subdimensionamento de alguns dispositivos do sistema, como podemos ver nas figuras do exemplo a seguir:

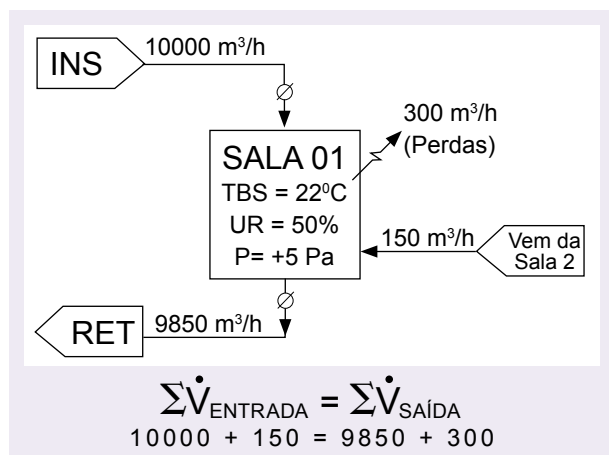


Figura 2 (Não Recomendado)

O diagrama da figura 2 representa parte de um fluxograma de ar, no qual são indicadas as vazões de ar tratado na forma volumétrica. Aparentemente, o fluxograma está correto. No entanto, se considerarmos que o ar:

- a) É insuflado no ambiente a 14°C com umidade relativa de 90%.

- b) O retorno, as transferências e as perdas se encontram a 22°C com umidade relativa de 50%.
- c) A altitude local é de 800 m.

Teremos densidades diferentes entre a insuflação e o retorno, resultando diferentes vazões volumétricas em cada ponto.

A figura 3 ilustra o balanceamento correto dos fluxos de entrada e de saída do sistema:

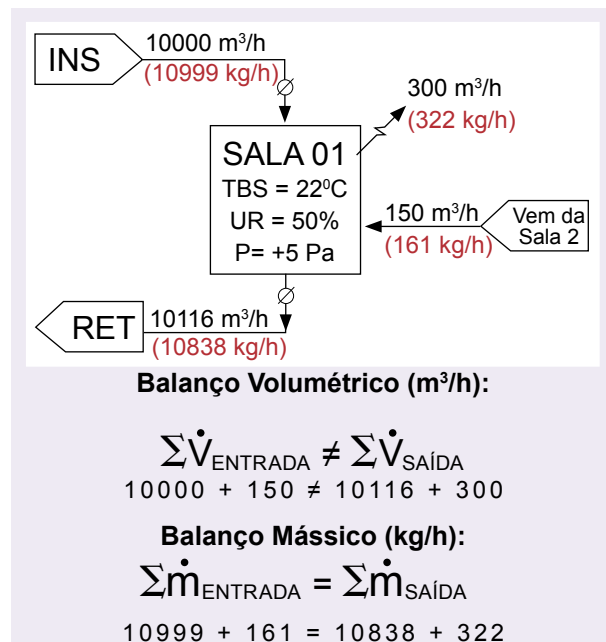


Figura 3

A diferença na vazão volumétrica representa um erro de apenas 2,7%, que pode parecer pequeno, mas se lembrarmos que a potência absorvida pelo ventilador é uma função cúbica da vazão volumétrica, essa diferença acarreta em um erro de 8,3% na potência absorvida pelo ventilador. Uma vez que usualmente utiliza-se um fator de segurança em torno de 10% para a potência do motor, este pequeno erro praticamente anula as sobras de capacidade da instalação.

Se estivermos adotando um sistema com 100% de ar externo e adicionarmos ao erro anteriormente citado as infiltrações que ocorrem ao longo da rede de exaustão e a elevação adicional de temperatura produzida pelo motor e pelo atrito na rede de dutos, o sistema de exaustão ficará subdimensionado, impossibilitando a regulagem do sistema como um todo e, principalmente, dificultando significativamente a regulagem dos diferenciais de pressões entre os ambientes.