

ESCOAMENTO DE FLUIDOS EM APLICAÇÕES INDUSTRIAIS: ERROS NÃO APARENTES

MARCOS TADEU PEREIRA*

Este artigo discute e faz uma crítica à abordagem seguida atualmente para a execução de projetos que envolvam movimentação de fluidos em situações industriais. Como se pretenderá mostrar, o objetivo é que os escoamentos sejam resolvidos com engenharia, não sendo mais considerados como um “jogo de encaixar” tubos, conexões, bombas e outros dispositivos, devido às novas necessidades de eficiência energética e de economia de energia enfrentadas pela sociedade. É preciso projetar o escoamento, e não a instalação, colocando a eficiência energética como importante balizador.

Exemplos coletados na prática industrial no Brasil [1] mostram que há uma quantidade muito grande de instalações cujos projetos, envolvendo movimentação de fluidos, provavelmente foram executados na crença de que é possível realizar um projeto de boa qualidade pela simples junção de equipamentos. Vejamos alguns deles.

Sistemas de bombeamento - Se o projeto de um sistema de bombeamento for executado como se fosse um “jogo de encaixar”, utilizando apenas os conceitos mais simples encontrados em manuais, sem projetar o escoamento e sem ter o projeto condicionado pela eficiência energética da instalação, teremos certamente uma instalação pobre do ponto de vista funcional e do custo do ciclo de vida da instalação.

O sistema acaba sendo ajustado, por meio de perda de energia em válvulas, para gerar a vazão e a pressão necessárias, pois é quase sempre superdimensionado do ponto

de vista de potência disponível. E aí reside o problema: como o consumo de energia inevitavelmente será bem maior que o necessário (e a eficiência energética consequentemente será reduzida), sempre haverá outras funcionalidades prejudicadas em consequência das soluções do projeto (figura 1).

A regra observada nas instalações onde há sistemas de bombeamentos é que mesmo que se erre muito no projeto ou na implantação, o sistema acaba movimentando o fluido, ainda que precariamente. Como os gerentes de instalações de bombeamento estão sempre preocupados em não parar a produção e cumprir seus compromissos internos, a planta irá funcionar desta forma em toda a sua vida útil, que pode ser de 20 anos ou mais. O custo adicional por operar em baixa eficiência por tal período, no entanto, pode ser fabuloso: em geral, o custo de energia corresponde a mais de 90% do custo de ciclo de vida em instalações deste tipo.

Se a empresa paga uma conta de energia maior, e em última análise, a sociedade sofre com o efeito estufa ampliado e necessidade de antecipar a construção de usinas geradoras de energia, este problema não aparece localmente na planta e não possui responsáveis identificáveis.

Worrel e Galitsky [2] mostram que na indústria de refino de petróleo, bombas consomem cerca de 59% de toda eletricidade usada em motores, o que representa cerca de 48% de toda a eletricidade usada em refinarias. Isso torna as bombas

os maiores usuários de energia elétrica em uma refinaria. Segundo o mesmo artigo, mais de 20% de toda a energia consumida por bombas poderia ser economizada por meio de mudança de equipamentos ou de sistemas de controle.

Segundo o PNEf [3], o potencial técnico de recuperação de energia elétrica apenas no setor de saneamento brasileiro é de 45% do consumo atual do setor, sem considerar o aproveitamento de potenciais hidráulicos disponíveis. A maior parte da energia é consumida por sistemas de bombeamento de água, esgoto e ar.

Sistema de despoejamento em fundição - Um caso recente trata de ambiente onde é feita a limpeza de areia de fundição de peças de grande tamanho. O ambiente é um “cubo” fechado com mais ou menos 10m de lado, com aberturas no teto e numa lateral, para entrada de ar. O trabalho interno gera grande quantidade de material particulado, que tem que ser coletado para impedir danos ambientais e à saúde dos operadores (figura 2).

O ar é aspirado por bocas de captação a 5m de altura, passando posteriormente por um sistema de filtragem com mais de 10m de altura e por um ventilador que recalca o ar já limpo para uma chaminé com mais de 20m de altura. Normalmente, o projeto de sistemas como esse é feito consultando-se manuais como o “Industrial Ventilation”

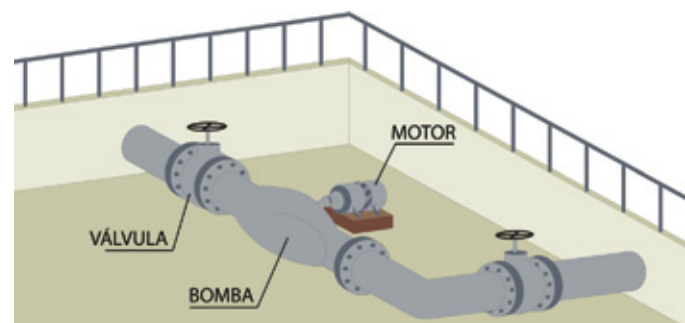


Figura 1 - Representação de bomba instalada entre válvulas

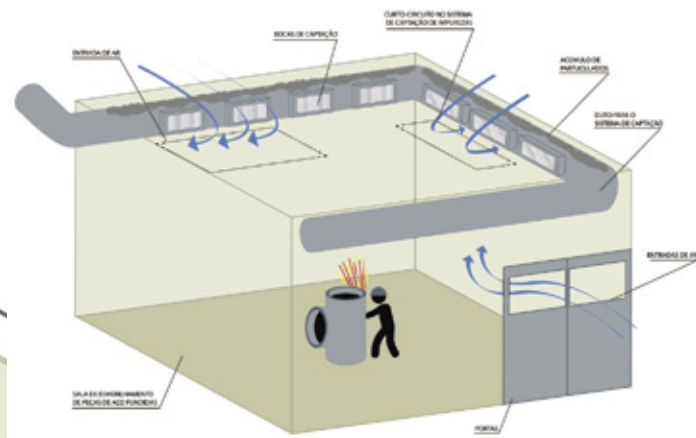


Figura 2 - Curto-circuito de sistema de ventilação acaba por impedir a boa exaustão do ambiente

[4] e a escolha de equipamentos é feita a partir de dimensões, da necessidade de taxa de renovação de ar e da quantidade de material particulado a ser gerado, implicando na necessidade de filtros com determinada forma e dimensões. A escolha do ventilador e da chaminé está amarrada com as decisões iniciais.

Para as necessidades da indústria, parece funcionar. Porém, quando se observa este sistema operando, é evidente que há muita coisa errada: o ar é violentamente sugado pela abertura do teto, que curto-circuita o escoamento diretamente para as bocas de aspiração sem passar pelo ambiente de corte na altura do operador.

Já o ar que entra pela abertura lateral levanta muito material particulado e estabelece, em conjunto com o ar sugado pelo teto, um escoamento que forma grandes vórtices internos, com regiões de estagnação sobre a tubulação das bocas de aspiração e no chão da cabine. Isso acumula nestas regiões uma inacreditável quantidade de poeira, parte da qual fica recircu-

lando enquanto o sistema de aspiração é operado.

Provavelmente todo o sistema de despoejamento poderia ser muito mais compacto. O sistema provavelmente está errado e gasta muita energia, o que poderia ser consideravelmente melhorado com um projeto cuidadoso para a movimentação de particulado no interior da cabine. Porém, os níveis de gerência responsáveis pela operação de equipamentos deste tipo geralmente não estão preparados para entender as vantagens econômicas de estudar e mudar o sistema. Normalmente, estão preocupados em manter a produção e/ou então em conseguir um certificado onde conste certo número de partículas contadas, para submeter à inspeção de agências federais da área do trabalho.

Sistema de aspiração de material particulado de rebarbas - Outra situação muito comum que encontramos no setor metal-mecânico é de sistemas locais de aspiração de material particulado. Quando há um sistema de porte maior de usinagem para rebarbação (desbaste, esmeris etc.) a maneira de projetar o “jogo de encaixar” define um sistema com uma boca de aspiração hiperdimensionada, sistema de duto, ventilador superdimensionado e filtro, geralmente baseado em consulta ao manual “Industrial Ventilation” (figuras 3 e 4).

Neste caso, deve-se pensar na eficiência de movimentação de material particulado a partir de um exemplo da experiência cotidiana: em festas de aniversário, velas são sempre assopradas, nunca sugadas, porque a eficiência é muito maior devido aos campos de velocidade gerados. O “Industrial Ventilation” cita que em uma boca de captação a velocidade de aspiração cai a 10% do valor na boca à distância de apenas um diâmetro da boca, enquanto em uma boca insuflando ar, a velocidade somente cai a 10% do valor a distantes 30 diâmetros da boca. Sistemas de aspiração têm que ser repensados, usados em combinação com sistemas de insuflamento.

Sistema de exaustão em cabine de pintura de grande porte - Outro exemplo investigado trata de uma cabine de pintura para grandes painéis de aço. A instalação é um “cubo” com cerca de 12m de lado. Ao analisar e medir a vazão exaurida nesta instalação percebeu-se que a taxa de renovação do ar no ambiente era a metade da recomendável, e que a trajetória das gotículas de tinta rapidamente ocasionava o entupimento do filtro, que era inadequado à situação (figura 5).

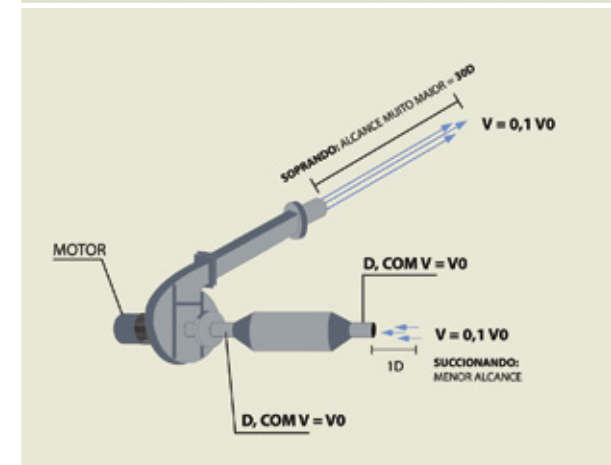
Verificou-se ainda que havia um erro de projeto: o projetista instalou dois ventiladores axiais em série na tubulação de exaustão, e provavelmente considerou que as vazões seriam somadas! Aqui, também não se “projetou o escoamento”, apenas encaixou-se filtro, ventiladores (sobretudo com conceitos errados de mecânica dos fluidos) e dutos.

Os problemas em projetos executados no modelo do “jogo de encaixar” - Aparentemente, os sistemas de ventilação e despoejamento industrial viraram projetos de prateleira, nos quais se consultam tabelas e se tomam decisões com base em tipos de equipamentos e soluções, como as encontradas em manuais, o que não é errado, desde que se tenha um bom projeto do escoamento.

Os conceitos e concepções empregados em ventilação têm mais de 80 anos. Estes sistemas muitas vezes aspiram quando deveriam insuflar e não são focados no conhecimento sobre o movimento real de particulado. São desenvolvidos sem preocupações visíveis quanto à eficiência energética, e isso faz toda a diferença nos dias atuais. Deve-se lembrar, ainda e sempre, que a eficiência de retirada de material particulado está associada intimamente à eficiência energética da instalação.

São apenas alguns exemplos dentre os muitos que se poderiam citar, mas deve-se ter em mente, conforme Hunt [5] coloca, que “não é de surpreender que muitas decisões de projeto (...) são tomadas por engenheiros, cientistas, empreendedores ou planejadores cujo entendimento geral do escoamento de fluidos é muito limitado”.

Hunt coloca ainda uma questão central: “Procedimentos racionais podem tomar ainda menos parte na síntese real de um projeto, normalmente porque há muitos modos alternativos de ajustar os escoamentos às restrições externas. Talvez seja por isso que a abordagem científica à mecflu pareça tão irrelevante a muitos enge-



Figuras 3 e 4 - Sistema de aspiração muito ineficiente, com imagem mostrando a maior eficácia em soprar, comparada com aspirar



Figura 5 - Sistema de exaustão de cabine de pintura

nheiros de escoamentos de fluidos (...). O “modo alternativo” pode ser simplesmente a colocação de uma válvula na saída da bomba em um sistema de bombeamento: atinge-se o ponto de vazão desejado, mas à custa de diminuição da eficiência.

Muitos projetos de sistemas de movimentação de fluidos podem ter erros, como os que foram mencionados. A origem destes erros pode muito bem estar na distância entre o conhecimento mais profundo da ciência/técnica da mecflu e a forma de solução encontrada pelos projetistas: o “jogo de encaixar”.

Outro ponto também abordado por Hunt é que, atualmente, existem muitos softwares que oferecem cálculos, soluções e projetos em assuntos ligados ao escoamento de fluidos nas mais diversas situações, e muitos confiam cegamente nestes resultados. Porém, como diz um acrônimo americano, programas de computador são entidades SISO (Shit In, Shit Out). Nada substitui o ato de pensar e “projetar o escoamento”, com o apoio posterior do melhor software para acelerar e multiplicar soluções. Usar softwares e códigos e confiar em seus outputs, sem nem ao menos saber as bases sobre as quais eles foram desenvolvidos é uma atitude temerária e errada.

Hunt se coloca mais uma vez como um bom observador da cena industrial: “Muito frequentemente, por exemplo, no projeto de dispositivos de escoamento interno como válvulas, filtros, tubulações, as tabe-

las não fornecem a informação requerida para um tipo particular de escoamento, especialmente quando uma combinação de dispositivos for necessária. Então o projetista, por conjecturas, e possivelmente apoiado por visualização do escoamento, tem que extrapolar a partir de tabelas, que podem levar a cálculos enganosos, como tenho visto!”.

Esta observação de Hunt é muito interessante e é efetivamente corroborada em uma área que é muito importante: o cálculo de perda de carga em tubulações. O que poucos se dão conta é que a equação mais utilizada, de Colebrook, para o cálculo de perda de carga em dutos, carrega uma incerteza de

15%, segundo White, um de seus autores.

Além disso, os dados que deram origem à equação de Colebrook começaram a ser coletados em 1932, na Alemanha, baseados em experimentos realizados com areia simulando rugosidade e complementados por outros experimentos com dutos sem areia. A equação é de 1939. Eles sofreram uma revisão na década de 1960, pelo Bureau of Reclamation dos Estados Unidos, e outra no fim dos anos 1990, nos grupos de pesquisas de Princeton e de Oregon, cujos resultados têm sido duramente criticados pela comunidade científica.

Proposições para o futuro - Creio que um conjunto de três ações poderia ser tomado para melhorar o projeto e as aplicações industriais e práticas da mecânica dos fluidos.

A primeira seria adotar como balizador a eficiência energética de instalações com escoamentos de fluidos. Qualquer instalação de movimentação de água, petróleo, derivados, gás natural, esgoto e efluentes e todo fluxo de escoamento nos setores industrial, institucional, de saneamento e doméstico deverá, nos próximos anos, buscar maior eficiência e redução de emissões. Por isso, temos que começar a melhorar os projetos e a operação baseados em conceitos de eficiência energética e no custo do ciclo de vida da instalação. Ajudaria muito que gerências fossem expostas aos benefícios econômicos da melhora da eficiência, e que novas gerações de engenheiros tivessem este treinamento nas escolas.

A segunda ação deve se basear na premissa de que os engenheiros deverão projetar o escoamento, ao invés de se manter apenas o “jogo de encaixar” equipamentos e dutos. O termo em inglês é mais amplo: design seria melhor que projeto. Primeiro se define o que o escoamento deverá fazer; depois como fazer; e finalmente que tipos de equipamentos e dutos deverão ser utilizados, a fim de melhorar a eficiência energética e de remoção de particulado.

Finalmente, deverão ser realizados novos experimentos para verificar como se comporta a perda de carga em dutos em números de Reynolds elevados, e ligar estes dados aos estudos teóricos sobre perfis de velocidades próximos a paredes, rugosidade e turbulência no interior de dutos. Isto tem relevância científica, de engenharia e na aplicação prática. Devemos melhorar nosso conhecimento sobre os fatores de perda de carga, que estão superdimensionados e levam a bombas superdimensionadas.

Os engenheiros frequentemente resolvem seus problemas com coeficientes levantados a partir de experimentos, em contraposição à necessidade de físicos e matemáticos de entender a natureza. Numa frase histórica de von Kármán: “Cientistas descobrem o mundo que existe; engenheiros criam o mundo que nunca existiu.”

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LAFFEE - IPT - Exemplos coletados em trabalhos de campo executados pelo Laboratório de Fluidodinâmica e eficiência energética - Lafée, do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) de São Paulo.
- [2] WORRELL, E.; GALITSKY, C. - Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities For Petroleum Refineries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, fevereiro 2005, número LBNL-56183.
- [3] PNEF - MME - Programa Nacional de Eficiência Energética (PNEF). MME, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Versão de 18 de outubro de 2011. <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>
- [4] INDUSTRIAL VENTILATION - A Manual of Recommended Practice - 23rd Edition - 1998 - American Conference of Governmental Industrial Hygienists - conforme verificado on line em outubro de 2014. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/001/acgih.manual.1998.pdf>
- [5] HUNT, J.C.R. - Some connections between fluid mechanics and the solving of industrial and environmental fluid flow problems. J. Fluid Mech. (1981), vol 106, pp 103-130.

* **Marcos Tadeu Pereira** é engenheiro mecânico pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, onde também realizou seu mestrado e doutorado. Atualmente é professor da USP e pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) [E-mail: marcostp@ipt.br](mailto:marcostp@ipt.br)

Bretec

Maior impacto.



Maior energia de impacto

Bretec ampliou sua linha de martelos hidráulicos incluindo o novo modelo: o Bretec L30C de 2.320 kg que é adequado para portadoras de 27 a 40 toneladas de peso operacional. Construído usando a comprovada tecnologia líder mundial, o novo L30C inclui lubrificação automática e proteção para batida em vazio, proporcionando uma vida longa e sem problemas, apoiado por uma rede global de revendedores que fornecem serviços de assistência técnica, peças de reposição e suporte pós-venda.

Getefer

Fone/Fax: (11) 5666.1795
E-mail: getefer@getefer.com.br
www.getefer.com.br