

## ANÁLISE FINANCEIRA DE PROJETOS DE VENTILAÇÃO PARA CONDICIONAMENTO DE AR

Gleyzer Martins; gmartins@ufu.br  
Thiago Macedo Quintino; thiagomq@ufu.br  
Universidade Federal de Uberlândia – Campus Pontal

**Resumo:** A boa ventilação dos ambientes ocupados nas organizações influencia diretamente na saúde e na produtividade de seus colaboradores. Entretanto o custo das instalações dos sistemas de ventilação representa um investimento significativo para as organizações. A presente pesquisa avaliou o estudo de ferramentas de otimização para o dimensionamento dos sistemas de ventilação.

**Palavras-chave:** Ar Condicionado; Otimização; Simulação;

### 1. Contextualização

A utilização de sistemas de condicionamento de ar nos ambientes é algo essencial nas organizações devido ao impacto significativo na produtividade dos ocupantes desses ambientes. A climatização é considerada um dos fatores para um bom desempenho e atividades desenvolvidas no âmbito empresarial, o ser humano passa cerca de 80% de seu dia em ambientes fechados (ABRAVA, 2017).

Entretanto, manter as condições adequadas de temperatura e ventilação em um ambiente representa um custo para as organizações, principalmente em relação a energia elétrica e a manutenção desses sistemas (KREIDER, 2001). Para Kreider (2001), o consumo de energia em edifícios para o condicionamento de ar é de 37%, e além disso associa cerca de 5% para o consumo do sistema de ventilação.

Os ambientes de uma mesma organização podem apresentar demandas bem distintas, tanto para condições de temperatura quanto de ventilação, e conseguir atender a todas essas demandas é um desafio. Assim conseguir realizar o dimensionamento adequado destes dutos para atender as diferentes demandas de ventilação uniforme dos ambientes para o conforto e ainda não influenciar na arquitetura das edificações é uma tarefa complexa.

Neste sentido, o estudo detalhado do dimensionamento das tubulações no sistema de ventilação pode representar uma considerável economia para as organizações durante a vida útil das edificações. No Brasil, emprega-se a ABNT NBR 16401 (2008) que estabelece os parâmetros básicos e requisitos mínimos para sistemas de ar-condicionamento centrais ou unitários. Em consonância com a ASHRAE Fundamentals (2005) a ABNT NBR 16401 recomenda o emprego dos métodos de dimensionamento de recuperação estática, o método de fricção estática e também o método T.

O método T representa uma metodologia diferenciada de projeto pois emprega a programação dinâmica para dimensionar a tubulação utilizando critérios dos custos das instalações. Possibilitando assim, a definição de uma instalação mais eficiente do ponto de vista energético e financeiro.

Destá forma, nesta pesquisa buscou o desenvolvimento de ferramentas de avaliação das condições de operação dos sistemas de ventilação (balanço de Pressão e de fluxo de massa nos dutos), além de realizar o dimensionamento das instalações fundamentadas na otimização da análise de viabilidade financeira empregando o método de recozimento simulado.

### 2. Metodologia

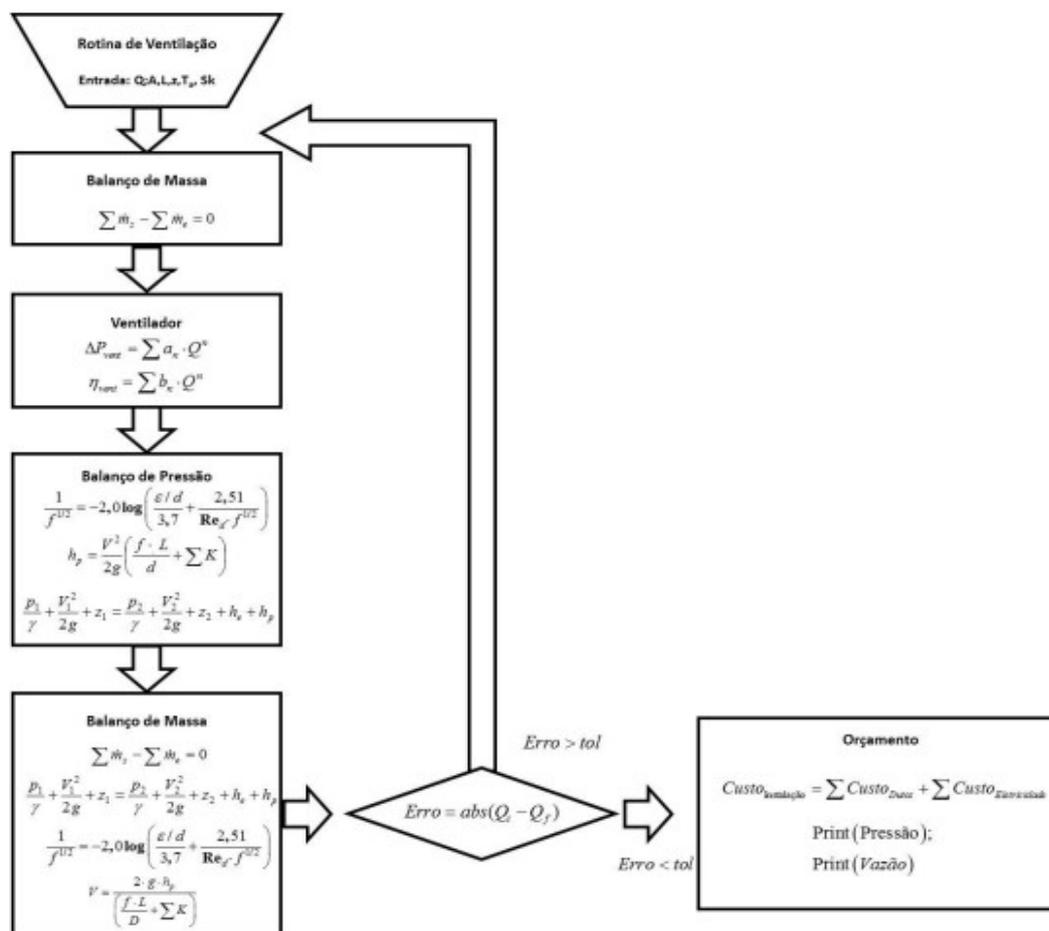
Tendo em vista o objetivo apresentado nos tópicos anteriores, utilizou-se de dados obtidos através de organizações que trabalham diretamente com a instalação e também a manutenção de ar condicionados, para realizar um levantamento de custos das instalações comerciais de ar condicionado com sistemas de ventilação.

A instalação comercial de ar condicionado com ventilação estudada para quantificar os custos do sistema de ventilação é uma loja de shopping no setor de alimentos da cidade de Goiânia. A loja possui área condicionada de 53,81m<sup>2</sup> com temperatura ambiente de 24°C±2°C e carga térmica de 22.947 kcal/h, insuflando 5600m<sup>3</sup> /h de ar.

Devido aos custos relevantes das instalações e a complexa rede de distribuição de ar em instalações de ar condicionado por dutos de ventilação, desenvolveu-se uma rotina computacional para realizar o acoplamento dos balanços de massa e de pressão para determinar a quantidade real de fluxos de massa em cada duto e conseqüentemente nos ambientes. A rotina computacional permite ainda determinar os custos de material da instalação e os custos com energia elétrica para operação do sistema de ventilação.

A Figura 1 apresenta o fluxograma da rotina computacional desenvolvida e evidencia o acoplamento do balanço de massa, utilizando a equação de conservação da massa, e do balanço de pressão empregando a equação da energia associada as equações de Darcy e Colebrook.

Figura -1 Fluxograma da rotina computacional



Fonte: Os Autores

Associado a rotina computacional de balanço de massa e de pressão foram incorporados a

análise o método de otimização de recozimento simulado para dimensionar os dutos de ventilação. Para tanto, utilizaram-se como variáveis de projeto as dimensões dos dutos e a rotação do ventilador, empregando uma função objetivo multivariável conforme a Eq. 5. (5)

$$F_{obj} = w_1 \cdot \left( \frac{\sqrt{\sum (Q - Q_{ref})^2} - F_{meta-Q}}{F_{meta-Q}} \right) + w_2 \cdot \left( \frac{F_{Energia} - F_{meta-Energia}}{F_{meta-Energia}} \right) + w_3 \cdot \left( \frac{F_{Instalação} - F_{meta-Instalação}}{F_{meta-Instalação}} \right) \quad (5)$$

Em que  $w_1$ ,  $w_2$  e  $w_3$  são os pesos das funções objetivos;  $F_{meta-Q}$ ,  $F_{meta-Energia}$  e  $F_{meta-Instalação}$  representam sensitivamente os valores de metas referentes ao desvio das vazões, dos custos de consumo de energia e do custo da instalação e os valores de  $F_{Energia}$  e  $F_{Instalação}$  são os custos de consumo de energia e da instalação determinados pela rotina de cálculo do balanço de massa e pressão.

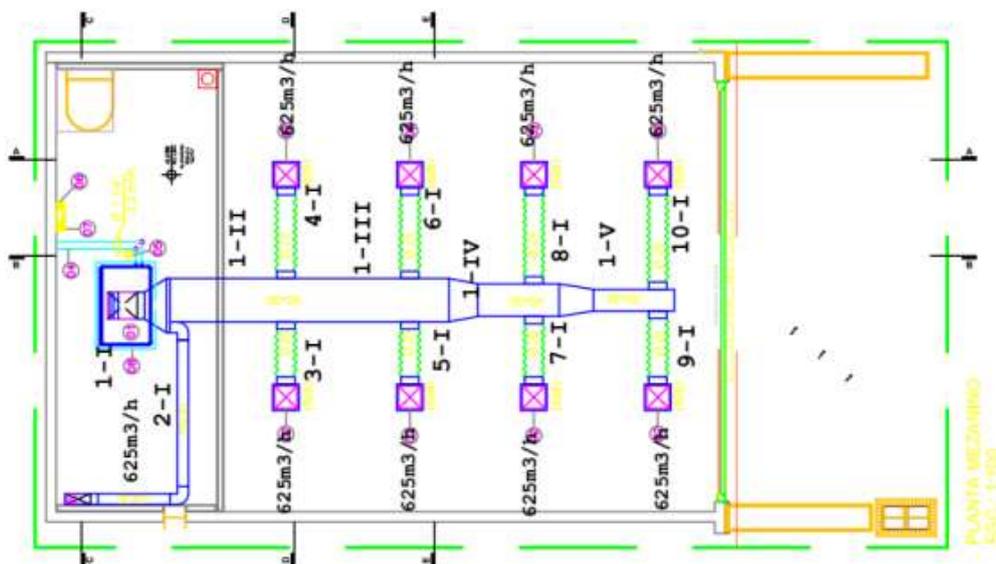
### 3. Considerações Finais

Os resultados alcançados na pesquisa foram os levantamentos dos custos de uma instalação de ventilação com condicionamento de ar, os resultados da validação da rotina computacional de balanço de massa e pressão para a instalação de referência conforme a ASHRAE (2005) e os resultados de otimização da instalação do estudo de caso empregando o método de recozimento simulado.

Foi realizado o levantamento dos custos de uma instalação de uma loja com condicionamento de ar por ventilação. Os valores investidos nesta instalação do sistema de condicionamento de ar da loja são da ordem de 15,1% para o sistema de ventilação, 21,5% para a máquina de condicionamento de ar e 16,2% de mão de obra. Evidenciando que os custos dos sistemas de ventilação estão da mesma ordem da máquina de condicionamento de ar e da mão de obra na instalação.

A instalação do estudo de caso apresenta as dimensões definidas pelos critérios de dimensionamento da norma ABNT NBR 16401, o esboço da instalação está mostrado na Fig. 2.

Figura 2 – Instalação do estudo de caso



Fonte: AR OESTE ENGENHARIA & CLIMA

A Fig. 2 mostra que a instalação possui um sistema de climatização do tipo Fancoil 7,5 TRs com um duto principal de distribuição de ar e 9 ramais, sendo que 8 ramais empregam o duto flex de diâmetro de 200mm.

Os resultados para o método de recozimento simulado das dimensões dos dutos otimizados estão mostrados na Tab. 1. A Tab. 2 mostra os resultados das vazões determinadas pelos balanços de massa e pressão.

Tabela 1 – Dimensões dos dutos de ventilação otimizados empregando o método de recozimento simulado.

Ramais	Seções				
	I [mm]	II [mm]	III [mm]	IV [mm]	V [mm]
1	373x403	580,3x300	769,5x300	322,4x300	274,1x300
2	94,8x300	--	--	--	--
3	Ø 212,6	--	--	--	--
4	Ø 213,4	--	--	--	--
5	Ø 190,85	--	--	--	--
6	Ø 191,5	--	--	--	--
7	Ø 208,0	--	--	--	--
8	Ø 208,8	--	--	--	--
9	Ø 195,9	--	--	--	--
10	Ø 196,5	--	--	--	--

A Tab. 1 mostra que as dimensões do ramal principal apresentam os maiores valores, sendo adequado para a tubulação, entretanto observou-se uma discrepância das dimensões dos ramais 5 e 6 em relação à tendência de queda dos ramais 3 para o 10, indicando a característica do método de adequar os diferentes balanços de massa e pressão nas seções do ramal principal.

Tabela 2 – Balanço de massa nos dutos de ventilação resultado do acoplamento dos balanços de pressão e massa.

Ramais	Seções				
	I [m³/h]	II [m³/h]	III [m³/h]	IV [m³/h]	V [m³/h]
1	5625	5625	5000,4	3750,12	2500,56
2	624,6	--	--	--	--
3	624,96	--	--	--	--
4	624,96	--	--	--	--
5	624,96	--	--	--	--
6	624,6	--	--	--	--
7	624,6	--	--	--	--
8	625,32	--	--	--	--
9	625,68	--	--	--	--
10	624,6	--	--	--	--

A Tab. 2 mostra que as vazões estão próximas da vazão de projeto, de 625m³/h nos ramais, com um desvio quadrático médio da vazão de projeto de apenas 1,05 m³/h. Para a rotação otimizada de 1180.08 rpm obteve-se um consumo anual de energia no valor de R\$ 1,382,00, representando uma redução de 40,0% no consumo de energia do sistema de acordo com a ABNT NBR 16401. O custo de instalação, por sua vez, alcançou o valor R\$ 12.011,00 com uma modesta

redução de 0,28%.

O desenvolvimento de rotinas computacionais para realizar o balanço de massa e pressão possibilitou quantificar as condições reais de ventilação nos ambientes, permitindo o balanceamento das vazões nos diferentes dutos para garantir as condições necessárias de conforto nos ambientes. Como evidenciado na instalação de referência que apresentou pequenas diferenças nos balanços de massa e de pressão, com alguns ramais da instalação com vazões menores que a necessária de projeto.

O emprego do método de otimização também demonstrou um bom potencial para dimensionar as instalações e estabelecer a rotação do ventilador, conseguindo sem a necessidade de dampers a condição de vazão de projeto nos dutos. Com destaque para o método de recozimento simulado pelo baixo desvio das vazões de projeto e pela redução do consumo de energia das instalações.

#### **4. Referências Bibliográficas**

ABRAVA, **O Uso do Ar-Condicionado e o Consumo de Energia Elétrica**. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento, São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://abrava.com.br/o-uso-do-ar-condicionado-e-o-consumo-de-energia-eletricaabrava/>> Acesso em: 03/04/2020

ASHRAE, **ASHRAE Handbook - Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers**, Atlanta, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6401: **Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto**. Rio de Janeiro, 1980.

KREIDER, JAN F., **Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning** Ed. Jan F. Kreider, Boca Raton, CRC Press LLC. 2001