



XVIII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR

São Paulo Expo – 13 à 15 de setembro de 2023

Otimização Multiobjetivo do Projeto dos Dutos de Ventilação Utilizando o Método de Recozimento Simulado

PAPER 70

RESUMO

Os sistemas de condicionamento de ar possuem impacto significativo no consumo de energia elétrica em edificações comerciais, agravado pelo aquecimento global devido a ação humana. O projeto otimizado multiobjetivo dos dutos dos sistemas de ventilação pode contribuir para a redução do consumo de energia nestes sistemas. Neste sentido, o trabalho realizou o projeto otimizado, hidráulico e financeiro, de dutos de ventilação de ar condicionado da instalação proposta pela ASHRAE. Para tanto foi desenvolvido um código computacional de ventilação que aplica nos dutos as equações de escoamento de balanço de energia e de perda de carga, associado a curva característica do ventilador. Para realizar o dimensionamento dos dutos acoplou-se o código computacional de ventilação ao método de recozimento simulado empregando uma função objetivo que contabiliza os custos da instalação, da operação e da falta de condicionamento de ar nos ambientes. O objetivo da busca do método de otimização é a redução da função objetivo para garantir a demanda de ventilação de ar. Os resultados comparativos entre a falta de condicionamento e custos da instalação e da operação em relação a instalação de referência mostram uma redução no consumo de energia de 23% e no custo da instalação de 4% e um aprimoramento na distribuição da vazão nos ambientes.

Palavras-chave: Consumo de Energia elétrica. Vazão de projeto. Demanda de Ventilação.

ABSTRACT

Air conditioning systems have a significant impact on energy consumption in commercial buildings, aggravated by global warming due to human action. The multi-objective optimized ducts design of ventilation system can contribute to reducing energy consumption in these systems. In this sense, the work carried out the optimized, hydraulic and financial design of the air conditioning ventilation ducts of the installation proposed by ASHRAE. For this purpose, a ventilation computational code was developed that applies the energy balance and head loss flow equations in the ducts, associated with the fan's characteristic curve. To design the ducts sizing, the ventilation computational code was coupled to the simulated annealing method using an objective function that accounts for the costs of installation, operation and lack of air conditioning in the environments. The purpose of the search optimization method is to reduce the objective function to ensure the air ventilation demand. The results show a reduction in energy consumption, installation cost and mean square deviation of the flow in relation to the design flow.

Keywords: Electric power consumption. Design flow. Ventilation Demand.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de condicionamento de ar são essenciais nas organizações devido ao impacto na produtividade dos ocupantes desses ambientes. A climatização melhora o desempenho das atividades desenvolvidas no âmbito

empresarial, sendo que o ser humano passa cerca de 80% de seu dia em ambientes fechados (ABRAVA, 2017).

Entretanto, os custos com energia elétrica e a manutenção desses sistemas são significativos para manter as condições adequadas de temperatura e ventilação em um ambiente, em que condicionamento de ar e ventilação representam 37% e cerca de 5% respectivamente (KREIDER, 2001).

O dimensionamento das instalações com sistema de condicionamento central e dutos de ventilação para distribuição deste ar para alcançar o conforto térmico representa um desafio, pois os diferentes ambiente de uma organização possuem demandas bem distintas, tanto para condições de temperatura quanto de ventilação. Além do desafio de instalar esse sistema sem influenciar a arquitetura das edificações.

Neste sentido, faz necessário utilizar métodos de dimensionamentos dos dutos de ventilação além dos critérios técnicos, de maneira a contabilizar as condições de operação e de conforto e os custos da instalação durante a vida útil das edificações.

O projeto de dutos de ventilação de sistemas de ar condicionado no Brasil seguem os critérios da NBR 6401-1 (2008), que está com consonância com a ASHRAE, (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), no livro Fundamentals (2005), que define os métodos da recuperação estática, de perda de carga igual 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.

Desta forma, neste trabalho buscou desenvolver um código computacional 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 dos critérios técnicos, de conforto e financeiro empregando o método de otimização de recozimento simulado.

2 SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR

A distribuição uniforme do ar condicionado nos ambientes garante as condições de conforto, de higiene do ambiente e aumenta a produtividade dos funcionários. Entretanto o impacto energético desses sistemas de climatização artificial é significativo, o que motiva o aprimoramento das estratégias de projeto e construção dos sistemas de condicionamento de ar.

Neste sentido, o sistema Task/Ambient Conditioning Systems aprimora as condições de conforme local através dos ajustes de condições térmicas locais, conforme TAC Maré et al (2013). De maneira similar o sistema VRF (Sistema de Vazão de Refrigerante Variável) que permite o condicionamento de ar de acordo com as demandas e as particularidades dos ambientes,

(Capanhola et al,2014)

Em termos de aprimoramentos dos equipamentos de condicionamento de ar, Miller (2014) e Ramalho (2019) destacam respectivamente a aplicação de um acessório para a avaliação do subresfriamento e do superaquecimento dos aparelhos de ar condicionado e o emprego de válvulas controladas eletronicamente pelo sistema.

Outro aspecto abordado por Azari, (2014), é a influências do projeto das fachadas no desempenho energético da edificação. Ou seja, a eficiência energética das edificações depende tanto de um projeto adequado do sistema de condicionamento de ar, assim como do estudo da arquitetura da edificação voltada para reduzir o impacto o consumo de energia.

Em termos de aplicações de métodos de otimização em sistemas de ventilação para o condicionamento de ar, Zhou e Haghghat (2009) realizou a otimização do conforto térmico e qualidade do ar no ambiente empregando o método de algoritmo genético associado ao método de dinâmica dos fluidos computacional CFD, com a integração de uma rede neural artificial como superfície de resposta.

3 MÉTODO DE RECOZIMENTO SIMULADO

O método de recozimento simulado pertence à classe dos métodos probabilísticos que buscam simular processos naturais a fim de alcançar o mínimo da função objetivo, no caso do máximo é necessário colocar a função objetivo com sinal negativo. O método faz analogia ao processo de recozimento dos metais, no qual, aquece-se a alta temperatura o material e o resfria lentamente de forma que a estrutura cristalina alcance a mínima energia.

O método de recozimento simulado, segundo Aarts et al (1997), é uma classe de algoritmos de busca local de muito sucesso em aplicações de problemas práticos, além de apresentar um componente estocástico que facilita a análise teórica de sua convergência assintótica. Uma variedade de trabalhos tem sido desenvolvidos aplicando o método de recozimento simulado nas mais diferentes áreas que abrangem desde arranjos de circuitos eletrônicos, como em Sheng e Takahashi (2012), como projetos mecânicos multi-objetivo, como em Lobato et al (2012) e na área médica como em Lopez (2001).

O método de recozimento simulado possibilita a determinação do máximo global mesmo com funções mal condicionadas, apesar do grande número de avaliações da função objetivo. O método, segundo Rao (1996), possui como característica a boa qualidade de solução final, a convergência não é afetada pelas características das funções ou mesmo a convexidade do espaço fazível, além de possibilitar a solução com variáveis discretas ou contínuas assim como a avaliação de problemas com restrição.

Sendo assim, o método de recozimento simulado é uma metodologia

adequada para a aplicação em sistemas de ventilação para ar condicionado, pois o custo computacional com a avaliação da função objetivo é baixo e possibilita alcançar condições ótimas globais.

4 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consistiu no desenvolvimento do código de ventilação nos dutos que realiza os balanços de massa e energia nos dutos de ventilação, associado a curva característica do sistema de ventilador e a aplicação do código de otimização do método de recozimento desenvolvido por Saramago (2003)

4.1 Código de Ventilação

A metodologia do trabalho consistiu na aplicação das equações de balanço de energia e massa, ver Çengel E Cimbala (2015) e equações 1 e 2:

$$\sum \dot{m}_s - \sum \dot{m}_e = 0 \quad (1)$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_e + h_p \quad (2)$$

Em que h_e e h_p são respectivamente os termos de altura piezométrica do trabalho eixo de máquinas motoras ou geradoras e do trabalho viscoso ou perda de carga na tubulação. O termo p_1/γ é a altura de pressão e o termo $V_2^2/2g$ é designado como altura de velocidade.

A perda de carga na tubulação, h_p é dada pela equação de Darcy na forma:

$$h_p = \frac{V^2}{2g} \left(\frac{f \cdot L}{d} + \sum K \right) \quad (3)$$

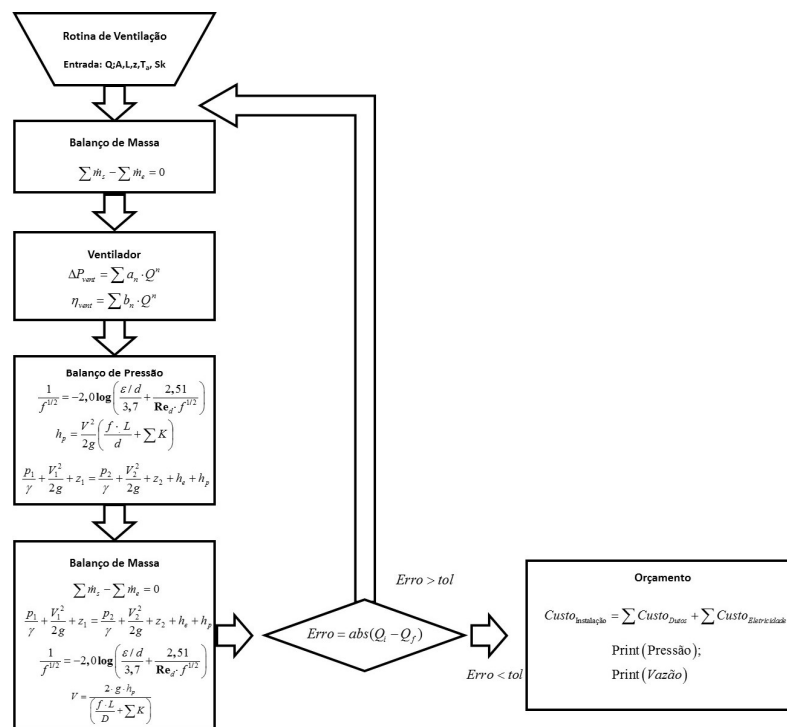
Essa equação contabiliza tanto as perdas em comprimentos retos, $f \cdot L/d$, quanto as perdas de carga localizadas na tubulação devido aos acessórios, $\sum K$. Em que f é o fator de atrito dado pela equação de Colebrook para escoamento turbulento

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2,0 \log \left(\frac{\varepsilon/d}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re}_d \cdot f^{1/2}} \right) \quad (4)$$

A análise energética do acoplamento da tubulação de ventilação com o ventilador é um processo dinâmico, conforme destacado por Viana et al (2012), em que o ponto de funcionamento é determinado pela intersecção da curva característica do ventilador com a curva de operação da instalação.

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. A rotina computacional permite ainda determinar os custos de material da instalação e os custos com energia elétrica para operação do sistema de ventilação.

Figura 1 – Fluxograma da rotina de Ventilação



Fonte: Elaborado pelos autores

4.2 Código de Otimização

O método de recozimento simulado consiste em perturbar as variáveis de projeto randomicamente em torno de um ponto central avaliado para cada temperatura de recozimento, que consiste no escalonamento dos campos de busca das variáveis de projeto, encontrando o menor valor da função objetivo para a condição de temperatura avaliada, ou seja, o estado de mínima energia.

A redução gradativa da temperatura permite nas condições iniciais estabelecer um campo de busca amplo para as maiores temperaturas e um refinamento nas condições de mínima temperatura. O método ainda permite incorporar soluções que não reduzem o nível de energia, mas podem recuperar posições no espaço de projeto de forma a possibilitar uma avaliação global do espaço de projeto utilizando a distribuição de Boltzmann.

O método de otimização de recozimento simulado implementado por Samarago (2003) foi empregado 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.

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

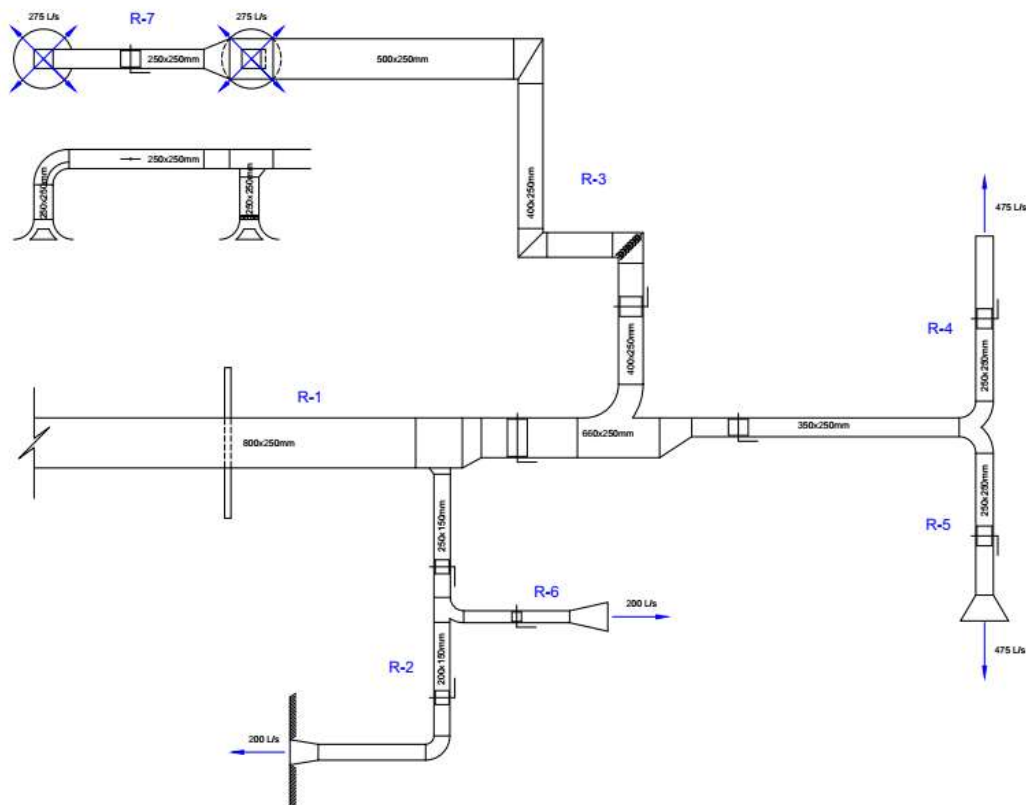
Em que w_1 , w_2 e w_3 são os pesos das funções objetivos; F_{meta-} ,

$F_{meta-energ}$ e $F_{meta-Instalação}$ representam respectivamente 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.

4.3 Instalação de Condicionamento de Ar

A instalação de condicionamento de ar empregada para aplicação da metodologia consistiu na instalação de referência conforme a ASHRAE Fundamentals (2005), as vazões e as dimensões inicialmente pré-estabelecidas pela ASHRAE estão apresentadas na Figura 2

Figura 2 – Instalação de condicionamento de ar



Fonte: Adaptado do ASHRAE Fundamentals (2005)

5. RESULTADOS

A validação do código computacional empregou os dados de vazão e pressão nos dutos disponibilizados na ASHRAE Fundamentals (2005), considerando os dutos à montante do ventilador e as vazões. A Tabela 1 apresenta esses resultados

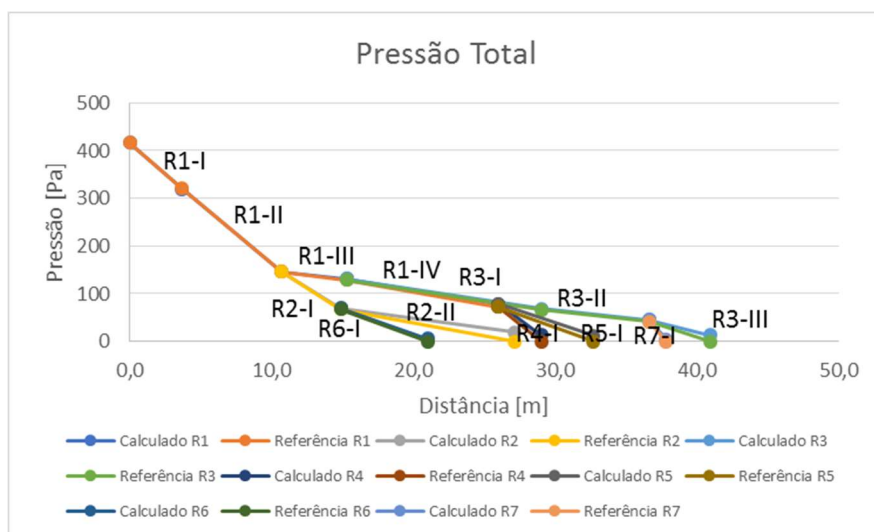
Tabela 1 – Balanço de massa nos dutos de ventilação da instalação de referência.

Ramais	Seções			
	I [m³/s]	II [m³/s]	III [m³/s]	IV [m³/s]
1	1,9000	1,9000	1,5000	0,9500
2	0,4000	0,2000		
3	0,5500	0,5500	0,2750	
4	0,4750			
5	0,4750			
6	0,2000			
7	0,2750			

A Tabela 1 apresentam as demandas das vazões nos 7 ramais e as diferentes seções conforme a representação da Figura 2. Os balanços de massa contabilizaram tanto a demanda de ar em cada seção da instalação, assim como as somas das vazões nos ramais que alimentam as seções.

A pressão calculados pelas demandas de vazão empregando o código computacional nos diferentes ramais e seções foram comparados com os resultados apresentados na instalação de referência (ASHRAE, 2005), conforme mostrado na Fig. 3.

Figura 3 – Balanço de Pressão



Fonte: Elaborado pelos autores

A Fig. 3 mostra pequenos desvios de pressão nos ramais periféricos em relação a instalação de referência, tais como no ramal 2 seção II, R2-II, e no ramal 5 seção I, R5-I. Esses desvios estão associados a falta de acoplamento dos balanços de pressão e de massa.

Os resultados do balanço de massa para o acoplamento dos balanços de pressão e massa estão mostrados na Tabela 2.

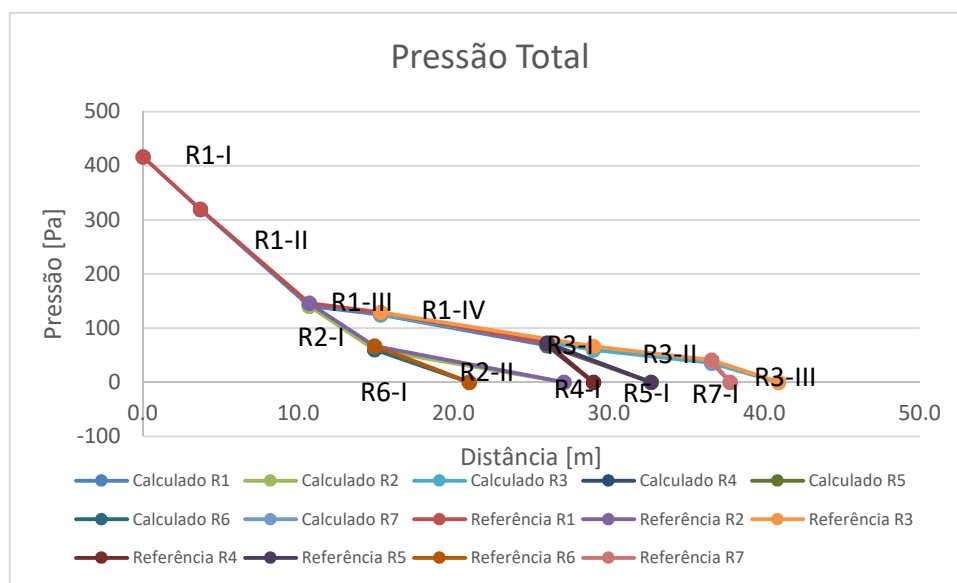
Tabela 2 – Balanço de massa nos dutos de ventilação resultado do acoplamento dos balanços de pressão e massa.

Ramais	Seções			
	I [m³/s]	II [m³/s]	III [m³/s]	IV [m³/s]
1	1,9552	1,9552	1,5426	0,9761
2	0,4126	0,2172		
3	0,5666	0,5666	0,3405	
4	0,4898			
5	0,4863			
6	0,1954			
7	0,2261			

Realizando o comparativo entre a demanda de ar condicionado no ambiente pela vazão estimada pelo balanço de massa, conforme Tabelas 1 e 2, observa-se pequenas diferenças nos fluxos de massa, geralmente com fluxos de massa superiores ao da Tabela 1, exceto nos ramais 6 e 7.

Os resultados do balanço de pressão para o acoplamento dos balanços de pressão e massa estão apresentados na Fig. 4.

Figura 4 – Balanço de Pressão do acoplamento dos balanços de pressão e massa



Fonte: Elaborado pelos autores

Na Fig. 4 não se observa grandes diferenças em relação a instalação de referência, entretanto observa-se que todas as saídas dos ramais periféricos

estão próximas da pressão atmosférica, ou seja, pressão manométrica nula. Outro ponto relevante da figura são as diferentes inclinações das curvas dos ramais e seções, indicando que o critério de dimensionamento dos dutos não é de perda de carga igual.

De maneira geral, observa-se que o dimensionamento da instalação consegue atender a demanda de ventilação especificada pelas condições de conforto, entretanto observa a deficiência de ventilação nos ramais mais periféricos.

Os resultados da otimização do dimensionamento usando critérios multiobjetivos, estão mostrados na Tabela 3, que apresenta respectivamente as dimensões nos dutos para quatro critérios de pesos da função objetivo: no primeiro critério com pesos equivalentes, no segundo com peso maior para garantir a vazão nos ambientes da instalação, no terceiro com peso maior para a condição de consumo de energia e no quarto com peso maior para os custos da instalação.

Tabela 3 – Dimensões dos Dutos otimizados por diferentes critérios em relação a instalação de referência ASHRAE (2005)

Ramais	Seções				
	Peso	I [mm]	II [mm]	III [mm]	IV [mm]
1	Referência	800	800	660	350
	1-1-1*	706,18	1026,41	776,00	405,78
	100-1-1	419,23	784,34	890,43	341,22
	1-100-1	1013,73	1186,44	769,34	446,85
	1-1-100	548,57	671,237	372,66	201,96
2	Referência	250	200		
	1-1-1	562,70	147,37		
	100-1-1	308,70	163,89		
	1-100-1	330,30	198,85		
	1-1-100	274,69	101,50		
3	Referência	400	500	250	
	1-1-1	434,11	676,10	121,51	
	100-1-1	324,23	473,68	185,87	
	1-100-1	536,41	723,65	247,97	
	1-1-100	226,78	276,02	109,53	
4	Referência	250			
	1-1-1	196,34			
	100-1-1	202,14			
	1-100-1	267,50			

	1-1-100	188,43
5	Referência	250
	1-1-1	199,88
	100-1-1	210,69
	1-100-1	278,97
	1-1-100	188,923
6	Referência	200
	1-1-1	133,73
	100-1-1	168,65
	1-100-1	204,20
	1-1-100	107,22
7	Referência	250
	1-1-1	137,93
	100-1-1	329,02
	1-100-1	417,44
	1-1-100	150,74

A Tabela 3 mostra que em relação a instalação de referência o critério de pesos equivalentes apresentam os ramais periféricos menores e os ramais principais e intermediários maiores, exceto o ramal 1-I. Para o segundo critério observa-se uma tendência de redução nas dimensões dos dutos em relação a instalação de referência, exceto nos ramais periféricos 1-III e 7-I . O terceiro critério apresenta os ramais principais e intermediários maiores que os outros critérios de projeto, com os ramais periféricos com dimensões similares a instalação de referência, exceto ramal 7-I que mostrou-se maior. No quarto critério, por sua vez, apresenta as menores dimensões dos dutos de todos os critérios analisadas.

A Tabela 4 mostra os resultados das vazões de projeto e os valores das vazões alcançadas pelos balanços de massa e pressão para os quatro critérios de pesos de projeto da função objetivo definidas anteriormente.

Tabela 4 – Vazões nos Dutos otimizados por diferentes critérios em relação a condição de projeto

Ramais	Peso	Seções			
		I [m ³ /s]	II [m ³ /s]	III [m ³ /s]	IV [m ³ /s]
1	Projeto	1,9000	1,9000	1,5000	0,9500
	1-1-1*	1,9024	1,9024	1,5012	0,9504
	100-1-1	1,9243	1,9243	1,5095	0,9570
	1-100-1	1,9065	1,9065	1,5087	0,9640

CONBRAVA 2023 – São Paulo Expo, 13 à 15 de setembro de 2023 - São Paulo, Brasil

	1-1-100	1,9604	1,9604	1,5069	0,9592
2	Projeto	0,4000	0,2000		
	1-1-1	0,4012	0,2010		
	100-1-1	0,4148	0,2040		
	1-100-1	0,3978	0,1990		
	1-1-100	0,4535	0,2108		
3	Projeto	0,5500	0,5500	0,2750	
	1-1-1	0,5508	0,5508	0,2751	
	100-1-1	0,5524	0,5524	0,2756	
	1-100-1	0,5448	0,5448	0,2671	
	1-1-100	0,5477	0,5477	0,2747	
4	Projeto	0,4750			
	1-1-1	0,4750			
	100-1-1	0,4740			
	1-100-1	0,4753			
	1-1-100	0,4826			
5	Projeto	0,4750			
	1-1-1	0,4754			
	100-1-1	0,4830			
	1-100-1	0,4887			
	1-1-100	0,4766			
6	Projeto	0,2000			
	1-1-1	0,2003			
	100-1-1	0,2108			
	1-100-1	0,1988			
	1-1-100	0,2427			
7	Projeto	0,2750			
	1-1-1	0,2757			
	100-1-1	0,2769			
	1-100-1	0,2777			
	1-1-100	0,2730			

A tabela 4 demonstra que o dimensionamento empregando métodos de otimização conseguem alcançar os valores de vazões de projeto para instalação melhores que os valores de vazões da Tabela 2, com as vazões em sua maioria superiores a vazão de projeto, ou ligeiramente menores como o terceiro critério de otimização.

Os resultados da rotação do ventilador, do desvio quadrático das

vazões analisadas em relação as disponibilizadas pela ASHRAE Fundamentals (2005), do consumo de energia e do custo estimado da instalação estão mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Grandezas da instalação otimizada para diferentes condições de projeto

Peso	Rotação [RPM]	Desvio Quadrático [m ³ /s]	Consumo de Energia [R\$/ano]	Custo Instalação [R\$]
Referência	2000	0,9318	6.031,60	27.661,97
1-1-1*	1366,15	4,2483x10-03	3.474,07	28.891,76
100-1-1	1758,24	4,1879x10-02	4.627,45	26.618,58
1-100-1	1204,35	2,5980x10-02	3.005,55	31.207,84
1-1-100	2224,00	0,1109	5.548,76	23.209,08

A tabela 5 mostra que os critérios de projeto influenciam as grandezas da instalação, em termos da rotação o critério de projeto de menor custo da instalação apresenta a maior rotação, enquanto o critério de menor custo de energia anual apresenta a menor rotação. Em termos do desvio quadrático da vazão, observa-se que os dutos otimizados apresentam um menor desvio das vazões, como também evidenciado pela Tabela 4. Outro aspecto observado na Tabela 5 é a influência dos pesos de projeto nas grandezas da instalação, como é o caso do menor consumo de energia para o terceiro critério e também pelo menor custo da instalação para o quarto critério de projeto. A exceção ficou para o segundo critério que não conseguiu um menor desvio quadrático quando comparado com o primeiro critério.

De maneira geral conseguiu-se com o método de otimização Multi-objetivo aprimorar as grandezas analisadas da instalação, principalmente no que tange as vazões destinadas aos ambientes, conseguindo, assim, as condições de conforto de projeto. Também foram aprimoradas em relação a condição de referência os custos com energia elétrica anual e redução dos custos da instalação, exceto o primeiro e o terceiro critérios de projeto. Destaca-se pela análise dos critérios de projeto que a melhor configuração de projeto que pondera as três grandezas da instalação é o segundo critério.

5 CONCLUSÕES

Os custos das instalações de ventilação para ar-condicionado tem um representativo impacto financeiro nos custos das edificações, assim a definição de critérios multi-objetivos de dimensionamento empregando os métodos de otimização apresentaram significativo impacto nas grandezas da instalação analisadas, que foram: os devios das vazões de operação em

relação a condição de projeto, os custos de energia elétrica anual e os custos das instalações.

O método de recozimento simulado conseguiu realizar o dimensionamento da instalação aprimorando as grandezas avaliadas da instalação em grande parte dos critérios de projeto quando comparado com a instalação de referência.

Assim, avaliados os diferentes pesos para os critérios de projeto da instalação, a solução que conseguiu alcançar a melhoria para todas as grandezas avaliadas foi o segundo critério de projeto.

Adicionalmente, destaca-se o potencial do método de recozimento simulado na aplicação de dimensionamento de sistemas de ventilação, assim como do código computacional desenvolvido para avaliar as grandezas da instalação.

REFERÊNCIAS

AARTS, E. H. L. K., VAN LAARHOVEN, P.J.M. **Simulated Annealing In: AARTS, E. H. L., E. L. J.K., (Ed.). Local Search in Combinatorial Optimization** JohnWiley & Sons, 1997.

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-eletrica-abrava/>>. 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.

AZARI, R. **Integrated Energy and Environmental Life Cycle Assessment of Office Building Envelopes**. Energy and Buildings, v. 82, p. 156–162, 2014.

BLANK, L., TARQUIN. **Engenharia Econômica**. São Paulo: McGraw-Hill, 6ª Edição, 2008.
CAMPANHOLA, Filipe P., MICHELS, Ademar, MARTINS, Geomar M., **AValiação de Sistemas de Condicionamento de Ar para Salas de Prédio Público**, Santa Maria. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1363/Campanhola_Filipe_Possatti.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 10/02/2021

CONBRAVA 2023 – São Paulo Expo, 13 à 15 de setembro de 2023 - São Paulo, Brasil

CAMPANHOLA, Filipe Possatti. **Avaliação de sistemas de condicionamento de ar para salas de prédio público**. PANAMBI, 2014

ÇENGEL, Y.A, CIMBALA, J.M. **Mecânica dos Fluidos – Fundamentos e aplicações**, 3ª ed. McGraw-Whill, 2015

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

LOBATO, F. S. A., E.G.; STEFFEN JR, V.; SILVA NETO, A. J . **Design and Identification Problems of Rotor Bearing Systems Using the Simulated Annealing Algorithm**. In: TSUZUKI, M. S. G. (Ed.). **Simulated Annealing - Single and Multiple Objective Problems: InTech**, 2012. cap. 10, ISBN 978-953-51-0767-5.

LOPEZ, H. S. **Algoritmo simulated annealing inteligente aplicado a la optimización del imán principal de una máquina de resonancia magnética de imágenes**. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica,, v. 17, p. 7, 2001 2001.

MARÉ, Renate, LEITE, Brenda Chaves Coelho. **Estudo da contribuição de um sistema de ar condicionado com distribuição de ar pelo piso para a remoção de particulados e dióxido de carbono do ar de um ambiente interno**. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212013000400007> Acesso em: 10/02/2021.

MILLER, REX, MILLER, Mark R., **Ar-Condicionado e Refrigeração**. Grupo LTC, 2ª Edição, 2014.

RAMALHO, J. C. M.; MARTINS, N. A. D. **Avaliação energética de um edifício de serviços**: Escola Superior Aveiro Norte, Portugal. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 335-348, out./dez. 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ac/v19n4/1678-8621-ac-19-04-0335.pdf>> Último Acesso: 10/02/2021.

RAO S., S. **Engineering Optimization: Theory and Practice**. 3". Wiley—Interscience Publication, 1996.

ARAMAGO, S. F. P. Métodos de Otimização Randômica: Algoritmos Genéticos e Simulated Annealing. Uberlandia: 40 p. 2003.

SHENG, Y. T., A. **A Simulated Annealing Based Approach to Integrated Circuit Layout Design**. **Simulated Annealing - Single and Multiple Objective Problems**. TSUZUKI M. S. G.: Inch: 22 p. 2012.

VIANA, A. N. C.; BORTONI, E. C.; NOGUEIRA, F. J. H.; HADDAD, J.; NOGUEIRA, L. A. H.; VENTURINI, O. J.; YAMACHITA, R. A. **Eficiência Energética: Fundamentos E Aplicações**, 1ª Ed., Elektro, Universidade Federal de Itajubá, Excen, Fupai. Campinas – SP, 2012.

ZHOU, Liang, HAGHIGA, Fariborz **Optimization Of Ventilation Systems In Officeenvironment, Part I: Methodology**. Building and Environment , 2009

