



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

ELABORAÇÃO DE UM MODELO SIMPLIFICADO PARA ESTIMAR A VAZÃO DO AR EM AMBIENTES DOTADOS DE CHAMINÉ SOLAR

Fernando Sá Cavalcanti (1); Maurício Roriz (2)

(1) Arquiteto, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – IAU / USP.
e-mail: fsacavalcanti@usp.br

(2) Arquiteto, Docente do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos. UFSCar. São Carlos, SP. E-mail: m.roriz@terra.com.br

RESUMO

Nos dias atuais, construir visando obter conforto térmico através da máxima utilização dos recursos naturais, tornou-se uma necessidade e um desafio aos arquitetos e profissionais da construção civil. Embora muitos componentes arquitetônicos tenham sido estudados quanto a sua potencialidade de uso em climas brasileiros, o desempenho de chaminés solares para utilização em edificações localizadas no Brasil ainda é pouco investigado. Com este trabalho, pretende-se apresentar um modelo simplificado para estimar a vazão do ar em espaços internos, que usem a ventilação natural induzida por este dispositivo. A elaboração destes modelos foi realizada a partir da análise de um conjunto de dados obtidos por simulações no software *EnergyPlus*[®], para um ambiente padrão dotado de chaminé solar, em oito cidades brasileiras, cada uma localizada em uma zona bioclimática. As equações foram obtidas por meio de regressões estatísticas, tornando possível estimar a temperatura do ar no interior da chaminé solar e a vazão do ar obtida a partir da utilização deste dispositivo. Encontrou-se equações capazes de estimar estas variáveis em função da diferença entre as temperaturas do ar interno e externo à chaminé, da TBS externa e da radiação solar incidente no coletor solar. Os coeficientes de correlação e determinação obtidos nas regressões foram satisfatórios, validando os modelos para chaminés semelhantes às analisadas neste trabalho, além de possibilitar estimar a vazão do ar para este caso específico, sem a necessidade de simulações computacionais que solicitariam tempo e qualificação profissional.

Palavras-chave: ventilação natural, chaminé solar, modelo simplificado.

ABSTRACT

Currently, to build in order to obtain thermal comfort making the most of natural resources became a necessity and a challenge to architects and construction professionals, among many architectural components analyzed for the Brazilian weather, the solar chimneys still make up a little-studied field of knowledge. This paper aims to present a simplified model to estimate the airflow in indoors spaces to take advantage of natural ventilation induced by solar chimney. The analysis of these models was made from a data series obtained by simulation in the *EnergyPlus*[®] software to an environment with standard solar chimney on eight Brazilian cities. The equations were obtained by statistic regressions, making it possible to estimate the air temperature inside of the solar chimney and the air flow obtained from the use of this device. It was possible to estimate these variables based on the difference between air temperatures inside and outside of the chimney, outside DBT and solar radiation incident on solar collector. The correlation and determination coefficients obtained in the regressions were satisfactory, thus validating the models for chimneys similar to those analyzed in this work, making it possible to estimate the air flow for this specific case, without the needing simulation that would request time and a qualified professional.

Keywords: natural ventilation, solar chimney, numerical study.

1. INTRODUÇÃO

A busca por edificações adaptadas ao clima local, passa pela investigação do comportamento de diversos componentes arquitetônicos, entre eles as chaminés solares, cujo potencial de aplicação é ainda pouco explorado no Brasil. Este sistema consiste em uma chaminé, similar a uma chaminé comum, diferenciando-se pela presença de um coletor que aproveita a energia solar para geração de energia mecânica, a partir de seu aquecimento, promovendo um escoamento de ar quente através da combinação do efeito estufa e do efeito “chaminé” promovido pela torre central do sistema. Neste caso, o aquecimento do ar na chaminé faz com que este se eleve para o exterior da edificação, criando um movimento de ar no interior da mesma, devido à sua substituição pelo ar mais frio do exterior.

A chaminé solar, também conhecida como chaminé térmica, é geralmente composta por um duto preto, que é aquecido durante o dia a partir da energia solar, criando uma concentração de ar quente e menos denso que o ar no interior do ambiente. Este aumento de temperatura promove a saída do ar pela parte superior da chaminé, o que cria sucção e ventila o espaço abaixo deste duto. A chaminé solar tem três partes principais, uma área para coletar a energia solar, que recebe luz e calor, um canal principal de ventilação e aberturas de entrada e saída de ar (MATHUR et al, 2006).

Para entender o funcionamento de uma chaminé solar, Ong (2003) elaborou um diagrama ilustrando os ganhos e as perdas de calor no processo de funcionamento deste dispositivo. Inicialmente o vidro é aquecido pela radiação solar (direta e difusa), ao mesmo tempo em que perde calor por convecção com o ar exterior e reflete parte desta radiação para o ambiente externo. Em seguida, a placa absorvedora também será aquecida por radiação solar e por radiação emitida pelo vidro, ocasionando o efeito estufa no interior da chaminé. Este fenômeno irá aquecer o fluido que se tornará menos denso, facilitando o efeito chaminé no interior do canal, conforme apresentado na Figura 1.

- Nomeclatura:

- $h_{c\acute{e}u}$ Coeficiente de transferência de calor por radiação entre o céu e o vidro
- h_{placa} Coeficiente de perda de calor por convecção da placa
- h_{vidro} Coeficiente de perda de calor por convecção do vidro
- $h_{vidro/placa}$ Coeficiente de transferência de calor por radiação entre o vidro e a placa absorvedora
- S_1 Quantidade de Calor absorvida pelo vidro por radiação
- S_2 Quantidade de Calor absorvida pela placa por radiação
- T_{ar} Temperatura do ar
- $T_{c\acute{e}u}$ Temperatura do céu
- T_{fluido} Temperatura do fluido (vento)
- T_{placa} Temperatura da placa absorvedora
- T_{vidro} Temperatura do vidro

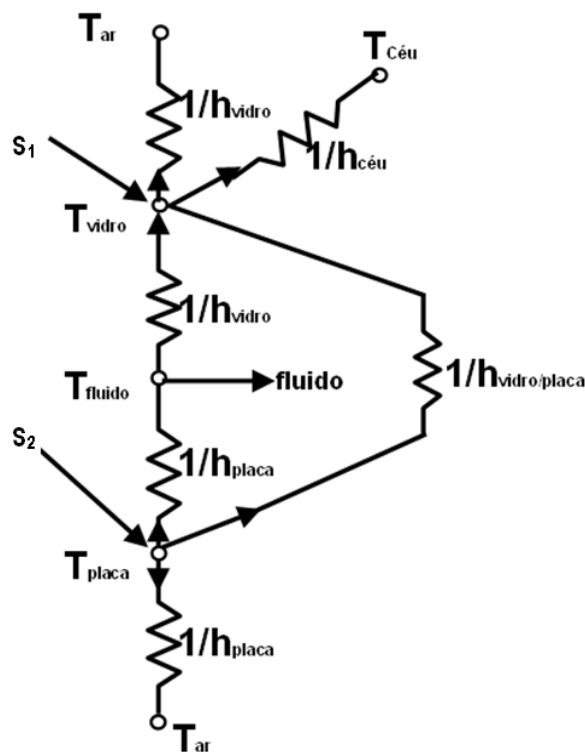


Figura 1 - Funcionamento de uma chaminé solar

Fonte: Adaptado de Ong, 2003

A velocidade com que o ar percorre os ambientes dotados com este dispositivo depende da força de empuxo existente na chaminé, (isto é, depende da diferença de temperatura obtida a partir do aquecimento), da resistência ao fluxo através da chaminé, bem como da resistência à entrada de ar fresco para o ambiente interno (HERRIS and HELWIG, 2007). A Figura 2 ilustra o funcionamento básico de uma chaminé solar.

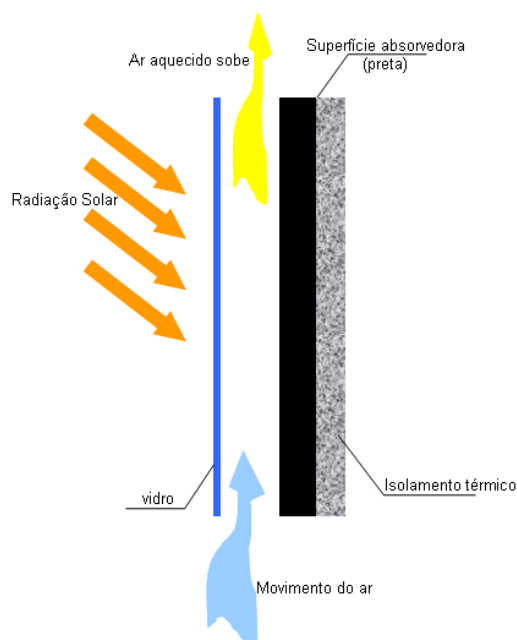


Figura 2 – Funcionamento básico de uma chaminé solar

Fonte: Adaptado de HERRIS and HELWIG, 2007

Sabe-se que o Brasil é um país tropical e a ventilação natural é uma de suas principais estratégias de projeto para obtenção de conforto térmico em edificações. Diversos estudos estão sendo realizados no intuito de perceber a influencia destas variáveis no comportamento da ventilação natural, sendo necessário considerar os diferentes padrões de distribuição das pressões nas superfícies dos edifícios (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

O efeito chaminé é o resultado do fenômeno em que o ar mais quente sobe, gerando diferentes pressões internas e provocando a movimentação do ar, pois, ao receber calor, as moléculas de ar vibram mais intensamente e afastam-se umas das outras, resultando em menos moléculas por metro cúbico. Havendo menos moléculas neste volume, ele estará mais leve que outro volume igual com ar menos aquecido. Portanto, pela diferença de peso, o ar aquecido sobe além do ar fresco.

Sabe-se também que os aparelhos para medição de velocidade do ar no interior dos espaços, em sua maioria possuem custo elevado, baixa precisão e pouca resistência, enquanto os instrumentos para medição de outras variáveis ambientais como temperatura do ar, temperatura superficial e de radiação solar são mais acessíveis.

Diversos estudos ao redor do mundo (BANSAL et al, 1993; CHOUDHURY et al, 1995; PADKI e SHERIF, 1999; MATHUR et al, 2006; SAKONIDOU et al, 2008; ZAMORA e KAISER, 2009; MAEREFAT E HAGHIGHI, 2010) têm sido realizados na intenção de elaborar equações matemáticas que possibilitem estimar a ventilação natural (ou vazão do ar) em ambientes que utilizam este elemento arquitetônico como adicional no incremento da ventilação natural, porém ainda não há estudos desta natureza para os climas brasileiros.

2. OBJETIVO

Diante dos aspectos apresentados, o objetivo deste artigo é elaborar e propor uma série de modelos simplificados que tornem possível determinar o fluxo potencial de ar em espaços internos a partir de medições ou estimativas de temperatura e radiação solar em edificações construídas em cada uma das oito cidades analisadas e dotadas de uma configuração específica de chaminés solares.

3. MÉTODO

Nesta seção são apresentadas as etapas do processo de modelagem objetivando atingir o modelo na forma final, aprovado em todas as etapas estatísticas necessárias para a elaboração de um modelo fidedigno e representativo nos seus resultados. Aplicou-se para as etapas de execução dos modelos o processo de regressão linear simples e múltipla.

A metodologia proposta buscou uma alternativa de geração de modelos matemáticos através de uma forma clássica, largamente utilizada em pesquisas de previsão de dados. Esta metodologia consiste em encontrar a equação de uma função (linear ou não linear) que permita descrever e compreender a relação entre duas ou mais variáveis e projetar ou estimar uma das variáveis em função da outra. A regressão atua de forma a estabelecer que a soma dos quadrados dos desvios seja um valor mínimo.

O procedimento adotados nesta pesquisa segue as etapas de um processo de regressão simples, segundo as fases descritas a seguir:

3.1. Seleção das Variáveis

Consiste no cruzamento de uma série de dados obtidos por meio de simulação num mesmo intervalo de tempo (solstícios de inverno e verão), formando uma série temporal correspondente, ou seja, valores disponíveis para o mesmo ano simultaneamente em oito cidades brasileiras, sendo uma para cada zona bioclimática estabelecida na NBR15220-3 (ABNT, 2005), conforme é possível observar na figura 3.

Estas simulações foram realizadas no software EnergyPlus, elaborado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e considerado internacionalmente como um dos melhores da atualidade (HAGEL, 2005). Nestas simulações foram solicitados diversos dados de saída, de modo que fosse possível determinar quais variáveis influenciavam a vazão do ar no interior da edificação.

As chaminés foram construídas com chapas de alumínio com 0,001m de espessura e aberturas de entrada e saída do ar medindo 0,18 x 1,00 m e possuem 1,80m de altura a partir da face externa da laje da edificação, sendo esta dimensão obtida a partir da relação ótima proposta por Bouchair (1994) e por Li et al (2004) sendo S/L igual a 1/10. As paredes das Chaminés apresentam alta absorvância, por estarem pintadas de preto, favorecendo o aquecimento do ar no interior da mesma e a inclinação foi otimizada para aproveitar melhor a radiação solar incidente no coletor (Figuras 4 e 5).

Cidades Simuladas	Estado	Zona Bioclimática	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Curitiba	PR	1	-25.52	-49.18	934
Urussanga	SC	2	-28.52	-49.32	130
Uberaba	MG	3	-19.75	-47.92	743
Brasília	DF	4	-15.87	-47.92	1171
Araçatuba	SP	5	-21.20	-50.43	500
Campo Grande	MS	6	-20.47	-54.67	532
Petrolina	PE	7	-9.35	-40.55	376
Belém	PA	8	-1.38	-48.48	10

Figura 3 – Relação das cidades simuladas para coleta dos dados.

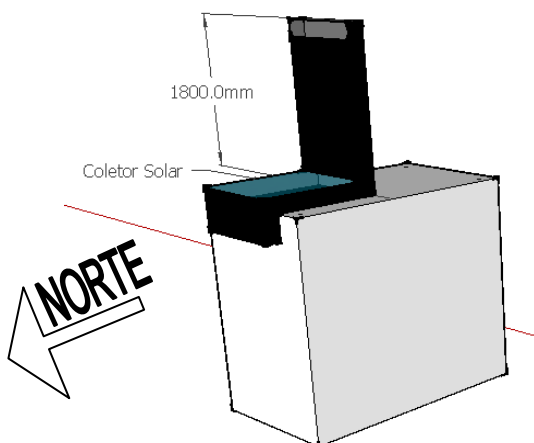


Figura 4 – Vista do modelo com chaminé solar (coletor horizontal) – sem escala

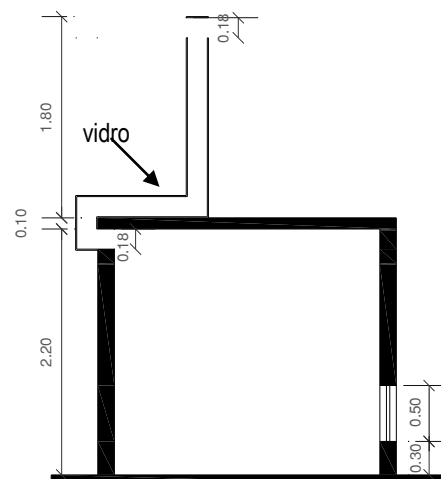


Figura 5 – Corte esquemático do modelo com chaminé solar (coletor horizontal) – sem escala

Confirmou-se a partir das simulações que o aumento da vazão do ar no interior da chaminé depende da diferença da temperatura entre o ar no interior da chaminé e a TBS externa (Δt). Sabe-se também que a variação da temperatura do ar no interior da chaminé depende principalmente da radiação solar incidente no

coletor, provocando o efeito estufa no interior da chaminé e conseqüentemente aumentando a temperatura do ar interno e da diferença de altura entre as aberturas de entrada e saída do ar. Pode-se então afirmar que o incremento da ventilação natural no interior de espaços dotados de chaminé solar depende da diferença de temperatura (Δt) entre o ar interno e o ar externo e da radiação solar incidente no coletor solar.

A radiação solar incidente no plano inclinado pode ser determinada por meio de cálculo através do método desenvolvido por Liu e Jordan (1963) e aperfeiçoado por Klein (1977), o cálculo da radiação solar global em um plano inclinado, apresentado em Duffie e Beckman (1980), para o hemisfério sul é resultante da equação 1:

$$H_{\beta} = H \left(1 - \frac{H_d}{H} \right) R_b + H_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad \text{Equação 1}$$

onde:

β – Ângulo de inclinação da superfície;

H – Radiação solar global em uma superfície horizontal (W/m²);

H_d – Radiação solar difusa em uma superfície horizontal (W/m²);

R_b – Fator Geométrico;

ρ – albedo do entorno da superfície.

Fator geométrico (R_b) é a razão entre a radiação solar direta sobre uma superfície inclinada e a radiação solar direta sobre um plano horizontal. De acordo com o método desenvolvido por Liu e Jordan (1963) e citado por Duffie e Beckman (1980), para o hemisfério sul, deve ser aplicada a equação 2:

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \delta \sin \omega'_s + (\pi/180) \omega'_s \sin(\phi + \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin \phi \sin \delta} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

β – Ângulo de Inclinação da Superfície;

Φ – Latitude;

δ – Declinação Solar;

ω_s - Ângulo horário do pôr-do-sol para a superfície horizontal;

ω'_s - Ângulo horário do pôr-do-sol para a superfície inclinada.

O ângulo horário do pôr-do-sol ajustado para a superfície inclinada, segundo Duffie & Beckman (1980), para o hemisfério sul, pode ser calculado pela equação 3:

$$\omega'_s = \min \left[\begin{array}{l} \text{arc cos}(-\text{tg } \phi \text{ tg } \delta) \\ \text{arc cos}(-\text{tg } (\phi + \beta) \text{ tg } \delta) \end{array} \right] \quad \text{Equação 3}$$

3.2. Descrição dos Parâmetros da Regressão

Definidas as variáveis utilizadas, o período comum desta série com a variável dependente e o processo de análise adotado, procede-se à descrição dos parâmetros da regressão, composto do período utilizado como base da modelagem, o número de dados (N) obtidos por simulação, o número de parâmetros estimados da regressão (k), o grau de liberdade da amostra (N-k) e o intervalo de confiança adotado como parâmetro (α). Este intervalo de confiança adotado será de 95% da amostra.

Para a determinação da temperatura interna, observou-se correlação entre esta variável e a radiação incidente no coletor solar, além da temperatura no ambiente externo, conforme apresentado na figura 6.

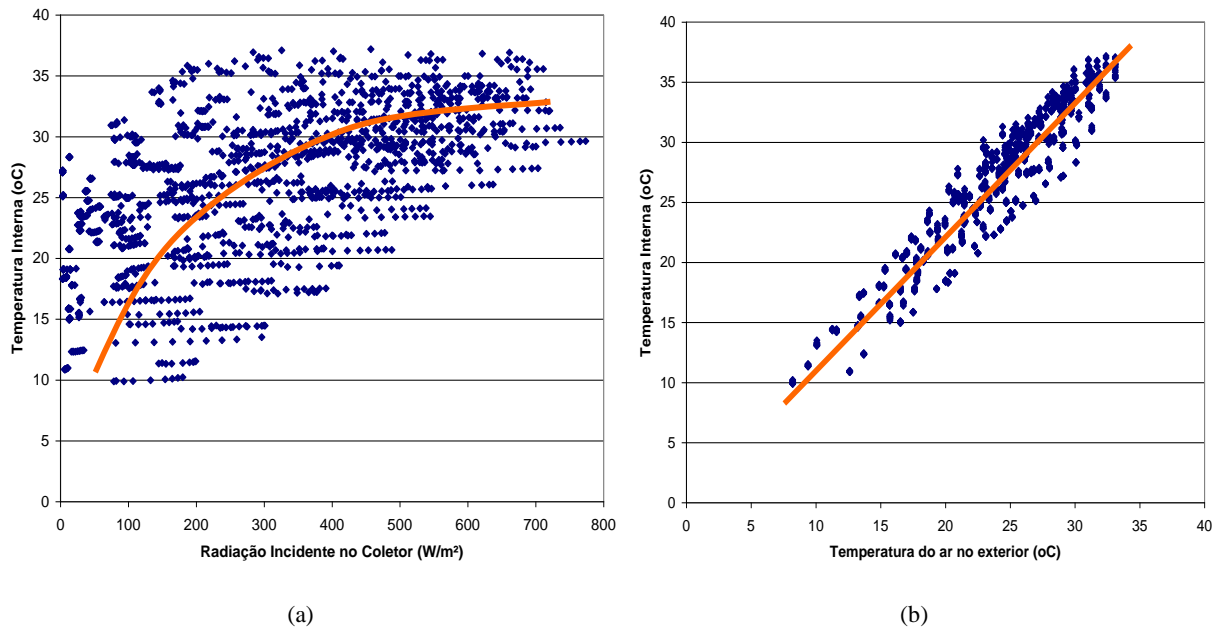


Figura 6 – Correlação entre a Temperatura do ar no interior da chaminé e (a) Radiação Solar incidente no coletor, (b) Temperatura do ar no exterior nas oito cidades simuladas.

Ao plotar a relação entre a vazão do ar e as variáveis que a influenciam, observa-se que o Δt possui correlação diferenciada caso seja positivo ou negativo, implicando em uma correlação diferenciada para os momentos em que a radiação solar ainda não aqueceu o ar no interior da chaminé significativamente (Figura 7).

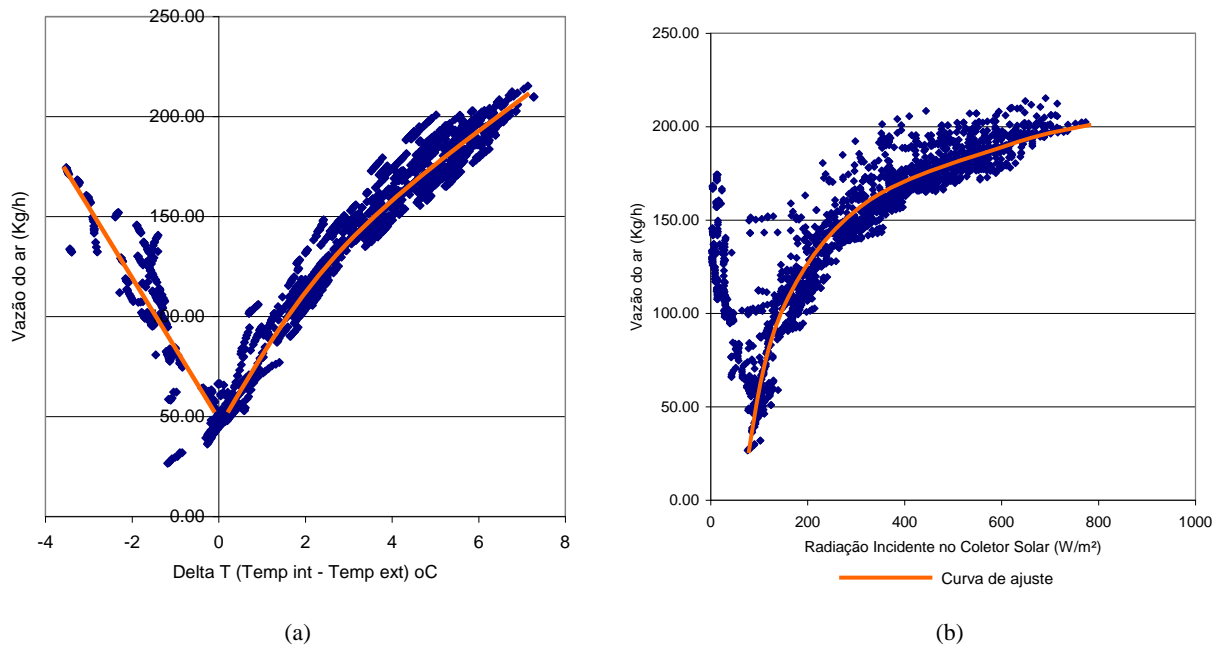


Figura 7 – Correlação entre a Vazão do ar no interior da chaminé e (a) Δt , (b) Radiação Solar incidente no coletor para as oito cidades simuladas.

3.3. Ajuste das Variáveis

Para uma análise de regressão linear, nem todos os pares de valores das amostras estão incluídos na reta. Em alguns casos, esse afastamento da linearidade pode sugerir um tipo de curva diferente da linha reta, por exemplo, o gráfico de dispersão dos conjuntos de valores das amostras exibir a forma de uma exponencial ou de um polinômio de segundo grau. Por esse motivo, para cada cruzamento de informações, serão observadas as

variações das estimativas, através do coeficiente de determinação (R^2), para avaliar a que possui os menores desvios e selecionar a função que melhor se enquadra no conjunto de valores.

Apresenta-se abaixo as possíveis transformações, demonstrando o procedimento aplicado para cada ajuste de curva:

Tabela 1 – Relação das Transformações dos Parâmetros Estimados na Regressão

TIPO	EQUAÇÃO	TRANSFORMAÇÃO	VARIÁVEL X	VARIÁVEL Y
Linear	$y = a + b.x$	$y = a + b.x$	x	y
Exponencial	$y = a.e^{bx}$	$\ln(y) = \ln(a) + b.x$	x	$\ln(y)$
Logarítmica	$y = a + b.\ln(x)$	$y = a + b.\ln(x)$	$\ln(x)$	y
Potência	$y = a.x^b$	$\ln(y) = \ln(a) + b.\ln(x)$	$\ln(x)$	$\ln(y)$

Fonte: (MANDIM, 2003)

4. RESULTADOS E ANÁLISES

A partir dos valores obtidos por simulação, pode-se afirmar que a ventilação natural induzida nos espaços internos por chaminés solares varia associada à variação da incidência de radiação solar no coletor e ao aumento da temperatura do ar no interior da chaminé, provocado pelo efeito estufa e pelas trocas térmicas entre o ar e as superfícies da chaminé.

O impacto do aumento da radiação solar incidente no coletor, uma das principais variáveis que se desejava analisar, foi avaliado em conjunto com o aumento da temperatura do ar no interior da chaminé que também influencia o incremento da ventilação natural em espaços internos, tanto durante o Verão quanto no período de Inverno.

A temperatura do ar no interior da chaminé pode ser obtida a partir da regressão linear múltipla determina o comportamento desta variável em função da Radiação incidente no coletor solar e da temperatura do ar no ambiente externo, que originou a equação 4:

$$T_i = -0.85516 + 1.0003 (T_e) + 0.01244 (\text{Rad}_\beta)$$

Equação 4

Onde:

T_i – Temperatura do ar no interior da Chaminé (°C);

T_e – Temperatura do ar no exterior (°C);

Rad_β – Radiação incidente no Coletor Solar (W/m²).

A temperatura no ambiente externo pode ser obtida por meio de dados climatológicos ou medições *in loco* para a cidade onde se pretende projetar uma edificação que utilize este elemento arquitetônico como promotor de condições favoráveis ao conforto dos usuários.

Observa-se na figura 8 que os valores obtidos por meio desta regressão estão próximos aos valores obtidos por simulação, já que os pontos distribuem-se ao longo da reta correspondente ao erro igual a zero, indicando que os valores para temperatura do ar no interior da chaminé calculados tendem a estar sempre próximos aos simulados e que, portanto o modelo simplificado corresponde ao comportamento encontrado por meio de simulação. Esta regressão apresentou coeficiente de determinação igual a 0.98 e coeficiente de correlação de 0,99.

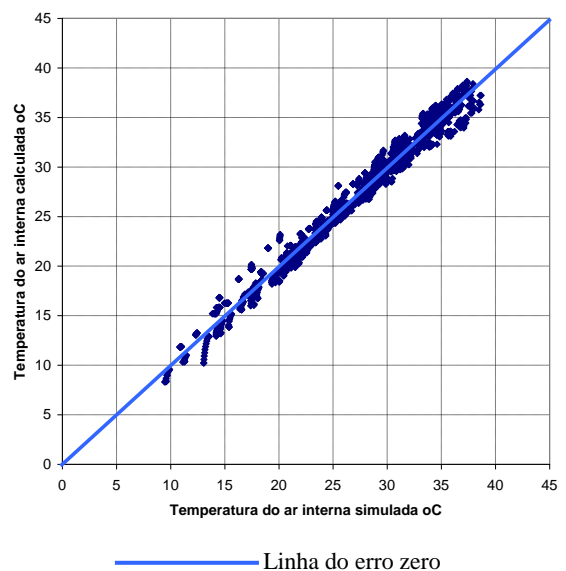


Figura 8 – Relação entre os valores da Temperatura do ar no interior da chaminé solar obtidos por simulação e calculador por meio do modelo simplificado.

Para determinar a vazão do ar, elaborou-se regressões a partir da temperatura do ar no interior da chaminé, da diferença entre a temperatura no interior da chaminé e a temperatura do ar no exterior e a radiação solar incidente no coletor inclinado. A partir destes dados, obteve-se as seguintes equações:

Para $\Delta t < 0$, quando a Temperatura do ar no interior da Chaminé é menor que a TBS externa (normalmente nos horários de nascer e pôr do sol, devido ao calor emitido da chaminé para a atmosfera, por radiação em ondas longas), tem-se então a equação 5:

$$V = 116.54737 - 1.53316(T_i) - 23,83867(\Delta T) - 0.60957\text{Rad}_\beta + 0.00416 (\text{Rad}_\beta)^2 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

V – Vazão do ar em Kg/h

Rad_β – Radiação incidente no Coletor Solar (W/m^2);

ΔT – $(T_i - T_e)$

T_i – Temperatura do ar no interior da Chaminé ($^\circ\text{C}$);

T_e – Temperatura do ar no exterior ($^\circ\text{C}$)

E para $\Delta t > 0$, quando a Temperatura do ar no interior da Chaminé é maior que a TBS externa, a vazão do ar pode ser calculada pela equação 6:

$$V = 46.1617 + 0.05564 \text{Rad}_\beta + 33.95327 (\Delta T) - 2.49463 (\Delta T)^2 \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

V – Vazão do ar em Kg/h

Rad_β – Radiação incidente no Coletor Solar (W/m^2);

ΔT – $(T_i - T_e)$

T_i – Temperatura do ar no interior da Chaminé ($^\circ\text{C}$);

T_e – Temperatura do ar no exterior ($^\circ\text{C}$)

Nota-se na figura 9 que os resultados com a aplicação do modelo simplificado apresentam razoável conformidade com os obtidos através das simulações, tendo-se em conta suas limitações e as hipóteses admitidas, já que os pontos distribuem-se sempre ao longo da reta correspondente ao erro igual a zero.

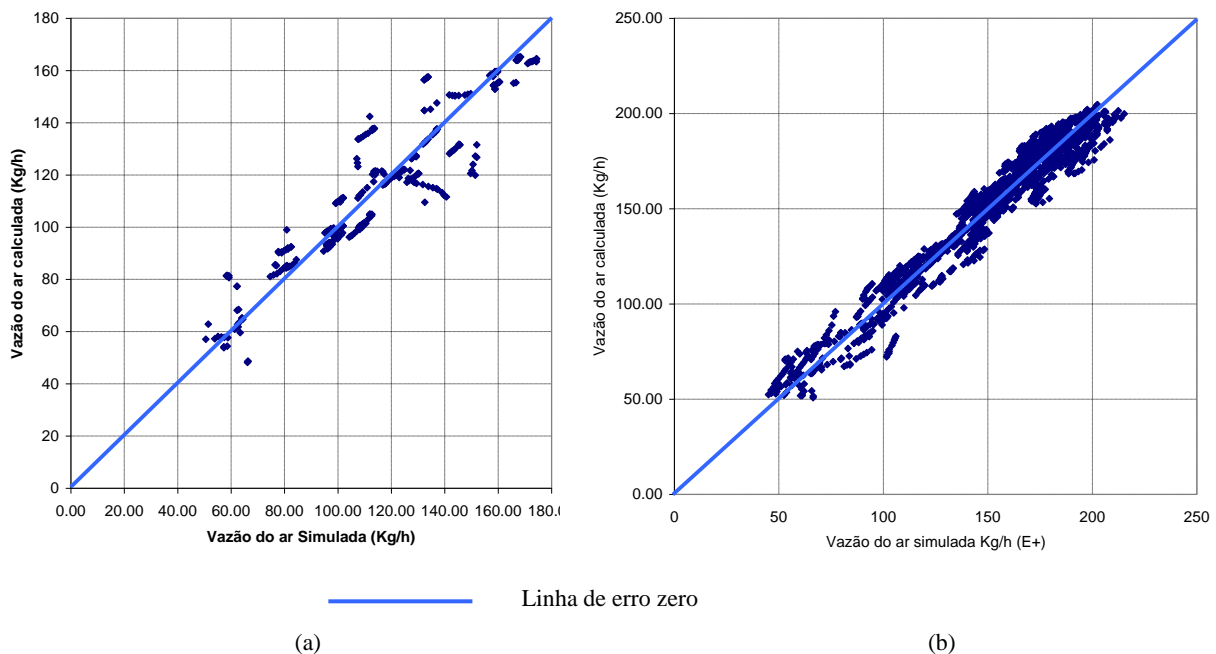


Figura 9 - Fluxo do ar calculado x simulado para o caso em que (a) $\Delta t < 0$ e para o caso em que (b) $\Delta t > 0$ (E+ - EnergyPlus)

Quanto ao Coeficiente de Correlação para estas regressões, encontrou-se valores de 0.92 para a equação 5 e 0.97 para a equação 6, o que representa uma correlação fortíssima entre as variáveis, além de direta entre as

variáveis analisadas, tornando possível obter por meio de cálculo valores próximos aos simulados. O desvio padrão também foi satisfatório, com valores de 4.04 quando $\Delta t < 0$ e de 7.06 quando $\Delta t > 0$.

O Coeficiente de determinação encontrada para as equações da vazão do ar foram 0,85 para a equação 5 e 0,95 para a equação 6, apresentando-se como valores satisfatórios

Estas equações obtidas por meio de regressão são aplicáveis apenas para ($Rad_{\beta} > 0$), quando há influência do dispositivo analisado na velocidade do vento no interior das edificações e para as configurações de chaminés apresentadas neste trabalho. O fluxo do ar é dado em Kg/h, porém, a partir da densidade do ar é possível determinar o volume (m^3) que atravessa o ambiente e conseqüentemente calcular o número de renovações de ar por hora (ren/h).

Sabe-se que quanto mais aquecido estiver o ar, mais leve também será. É possível determinar a densidade de ar em função da sua temperatura, a partir da equação 7, sugerida por Mathur (et al, 2006):

$$\rho_f = [1.1614 - 0.00353 (T_{ar} - 300)] \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

ρ_f – Densidade do ar (Kg/m^3)

T_{ar} – Temperatura do ar (em Kelvin)

A partir desta equação será possível estimar a vazão do ar em unidade de volume (m^3/s) e por meio do volume do ambiente a ser analisado pode-se também estimar a velocidade média do ar.

A radiação solar (em W/m^2) incidente no coletor solar pode ser calculada ou medida no plano inclinado, onde encontra-se o coletor.

De posse destas equações, é possível determinar o fluxo potencial de ar em espaços internos a partir de medições ou estimativas de temperatura e radiação solar em edificações construídas no Brasil e dotadas de chaminés solares, com características similares às estudadas neste trabalho, tendo em vista que os aparelhos para medição de velocidade do ar no interior dos espaços, em sua maioria possuem custo elevado, baixa precisão e pouca resistência, enquanto os instrumentos para medição de temperatura do ar, temperatura superficial e de radiação solar são mais acessíveis.

As análises abrangeram diversos climas brasileiros, sendo uma cidade para cada zona bioclimática, de modo a obter valores para a ventilação natural induzida por chaminé solar, indicando ser sempre superior à ventilação induzida por chaminé convencional.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi possível elaborar um modelo simplificado para determinar a vazão do ar a partir de medições ou estimativas de temperatura (superficial ou do ar) e da Radiação solar incidente no coletor inclinado de modo a facilitar o processo de projeto e tornando possível prever o desempenho deste dispositivo para edificações construídas no Brasil.

Estas equações devem ser utilizadas apenas para chaminés similares às analisadas neste trabalho, com dimensões e materiais semelhantes de modo a validá-las.

O modelo proposto neste trabalho permite que as edificações em geral, sejam cuidadosamente planejadas para minimizar gastos excessivos com dispositivos de iluminação e ventilação por meios mecânicos por meio de cálculos simplificados para estimar parâmetros que de outra forma levaria tempo e necessitaria qualificação profissional.

Artifícios arquitetônicos tais como as chaminés solares, devem ter seu potencial investigado para auxiliar a construção de edifícios mais adequados ao clima regional, objetivando sempre o maior grau de eficiência energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- BANSAL, N K. MATHUR, Rajesh. BHANDARI, M S. **Solar Chimney for Ventilation Enhanced Stack**. Building and Environment, v. 28, n.3, pp373-377, 1993.
- BITTENCOURT, Leonardo S. CANDIDO, Christhina. **Introdução à Ventilação Natural**, Maceió, Edufal, 2005.
- BOUCHAIR. **Solar Chimney for Promoting Cooling Ventilation in Southern Algeria**, Building Services Engineering Research and Technology, Vol.15, pp.81-93. 1994

- CHOUDHURY, C.; CHAUHAN, P.M.; and H. P. GARG, H.P. **Design curves for conventional solar air heaters**. Renewable Energy, Vol. 6, No. 7, pp. 739-749. 1995
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. New York: John Wiley & Sons, 1980.
- HAGEL, A. P. L. A. **Análise Computacional da demanda energética de climatização de edifício**. Relatório submetido para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico à Universidade de Brasília, Junho, 2005.
- HARRIS D.J., HELWIG N.. **Solar Chimney and Building Ventilation**. Applied Energy, Vol. 84 no.2, February 2006, pp135-146
- LI, Angui; JONES, Phillip; ZHAO, Pingge; WANG, Liping (2004). **Heat Transfer and Natural Ventilation Airflow Rates from Single-sided Heated Solar Chimney for Buildings**. Journal of Asian Architecture and Building Engineering. November. pp. 233-238. 2004.
- MAEREFAT, M; HAGHIGHI, A. P. **Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney**. Renewable Energy. V.35, 2010.
- MANDIM, Daniel. **Estatística Descomplicada**. 10. ed. Brasília: Vestcon Editora Ltda., 2003.
- MATHUR, J.; ANUPMA; MATHUR, S. **Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation**. Energy and Buildings 38, pp. 1156–1163. 2006.
- ONG, K.S., CHOW, C.C., **Performance of a Solar Chimney**, Solar Energy 74 1–17, 2003
- PADIK, M M. and SHERIF, S A. **On A Simple Analytical Model For Solar Chimneys**. In: INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH n.23, pp.345-349, 1999.
- SAKONIDOU, E.P.; KARAPANTSIOS, T.D.; BALOUKTSIS, A.I.; CHASSAPIS, D. **Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow**. Solar Energy, 82, pp. 80–94. 2008
- ZAMORA, B., KAISER, A.S. **Optimum wall-to-wall spacing in solar chimney shaped channels in natural convection by numerical investigation**. Applied Thermal Engineering. V.29, 2009.