

## Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações

*Natural ventilation as a strategy for thermal comfort in buildings*

### Henor Artur de Souza

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Construção Metálica, Escola de Minas, UFOP.  
[henor@em.ufop.br](mailto:henor@em.ufop.br)

### Luciano Souza Rodrigues

CEMIG, MG, Brasil  
[luciano.srodrigues@cemig.com.br](mailto:luciano.srodrigues@cemig.com.br)

### Resumo

Uma circulação natural de ar adequada dentro de um ambiente construído, além de auxiliar na diminuição do gradiente térmico, contribui para a renovação do ar interno. Este, dependendo do perfil de ocupação do ambiente, pode ser prejudicial à saúde. Uma circulação natural pode se constituir em uma alternativa eficiente na redução do consumo de energia no condicionamento de edificações. Nesse trabalho, estuda-se a ventilação natural, dirigida pela ação combinada das forças do vento e térmicas num ambiente. Avalia-se a eficiência da ventilação unilateral e cruzada, utilizando-se o método numérico de elementos finitos, por meio do software ANSYS. O modelo numérico é utilizado na determinação dos efeitos das forças do vento e das forças térmicas combinadas, obtendo-se o fluxo de ar e a distribuição de temperatura dentro do ambiente. Os resultados obtidos são comparados com resultados de modelos empíricos, observando-se que a eficiência da ventilação cruzada fica em torno de 3,5 vezes maior do que a ventilação unilateral, aumentando os vórtices no fluxo de ar no interior do ambiente.

**Palavras-chave:** Ventilação natural, conforto térmico, solução numérica.

### Abstract

*Appropriate natural air circulation within a structure reduces the thermal gradient, and contributes towards internal air renewal. This latter is important because, depending on the profile of occupation of the environment, the lack of this process can be harmful to the health. This type of circulation is an efficient alternative for the reduction of the consumption of energy in the conditioning of buildings. In this research, we studied natural ventilation, driven by the combined action of the forces of wind and thermals. The efficiency of the single sided and cross natural ventilation is evaluated, using the numerical method of the finite elements with the software ANSYS. The numeric model is used to determine the effects of the force of the winds and the combined thermal forces, resulting in the airflow and the temperature distribution. The results obtained are compared with the results of empiric models, whereby it was observed that the efficiency of the cross ventilation is around 3.5 times higher than the single sided ventilation, increasing the vortexes in the airflow inside the environment.*

**Keywords:** Natural ventilation, thermal comfort, numerical solution.

## 1. Introdução

A ventilação natural é um dos recursos naturais mais eficazes, quando se busca obter conforto ambiental e eficiência energética das edificações. O emprego do fluxo normal do ar, com o propósito de se obter um condicionamento térmico do ambiente que propicie condições favoráveis de conforto aos ocupantes e melhoria da qualidade do ar interno é o que se define como ventilação natural (Allard, 1998; Liping & Hien, 2007).

A diferença de pressões exercidas pelo ar sobre um edifício pode ser causada pelo vento ou pela diferença de densidade do ar interno e externo, ou por ambas as forças, agindo simultaneamente. A força dos ventos promove a movimentação do ar através do ambiente, produzindo a ventilação denominada ação dos ventos e o efeito da diferença de densidade provoca o chamado

efeito chaminé. Esses dois mecanismos podem agir de maneira separada ou de forma combinada, dependendo das condições atmosféricas, do projeto e da localização do edifício.

Em uma edificação, a ventilação natural também pode ser cruzada, quando a circulação do ar se dá através de aberturas situadas em lados opostos de um ambiente, ou unilateral, quando a circulação do ar se dá através de aberturas situadas no mesmo lado de um ambiente. Fatores como número, tipo, posição e tamanho das aberturas existentes para a passagem de ar, perfil de ocupação e posição da edificação, em relação à direção predominante do vento, interferem no desempenho da ventilação natural (Eftekhari et al., 2001; Alloca et al., 2003).

Recentemente, muitas investigações têm mostrado soluções para pro-

blemas de convecção natural bidimensional, analisando os fatores relevantes como tamanho e posição das aberturas e o efeito de fontes internas de calor (Souza & Rocha, 2007; El-Agouz, 2008). No entanto, estudos sobre o fluxo tridimensional, dentro do ambiente, não têm sido desenvolvidos (Zhao et al., 2006; Zhao et al., 2008). Nesse trabalho, aborda-se uma questão atual, que é o bem-estar do homem em relação ao conforto térmico e a qualidade do ar, dois aspectos intrinsecamente ligados à ventilação. Também verifica-se a influência da fonte de calor, no ambiente interno, considerando as configurações de ventilação cruzada e ventilação unilateral. Com esse propósito, foi utilizada uma abordagem numérica tridimensional na avaliação da distribuição do ar e da temperatura no ambiente interno, para um ambiente típico de escritório.

## 2. Materiais e métodos

Para esse estudo, considera-se um ambiente típico de escritório com as dimensões de 4,7 m x 2,9 m e 2,8 m de altura (Figura 1), com as aberturas de entrada e saída do ar nas dimensões 0,60 m x 0,60 m. Considerou-se, também, a existência de uma fonte inter-

na. A fonte interna de calor é avaliada entre 200 W e 1000 W, representando pessoas e equipamentos de um ambiente típico de escritório.

Na resolução das equações governantes, são consideradas as seguintes condições: escoamento turbulento, flu-

xo incompressível e regime permanente. Admitem-se conhecidas as temperaturas nas superfícies do ambiente e de entrada do ar e a velocidade de entrada do ar. Considera-se, ainda, a superfície inferior (piso) como uma superfície isolada.

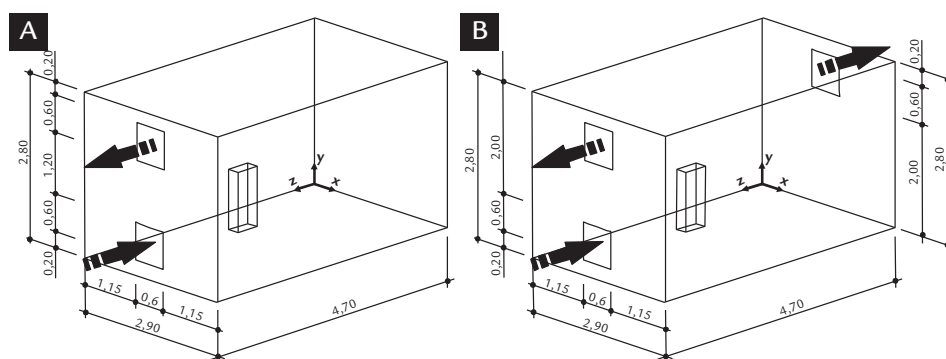


Figura 1  
Modelo físico  
(A) Ventilação unilateral.  
(B) Ventilação cruzada.

O aspecto físico de um escoamento de fluido é governado pelas equações de conservação da massa,

conservação da quantidade de movimento e conservação da energia. Esses três princípios fundamentais são ex-

$$\frac{\partial (\rho u_i \varphi)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right) + S_\varphi \quad (1)$$

onde  $\rho$  é a densidade;  $S_\varphi$  é o termo-fonte e representa uma taxa de geração por unidade de volume da variável dependente  $\varphi$ ;  $\Gamma_\varphi$  é o coeficiente de difusão de  $\varphi$ . As variáveis dependentes de interesse são as três componentes da velocidade  $u$ ,  $v$ ,  $w$ , a pressão  $p$ , a temperatura  $T$ , a energia

cinética  $k$  e a taxa de dissipação turbulenta  $\epsilon$ .

As equações de conservação da quantidade de movimento, de massa, de energia, energia cinética turbulenta e sua taxa de dissipação são resolvidas pelo método numérico dos elementos finitos,

pressos por um conjunto de equações diferenciais parciais. De uma forma genérica, tem-se:

utilizando-se o programa computacional ANSYS (ANSYS, 2007) e empregando-se o modelo de turbulência padrão k- $\epsilon$  (Chen, 1995).

As taxas de ventilação, obtidas via simulação numérica, são comparadas com o modelo empírico apresentado na

norma Britânica BS 5925: 1991 (Quadro 1). O modelo empírico propõe fórmulas para o cálculo do fluxo de ar, considerando: (a) a ventilação por ação dos ventos; (b) a ventilação por ação da diferença de temperatura (efeito chaminé); (c) o efeito combinado de ambos por aberturas em paredes opostas (ventilação cruzada);

e (d) aberturas em paredes de um único lado (ventilação unilateral). Esse método assume um fluxo bidirecional através do edifício e ignora todas as divisões internas.

No método empírico proposto pela norma britânica, não existe uma equação correspondente para ventilação por ação dos ventos para duas aberturas por

fachada, no caso da ventilação unilateral, mas, segundo Allocca et al. (2003), em sua pesquisa, o coeficiente 0,025 pode ser aumentado para 0,1, para configuração de duas aberturas. Este aumento, no coeficiente, aumentaria, efetivamente, a ventilação por ação dos ventos por cerca de duas vezes.

Condição	Ventilação cruzada	Ventilação unilateral
Somente por ação dos ventos		
Somente por diferença de temperatura		
Efeito combinado por ação dos ventos e diferença de temperatura		

Notas:

1) As equações referentes à ação dos ventos e à ação da temperatura, para ventilação unilateral, são consideradas para somente uma abertura.

2) Para o cálculo do efeito combinado de vento e diferença de temperatura da ventilação unilateral, tem-se:

$$Q = \sqrt{(Q_w)^2 + (Q_b)^2}$$

3)  $Q_w$  é a vazão de ar pela ação dos ventos ( $m^3/s$ ),  $Q_b$  é a vazão de ar pela ação da temperatura ( $m^3/s$ ),  $A$  é a área da abertura ( $m^2$ ),  $A_b$  e  $A_w$  são as áreas equivalentes das aberturas ( $m^2$ ),  $C_d$  é o coeficiente de descarga referente à perda de carga por ação dos ventos ( $\approx 0,61$ ),  $v_z$  é a velocidade do vento externo resultante na abertura ( $m/s$ ),  $C_{p1}$  é o coeficiente de pressão da abertura de entrada de ar,  $C_{p2}$  é o coeficiente de pressão da abertura de saída de ar,  $\Delta C_p$  é a variação dos coeficientes de pressão ( $\Delta C_p = C_{p1} - C_{p2}$ ),  $C_d$  é o coeficiente de descarga referente à perda de carga (0,6),  $T_e$  é a temperatura externa (K),  $T_i$  é a temperatura interna (K),  $\Delta T$  é a variação de temperatura ( $\Delta T = T_i - T_e$ ),  $T_{med}$  é a temperatura média ( $T_{med} = (T_i + T_e)/2$ ),  $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,81 m/s^2$ ),  $H$  é a altura entre as duas aberturas verticais (m).

Quadro 1  
Equações empíricas para o cálculo do fluxo de ar em edificações.  
Fonte: BS 5925: 1991.

Para o cálculo das vazões de ar, por ação da temperatura, a condição  $\Delta T$  deve ser conhecida. Porém, quan-

do esse valor não é conhecido, em um ambiente particular, principalmente a temperatura interna  $T_i$ , que nem sempre

se encontra disponível, a carga de calor total, dentro do espaço,  $q$ , é alternativa-

$$q = \rho \cdot Q \cdot C_p \cdot \Delta T \tag{2}$$

resolvendo-se, simultaneamente, essa equação, com aquelas para vazão de ar. Os dados são obtidos pelo modelo empírico apresentado na norma BS 5925: 1991.

No presente trabalho, considera-se a temperatura externa,  $T_e$ , no lugar da temperatura média,  $T_{med}$ . Essa simplificação, praticamente, não

altera o resultado final e é realizada porque não se conhece a temperatura média interna do ambiente (Allocca et al., 2003).

### 3. Resultados

Os resultados da taxa de renovação de ar, por hora, versus o aumento da fonte interna de calor, no ambiente interno, são mostrados na Figura 2. Os valores obtidos são comparados com aqueles obtidos por meio do modelo empírico, sugerido pela norma BS 5925: 1991. Também são comparados com os resultados apresentados por Allocca et al. (2003), para o caso da ventilação unilateral.

Pode-se observar, no caso da ventilação unilateral, que o modelo numérico encontra-se bem próximo do modelo empírico, tendo uma pequena diferença para os casos com a fonte interna de calor de 800 W e 1000 W. Entretanto, comparando com os resultados apresentados por Allocca et al. (2003), encontra-se uma diferença de, aproximadamente, 10 %. Deve-se salientar que esses autores

utilizam condições de contorno de parede isolada, em todas as superfícies, e, nesse trabalho, admite-se somente a superfície inferior isolada. Admite-se, ainda, que as demais superfícies estejam numa temperatura conhecida.

Nas simulações numéricas, para a ventilação unilateral, pode-se observar que, com o aumento da fonte interna de calor, aumenta-se o número de trocas de

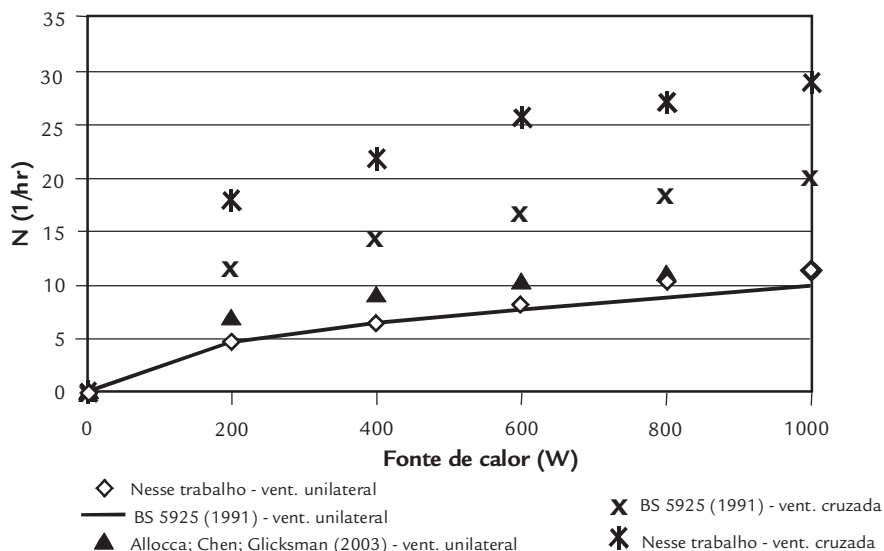


Figura 2  
Taxa de ventilação em função da fonte interna de calor.

ar por hora, dentro do ambiente interno da edificação, o que era de se esperar, pois a diferença de temperatura aumenta. Observa-se, também, que a fonte de calor interna ficou muito próxima a abertura de entrada da ventilação, o que ocasionou um direcionamento da ventilação para a abertura superior. Com o aumento da fonte interna de calor, esse direcionamento ficou mais acentuado. Desta forma, a posição da fonte de calor interna deve influenciar na distribuição do ar no ambiente interno.

No caso da ventilação cruzada, pode-se observar que o modelo numérico encontra-se, aproximadamente, 35 % acima do modelo empírico. Essa diferença se justifica em função de o modelo estudado ser tridimensional e o modelo empírico ser bidimensional. Observa-se que a taxa de renovação do ar da ventilação cruzada é de, aproximadamente, 3,5 vezes maior que a da ventilação unilateral, o que era de se esperar.

Nas simulações numéricas, para a ventilação cruzada, também se observa que, com o aumento da fonte interna de calor, aumenta-se o número de trocas de ar por hora, dentro do ambiente interno da edificação. A mesma observação pode

ser feita quanto à localização da fonte interna de calor, que direciona o fluxo de ar da entrada para cima, prejudicando a ventilação na parte inferior da edificação.

Na avaliação numérica da ventilação unilateral e cruzada (Figura 1), são derivados os campos de distribuição de temperatura e distribuição de velocidade do ar interno. Para apresentação dos resultados obtidos na análise da distribuição da temperatura e do fluxo de ar, no ambiente interno, considera-se um plano passando pelo centro longitudinal do domínio (ambiente).

Admite-se a temperatura de entrada do ar igual a 25,5°C e a temperatura, nas superfícies laterais e na superfície superior, igual a 30°C. O piso é admitido isolado. Segundo a norma NBR 15220: 2005, a região metropolitana de Belo Horizonte, incluindo Ouro Preto, se encontram na zona bioclimática 3. Nesse estudo, admite-se, como temperatura de entrada do ar, uma condição-limite que representa a temperatura máxima durante o mês de janeiro, na região metropolitana de Belo Horizonte (Moraes, 2002).

Nas Figuras 3 e 4, apresenta-se a influência da fonte interna de calor, admitindo uma velocidade de entrada do ar

de 0,4 m/s, para ventilação unilateral e cruzada, respectivamente.

Observa-se que a fonte interna de calor influencia, fortemente, a temperatura do ar, na sua vizinhança, modificando a estratificação do perfil e alterando, também, fortemente, a recirculação do ar. Para o modelo de ventilação unilateral, observa-se, também, que, dependendo da profundidade do ambiente, resultam regiões de ar estagnado na parte posterior da fonte.

No caso do modelo de ventilação cruzada com o aumento da fonte interna de calor, tem-se uma recirculação mais acentuada do ar vizinho, diminuindo as porções de ar estagnado, resultando numa maior eficiência do processo de ventilação, independentemente da profundidade do ambiente.

No entanto, deve-se observar que, para o caso de fontes internas de calor elevadas e uma maior recirculação do ar interno, a influência da fonte pode levar a uma condição de desconforto térmico interno, causada pela elevação da temperatura interna, em relação às condições climáticas externas, com temperatura do ar acima de 28°C (condição-limite de temperatura de conforto estabelecida por norma).

Figura 3  
Perfil da temperatura e velocidade  
do ar com fonte interna de calor  
de 600 W, para ventilação unilateral.

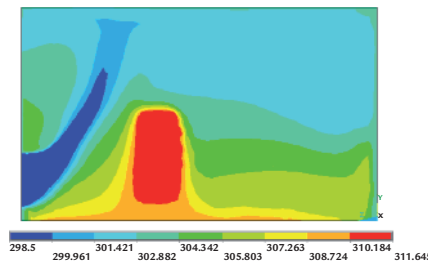
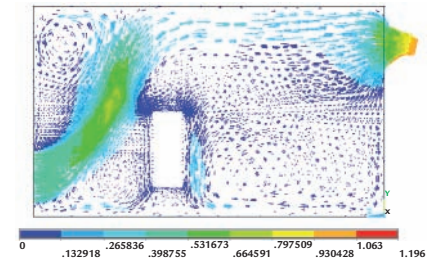
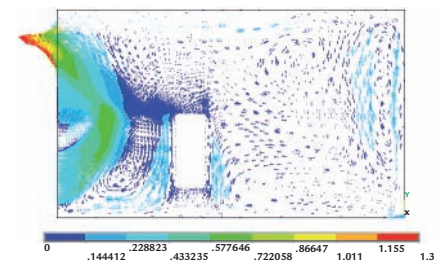
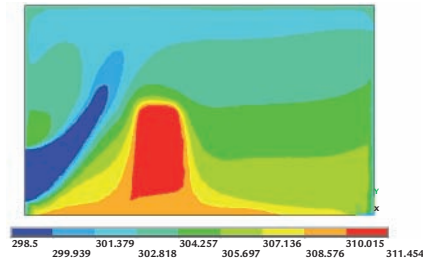


Figura 4  
Perfil da temperatura e velocidade  
do ar com fonte interna de calor  
de 600 W, para ventilação cruzada.



#### 4. Conclusões

A utilização da ventilação natural como estratégica arquitetônica e bioclimática é importante. Um projeto adequado de ventilação natural deve ser avaliado em detalhes, observando-se as condições climáticas e condições de vento locais, para se terem ótimos resultados. No entanto, em função da complexidade das condições de contorno e da imprevisibilidade das forças naturais, é muito difícil de se definirem, corretamente, as condições de velocidade e a direção do vento, pois se trata de forças variáveis, que não se pode controlar, como na ventilação mecânica.

Nesse contexto, a simulação numérica se torna uma ferramenta em potencial, pois permite que se possa avaliar essa influência das forças naturais (vento). No entanto, cuidados devem ser

tomados na definição correta das condições de contorno, o que nem sempre é uma tarefa fácil.

Nesse trabalho, verifica-se a influência das fontes internas de calor existentes num ambiente interno típico de escritório, com intuito de se comparar o efeito da referida influência na taxa de renovação do ar, tanto para a ventilação unilateral, quanto para a ventilação cruzada. De acordo com as comparações realizadas entre o modelo empírico, sugerido pela norma BS 5925: 1991, e o modelo de simulação numérica utilizado, via o programa ANSYS (2007), observa-se que o aumento da fonte interna de calor influencia, diretamente, a taxa de recirculação do ar interno, mostrando uma maior eficiência para o modelo de ventilação cruzada.

Com base nos resultados do modelo empírico e do modelo numérico, encontra-se uma diferença de, aproximadamente, 10%, no caso da ventilação unilateral, o que revela um desempenho satisfatório do modelo numérico utilizada. No caso da configuração de ventilação cruzada, o modelo numérico valoriza as taxas de fluxo de ar, em torno de 35%, em relação ao modelo empírico.

Com os resultados mostrados, observa-se que a localização da fonte interna de calor pode influenciar o perfil de velocidade do ar, dentro do ambiente, e, conseqüentemente, no perfil de temperatura. Nesse trabalho, não se analisa a influência da posição da fonte interna de calor, durante o processo de simulação numérica da ventilação no ambiente.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Es-

tado de Minas Gerais - Brasil) pelo apoio financeiro.

#### 6. Referências bibliográficas

- ALLARD, F. (Ed.). *Natural ventilation in building: a design handbook*. London: James & James, 1998. 356 p.
- ALLOCA, C., CHEN, Q., GLICKSMAN, L. R. Design analysis of single-sided natural ventilation. *Energy and Buildings*, London, v. 35, p. 785-795, 2003.
- ANSYS MYLTIPLHYSICS 11.0. ANSYS Release 11.0 Documentation: ANSYS Inc. Theory Reference. United States: SAS IP, Inc., 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Desempenho térmico de edificações: NBR 15220*. Rio de Janeiro, 2005. 92 p.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *Code of practice for ventilation principles and designing for natural ventilation: BS 5925*. London, 1991. 46 p.
- CHEN, Q. Comparison of different k-ε models for indoor air flow computations. *Numer. Heat Transfer Part B*, v. 28, p. 353-369, 1995.
- EFTEKHARL, M. M., MARJANOVIC, L. D., PINNOCK, D. J. Air flow distribution in and around a single-sided naturally ventilated room. *Building and Environment*,



- London, v. 38, p. 389-397, 2001.
- EL-AGOUZ, S. A. The effect of internal heat source and opening locations on environmental natural ventilation. *Energy and Buildings*, v. 40, p. 409-418, 2008.
- LIPING, W., HIEN, W. N. The impacts of ventilation strategies and façade on indoor thermal environment for naturally ventilated residential buildings in Singapore. *Building and Environment*, v. 42, p. 4006-4015, 2007.
- MORAES, J. A. P. A mudança climática de Belo Horizonte em perspectiva global. *Cadernos de Geografia*, Belo Horizonte, v. 12, n. 18, p. 15-24, 2002.
- SOUZA, H. A., ROCHA, L. J. C. Análise da ventilação natural curada e unilateral. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECÁNICA, 8. *Anais...* Peru: Cusco, 2007. 1 CD-ROM.
- ZHAO, F. Y., LIU, D., TANG, G. F. Multiple steady fluid flows in a slot-ventilated enclosure. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, v. 29, p. 1295-1308, 2008.
- ZHAO, F. Y., TANG, G. F., LIU, D. Conjugate natural convection in enclosures with external and internal heat sources. *International Journal of Engineering Science*, v. 44, p. 148-165, 2006.

---

Artigo recebido em 11 de setembro de 2009. Aprovado em 05 de março de 2012.

www.rem.com.br



**Divulgue sua empresa  
e seus produtos para os  
formadores de opinião do  
setor mineiro-metalúrgico.**

**ANUNCIE NA REM - REVISTA ESCOLA DE MINAS.**

**Pedidos de inserção, negociações e consultas:**

RBC EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

**Luciano Borba**

**(31) 3551 4730**

**[diretor.comercial@rem.com.br](mailto:diretor.comercial@rem.com.br)**