

# ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO METAMODELO DA ETIQUETAGEM BRASILEIRA: EDIFICAÇÕES COMERCIAIS<sup>1</sup>

BAVARESCO, M. V., Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: bavarescomateus@gmail.com; MAZZAFERRO, L., Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: leonardo.mazzaferro@gmail.com; MELO, A. P., Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: apaula\_melo@hotmail.com; LAMBERTS, R., Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: roberto.lamberts@ufsc.br

## ABSTRACT

*The main objective of this study is to verify the relation between input parameters and thermal load output of a metamodel, based on sensitivity analysis. The study is based on a metamodel developed to assess the thermal load of commercial buildings. One commercial typology, located in the cities of São Paulo, Belém and Curitiba was adopted. Maximum and minimum values of input data were determined to represent the different combinations among the Brazilian commercial buildings. The analysis was carried out by changing one parameter per time, according to a base case pre-determined. The sensitivity analysis was able to describe the influence of each parameter on the metamodel output – cooling thermal load. The results show that the metamodel was able to describe the relation between inputs and output parameter. Therefore, it was observed that, depending on the case and climate analyzed, as using high values of overall heat transfer coefficient in the walls can help to dissipate the internal heat gain to the exterior, minimizing the cooling thermal load.*

**Keywords:** Surrogate model. Sensitivity analysis. Building parameters.

## 1 INTRODUÇÃO

Durante os últimos anos, destaca-se a busca por incentivos de políticas energéticas e a elaboração de regulamentos e normas visando uma maior eficiência energética em edificações (ASHRAE, 2016; CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2016; RSECE, 2006; INMETRO, 2009). Estes regulamentos e normas tem como objetivo promover a construção sustentável, adotando requisitos de desempenho mínimo de energia, com a utilização de materiais e sistemas mais eficientes energeticamente.

A crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável, juntamente com a modelagem de edifícios de energia zero, vem influenciando o planejamento e a construção de edificações para alcançar novos padrões de edificações, impulsionando a busca por soluções sustentáveis para o armazenamento de energia. A questão energética é de fundamental importância para a economia e a população de um país, visando a busca por um futuro energeticamente sustentável (MOE, 2010; MELO et al., 2013).

Em fevereiro de 2009 foi aprovado o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (INMETRO, 2009). Este regulamento visa a etiquetagem de edificações comerciais no Brasil, classificando-as pelo nível de eficiência energética. O

---

<sup>1</sup> BAVARESCO, M. V.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise de sensibilidade do metamodelo da etiquetagem brasileira: edificações comerciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

RTQ-C apresenta dois métodos para a avaliação do nível final de eficiência da edificação: Método Prescritivo, através da utilização de um metamodelo; ou através do Método de Simulação.

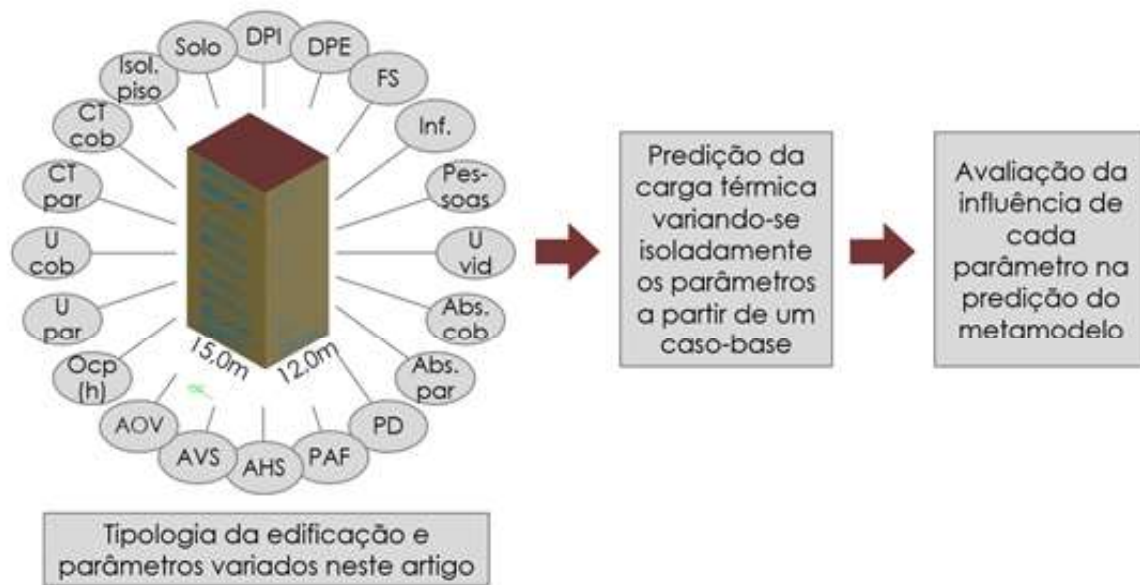
Foram encontradas algumas limitações referentes ao RTQ-C vigente, como: a não diferenciação da área envidraçada e proteções solares por orientação, a ponderação de parâmetros para toda a edificação, e a falta de consideração das influências do entorno edificado. Frente a isso, Melo et al. (2016) desenvolveram um metamodelo para estimar o consumo de energia de edificações comerciais por meio de redes neurais artificiais. Os resultados apresentam que a aplicação do método estatístico de redes neurais reduziu o erro médio calculado entre o consumo simulado e equacionado, melhorando a precisão e a eficiência do metamodelo. Foram determinados limites mínimo e máximo de diferentes dados de entrada para melhor representar as diferentes combinações de características construtivas encontrada nas edificações comerciais do Brasil.

A precisão do metamodelo desenvolvido por Melo et al. (2016) foi avaliado por Bavaresco et al. (2017), verificando uma boa precisão do resultado quando comparado com resultados de simulações computacionais realizadas por meio do programa EnergyPlus. Frente a isso, o objetivo proposto do estudo é avaliar a sensibilidade do metamodelo desenvolvido por Melo et al. (2016) aos parâmetros utilizados em sua definição, bem como definir e justificar as possíveis imprecisões observadas.

## 2 MÉTODO

Na Figura 1 é apresentado o fluxograma do método adotado neste artigo (as siglas são explicadas na Tabela 1). Determinou-se um caso-base, que corresponde a uma combinação de valores para todos os parâmetros analisados. As predições de carga térmica para resfriamento foram realizadas variando-se cada parâmetro isoladamente, e mantendo os demais fixos nos limites do caso-base, sem considerar ventilação natural nos ambientes. Frente a isso, foi possível determinar a influência da variação de cada parâmetro na predição do metamodelo.

Figura 1 – Fluxograma do método proposto neste artigo



## 2.1 Parâmetros analisados

Melo et al. (2016) desenvolveram o metamodelo avaliado considerando um grupo de parâmetros que impactam o desempenho energético de edificações; esses parâmetros são apresentados na Tabela 1. Ressalta-se que os valores apresentados em negrito correspondem aos limites superior e inferior utilizados durante a criação do metamodelo e, portanto, valores fora do intervalo não foram “vistos” anteriormente pelo metamodelo.

Os valores adotados nas predições (apresentados na Tabela 1) foram utilizados isoladamente nesta análise de sensibilidade, isto é, cada valor corresponde a uma predição realizada. O caso-base, baseado no nível D do RTQ-C atual e apresentado na última coluna da Tabela 1, corresponde aos valores fixados para os demais parâmetros quando um em específico está sendo testado, ou seja, todos os parâmetros, exceto o que se está testando na predição em questão, são iguais aos do caso-base.

Dentre os valores utilizados nas predições, estão contidos valores idênticos aos utilizados no desenvolvimento do metamodelo, e também valores não vistos anteriormente. Buscou-se englobar diversos cenários nos testes a fim de determinar possíveis falhas na predição causadas pela utilização de valores que extrapolem os limites estabelecidos no desenvolvimento do metamodelo ou valores nunca vistos. Valores extremos também foram testados (PAF = 0% e  $U_{par} = 5,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) a fim de avaliar se há coerência na variação dos resultados obtidos.

Tabela 1 – Variáveis testadas no metamodelo

Parâmetro	Valores analisados	Caso-base
Densidade de potência de iluminação – DPI (W/m <sup>2</sup> )	2,0, <b>4,0</b> , 7,4, 12,0, 17,1, 20,0, 25,2, 28,0, 31,3, 36,0, <b>40,0</b> , 44,0	14,1
Densidade de potência de equipamentos – DPE (W/m <sup>2</sup> )	2,0, <b>4,0</b> , 7,4, 12,0, 17,1, 20,0, 25,2, 28,0, 31,3, 36,0, <b>40,0</b> , 44,0	9,7
Fator solar – FS	0,00, 0,10, <b>0,21</b> , 0,33, 0,43, 0,54, 0,65, 0,74, <b>0,87</b> , 0,90	0,82
Infiltração de ar – Inf. (trocas de ar por hora)	0,25, <b>0,50</b> , 0,75, 1,00, 1,25, <b>1,50</b> , 2,00	0,50
Densidade de ocupação – Pessoas (pessoa/m <sup>2</sup> )	0,001, <b>0,05</b> , 0,18, 0,31, 0,49, <b>0,70</b> , 0,80	0,14
Transmitância térmica do vidro – U vid (W/m <sup>2</sup> .K)	<b>1,90</b> , 2,38, 2,80, 3,69, <b>5,70</b>	5,70
Absortância solar da cobertura – Abs. cob	0,10, <b>0,20</b> , 0,35, 0,50, 0,65, <b>0,80</b> , 0,85	0,80
Absortância solar da parede – Abs. par	0,10, <b>0,20</b> , 0,35, 0,50, 0,65, <b>0,80</b> , 0,85	0,50
Pé-direito – PD (m)	2,50, <b>2,60</b> , 3,00, 4,20, 5,50, <b>6,60</b> , 7,00	2,80
Percentual de abertura da fachada – PAF	0,00, <b>0,10</b> , 0,19, 0,30, 0,41, 0,50, 0,62, 0,70, 0,79, <b>0,90</b>	0,50
Ângulo horizontal de sombreamento – AHS (°)	<b>0</b> , 10, 19, 30, 41, 50, 62, 70, 79, <b>90</b>	0
Ângulo vertical de sombreamento – AVS (°)	<b>0</b> , 10, 19, 30, 41, 50, 62, 70, 79, <b>90</b>	0
Ângulo de obstrução da vizinhança – AOV (°)	0, 10, 19, 30, 41, 50, 62, 70, 79, <b>90</b>	0
Horas ocupadas na edificação – Ocup. (horas)	6, <b>8</b> , 11, 16, 21, <b>24</b>	8,00

Transmitância térmica da parede – U par (W/m <sup>2</sup> .K)	0,00, <b>0,50</b> , 1,50, 2,50, 3,45, <b>4,40</b> , 5,18	2,46
Transmitância térmica da cobertura – U cob (W/m <sup>2</sup> .K)	0,00, <b>0,51</b> , 1,61, 2,71, 3,89, <b>5,07</b>	2,06
Capacidade térmica da cobertura – CT cob (kW/m <sup>2</sup> .ano)	<b>0</b> , 45, 88, 132, 185, <b>220</b> , 233	220
Capacidade térmica da parede – CT par (kW/m <sup>2</sup> .ano)	<b>0</b> , 42, 88, 130, 178, <b>220</b> , 233	150
Isolamento do piso – Isol. piso	isolado – não isolado	não isolado
	adiabático	
Contato com o solo – solo	contato com o solo	adiabático
	sobre pilotis	

## 2.2 Especificações das análises realizadas

A tipologia adotada para a análise compreende uma edificação de escritórios com doze pavimentos e dimensões de 12,0m x 15,0m. Cada pavimento foi dividido em cinco zonas térmicas, seguindo os critérios da ASHRAE Standard 90.1 (ASHRAE, 2016), resultando em quatro zonas shell (norte, sul, leste e oeste) e uma zona core (sofrendo menor influência do meio externo).

Os climas testados foram Curitiba, São Paulo e Belém, visando englobar três cenários distintos de caracterização climática nacional: clima frio, clima ameno e clima quente.

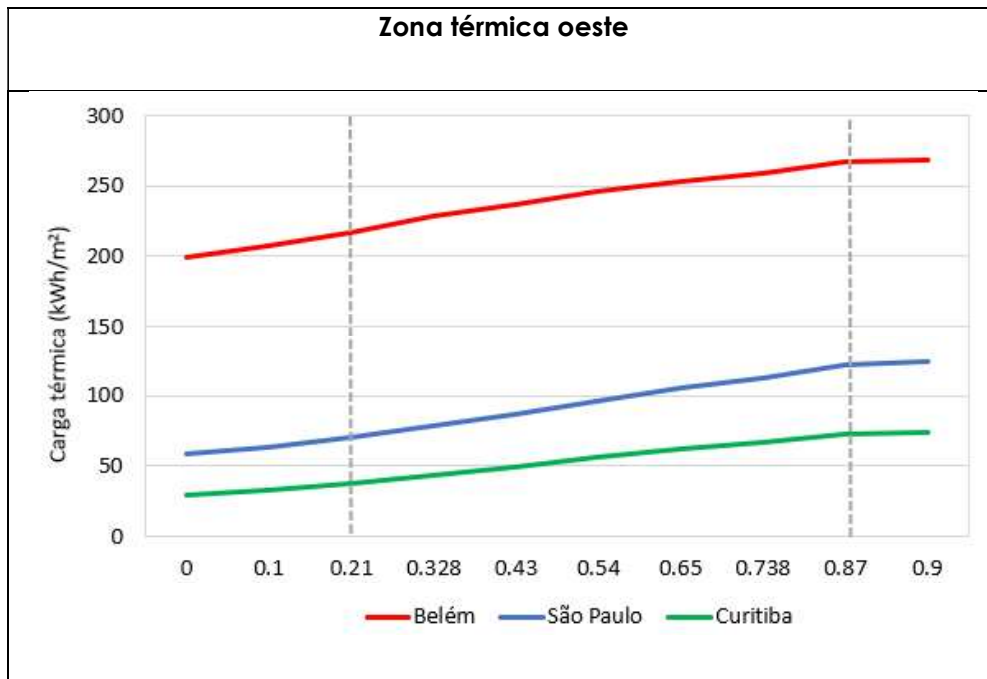
As análises da influência do dado de entrada no dado de saída do metamodelo (carga anual de resfriamento - kWh/m<sup>2</sup>) serão apresentadas para a zona térmica da edificação voltada para a orientação oeste, ressaltando os seguintes dados de entrada: fator solar do vidro, transmitância térmica do vidro e transmitância térmica das paredes externas. Os limites considerados para a utilização do metamodelo estão representados nas figuras pela linha tracejada.

## 3 RESULTADOS

A análise da influência do dado de entrada fator solar do vidro na carga anual de resfriamento é apresentada na Figura 2. O fator solar variou de 0.21 (vidro de alto desempenho) a 0.87 (vidro simples). Pode-se observar uma influência significativa deste dado de entrada para todos os climas. Para São Paulo, o uso de um vidro com fator solar de 0.21 resulta em uma carga de

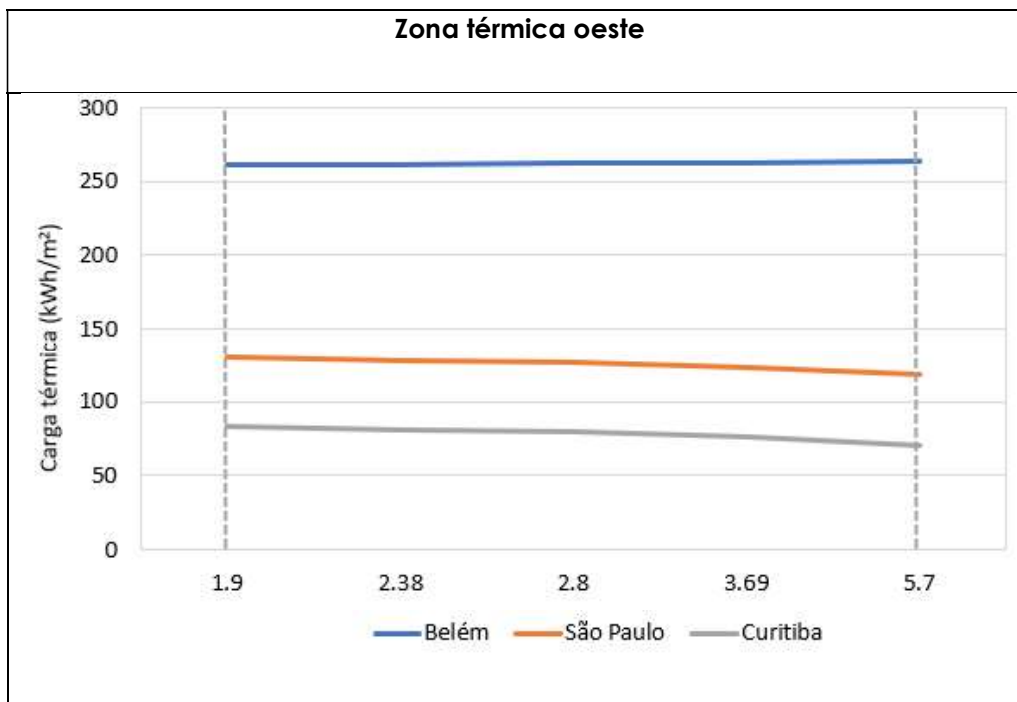
resfriamento de 71 kWh/m<sup>2</sup>. Alterando o fator solar para 0.87, este valor é de 122 kWh/m<sup>2</sup> (acrécimo de 51 kWh/m<sup>2</sup>). Para o clima da cidade de Belém e Curitiba, o acréscimo foi de 35 kWh/m<sup>2</sup>. Adotando limites de fator solar inferiores a 0.21, nota-se uma tendência de redução do resultado de carga térmica da edificação.

Figura 2. Fator Solar.



A análise da influência do dado de entrada transmitância térmica do vidro na carga anual de resfriamento é apresentada na Figura 3. O valor de transmitância térmica variou de 1.9 W/(m<sup>2</sup>.K) a 5.7 W/(m<sup>2</sup>.K). Pode-se observar que a influência deste dado de entrada é mínima no dado de saída do metamodelo para o clima de Belém. Para a cidade de São Paulo e Curitiba, a redução do uso de um vidro com transmitância térmica solar de 0.19 W/(m<sup>2</sup>.K) com um vidro de 5.7 W/(m<sup>2</sup>.K) foi de aproximadamente 12 kWh/m<sup>2</sup> para ambos os climas.

Figura 3. Transmitância térmica do vidro.

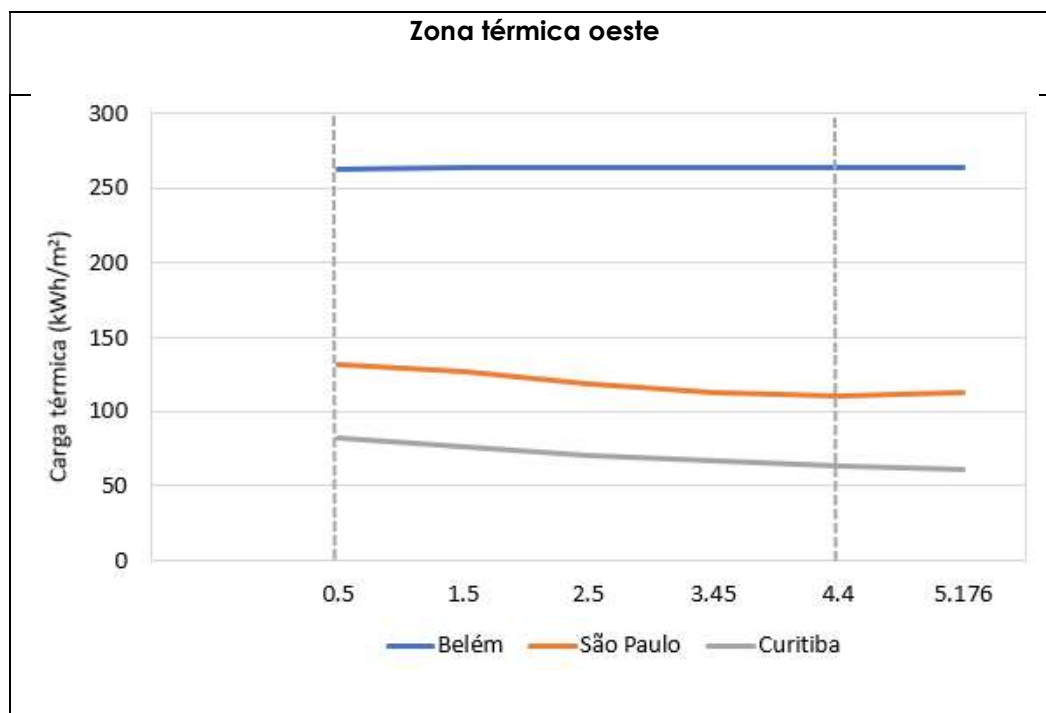


A análise da influência do dado de entrada transmitância térmica da parede na carga anual de resfriamento é apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** O valor desta variável varia de 0,528 W/(m².K) a 5,176 W/(m².K). Pode-se observar que a influência deste dado de entrada é significativa no dado de saída do metamodelo. Através da análise dos casos, pode-se observar que dependendo da combinação dos dados de entrada, o aumento da transmitância térmica do envelope pode resultar em uma economia de energia na edificação. Este comportamento foi obtido para os três climas analisados. Observa-se que o aumento da transmitância térmica das paredes permite a dissipação dos ganhos internos para o exterior. Para o clima de Curitiba, o uso de um valor de 0,5 W/(m².K) nas paredes da edificação resulta em uma carga de resfriamento de 82 kWh/m². Alterando para 5,176 W/(m².K) a carga anual de resfriamento reduz para 61 kWh/m² (redução de 21 kWh/m²). Para o clima de São Paulo foi de 18 kWh/m². Para o clima de Belém, nota-se um comportamento constante frente a mudança do parâmetro analisado.

Ressalta-se que a economia de energia vai depender do clima; do tamanho e da forma da edificação; dos dados de entrada, além do tipo e da eficiência dos sistemas de condicionamento de ar existentes.



Figura 4. Transmitância térmica da parede.



#### 4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados é possível traçar as seguintes conclusões:

- O metamodelo desenvolvido por Melo *et al.* (2016) foi capaz de representar a influência dos dados de entrada na carga térmica da edificação avaliada e, além de sua aplicabilidade na avaliação da envoltória do RTQ-C, o mesmo pode servir como base de avaliação para projetistas entenderem a influência que diferentes parâmetros possuem na carga térmica de edificações sem recorrer a simulações computacionais;
- Diferentes combinações dos dados de entrada de edificações podem resultar em aumento ou redução da carga térmica de resfriamento. Como exemplo, tem-se as transmitâncias térmicas da parede e do vidro, que tiveram relação inversamente proporcional com a carga térmica nos climas mais frios (Curitiba e São Paulo) e diretamente proporcional no clima mais quente (Belém);
- A carga térmica das edificações depende do clima e das combinações entre os fatores da edificação que está sendo analisada; percebeu-se que, em todas as situações, as maiores cargas térmicas foram obtidas para o clima de Belém.



## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 90.1-2016**: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. ASHRAE: Atlanta, 2016.

BAVARESCO, M. V.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A.P.; LAMBERTS, R. Análise da precisão de um metamodelo para a avaliação da envoltória de acordo com o Regulamento Brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, Balneário Camboriu.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION. **Energy efficiency standards for residential and nonresidential buildings**. Sacramento: California Energy Commission, 2016. Disponível em: <http://www.energy.ca.gov/2015publications/CEC-400-2015-037/CEC-400-2015-037-CMF.pdf> Acesso em: fevereiro de 2018.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Portaria 163, de 08 de junho de 2009. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf> Acesso em: janeiro de 2018.

MELO, C. A.; JANUZZI, G. M.; TRIPODI, A. F. Evaluating public policy mechanisms for climate change mitigation in Brazilian buildings sector. **Energy Policy**, v.61, p. 1200-1211, 2013.

MELO, A. P.; VERSAGE, R. S.; SAWAYA, G.; LAMBERTS, R. A novel surrogate model to support building energy labelling system: A new approach to assess cooling energy demand in commercial buildings. **Energy and Buildings**, v. 131, p. 233-247, 2016.

MELO, C. A.; JANUZZI, G. M.; TRIPODI, A. F. Evaluating public policy mechanisms for climate change mitigation in Brazilian buildings sector. **Energy Policy**, v.61, p. 1200-1211, 2013.

MOE, E. Energy, industry and politics: Energy, vested interests, and long-term economic growth and development. **Energy**, v. 35, n. 4, p. 1730–1740, 2010.

RSECE. **Regulation of the Buildings Energetic Systems and Climatization**. Ministry of Public Works, Transportation and Communications, Decree-Law nº 79/2006 of April 4. Disponível em: [http://www.oasrn.org/pdf\\_upload/decretolei\\_79\\_2006.pdf](http://www.oasrn.org/pdf_upload/decretolei_79_2006.pdf) Acesso em: janeiro de 2018.