



# Desenvolvimento de metamodelos para a avaliação do nível de eficiência energética da envoltória em edificações residenciais

## Development of metamodels to assess the energy efficiency level of envelope in residential buildings

### Ana Paula Melo

Universidade Federal de Santa Catarina  
Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Florianópolis, Brazil, 88040-900.  
a.p.melo@posgrad.ufsc.br

### Roberto Lamberts

Universidade Federal de Santa Catarina  
Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Florianópolis, Brazil, 88040-900.  
roberto.lamberts@ufsc.br

**Manuscript Code:** XXX (esto no debe llenarse)

**Date of Acceptance/Reception:** 06.07.2018/31.05.2018 (esto no debe llenarse)

### Resumo

O objetivo principal deste estudo é desenvolver um método para avaliar o nível de eficiência energética do envelope em edificações residenciais brasileiras. A primeira etapa do estudo descreveu os parâmetros de entrada e seus respectivos valores. A segunda etapa da avaliação consiste na aplicação da técnica de amostragem Hipercubo Latino para combinar os efeitos de diferentes parâmetros de entrada. Todos os casos foram simulados através do programa de simulação computacional EnergyPlus. Com base nos resultados, aplicou-se a técnica de modelagem estatística da rede neural para o desenvolvimento de três metamodelos: carga térmica de resfriamento e aquecimento, e conforto. O último passo é a validação dos metamodelos propostos. Os resultados deste trabalho mostraram que a aplicação da técnica da rede neural artificial permitiu a representação da interação entre os dados de entrada e saída.

**Palabras claves:** metamodelo; simulação termo-energética de edificações, redes neurais artificiais.

### Abstract

The main objective of this study is to develop a method to assess the energy efficiency level of envelope in Brazilian residential buildings. The first step described the input parameters and its values. The second step of the assessment consisted of applying the Latin Hypercube sampling technique to combine the effects of several input parameters. All samplings were run through building energy simulation by EnergyPlus program. Based on results, the neural network statistical modelling technique was applied to develop three metamodels: cooling and heating thermal load, and comfort. The last step is the validation of the proposed metamodels. The results of this work have showed that the application the artificial neural network technique allowed the interaction between input and output data to be represented.

**Keywords:** metamodel; building energy simulation; artificial neural network.

## Introdução

A preocupação com o uso racional de energia vem se intensificando em razão dos custos operacionais para as edificações condicionadas. Desde a década de 70, os países vêm buscando investimento em pesquisas e o uso de tecnologias para medidas de conservação de energia e melhoria da eficiência energética de edificações. Mecanismos e programas de incentivos com o uso de tecnologias mais eficientes estão sendo desenvolvidos, juntamente com o desenvolvimento de regulamentações visando à avaliação e classificação de edificações com base no seu desempenho térmico (Pérez-Lombard et al.; 2009).

Atualmente, existem diversas certificações para a avaliação do desempenho térmico das edificações. Muitas destas normas e leis em eficiência energética de edificações são baseadas nos conceitos da ASHRAE Standard 90.1 (ASHRAE, 2017) que estabelece requisitos mínimos para o projeto de edificações eficientes, exceto para edificações residenciais de pequeno porte. Destaca-se o sistema de certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design, 20), que se baseia nos requisitos do Apêndice G da ASHRAE Standard 90.1 para tornar a edificação mais eficiente energeticamente. Outra norma desenvolvida pelos Estados Unidos é a Title 24 (California Energy Commission, 2001), a qual é de caráter obrigatório para as novas edificações no estado da Califórnia, USA, e permite avaliar as edificações através de um método prescritivo ou através de método de avaliação de desempenho térmico. Muitos dos países da Europa possuem seu próprio método de certificação, como é o caso de Portugal, Holanda, Reino Unido, e Holanda. (RCCTE, 2006; NEN 2916, 1994)

Em 2001, com a crise do setor elétrico, o Brasil começou a estabelecer ações para estimular o uso eficiente da energia elétrica. A primeira versão do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R) foi publicada em 2010, posteriormente substituída pela versão de 2012 (INMETRO, 2012). Esse regulamento começou a ser desenvolvido após a elaboração da Lei Nº 10.295, a qual estabelece a criação de mecanismos que resultem em edificações mais eficientes energeticamente (BRASIL, 2001). A implementação deste regulamento reflete na busca por construções eficientes, apresentando uma grande melhoria na eficiência energética dos edifícios brasileiros.

O RTQ-R visa a etiquetagem de edificações residenciais no Brasil, classificando pelo nível de eficiência que variam de eficiência A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Os dois métodos para a avaliação do nível final de eficiência da edificação são: método prescritivo, que se refere a um modelo simplificado onde são atribuídos pesos a cada requisito; ou através do método de simulação, que adota a utilização de um programa de simulação computacional. Através da utilização de programas de simulação energética é possível avaliar o desempenho térmico e energético de edificações. Porém, destaca-se a necessidade de conhecimento de diferentes sistemas e uma demanda considerável de tempo e recursos. Já os métodos simplificados tem o objetivo de facilitar as análises desejadas pelo usuário, adotando diversas suposições quanto ao clima, padrões de uso e tipo de construções.

O metamodelo desenvolvido para o uso no RTQ-R baseou-se em estudos que utilizaram métodos de amostragem para compreender o comportamento de milhares de simulações computacionais e chegar em uma regressão linear múltipla, capaz de avaliar a envoltória da edificação. O método de regressão linear múltipla é um método simples de desenvolver e fácil de utilizar quando comparado ao uso de programas de simulação computacional. Entretanto, existem métodos estatísticos que se destacam quanto à qualidade superior frente a outros métodos estatísticos, como por exemplo as redes neurais artificiais.

Com relação à técnica de amostragem, o RTQ-R adotou a mudança de somente um parâmetro para cada novo caso. Esta técnica permite observar a influência de cada parâmetro no resultado do dado de saída da simulação, porém exige que sejam elaborados diversos casos. Através de outras técnicas de amostragem, como o método Hipercubo Latino é possível analisar a influência da combinação de diferentes fatores e reduzir o número de casos analisados sem perder a precisão e qualidade dos dados de entrada.

## Estado da arte

Desde 2010, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais vem passando por avaliações e proposição de melhorias. A aplicação do método e do zoneamento bioclimático para obter edificações mais confortáveis e ao mesmo tempo eficientes energeticamente são alguns destaques de limitações abordadas em estudo. Além disso, o método atual não possui um indicador de desempenho de fácil entendimento e comparação. Outra limitação é a obtenção de resultados não equivalentes, quando comparado ao método de análise da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) e (SILVA e GHISI, 2014). Destaca-se também a impossibilidade do uso da ventilação natural em conjunto com o condicionamento artificial para as edificações residenciais; e utilização do método estatístico de regressão linear múltipla, que não foi capaz de entender a influência dos dados de entrada no dado de saída.

Dentre a proposta deste estudo, está o desenvolvimento de um novo metamodelo para a avaliação da eficiência energética da envoltória de edificações residenciais, considerando simultaneamente o uso de ventilação natural e do sistema de condicionamento de ar em edificações. Além de permitir avaliar o consumo de energia para aquecimento e resfriamento, e expressa também as horas de conforto da edificação. Este metamodelo abrange grande parte das soluções arquitetônicas encontradas em edificações residenciais brasileiras de acordo com às características climáticas do clima que esta será inserida.

## Método

### Definição dos dados de entrada

Com relação às tipologias, foram consideradas diferentes informações de área construída, números de pavimento tipo, residência unifamiliar e multifamiliar, pavimentos localizados na cobertura, e pavimentos tipo. Foram consideradas por tipologia a variação de 1 a 3 dormitórios e 1 sala. Os dormitórios possuem janelas em uma ou duas fachadas, de acordo com o número de fachadas expostas. As portas dos ambientes dos modelos de simulação estão sempre fechadas, ou seja, a ventilação ocorre por frestas.

Com relação aos dados de entrada e suas respectivas características, foram adotados valores para abranger as características de grande parte das edificações brasileiras variando estes valores de mínimos a máximos. Foram selecionadas 32 parâmetros de entrada, das quais 28 estão relacionados a edificação, listados na Tabela 1; e 4 relacionados com as variáveis climáticas para representar a influência do clima no metamodelo (Tabela 2).

**Tabela 1.** Parâmetros da edificação e seus valores limites.

Variável	Valores limites
Tipo de ambiente	Sala ou dormitório
Percentual de vidro na fachada norte	0.1 - 0.9
Percentual de vidro na fachada leste	0.1- 0.9
Percentual de vidro na fachada sul	0.1- 0.9
Percentual de vidro na fachada oeste	0.1- 0.9
Área de fachada norte [m <sup>2</sup> ]	0 -150
Área de fachada leste [m <sup>2</sup> ]	0 -150
Área de fachada sul [m <sup>2</sup> ]	0 -150
Área de fachada oeste [m <sup>2</sup> ]	0 -150
Área do ambiente [m <sup>2</sup> ]	8 -300
Capacidade térmica das paredes externas [kJ/(m <sup>2</sup> K)]	20 -300
Transmitância térmica das paredes externas [W/m <sup>2</sup> K]	0.5 -3.5
Capacidade térmica da cobertura [kJ/(m <sup>2</sup> K)]	30 -300
Transmitância térmica da cobertura [W/m <sup>2</sup> K]	0.5 -3.5
Transmitância do vidro [W/m <sup>2</sup> K]	2.8 -5.7
Fator solar do vidro	0.22 -0.87
Tipo de piso do pavimento	Madeira ou cerâmico
Pé direito [m]	2.5 -5
Absortância solar das paredes externas	0.1 -0.9
Absortância solar da cobertura	0.1 -0.9
Tamanho da projeção [m]	0 -2
Altura do pavimento [m]	0 -50
Veneziana	Sem ou com
Altura da janela em relação ao pé direito [%]	0 -100
Fator de abertura para ventilação (%)	50 -100
Pilotis	Sem ou com
Exposição do piso	Laje entre pavimentos ou em contato com o solo
Exposição da cobertura	Laje entre pavimentos ou exposta ao exterior

**Tabela 2.** Parâmetros climáticos e sua respectiva sigla.

Variável	Sigla
Temperatura Média Anual	TMA
Desvio Padrão da Média mensal das Temperaturas Médias diárias	dpT
Amplitude Média Anual	AMA
Desvio Padrão da Amplitude Média mensal	dpA

Para cada dado de entrada considerou-se a inclusão de valores dentro de intervalos aceitáveis fisicamente ou possíveis de serem encontrados em edificações residenciais.

Os dados de entrada fixos considerados para cada caso analisado estão descritos na Tabela 3.

A partir da variação de cada parâmetro, definiu-se a quantidade de casos. O produto da análise combinatória de todos os parâmetros resultou em aproximadamente 260 bilhões de casos. Entretanto, este número foi reduzido para 60.000 casos por meio da aplicação do método de amostragem por Hipercubo Latino, por meio de códigos de programação em linguagens Python e R.

**Tabela 3.** Rotinas e condições adotadas no modelo base.

Parâmetro descrito	Ambiente	
	Sala	Dormitório
Horário de ocupação	14h-22h	22h-8h
Horários com possibilidade de ventilação	14h-22h	14h-8h
Horários com possibilidade de AC <sup>1</sup>	14h-22h	22h-8h
Temperatura de acionamento do AC para resfriamento	26°C	26°C
Temperatura de acionamento do AC para aquecimento	16°C	16°C
Temperatura de setpoint de resfriamento do AC	23°C	23°C
Temperatura de setpoint de aquecimento do AC	18°C	18°C

<sup>1</sup> AC = sistema de condicionamento de ar

### Simulação computacional

Após a geração de todos os casos, adotou-se o programa de simulação computacional EnergyPlus, versão 8.7 (DOE, 2017) para obter o consumo final de energia para cada caso. Com base nestes resultados foi possível observar a influência dos dados de entrada no consumo final das edificações (kWh/m<sup>2</sup>.ano) para aquecimento e resfriamento, e nas horas de conforto para cada ambiente de permanência prolongada da edificação. O percentual de horas de conforto é calculado através do somatório de horas entre 18°C e 26°C (temperatura operativa do ambiente) sem uso do sistema de condicionamento de ar, dividido pelo total de horas ocupadas do ambiente.

No modelo de simulação computacional, a ventilação natural será acionada somente após respeitar três condições: 1. A temperatura interna deve ser maior que temperatura externa; 2. A temperatura interna deve ser maior que 19°C; e 3. Permitir o horário de ventilação.

A temperatura de acionamento do sistema de condicionamento de ar é de 26°C para resfriamento e 16°C para aquecimento na sala e nos dormitórios. Porém, o setpoint do sistema é de 23°C para resfriamento e 18°C para aquecimento. Sempre que o sistema de condicionamento de ar for acionado na sala e nos dormitórios, este permanece ligado até o último horário de ocupação do ambiente.

As venezianas estão acopladas às janelas dos ambientes de permanência prolongada somente quando estas estiverem fechadas. O controle da integração das estratégias de condicionamento natural com o condicionamento artificial foi definido por meio do *Energy Management System* (EMS) do programa EnergyPlus, assim como o uso das venezianas.

Todas as análises foram realizadas de acordo com a nova proposta de zoneamento climático brasileiro (Roriz, 2014) que se baseia em um total de 24 zonas climáticas. Os arquivos climáticos adotados são do tipo INMET (LabEEE, 2016).

### Técnica de modelagem estatística

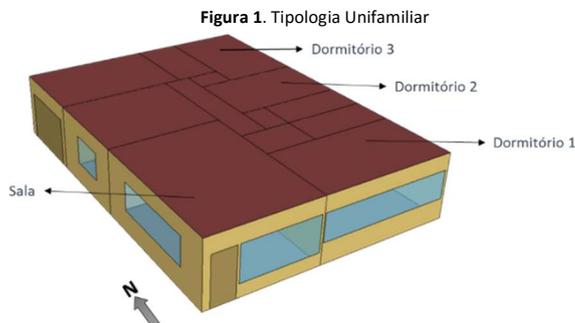
As redes neurais artificiais foram o modelo preditivo escolhido para substituir a simulação energética. Cada variável de saída é predita por uma rede neural específica, a partir de 32 variáveis de entrada. O número de neurônios na camada interna das redes neurais variou de acordo com a variável de saída. Destaca-se a inclusão das variáveis climáticas na matriz de parâmetros que foi utilizada para o treinamento do metamodelo, possibilitando a consideração de resultados obtidos em diferentes climas em uma única rede neural artificial.

Para o desenvolvimento dos metamodelos, adotou-se o método estatístico de redes neurais com a utilização do programa R. O desenvolvimento foi baseado em 60.000 casos, com diferentes combinações de parâmetros. Foram desenvolvidos 3 novos metamodelos, analisando os parâmetros mencionados como dados da camada de entrada (variáveis independentes), e o consumo da edificação para aquecimento e resfriamento em kWh/m<sup>2</sup>, e o percentual de horas de conforto como dado de saída (variável dependente) para o treinamento da rede neural.

### Validação

Os metamodelos são desenvolvidos a partir de diversos parâmetros, que podem apresentar comportamentos não-lineares entre os dados de entrada e o dado de saída. A análise da precisão do metamodelo é a etapa principal do desenvolvimento da ferramenta para entender o seu comportamento.

A validação consiste na aplicação do modelo simplificado desenvolvido, para avaliação da precisão dos seus respectivos resultados. O método consiste em analisar parametricamente os dados de entrada do metamodelo, verificando os dados de saída obtidos. A tipologia adotada como caso base foi uma edificação unifamiliar possuindo três dormitórios, com áreas de 18,75 m<sup>2</sup>, 13,73 m<sup>2</sup> e 15,25 m<sup>2</sup>, e uma sala com 30,90 m<sup>2</sup>. A edificação foi considerada sem sombreamento (brise ou veneziana), sendo o fator de abertura para ventilação igual a 50% da área de vão. O piso está em contato com o solo e a cobertura exposta. A perspectiva da tipologia é apresentada na Figura 1. A validação foi realizada para três cidades brasileiras com características climáticas distintas: Belém Curitiba e São Paulo.

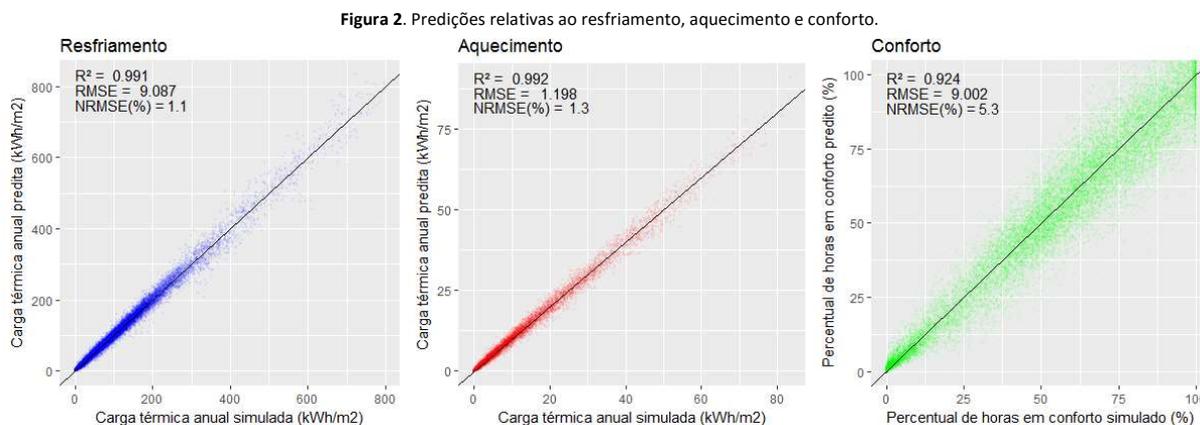


## Resultados

### Desenvolvimento dos metamodelos

Para o desenvolvimento dos metamodelos ppor meio do método estatístico de redes neurais, foram selecionados um total de 25% dos casos para validação da rede, 25% para verificar o desempenho da rede e o restante para o treinamento da rede. Os resultados do treinamento dos metamodelos podem ser observados através da Figura 2.

O treinamento dos casos selecionados apresentou um bom desempenho, uma vez que os valores concentraram-se próximo a reta. Nota-se que praticamente todos os valores preditos pelo metamodelo correspondem com os valores simulados pelo programa de simulação EnergyPlus.



Através dos resultados obtidos com a aplicação da rede neural, foi calculado o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), a erro quadrático médio (RMSE) e o erro quadrático médio normalizado (NRMSE). Estes resultados foram obtidos com a comparação entre os resultados do programa EnergyPlus e do método estatístico de redes neurais uma vez que ambos possuem os resultados na mesma unidade, kWh/m<sup>2</sup>.

Os resultados do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), do erro quadrático médio (RMSE) e do erro quadrático médio normalizado (NRMSE) para o metamodelo de resfriamento é de 0.99, 9,087 e 1.1%, respectivamente. Para o metamodelo de aquecimento os valores encontrados foram próximos aos resultados do metamodelo de aquecimento, exceto o valor de RMSE de aproximadamente 1,20. Para o metamodelo de conforto, a diferença em realção ao metamodelo de resfriamento é no valor de NRMSE com aproximadamente 5.3%.

### Validação dos metamodelos

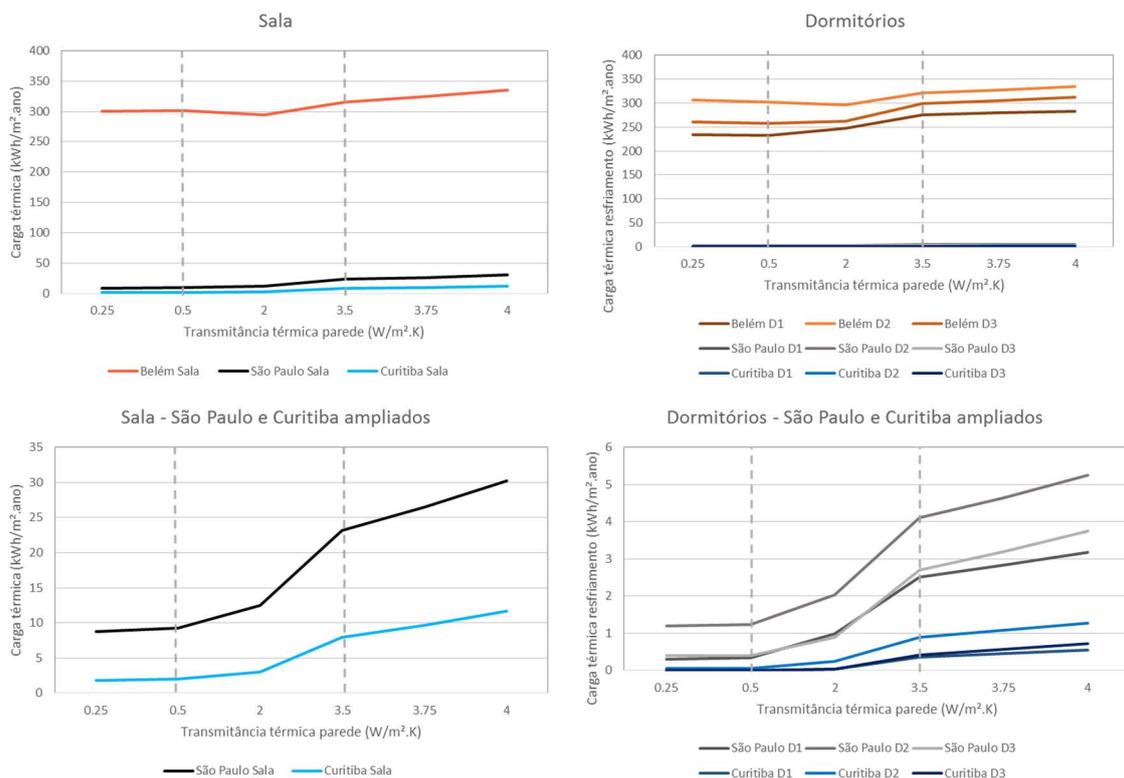
Dentre os dados de entrada analisados, serão apresentados os resultados para o parâmetro transmitância térmica das paredes externas, e exposição do piso (contato com o solo) com relação ao metamodelo de resfriamento e aquecimento.

Em todos os gráficos será utilizada a abreviação D1, D2 e D3, para os dormitórios 1, 2 e 3, respectivamente. Destaca-se também que as figuras possuem escalas diferentes para melhorar a visualização do comportamento do resultado de carga térmica. O clima de Curitiba e São Paulo, por apresentarem valores inferiores a Belém, foram analisados separadamente. As linhas tracejadas verticais indicam os limites máximo e mínimo do metamodelo. O clima de Belém não é considerado para a análise de aquecimento por ser um clima com verões e invernos quentes.

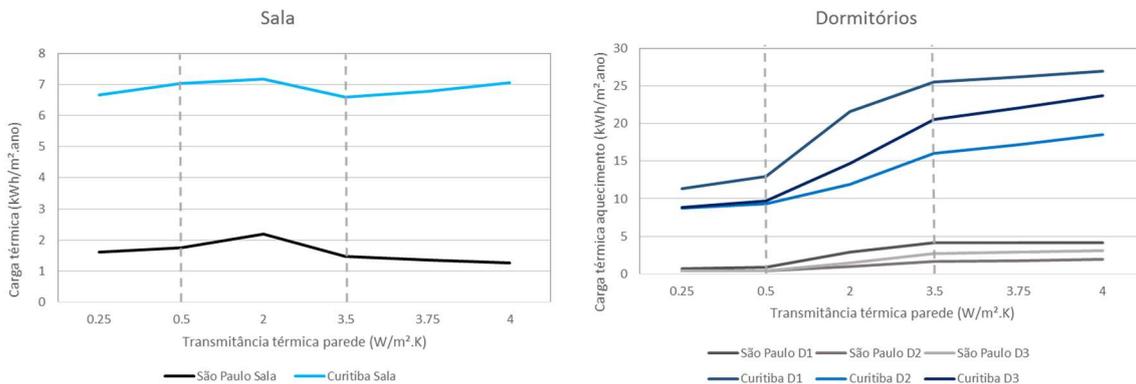
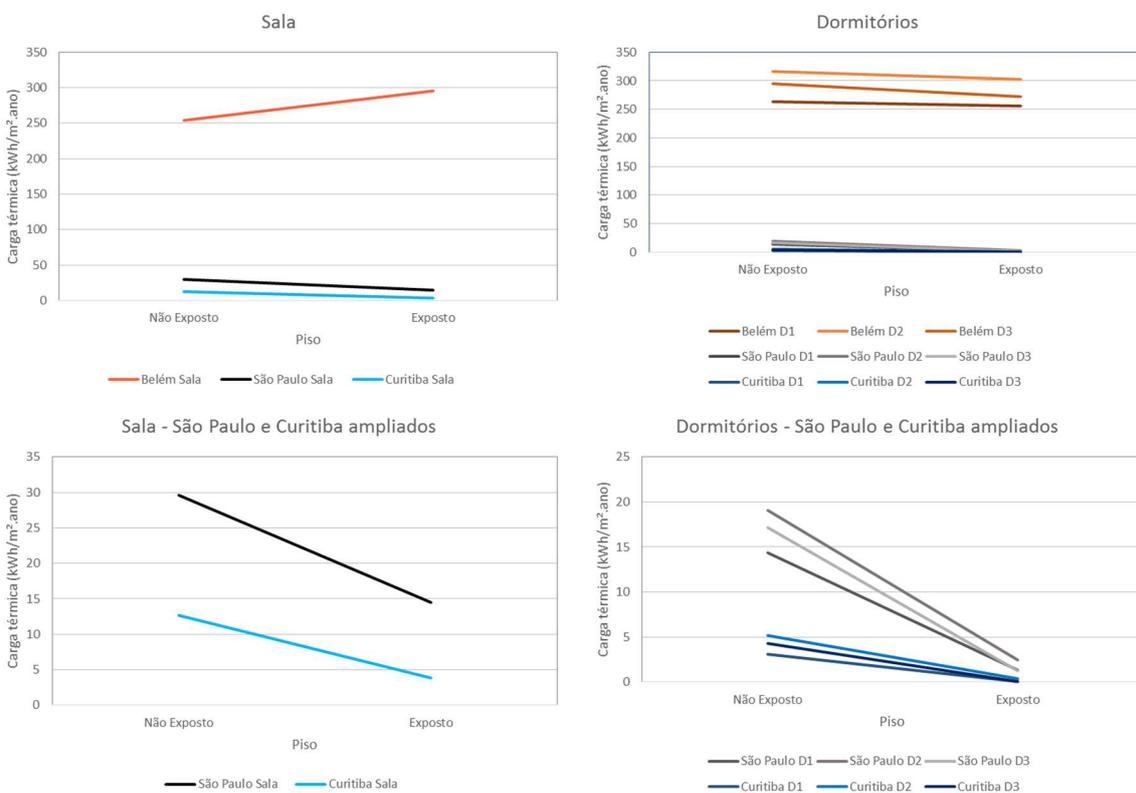
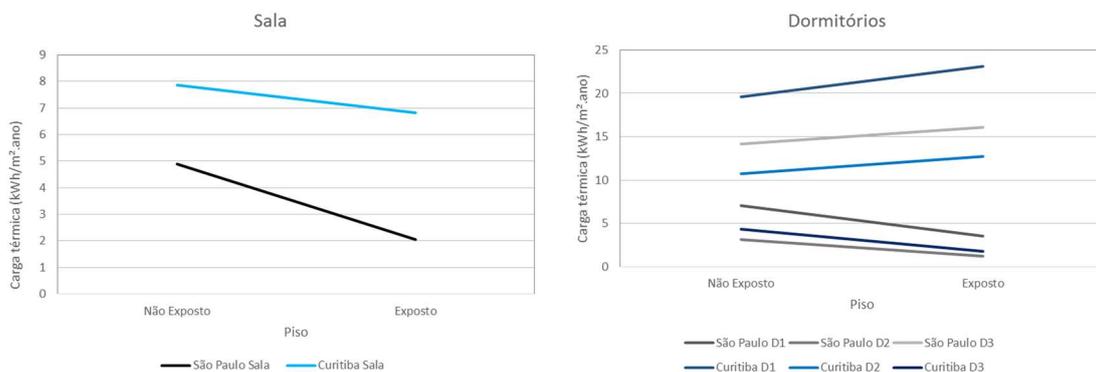
Analisando os resultados, observa-se que o metamodelo respondeu de forma satisfatória para os dados de entrada que estão dentro do limite máximo e mínimo. E, mesmo com os limites extrapolados, a inclinação do gráfico de carga térmica de aquecimento/resfriamento apresentou comportamento semelhante aos valores dentro dos limites para a maioria dos casos.

Para a transmitância térmica das paredes externas, o metamodelo apresentou um aumento da carga térmica com o aumento do valor deste parâmetro. Com os limites extrapolados, o metamodelo teve comportamento semelhante aos valores dentro do limite de aplicação. Na Figura 3 é possível observar a variação para o resfriamento e na Figura 4 para o aquecimento. Em Belém, para a sala, quando utilizado o valor extrapolado de 0,25 W/m<sup>2</sup>.K a carga térmica encontrada foi de 300 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Para 2,00 W/m<sup>2</sup>.K o valor foi 294 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Em São Paulo e Curitiba os valores seguem o mesmo padrão, porém com grandezas inferiores, variando de 0 kWh/m<sup>2</sup>.ano até 30 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Figura 3. Transmitância térmica – resfriamento.



Para a exposição do piso ao solo, somente a sala em Belém aumentou a sua carga térmica com a exposição, o resfriamento passou de 254 kWh/m<sup>2</sup>.ano para 295 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Nos demais ambientes houve redução. Em Belém, a carga térmica reduziu entre 3% e 9% nos dormitórios. Em Curitiba, para o resfriamento, a carga térmica passou de 13 kWh/m<sup>2</sup>.ano para 4 kWh/m<sup>2</sup>.ano na sala e nos dormitórios reduziu entre 93% a 98%, chegando a valores de 0,09 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Para o aquecimento, houve aumento de aproximadamente 15% nos dormitórios, na sala a necessidade de aquecimento reduziu. Em São Paulo o comportamento foi semelhante a cidade de Curitiba para o resfriamento, com reduções menores, mas significativas. A necessidade de aquecimento reduziu em todos os ambientes. Os resultados podem ser visualizados nas Figura 8 e Figura 9.

**Figura 4. Transmitância térmica – aquecimento.**

**Figura 5. Exposição do piso – resfriamento.**

**Figura 6. Exposição do piso – aquecimento.**


## Discussões e Conclusões

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver um metamodelo para a análise da eficiência energética da envoltória de edificações residenciais, considerando simultaneamente o uso de ventilação natural e do sistema de condicionamento de ar em edificações. O estudo deu ênfase no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Com base nos resultados é possível ressaltar as seguintes conclusões:

- A aplicação do método estatístico de redes neurais apresentou resultados com pouca diferença quando comparados com os resultados do programa EnergyPlus;
- A aplicação do método Hipercubo Latino reduz o número de casos a ser gerado para determinada análise, sem influenciar na qualidade dos resultados;
- A aplicação do método estatístico de redes neurais permitiu abranger todas as tipologias com diferentes áreas de projeção de cobertura em uma única equação;
- Os metamodelo de resfriamento, aquecimento e conforto respondem satisfatoriamente a influência dos dados de entrada no dado de saída;
- A combinação dos dados de entrada de uma edificação pode representar em um aumento ou redução da carga térmica de resfriamento da edificação;
- A economia de energia vai depender do clima e das combinações entre os fatores da edificação que está sendo analisada;
- O estudo e análise do potencial de economia de energia da edificação podem auxiliar para uma configuração mais eficiente energeticamente do espaço urbano, o qual é especialmente relevante em países com grande taxa de crescimento nas áreas urbanas, como é o caso do Brasil.

## Agradecimentos

Este trabalho agradece à ELETROBRAS pelos recursos financeiros fornecidos aplicados no financiamento do projeto.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15575-1: Edifícios habitacionais - Desempenho: parte 1: Requisitos gerais. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2013.
- ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. ASHRAE Standard 90.1-2017. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2017.
- AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD. About the Australian Building Codes Board. 2008. Disponível em: <http://www.abcb.gov.au/about-the-australian-building-codes-board> Acesso em: 05 dezembro 2010.
- BRASIL. Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF, 2001b. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf> Acesso em: 24 de março de 2011.
- CALIFORNIA ENERGY COMMISSION. Energy efficiency standards for residential and nonresidential buildings. Sacramento: California Energy Commission, 2001. 166 p.
- DOE – Department of Energy. Programa EnergyPlus - versão 8.7. Disponível em: <https://energyplus.net/> Acesso em: 19 de outubro 2017.
- EU Official Journal, 2003. Directive on the energy performance of buildings 2002/91/CE. 4 of January, 2003.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.pbefedific.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf> Acesso em: março de 2018.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Arquivos Climáticos INMET. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016> Acesso em março de 2018.
- NEN 2916, Energy performance of non-residential buildings - Determination method (em holandês), NNI, Delft (The Netherlands), 1994.
- PÉREZ-LOMBARD, L., ORTIZ, J., GONZÁLEZ, R., MAESTRE, I. R. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. Energy and Buildings, v.41, n.3, p 272-278, 2009.
- RORIZ, M. Proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro – Versão 3.0. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Data: Março de 2014. Disponível em: [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas\\_v3.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v3.pdf). Acesso em: Março de 2018.
- SILVA, A.S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. Ambiente