2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

PHOCT DE UMA UNIDADE HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL PELOS MÉTODOS DE SIMULAÇÃO E SIMPLIFICADO DO INI-R[1]

Natália Marra (1); Patrícia Sofal (2); SOUZA, Roberta (3); VELOSO, Ana Carolina (4); SPAGNOL, Gabriel (5); SALES, Ana Luiza (6)

(1) Arquiteta Urbanista, nataliacnm@gmail.com

(2) Arquiteta Urbanista, psofalc@gmail.com

(3) Departamento TAU da UFMG, robertavgs@ufmg.br

(4) Programa de PG Ambiente Construído da UFMG, acoveloso@gmail.com

(5) Curso de Arquitetura e do Urbanismo da UFMG, gh.spagnol@gmail.com

(6) Curso de Arquitetura e do Urbanismo da UFMG, analuizasales1908@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo contribuir para estudos de caso que comparam os métodos simplificado e de simulação, visando gerar melhores resultados a serem aplicados nas edificações. Para isso, os resultados do percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCt) foram comparados em uma unidade habitacional (UH) padrão de reassentamento urbano, implantada em Belo Horizonte, MG, pelos métodos de simulação e simplificado do INI-R - Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Foi utilizado o programa de simulação computacional Energy Plus, e analisados os ambientes de permanência prolongada da edificação em estudo. Os resultados alcançados demonstraram que, de modo geral, o método de simulação computacional gerou um maior percentual de horas ocupadas em conforto térmico para todos os ambientes analisados quando comparado ao método simplificado.

Palavras-chave: *Eficiência energética. RTQ-R. Simulação computacional. EnergyPlus. INI-R*

ABSTRACT

This study aims to contribute to case studies that compare simplified and simulation methods, to generate the best possible results to be applied in construction. Therefore, the results of the percentage of occupied hours in thermal comfort - PHOCT, were compared in a resettlement low-income housing located in Belo Horizonte, MG, according to the simplified method of INI-R - Inmetro Normative Instruction for Residential Buildings and to computational simulation carried out in EnergyPlus program. The living and the bedrooms of the housing unit were evaluated. The achieved results showed that, in general, the computer simulation method generated a higher percentage of hours of thermal comfort in all rooms when compared to the simplified method.

Keywords*: Energy efficiency. RTQ-R. Computational simulation. EnergyPlus*

---

[1] BRASIL. Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2018. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/2018-09-25-INI-R%20-%20Vers%C3%A3o02.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2019.

1 INTRODUÇÃO

O INI-R, Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, é uma proposta de aperfeiçoamento do RTQ-R (BRASIL, 2012) e, quando foi publicado, possibilitará análises por um método simplificado ou por simulação computacional. O método simplificado se difere do método utilizado atualmente pelo RTQ-R pois se baseia "na análise dos resultados de um conjunto de simulações paramétricas referentes a um número limitado de casos por meio de metamodelagem em redes neurais artificiais" (CB3E, 2018), enquanto o método do RTQ-R, denominado prescritivo, utiliza-se de um método estatístico de regressão linear múltipla. A proposta de alteração, segundo o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E, 2018) decorreu da necessidade de resolver imprecisões no sistema de avaliação, dentre elas, a falta de possibilidade de análise de controle solar dos vidros em todas as zonas bioclimáticas.

O método simplificado do INI-R apresenta limites mínimos e máximos para aplicação das variáveis analisadas tais como: limites de absortância solar das paredes e coberturas, altura do pavimento em relação ao solo, dentre outros. Como resultado de saída, o metamodelo fornece além de análise relativa às cargas térmicas de aquecimento e resfriamento das unidades, o percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCt), possibilitando uma análise diferenciada em relação ao método prescritivo do RTQ-R.

Melo (2012), desenvolveu o método de redes neurais artificiais no cálculo da eficiência da envoltória de acordo com o RTQ-C, e o comparou com o método de regressão linear múltipla, concluindo 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 modelo simplificado. A autora também afirma que os métodos simplificados podem envolver uma incerteza considerável nos resultados. Apesar do aumento da precisão em modelos utilizando-se de redes neurais, a simulação computacional ainda é a forma que mais permite uma análise mais aproximada da edificação real. De acordo com Carlo e Lamberts (2010) no RTQ-C, a simulação é considerado o método mais completo para qualquer análise do desempenho térmico e/ou energético do edifício, proporcionando flexibilidade nas opções que visam à racionalização do consumo de energia.

Dias, Pedrini e Calado (2019) compararam os resultados de desempenho térmico entre os métodos de simulação e prescritivo do RTQ-R em Natal/RN. Os resultados obtidos através de cada método foram classificados entre "A" e "E" para os métodos do RTQ-R. No método prescritivo todos os modelos obtiveram a classificação nível "A" de eficiência energética. Já os resultados obtidos pelo método de simulação aferiram classificação de eficiência energética nível "E" em 100% dos modelos.

Silva (2019) analisou o nível de eficiência energética do Campus Blumenau da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), utilizando os métodos prescritivo e de simulação propostos pelo RTQ-C, e sua pesquisa demonstrou que a classificação geral da envoltória pelo metodo prescritivo foi "B", enquanto para a simulação, obteve-se nível "A".

Segundo a pesquisa realizada por Veloso, Souza e Koury (2013), para edificações comerciais o nível de eficiência de uma edificação pode ser alterado (na pesquisa em questão, reduzido) após a ocupação desta. Portanto, esta pesquisa foi realizada já considerando a taxa de ocupação de cada um dos espaços, para assim obter um resultado mais preciso.

Este trabalho desenvolvido em disciplina de pós-graduação tem como objetivo contribuir para estudos de caso que comparam os métodos simplificado e de simulação, por meio da comparação dos resultados do percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCt) em unidade habitacional (UH) padrão de reassentamento urbano, implantada em Belo Horizonte (Zona bioclimática 3), utilizando os métodos propostos do INI-R, simulação e simplificado, que consideram a ventilação natural.

2 METODOLOGIA

O método aplicado ao estudo se divide em quatro etapas: (1) descrição do objeto de estudo; (2) descrição do método de simulação computacional do INI-R; (3) descrição do método simplificado do INI-R e (4) comparação dos resultados obtidos.

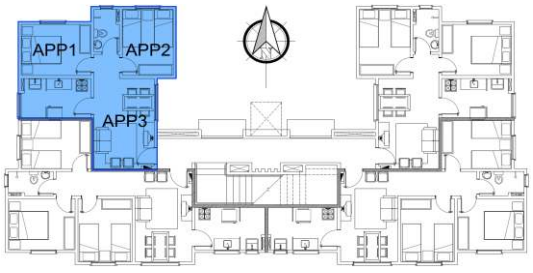
2.1 Descrição do objeto de estudo

No Brasil, segundo pesquisa da Fundação João Pinheiro de 2015, o déficit habitacional corresponde a 6.355 milhões de domicílios, dos quais 87,7%, estão localizados nas áreas urbanas (FJP, 2018).

A política de reassentamento da prefeitura de Belo Horizonte faz parte do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que prevê investimentos em infraestrutura, incluindo habitação. As ações desta política são voltados para a remoção e o reassentamento de famílias removidas em decorrência da realização de obras públicas, que tenham sido vítimas de calamidades ou que sejam moradoras de áreas de alto risco geológico (PMBH, 2020). As edificações são implantadas em diversas áreas da cidade e possuem arquitetura padrão, não levando em consideração as características do clima onde são implantadas, o que pode acarretar desconforto térmico e elevado gasto de energia.

O edifício selecionado para este trabalho, faz parte do programa de reassentamento do município e foi implantado na Vila São José, Região Noroeste de Belo Horizonte. É composto por 16 unidades habitacionais, sendo 4 pavimentos, 4 apartamentos por andar. Não possui pilotis e o projeto é constituído por unidades de 2 ou 3 quartos, com 45,5m² e 57m² respectivamente. Para a análise foi selecionada uma unidade habitacional (UH) de dois quartos (45,5m²), no último pavimento, voltada para a fachada norte (Figura 1).

Figura 1 –Unidade habitacional selecionada para análise

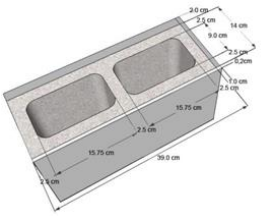


Fonte: Autores, 2019

As paredes externas da tipologia de edifícios são constituídas de alvenaria de bloco de concreto estrutural 14x19x39 cm, argamassa externa 2 cm, camada de gesso interna de 0,2 cm e pintura, conforme podemos observar na Figura 2. As coberturas são compostas por telha de fibrocimento ondulada de 6mm, laje com espessura de

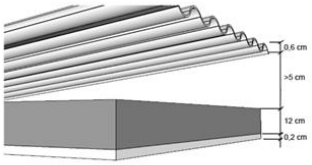
12 cm, revestida com camada de gesso de 0,2 cm, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 2 – Composição das paredes



Fonte: Autores, 2019

Figura 3- Composição das coberturas



Fonte: Autores, 2019

A Tabela 1, apresenta os valores de transmitância e capacidade térmica da cobertura e das paredes, calculados de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Tabela 1 - Valores da composição de paredes e coberturas

	Transmitância térmica - W/ (m².K)	**Capacidade térmica - kJ/ (m².K)**
Cobertura	2,00	299
Parede	2,84	166,53

Fonte: Autores, 2019

2.2 Descrição da simulação computacional

Foi utilizado o programa Energy Plus versão 8.7 para a aplicação do método de simulação, uma vez que este atende aos requisitos definidos pelo INI-R. O modelo considerou as variações horárias de ocupação, a potência de iluminação e equipamentos, a ventilação natural e demais fatores, conforme definição do Anexo C. do INI-R, como podemos observar nas tabela 2, 3 e 4.

Tabela 2 – Dados inseridos a simulação em relação a ventilação natural e fachada

Ambiente	**APP1 -Quarto B**	**APP2 – Quarto A**	**APP3 - Sala**
Fator solar do vidro	0,837	0,837	0,837
Absortância solar das parede externa e cobertura	0,7	0,7	0,7
Fator de altura da abertura janelas	0,9	0,9	0,9
Fator de abertura para ventilação	0,5	0,5	0,5

Fonte: Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Resienciais, 2018

Tabela 3 – Taxa metabólica para cada atividade, padrão de uso e densidade de cargas internas de equipamentos

Ambiente	**Calor produzido para área de pele = 1,80m² (w)**	**Período de uso**	**Potência (w)**
Sala	108	14 h às 21:59	120
Dormitórios	81	-	-

Fonte: Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Resienciais, 2018

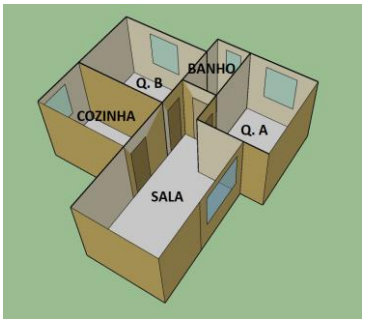
Tabela 4 – Padrões de ocupação e de iluminação para dias de semana e final de semana

Dormitórios(%)				Sala (%)			
Hora	**Ocup.**	**Hora**	**Iluminação**	**Hora**	**Ocup.**	**Hora**	**Iluminação**
1h às 7h	100	1h às 5h	0	1h às 13h	0	1h às 15h	0
8h às 21h	0	6h às 7h	100	14h às 18h	50	16h às 21h	100
22h às 24h	100	8h às 21h	0	19h às 21h	100	22h às 24h	0
		22h às 23h	100	22h às 24h	0		
		23h às 24h	0				

Fonte: Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Resienciais, 2018

A unidade habitacional foi modelada no programa *Sketchup* conforme pode-se observar na Figura 4. Os ambientes simulados foram: cozinha, quarto A e quarto B, sala e banheiro. Foram analisados os resultados dos ambientes de permanência prolongada: Quartos e Sala.

Figura 4 - Modelo simulado no Energyplus



Fonte: Autores, 2019

2.3 Descrição dos parâmetros do método simplificado do INI-R

O método simplificado do INI-R gera resultados obtidos por meio de redes neurais artificiais, inserindo as variáveis na interface em um metamodelo Os resultados são definidos para cada área de permanência prolongada (APP). Os dados utilizados no metamodelo foram: fator de vidro para cada orientação da edificação, área de cada fachada, absortância solar da parede externa e cobertura, tamanho da projeção da edificação, altura do pavimento, se há uso de veneziana, fator de altura e abertura para ventilação, se há pilotis e o tipo de exposição do piso.

As capacidades térmicas de paredes e coberturas são definidas de forma mais genérica, como leve, média ou pesada não sendo calculadas de acordo com os materiais existentes. Não é possível também definir o uso e os equipamentos de cada App.

Para representar a variabilidade dos climas brasileiros no metamodelo, foram selecionadas cidades representativas, muitas vezes diferentes das cidades usadas na simulação na qual é possível utilizar o arquivo climático da cidade analisada. A cidade de Belo Horizonte está inserida no grupo climático 10, que abrange mais 331 municípios.

A Tabela 5, apresenta parte dos dados inseridos no metamodelo.

Tabela 5 – Dados inseridos no metamodelo

	APP1 – Quarto b (9,75m²)	**APP2 – Quarto a (9,22 m²)**	**APP3 – Sala (15,9 m²)**
Capacidade térmica da parede externa	Média (166,53)	Média (166,53)	Média (166,53)
Transmitância da parede externa	3,57	3,57	3,57
Capacidade térmica da cobertura	Pesada (299)	Pesada (299)	Pesada (299)
Transmitância da cobertura	2	2	2
Transmitância do vidro	5,7	5,7	5,7
Fator solar do vidro	0,837	0,837	0,837
Fator de vidro na fachada norte	0,177	0,230	0
Fator de vidro na fachada leste	0	0	0,360
Fator de vidro na fachada sul	0	0	0
Fator de vidro na fachada oeste	0	0	0
Fator de altura da abertura	0,9	0,9	0,9
Fator de abertura para ventilação	0,5	0,5	0,5
Absortância solar parede e cobertura	0,7	0,7	0,7

Fonte: Autores, 2019

2.4 Análise dos resultados obtidos

Os resultados foram comparados a partir do percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCt). O PHOCt é o resultado da média das horas ocupadas em conforto térmico de cada APP ponderada pela respectiva área útil, conforme equação 1.

$$PHOCt = \frac{(\%APP1 \,.AUAPP1 + \ldots + (\%APPn \,.AUAPPn)}{(AUAPP1 + AUAPPn)!} \quad (1)$$

Sendo:

PHOCt o percentual de horas da UH ocupada em conforto térmico quando ventilada naturalmente; $\%APPn$ o percentual de horas de cada APP ocupada em conforto térmico quando ventilada naturalmente; $AUAPPn$ a área útil de cada APP.

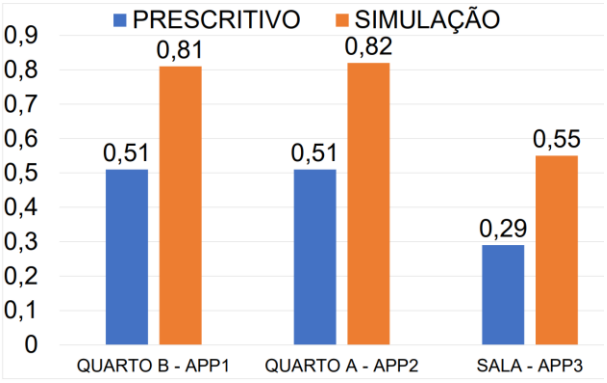
Para o cálculo do percentual de horas ocupadas em conforto térmico foram utilizados os dados de temperatura operativa simulados pelo programa Energy Plus, sendo selecionado a faixa de temperatura anual entre 18ºC e 26ºC do período de ocupação da sala e dos dormitórios definidos conforme anexo C do INI-R. O resultado do PHOCt simulado foi comparado graficamente com o PHOCt obtido pelo metamodelo, para cada ambiente e também para toda a unidade habitacional.

Os resultados foram analisados também por meio de regressão linear múltipla visando a análise da coorelação entre os dados simulados e os dados do metamodelo.

3 RESULTADOS

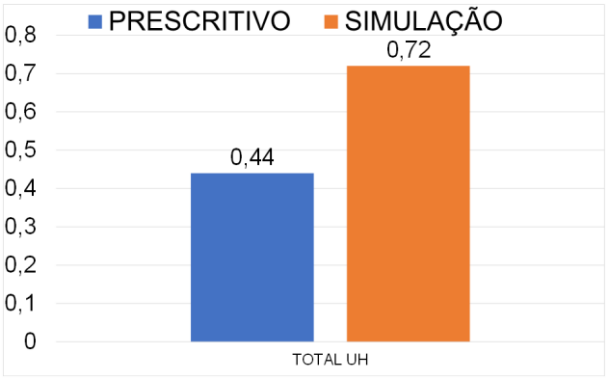
Os resultados foram obtidos para cada APP e ponderados para toda a unidade habitacional, o Gráfico 1 apresenta a comparação dos resultados para cada APP. E o gráfico 2 apresenta o PHOCt da unidade habitacional.

Gráfico 1- Resultado comparativo entre a simulação computacional e o método simplificado para cada APP



Fonte: Autores, 2019

Gráfico 2- Resultado comparativo entre a simulação computacional e o método simplificado para a média ponderada da unidade habitacional.



Fonte: Autores, 2019

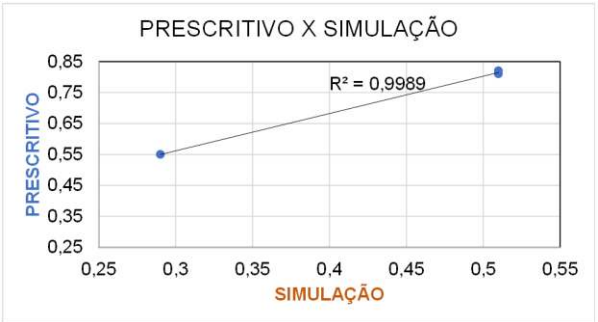
Como podemos observar no gráfico 1, os valores foram mais restritivos no método simplificado em relação aos resultados da simulação. Os ambientes dos quartos apresentaram resultados 37% menores no método simplificado comparado ao valor simulado. Já no ambiente da sala, essa diferença foi de 47%.

Como podemos observar no gráfico 2, os resultados variaram em 38% após a média ponderada, sendo o método simplificado mais restritivo nas análises de percentual de horas em conforto térmico.

Algumas pesquisas que compararam a análise de métodos prescritivos e de simulação obtiveram dados mais restritivos para a simulação, como o caso da pesquisa de Dias, Pedrini e Calado (2019) no qual a análise foi o desempenho térmico da edificação. Já na pesquisa de Silva (2019), os valores mais restritivos foram no método simplificado em relação a classificação geral da edificação.

O gráfico 3 apresenta a coorelação entre os valores simulados e os valores obtidos no metamodelo por meio da análise de dispersão. Podemos observar que apesar da diferença numérica entre eles, os valores variam proporcionalmente.

Gráfico 3- Análise estatística entre os dados do método simplificado e simulados



Fonte: Autores, 2019

4 CONCLUSÕES

O método simplificado do INI-R teve como resultado um valor mais restritivo em relação aos resultados obtidos na simulação computacional para a análise do percentual de horas ocupadas em conforto térmico.

Os resultados dos métodos simplificados, envolvem maiores incertezas em relação aos resultados da simulação computacional, pois a análise é realizada em cada área de permanência prolongada separadamente por meio de inserção de dados, não considerando por exemplo, a real influencia entre os cômodos adjacentes. Além de considerar os dados climáticos de um grupo de cidades, não necessariamente da cidade analisada, diferente da simulação que possibilita a utlização de dados da própria cidade.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2. Desempenho térmico. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. **Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações.** Florianópolis, 2018. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/2018-09-25-INI-R%20-%20Vers%C3%A3o02.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2019.

BRASIL. Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. 2012.

CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2:** método de simulação. 2010. 14 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Florianópolis, 2010.

DIAS, Alice Rück Drummond; PEDRINI, Aldomar; CALADO, Bartira Freitas. **Desempenho térmico da envoltória de edifícios na zona bioclimática 08: comparação entre os métodos de simulação e prescritivo do RTQ-R e o modelo de conforto adaptativo.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 5, n. 11, nov. 2019.

FJP – Fundação João Pinheiro. **Déficit habitacional no Brasil 2015**, Belo Horizonte, 2018.

MELO, Ana Paula. **Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais.** 2012. 187 f. Tese - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

PMBH, Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Política Municipal de Habitação Popular**, Belo Horizonte. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/urbel/proas-reassentamento. Acesso em maio de 2020.

SILVA, Beatrice Silveira da. **Determinação do nível de eficiência energética do bloco A do campus Blumenau da UFSC através do programa procel edifica**. 2019. 83f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de engenharia de energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019

VELOSO, Ana Carolina Oliveira; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de; KOURY, Nicolau Nassar. **Comparação entre os métodos prescritivo e de simulação a partir de dados reais de consumo e ocupação.** 2013. Conferência: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Brasília, 2013.