

# Investigação da carga térmica de resfriamento de uma edificação residencial multifamiliar por diferentes algoritmos de transferência de calor

## Investigation of a building's cooling thermal load multifamily housing by different heat transfer algorithms

<sup>1</sup>Wesley Cecilio Silva 1, <sup>2</sup>Matheus Andrade Duarte, <sup>3</sup>Raquel Diniz Oliveira, <sup>4</sup>Frederico Romagnoli Silveira Lima

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Mecânica – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (wesleycecis@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Mecânica – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (matheusdeandradeuarte@gmail.com)

<sup>3</sup>Professor Associado do Programa de Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (raqueldo@gmail.com)

<sup>4</sup> Professor Associado do Programa de Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (fredericoromagnoli@gmail.com)

**RESUMO:** O consumo de eletricidade referente ao ar condicionado tem relação direta com a carga de calor a ser retirada conforme a capacidade de refrigeração definida para um local específico. Neste contexto, os algoritmos de transferência de calor empregados na estimativa de carga térmica de edifícios são relevantes para auxiliar a definição do sistema de climatização de ambientes. Este estudo objetivou investigar a variabilidade da potência de resfriamento de edificações residenciais, por meio da aplicação de diferentes combinações de algoritmos disponíveis na biblioteca do programa ©Energy Plus, para cálculo da convecção interna/externa e balanço de energia. Foram possíveis trinta combinações que foram organizadas em três grupos de acordo com os algoritmos de convecção interna. Para a verificação dos resultados realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Kruskal Wallis, afim de identificar diferenças significativas nos dados obtidos. Por meio dos resultados dos testes concluiu-se que existe entre os grupos organizados pelo menos uma diferença significativa. Complementarmente, realizou-se também o teste de PostHoc para avaliar em quais grupos as diferenças divergiam mais. Desta forma, a escolha do método numérico mostrou influência significativa na definição dos sistemas de climatização artificial das edificações. Em suma, como contribuição, o presente trabalho buscou demonstrar o peso da escolha de diferentes combinações de algoritmos na estimativa da carga térmica de resfriamento como forma de auxiliar o processo de tomada de decisão ao se definir os seus inputs de simulação.

**Palavras Chave:** Carga térmica; Simulação numérica, ANOVA, Kruskal Wallis; Condicionadores de ar.

**ABSTRACT:** The heat load generated by cooling system capacity settings plays an important role in electricity consumption. Thus, numerical methods for their definition are crucial for the design of HVAC systems. This study aims to investigate the variability of cooling power in residential buildings through different combinations of algorithms available in the E+ library for calculating internal/external convection and energy balance. ANOVA, Kruskal Wallis and Post Hock tests were performed to verify significant differences and which groups diverged the most. Through statistical analysis, it can be concluded that there is at least a significant difference between the organized groups and the groups [SIMPLE ~ Adaptive convection] and [SIMPLE ~ TARP] present considerable differences. Therefore, the choice of algorithm can significantly influence the definition of artificial air conditioning systems in buildings. Thus, as a contribution, the present work sought to point out the weight of choice of different combinations of algorithms in estimating the cooling thermal load as a way to assist in decision making about simulation input configurations.

**Keywords:** Thermal load; Numerical simulation, ANOVA, Kruskal Wallis; Air conditioning.

## 1. INTRODUÇÃO

O relatório do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050) afirma que o setor de edificações é responsável pelo consumo de 1/6 de energia e 50% pelo consumo de eletricidade no Brasil. O relatório também indica que aparelhos de climatização possuem participação relevante no consumo de energia pelas edificações. O PNE 2050 também destaca que o

consumo de energia pelo setor de edificações apresenta tendência de aumento, devido à possibilidade de crescimento dos setores de serviços e comércio e pelo aumento da utilização de equipamentos elétricos - condicionadores de ar, por exemplo – no setor residencial em razão do aumento da renda per capita no longo prazo. Nesse contexto, estimativas indicam que o consumo de energia elétrica devido ao uso de condicionadores de ar pelo setor residencial triplicou entre 2005 e 2017 (EPE, 2018).

A eficiência do equipamento está diretamente relacionada ao quantitativo de carga térmica a ser retirada ou adicionada ao ambiente pela quantidade de energia elétrica que o equipamento consumirá para realizar tais operações. Requisitos para um correto dimensionamento é extremamente necessário, dado que, sistemas mal dimensionados podem resultar em diminuição da eficiência energética da ordem de 20% e redução da sua vida útil superior a 50% em relação aos valores típicos estabelecidos pelo fabricante (PEREIRA et al., 2017).

O dimensionamento de sistemas de climatização artificial nas edificações tem como etapa fundamental a estimativa da carga térmica circundante nos ambientes internos. Essa avaliação por meio de modelos numéricos exige uma reprodução detalhada dos fenômenos de transferência de calor, visto que, o balanço energético é equacionado pelas trocas de calor que ocorrem na envoltória, juntamente com àquelas ocorridas em razão do uso dos equipamentos elétricos e da rotina dos ocupantes (BATISTA, LAMBERTS e GÜTHS, 2011). Essas trocas térmicas dependem diretamente da natureza das superfícies na qual elas ocorrem e de suas interações com o ambiente. Nesse sentido, o ©Energy Plus possui um conjunto de algoritmos categorizados por mecanismos de troca de calor empíricos para caracterizar o balanço térmico (BIGLADDER, 2020).

Diante desse cenário, fica evidente a necessidade de estudos que viabilizem medidas sustentáveis e eficientes energeticamente para climatização artificial, e que incorpore requisitos fundamentais quanto ao correto dimensionamento de tais sistemas. Esses estudos podem ser realizados por meio de modelos termo energéticos em softwares de simulação numérica computacional como o ©Energy Plus.

Rasul (2017) modelou e analisou o desempenho do sistema de ar condicionado dessecante em um edifício institucional em clima subtropical semelhante ao de Central Queensland e investigar se a incorporação de um sistema de resfriamento dessecante é capaz de reduzir o consumo de energia do existente Sistema HVAC. A análise envolveu a modelagem do edifício de referência usando o OpenStudio e Energy Plus, afim de determinar requisitos de resfriamento/aquecimento. O modelo é validado com dados medidos no local registrados no sistema de gerenciamento predial (BMS).

Nassif (2018) utilizou o Energy plus para comparar um modelo de energia calibrado com dados de uma bobina de ar de expansão direta (DX) de velocidade única para prever potência do compressor, capacidade térmica, coeficiente de desempenho (COP). O modelo proposto usou análise de regressão não linear de dados online coletados de um sistema de automação predial típico e dados do fabricante. Os resultados mostraram que o modelo pôde capturar com precisão o desempenho do sistema de ar condicionado DX em comparação com o modelo EnergyPlus DX.

Shen et al. (2019) acoplaram Computational Fluid Dynamics (CFD) a uma simulação de forma a possibilitar as iterações de parâmetros de projeto de vizinhança, bem como geração de modelo de simulação no ©Energy Plus. Neste estudo, além de usar o método CFD acoplado para prever o coeficiente de transferência de calor (CHTC) por convecção externa de construção, todos os cinco algoritmos de transferência de calor disponíveis no ©Energy Plus foram usados e comparados. O CHTC calculado pelos algoritmos Adaptive Convection e Simple Combined foi o mais próximo do método proposto em seu estudo.

Costanzo et al. (2014) analisaram o coeficiente convectivo externo devido ao vento horizontal em uma cobertura de escritório em Catania, Itália. Dados obtidos via simulação no ©Energy Plus foram comparados com coeficientes convectivos obtidos via medição e a influência de tais coeficientes na temperatura da superfície da cobertura avaliada. No estudo, foram estabelecidas duas configurações de cobertura para o escritório: com telhas de barros convencionais e sem telhas, mas com a superfície externa da cobertura pintada de branco. Os resultados indicaram que o benefício de se utilizar cada configuração é influenciado pelo cálculo dos coeficientes convectivos na simulação. O algoritmo DOE-2 do ©Energyplus, por exemplo, apresentou maior imprecisão nos valores de coeficientes calculados do que o algoritmo Adaptive model, tendo como base valores obtidos via medição.

Devido à variabilidade dos algoritmos de transferência de calor disponível na biblioteca do © Energy Plus, é relevante realizar um estudo comparativo para analisar o comportamento de cada grupo de algoritmos na estimativa de carga de resfriamento de edifícios residenciais brasileiros, visto que a potência de resfriamento está diretamente relacionada ao consumo operacional de energia elétrica de sistemas condicionadores de ar. Este estudo tem como objetivo, portanto, analisar o impacto do uso de diferentes algoritmos de condução e convecção disponíveis no software ©Energy Plus v.9.3 para uma residência, localizada no Rio de Janeiro, RJ. Buscou-se padrões nos resultados obtidos por meio de combinações de algoritmos e verificar a influência deles no dimensionamento da potência de resfriamento para climatização.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

Para análise do objetivo proposto adotou-se como referência uma edificação de cunho social, e baseou-se em estudos anteriores (OLIVEIRA, 2019). Desta forma, este trabalho está dividido em cinco etapas metodológicas: Apresentação do objeto de estudo; Modelagem virtual do objeto de estudo; Combinação dos algoritmos para simulação; pressupostos da simulação e Análise estatística.

### 2.1 Apresentação do objeto de estudo

O objeto deste estudo consiste em um bloco com 5 pavimentos constituído de 20 apartamentos de 2 quartos com área equivalente a 43,95 m<sup>2</sup> e 2,60 m de pé direito, cada unidade, conforme a planta baixa mostrada pela Figura 1.

Figura 1 - Planta baixa 2 quartos



Fonte: Adaptado de Oliveira (2019)

O bloco de apartamentos faz parte de um conjunto habitacional que está localizado no Rio de Janeiro-RJ, construído pelo programa Minha Casa e Minha Vida. Por meio da Figura 2 é possível observar a área total do conjunto e mais especificamente o lote em que o bloco estudado faz parte.

Figura 2 - Localização do objeto de estudo



Fonte: Adaptado de Oliveira (2019)

Observa-se por meio da Figura 3 o objeto de estudo com uma das fachadas voltada para o norte e a disposição espacial em relação aos blocos de apartamentos e elementos vizinhos. Os 20 apartamentos pertencente ao bloco de estudo foram categorizados por pavimento e por orientação geográfica, conforme denotado pela Tabela 1.

Figura 3 - Foto do objeto de estudo



Fonte: Adaptado de Oliveira (2019)

Tabela 1 – Categorização por pavimento e orientação geográfica dos apartamentos

Pavimento	Norte - Leste	Sul - Leste	Sul - Oeste	Norte - Oeste
1	101	102	103	104
2	201	202	203	204
3	301	302	303	304
4	401	402	403	404
5	501	502	503	504

As paredes externas do edifício são formadas por concreto maciço com espessura de 0,1m revestido por pintura texturizada alternando entre as cores verde, branco e marrom com os valores de absorvâncias equivalentes a 0,9, 0,3 e 0,9 respectivamente estimados por Oliveira (2019) a partir da medição com auxílio de um espectrômetro de refletância Alta II. As paredes internas são compostas por paredes maciças de concreto e possuem 0,1m de espessura, revestidas com pintura branca. O piso entre andares consiste em uma laje de concreto maciço, 0,1m de espessura, com revestimento cerâmico e a cobertura da edificação é composta por telha de fibrocimento com espessura equivalente a 0,006 m, câmara de ar não ventilada com resistência térmica equivalente a 0,2100 m<sup>2</sup> K/W. O valor do coeficiente convectivo usado para o cálculo de resistência térmica foi corrigido conforme metodologia apresentada no capítulo 19 da ASHRAE (2009). As portas externas e internas são de madeira, possuem 0,03m de espessura e as janelas de vidro comum incolor com espessura de 0,004m. Por meio da Tabela 2 observa-se algumas propriedades dos materiais construtivos considerado.

Tabela 2 – Propriedades dos elementos construtivos da edificação

Propriedades	Concreto	Fibrocimento	Cerâmica	Vidro
Espessura [m]	0,1	0,006	0,008	0,004
Condutividade [W/m.K]	1,75	0,95	0,9	0,9
Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	2.400	1800	1.300	2500
Calor Específico [J/kg.K]	1.000	840	920	840
Absortância	0,9	0,9	0,7	0,8

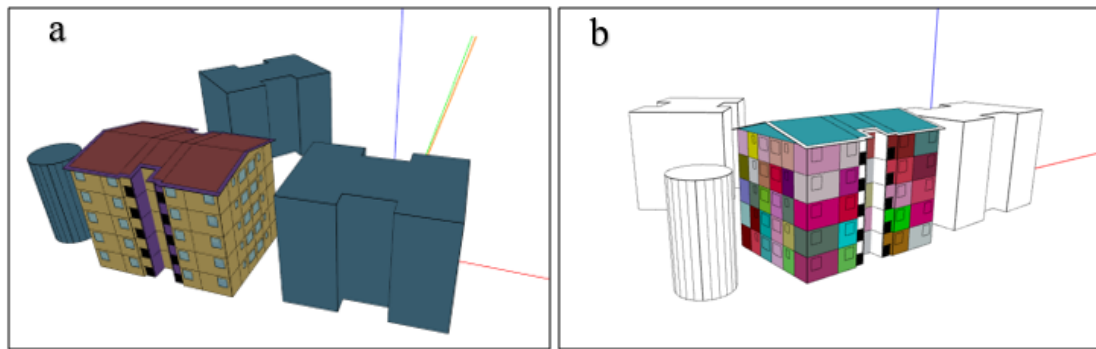
Fonte: Adaptado de NBR 15220 (ABNT, 2013)

## 2.2 Modelagem virtual do objeto de estudo

O modelo termo energético foi construído com características similares à edificação real no que se refere a envoltória, materiais construtivos, aberturas, orientação solar e volumetria. As considerações acerca das características construtivas fundamentaram-se na NBR 15220 (2005) e as particularidades relacionadas a rotina de uso, rotina operacional de equipamentos, ocupação e parâmetros termodinâmicos fundamentou-se na metodologia de simulação apresentada pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residências (RTQ-R) publicado no ano de 2012. Cada apartamento foi modelado considerando cada cômodo uma zona térmica, visto que, cada ambiente pode possuir comportamento diferente das demais. O zoneamento térmico, a classificação de ambientes, as análises de condição de contorno e a construção de elementos de sombra do tipo site e *buliding* foi realizado com auxílio do software ©*SketchUp Make* 2017. O comportamento da carga térmica foi simulado no software ©*Energy Plus* versão 9.3.0, com o auxílio do *plugin* ©*Open Studio*. Na Figura 4 (a) é mostrada edificação modelada e geolocalizada. Na Figura 4 (b) a imagem caracteriza a classificação das zonas térmicas.



Figura 4- Edificação modelada e zoneada termicamente



Observa-se na Figura 4 (a), (b) objetos circundantes à edificação de estudo, esses elementos vizinhos foram inseridos com o intuito de aproximar os resultados de simulação as condições reais de regime de vento e incidência de radiação solar. De acordo com Shen et al. (2019), a forma da vizinhança exerce uma influência complexa no microclima local. Se o microclima da vizinhança for ignorado, erros no cálculo do desempenho energético do edifício poderão ser observados.

### 2.3 Combinação dos algoritmos para a simulação

Buscou-se combinar diferentes algoritmos afim de se avaliar possíveis distorções no dimensionamento da carga de resfriamento obtido por meio de simulação numérica. Desta forma, obteve-se 30 combinações possíveis entre os algoritmos conforme apresentado no Quadro 1. As combinações foram divididas em três grupos. As divisões se fundamentaram nos três tipos de algoritmos de convecção de superfícies interna. Para cada grupo de combinação, variaram-se os algoritmos de convecção de superfície externa e condução. Essa estratégia foi adotada afim de se realizar a análise de variâncias.

Quadro 1 – Algoritmos para cálculos de transferência de calor e balanço de massa

Mecanismo de transporte	Algoritmos do ©Energy Plus					
	Convecção	Interna	Simple	Tarp	Adaptative convection algorithm	na
Externa		Simple combined	Doe -2			MoWitt
Condução	na	Conduction transfer function		Conduction finite difference		

Fonte: Adaptado de BIGLADDER (2020).

#### 2.3.1 Algoritmos de convecção em superfícies internas

Para simulações de convecção em superfícies internas o ©Energy Plus determina o algoritmo *Thermal Analysis Research Program* (TARP) como padrão. Este modelo correlaciona o coeficiente convectivo de troca de calor com a temperatura interna para diferentes tipos de superfícies (BIGLADDER, 2020). Para superfícies verticais, o coeficiente convectivo ( $h$ ) é obtido pela Equação 1, definida pela norma ASHRAE (1985) ao passo que para superfícies inclinadas e horizontais, tem-se duas condições definidas: estável, representada pela Equação 2, quando o fluxo de ar é retardado em relação a superfície, e instável, representada pela Equação 3, quando o fluxo de ar é intensificado (BATISTA; LAMBERTS; GÜTHS, 2011).

$$h = 1,31 |\Delta T|^{1/3} \quad (1)$$

$$h = \frac{1,80 |\Delta T|^{\frac{1}{3}}}{1,382 + |\cos \Sigma|}$$

$$h = \frac{9,842 |\Delta T|^{\frac{1}{3}}}{7,238 + |\cos \Sigma|}$$

Onde:  $|\Delta T|$  (°C) é o módulo da diferença entre a temperatura da superfície e a temperatura do ar e  $\cos \Sigma$  é o cosseno do ângulo de inclinação da superfície.

O modelo *Simple* aplica coeficientes convectivos ( $h$ ) constantes que são dependentes da inclinação da superfície (BIGLADDER, 2020). Para superfícies verticais  $h = 3,076$  [W/m<sup>2</sup>K]; para superfícies horizontais com convecção reduzida  $h = 0,948$  [W/m<sup>2</sup>K]; para superfícies horizontais com convecção intensa  $h = 4,404$  [W/m<sup>2</sup>K]; para superfícies inclinadas com convecção reduzida  $h = 2,281$  [W/m<sup>2</sup>K]; para superfícies inclinadas com convecção intensa  $h = 3,870$  [W/m<sup>2</sup>K]; para superfícies inclinadas com convecção (ASHRAE, 1985).

O modelo matemático do tipo *Adaptive Convection Algorithm* foi desenvolvido por Beausoleil-Morrison (2002) e é um algoritmo dinâmico que reconhece uma variedade de modelos para cálculo do coeficiente convectivo e seleciona aquele que melhor se aplica dada as condições do fluxo de calor (BIGLADDER, 2020).

### 2.3.2 Algoritmos de convecção em superfícies externas

O algoritmo TARP para convecção externa combina convecção natural ( $h_n$ ) e a convecção forçada ( $h_f$ ) por meio de correlações obtidas em testes de laboratório em superfícies planas (BIGLADDER, 2020). O cálculo para o coeficiente convectivo por convecção natural ( $h_n$ ) é realizado pelas Equações 1, 2 e 3. Para a convecção forçada, o cálculo é realizado por meio da Equação 4 (BIGLADDER, 2020).

$$h_f = 2,537 W_f R_f \frac{PV^{1/2}}{A} \quad (4)$$

Onde  $W_f$  é igual a 1,0 para superfícies barlavento (lado de onde sopra o vento) e  $W_f$  igual a 0,5 para superfícies sota-vento (lado oposto ao lado do qual sopra o vento);  $V$  [m/s] é a velocidade de vento medida acima do centroide da superfície;  $P$  [m] é o perímetro da superfície e  $A$  [m<sup>2</sup>] é a área da superfície. O  $R_f$  é o índice de rugosidade da superfície. Segundo Walton (1983), esse índice é igual a 1 para vidros, 1,11 para gesso liso, 1,13 madeiras; 1,52 para o concreto, 1,67 para tijolos e 2,17 para reboco. Por fim, a correlação é dada pela Equação 5.

$$h_c = h_n + h_f \quad (5)$$

O modelo DOE-2 utiliza as Equações 6 e 7 para o cálculo dos coeficientes convectivos em superfícies macias e duras, respectivamente (BIGLADDER, 2020).

$$h_m = \sqrt{(h_n)^2 + (aV)^{2b}} \quad (6)$$

$$(7)$$

$$h_d = h_n + R_f (h_m - h_n)$$

Onde  $h_m$  e  $h_d$  são os coeficientes para superfícies macias e duras, respectivamente;  $h_n$  é o coeficiente de convecção natural;  $a$  e  $b$  são constantes obtidas pelo software;  $V$  [m/s] é a velocidade de vento medida acima do centroide da superfície e  $R_f$  é o índice de rugosidade da superfície.

O *Adaptative Convection Algorithm* para superfícies externas possui um funcionamento semelhante ao descrito para superfícies internas.

O algoritmo *Simple Combined* utiliza a rugosidade da superfície externa e a velocidade do vento para calcular o coeficiente convectivo da superfície. Desta forma utiliza-se a Equação 8 para o cálculo deste coeficiente (BIGLADDER, 2020):

$$h = D + EV + FV^2 \quad (8)$$

Onde  $V$  [m/s] é a velocidade do vento medida acima do centroide da superfície  $D$ ,  $E$  e  $F$  os coeficientes de rugosidade da superfície estabelecidos pela (ASHRAE, 1989).

Por fim, o ©Energy Plus apresenta o algoritmo *MoWit* que é baseado em medições no laboratório *Mobile Window Thermal Test*. O algoritmo é indicado para superfícies verticais e macias. O cálculo do coeficiente de transferência de calor é feito de acordo com a Equação 9 (BIGLADDER, 2020).

$$h = \sqrt{CT^{1/3} + (aV^b)^2} \quad (9)$$

Onde  $C$  [ $W/m^2 K^4/3$ ] é a constante de convecção natural turbulenta,  $T$ (K) é a diferença de temperatura entre a superfície e o ar e  $V$  [m/s] a velocidade do ar. As constantes  $a$  e  $b$  são dadas por Booten, Kruis e Christensen (2012).

### 2.3.3 Algoritmos de condução

Na condução, o ©Energy Plus apresenta os algoritmos *Conduction Transfer Function* e *Conduction Finite Difference* para a realização do balanço térmico na edificação. Segundo Batista, Lamberts e Güths (2011), esse modelo relaciona o fluxo de calor instantâneo por condução com registros de temperatura e fluxo de calor. Por meio de coeficientes pré-calculados, o algoritmo relaciona uma dada condição ambiental com a resposta transiente do elemento construtivo. O *Conduction Finite Difference* separa os elementos construtivos da edificação em unidades distintas chamadas “nós” internos. A transferência de calor no interior de cada elemento é determinada em função do gradiente de temperatura entre nós adjacentes (BATISTA; LAMBERTS; GÜTHS, 2011).

### 2.4 Pressupostos de simulação

Para o presente trabalho, a título de simplificação, optou-se por realizar simulações no primeiro, terceiro e quinto pavimento. As características dos apartamentos localizados no segundo e quarto pavimento eram semelhantes àqueles do terceiro (sem contato com o piso e/ou cobertura) e, por isto, foram suprimidos. Cada pavimento possui 4 unidades residenciais denominados apartamentos 101, 301, 501 com orientações geográficas voltadas a norte e leste, os apartamentos 104, 304 e 504, possuem suas fachadas voltadas para o norte e oeste, os

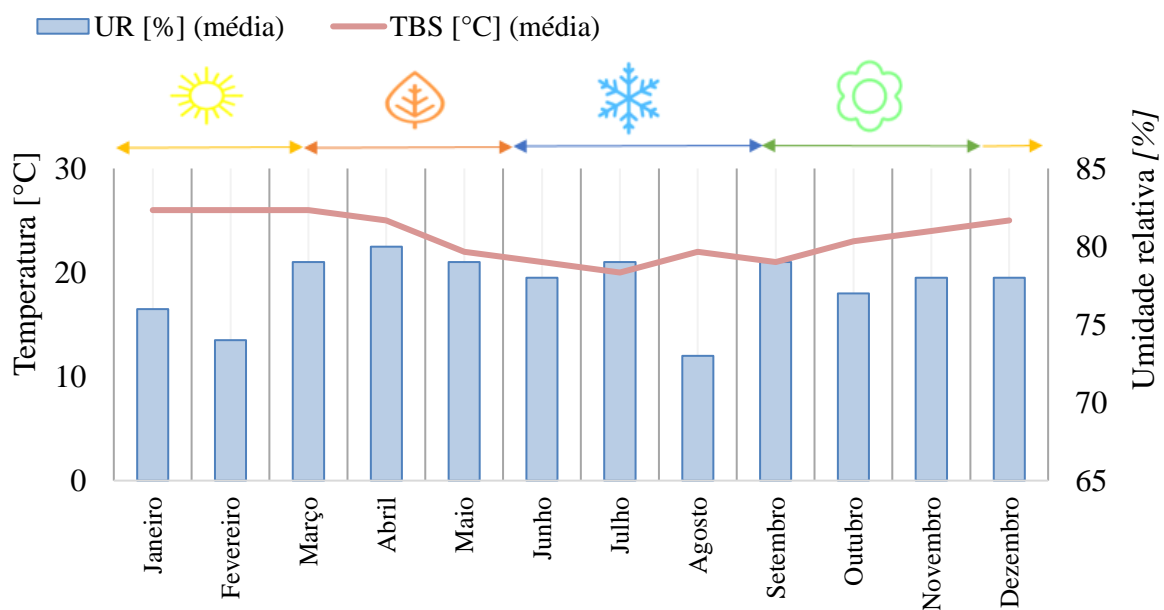


apartamentos 102, 302 e 502 apresentam orientações com fachadas a sul e a leste e os apartamentos 103, 303 e 503 com faces voltadas para o sul e oeste.

Como input da simulação utilizou-se um arquivo climático do tipo *SWERA*<sup>1</sup>, para o Aeroporto de Santos Dumont-RJ. A escolha de tal formato se deve ao fato do mesmo ser o único que representa a localidade mais próxima do objeto deste estudo. Também foram atribuídos o arquivo *Design Day* presente no arquivo climático, afim de se avaliar os extremos de temperatura para a localidade abordada. A Figura 5 representa os dados em forma de gráfico especificando as estações do ano. Sabe-se que a temperatura do solo possui grande influência nas simulações devidas as intensas trocas de energia com o ambiente interno (BATISTA; LAMBERTS; GÜTHS, 2011).

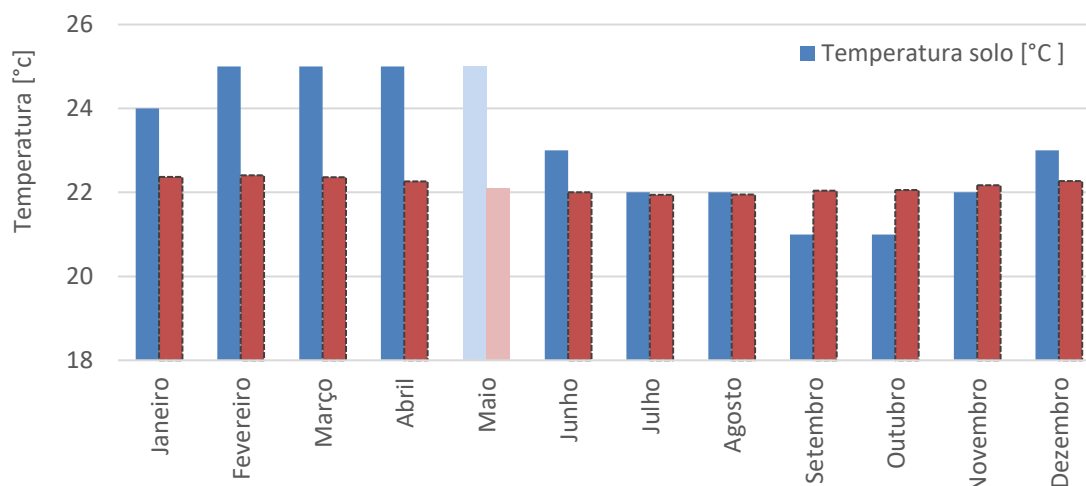
Para determinar com maior precisão a temperatura do solo, utilizou-se o pré-processador *Slab* para realizar o ajuste de temperatura do solo mensal. Essa adaptação foi realizada utilizando o manual de simulação computacional abordado por Mazzaferro et. al (2013). Na Figura 6 é possível observar que a maior diferença entre a temperatura média presente no arquivo climático em relação ao tratamento realizado no “Slab” ocorre no mês de maio, cerca de 2,91°C de diferença.

Figura 5 - Variáveis climáticas da cidade de Santos Dumont -RJ



<sup>1</sup> *Solar and Wind Energy Resource Assessment* disponível no Website do ©Energy Plus (DOE; NREL, [2015]).

Figura 6 - Comparação de temperatura de solo slab



A temperatura de projeto do ambiente condicionado foi estabelecida conforme a Tabela 3 da ABNT NBR 16655-3 (2018), sendo escolhida a condição 1, em que se considera o valor de temperatura de bulbo seco equivalente a 24°C com uma umidade relativa de 50% a uma pressão atmosférica de 100,73 kPa, umidade absoluta de 0,0094 kg<sub>vapor</sub>/kg<sub>ar</sub> seco a um volume específico de 0,860 m<sup>3</sup>/kg e entalpia de 47,92 kJ/kg. Essas características foram definidas para a estação de verão. Os recintos adjacentes não condicionados analisados na edificação consistem nos corredores (área comum), dessa forma foi considerado 3°C a mais na temperatura de bulbo seco do ar externo para esses espaços. A parcela não controlada da infiltração e ventilação externa ficou em função do valor mínimo recomendado pela norma ABNT NBR 16655-3 (2018), 3,6 m<sup>3</sup>/h x m<sup>2</sup>

## 2.5 Análise estatística

Visando alcançar o objetivo desta pesquisa, elaborou-se a seguinte pergunta, “A estimativa da carga de resfriamento sofre influência significativa devido a utilização de diferentes combinações de algoritmos na sua simulação numérica?”. Para responder essa pergunta, foi necessário a realização de uma análise de variância em que se formulou-se uma hipótese nula considerando as médias dos grupos equivalentes, se o valor de p for maior que 0,05 e uma hipótese alternativa, em que, existe pelo menos uma diferença entre as médias dos grupos se o valor de p for equivalente a 0,05 ou menor. Essas hipóteses contaram com um intervalo de confiança equivalente a 95%.

Para a realização da ANOVA é necessário que os dados apresentem as seguintes idealidades: Os dados devem apresentar normalidade, homogeneidade e a inexistência de outliers extremos (STOCHERO, JACOBI e LÚCIO, 2020). Utilizou-se o Excel para a organização dos dados e para realizar a conversão do arquivo para o formato .CSV. Os dados foram importados no *Rstudio* como banco de dados. Para a realização da análise de variância foi necessário a utilização das seguintes bibliotecas disponíveis no software: *RVAideMemoire*, para avaliar a normalidade dos dados por meio do teste de *Shapiro-Wilk*; *DescTools*, para avaliar a homogeneidade dos dados por meio do teste de *Levene* e também para realização do teste de *PostHoc- Tukey HSD*. Utilizou-se a biblioteca “*Car*” - para a análise de outliers por meio do *boxplot*. Carregou-se também o pacote *factanal* para realizar o teste de variância. As bibliotecas “*dplyr*” e “*psych*” foram carregadas para realizar a manipulação de dados e para disponibilizar alguns grupos de funções respectivamente (CHAMBERS, 2008).

Optou-se em realizar o teste não paramétrico de *Kruskal Wallis*, visto que os dados não atenderam alguns dos pressupostos necessários para a realização da ANOVA (RIBOLDI et al.,

2014). A realização do teste ocorreu no ambiente do Rstudio e utilizou-se as mesmas bibliotecas carregadas anteriormente. Formulou-se também uma hipótese nula em que os valores das medianas dos grupos são equivalentes se  $p$  for maior que 0,05 e uma hipótese alternativa considerando que existe pelo menos uma diferença significativa entre as medianas dos grupos se  $p$  for equivalente a 0,05 ou menor (OSTERTAGOVA, OSTERTAG e KOVÁČ, 2014).

Considerou-se também a utilização do teste de Post Hoc, afim de se observar a potência do estudo. Para esse teste utilizou-se o modelo de Duncan com adaptação de  $p$  utilizando o método de *Bonferroni*. Optou-se em utilizar esse método devido ao seu caráter mais conservador (GIRARDI, CARGNELUTTI FILHO e STORCK, 2009).

Para a realização dos testes de PostHoc contou-se também com uma avaliação do grau de significância [SG] que é composto por caracteres especiais, em que [\*] apresenta um grau de diferença baixo, [\*\*] grau da diferença médio, [\*\*\*] grau da diferença elevado e [\*\*\*\*] grau da diferença muito elevado. Os demais caracteres especiais representam que não existe grau de diferença considerável.

### 3. RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os valores de médias e medianas obtidos como saída na simulação com os grupos de combinações mostradas no Quadro 1. Os valores apresentados na Tabela 3 correspondem a soma de calor sensível instantâneo, atrasado e calor latente, totalizando o calor total a ser retirado dos ambientes.

De acordo com a Tabela 3 nota-se que os apartamentos com as faces voltadas para norte apresentam maiores cargas térmicas quando comparado as médias dos grupos de algoritmos. Observa-se também uma tendência no aumento da carga térmica em relação a altitude que o apartamento está localizado. Esse aumento pode ser observado comparando as médias das residências 101, 301 e 501, o mesmo ocorre para as residências 102, 302 502, 103, 303 e 503 e também para o 104, 304 e 504, exceto para a grupo do algoritmo *TARP*<sup>2</sup>, mais especificamente entre as residências 304 e 504.

Tabela 3– Carga térmica de resfriamento conforme os diferentes tipos de algoritmos

Residências	Orientação Fachadas	<i>Tarp</i>		<i>Simple</i>		<i>Adaptative Convection</i>	
		Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
101	Norte/Leste	3,98	4,02	4,16	4,19	3,86	3,89
102	Sul/Leste	3,21	3,20	3,39	3,38	3,13	3,13
103	Sul/Oeste	3,47	3,49	3,62	3,62	3,38	3,41
104	Norte/Oeste	4,53	4,59	4,62	4,67	4,37	4,43
301	Norte/Leste	4,47	4,49	4,66	4,68	4,33	4,35
302	Sul/Leste	3,52	3,52	3,74	3,73	3,42	3,43
303	Sul/Oeste	4,04	4,05	4,20	4,22	3,92	3,92
304	Norte/Oeste	4,82	4,85	4,94	4,96	4,67	4,70
501	Norte/Leste	4,06	4,07	4,35	4,37	3,96	3,97
502	Sul/Leste	3,79	3,80	4,07	4,07	3,70	3,72
503	Sul/Oeste	4,73	4,76	4,98	5,00	4,68	4,71
504	Norte/Oeste	4,80	4,79	5,05	5,07	4,74	4,78

Valores em Kw [1kW = 3412,14 Btu/h]

<sup>2</sup> O algoritmo *TARP* para convecção externa combina convecção natural ( $h_n$ ) e a convecção forçada ( $h_f$ ) por meio de correlações obtidas em testes de laboratório em superfícies planas (BIGLADDER, 2020).

Para o teste de normalidade, assumiu-se duas hipóteses. A hipótese nula, em que os valores são normais se os valores de  $p$  forem maiores que 0,05 e a hipótese alternativa em que os valores são anormais se os valores de  $p$  forem iguais ou menores que 0,05. Por meio da Tabela 4 observa-se que os resultados para as residências 101, 103, 104 e 303 apresentam valores de  $p$  menor que 0,05. A partir dessa observação assumiu-se a hipótese alternativa para esses dados, ou seja, os resultados para estes apartamentos apresentam características anormais. Os resultados para os demais apartamentos apresentaram dados normais, visto que o valor de  $p$  é maior que o grau de significância assumido, 0,05. Para esta condição assumiu-se a hipótese nula. Ainda na Tabela 4 é mostrado o valor de  $[w]$ , considerado um valor estatístico que mede a normalidade dos dados. Quando mais próximo de 1, maiores as chances de os dados serem normais.

Tabela 4– Resultado teste de normalidade conforme os diferentes tipos de algoritmos

Residências	Orientação Fachadas	Tarp		Simple		Adaptative Convection	
		w	p	w	p	w	p
101	Norte/Leste	0,82	0,03	0,81	0,02	0,82	0,03
102	Sul/Leste	0,94	0,53	0,85	0,06	0,94	0,54
103	Sul/Oeste	0,74	0,00	0,88	0,13	0,75	0,00
104	Norte/Oeste	0,83	0,03	0,82	0,03	0,83	0,03
301	Norte/Leste	0,90	0,24	0,88	0,13	0,90	0,24
302	Sul/Leste	0,86	0,07	0,94	0,54	0,89	0,18
303	Sul/Oeste	0,83	0,03	0,81	0,02	0,83	0,03
304	Norte/Oeste	0,90	0,23	0,94	0,24	0,90	0,24
501	Norte/Leste	0,91	0,28	0,92	0,39	0,92	0,32
502	Sul/Leste	0,90	0,23	0,92	0,37	0,92	0,32
503	Sul/Oeste	0,91	0,27	0,92	0,32	0,91	0,27
504	Norte/Oeste	0,93	0,42	0,93	0,47	0,93	0,43

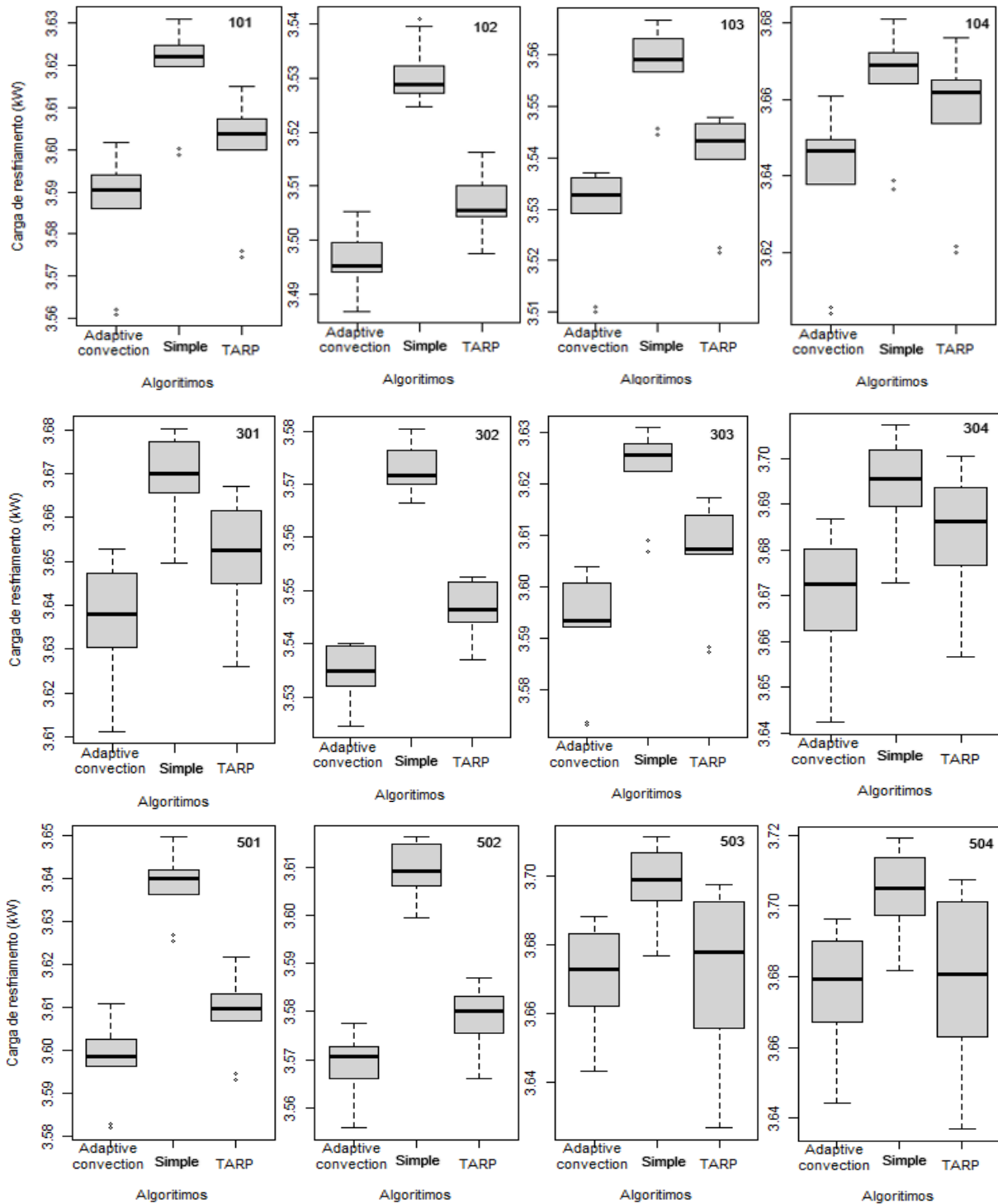
Na Tabela 5 é mostrado o resultado do teste de *Levene*, em que  $[f]$  é o valor estatístico,  $[df]$  é o grau de liberdade e  $[p]$  é o valor significativo. Assumiu-se também duas hipóteses. Hipótese nula quando as variâncias dos grupos são homogêneas se  $p$  for maior que 0,05 e hipótese alternativa, quando as variâncias dos grupos não são homogêneas se  $p$  for menor ou igual a 0,05. Para este teste levou-se em conta a média, visto que a análise de variância leva em conta a diferença dos valores em relação à média e não a mediana. Por meio da Tabela 4 analisou-se os resultados de todos os apartamentos e assumiu-se a hipótese nula, visto que todos os valores de  $p$  foram maiores que 0,05, ou seja, os dados são homogêneos.

Tabela 5 – Resultado teste Homogeneidade

Residência	d/f	f	p
101	2/27	0,13	0,88
102		0,02	0,98
103		0,21	0,81
104		0,20	0,82
301		0,41	0,67
302		0,02	0,99
303		0,11	0,90
304		0,45	0,64
501		0,03	0,97
502		0,05	0,95
503		1,64	0,21
504		1,17	0,33

Observa-se na Figura 7 a presença de dois outliers por grupo de algoritmos para os apartamentos 101, 103, 104, 303 e 501. Para a avaliação de outliers extremos foi considerado um limite de 1,5 vezes a amplitude interquartil.

Figura 5 – Resultados do teste Boxplot



Os resultados da análise de variância foram apresentados na Tabela 6. Considerou-se novamente duas hipóteses. A primeira hipótese consiste em que a média dos três grupos são equivalentes se o valor de p for maior que 0,05. A segunda hipótese considera que há pelo menos uma diferença entre as médias dos grupos se p for menor ou igual a 0,05. Na Tabela 6 também é apresentado o teste de Kruskal Wallis, visto que os pressupostos não apresentaram condi es ideais para a realiza o da ANOVA. Para o teste não paramétrico, considerou-se a hipótese nula em que as medianas dos grupos são equivalentes se p for maior 0,05 e como hipótese alternativa, as medianas apresenta pelo menos uma diferença se p for menor ou igual a 0,05.



Tabela 6 – Resultado da análise de variância para teste paramétrico e não paramétrico

Unidade	TESTE ANOVA						TESTE KRUSKAL WALLIS		
	Valores	Df	Soma dos Quadrados	Média dos quadrados	F	p	Df	Chi2	p
101		2	455355,00	227677,00	16,43	2,15E-05	2	16,74	2,32E-04
	Resíduos	27	374248,00	13861,00					
102		2	355528,00	177764,00	88,81	1,34E-12	2	23,28	8,81E-06
	Resíduos	27	54043,00	2002,00					
103		2	278146,00	139073,00	25,98	5,11E-07	2	20,11	4,30E-05
	Resíduos	27	144521,00	5353,00					
104		2	336320,00	168160,00	4,94	1,48E-02	2	9,60	8,22E-03
	Resíduos	27	918723,00	34027,00					
301		2	574471,00	287235,00	15,19	3,81E-05	2	15,73	3,83E-04
	Resíduos	27	510666,00	18914,00					
302		2	534670,00	267335,00	135,20	8,61E-15	2	23,91	6,43E-06
	Resíduos	27	53404,00	1978,00					
303		2	397291,00	198645,00	23,50	1,22E-06	2	19,60	5,54E-05
	Resíduos	27	228185,00	8451,00					
304		2	367624,00	183812,00	7,38	2,78E-03	2	10,60	4,99E-03
	Resíduos	27	672762,00	24917,00					
501		2	824024,00	412012,00	58,30	1,59E-10	2	21,24	2,45E-05
	Resíduos	27	190811,00	7067,00					
502		2	721818,00	360909,00	101,50	2,47E-13	2	22,34	1,41E-05
	Resíduos	27	95962,00	3554,00					
503		2	533392,00	266696,00	7,55	2,48E-03	2	12,55	1,88E-03
	Resíduos	27	953452,00	35313,00					
504		2	537508,00	268754,00	6,68	4,41E-03	2	11,18	3,74E-03
	Resíduos	27	1086877,00	40255,00					

Por meio da Tabela 6 observa-se que os resultados para todos os apartamentos apresentaram valor de p menor que 0,05 [5,00E-03] tanto para o teste paramétrico quanto para o teste não paramétrico. Mediante a essa condição, assumiu-se a hipótese alternativa, ou seja, existe pelo menos uma diferença significativa entre as médias e as medianas dos grupos.

Sabendo que existe pelo menos uma diferença significativa dos grupos por meio dos resultados da Tabela 6, buscou-se localizar especificamente quais grupos se divergiam um dos outros. Avaliando o grau de significância (SG), que são representados por caracteres especiais, pode-se concluir quais grupos são mais diferentes.

Analisando os resultados presente nas Tabelas 7 (a,b,c) , observa-se que todos os grupos quando comparados entre si apresentaram graus de diferença que variaram de baixo a muito elevado, para os dois testes de PostHoc, exceto para os grupos de algoritmos [TARP ~ Adaptive concevion<sup>3</sup>] que apresentaram diferenças insignificantes quando analisados todas as residências se tratando do teste de Duncan. Avaliando pelo teste Tukey-HSD, o mesmo grupo de algoritmos apresentam diferenças insignificantes para as residências 101, 104, 301, 304, 503 e 504. Observa-se também que o grupo de algoritmo TARP ~ SIMPLE apresentam diferenças

<sup>3</sup> É um algoritmo dinâmico que reconhece uma variedade de modelos para cálculo do coeficiente convectivo e seleciona aquele que melhor se aplica dada as condições do fluxo de calor (BIGLADDER, 2020).

insignificantes para os apartamentos 104 e 304, considerando o teste Tukey-HSD. Considerando o teste Duncan, os apartamentos 101, 104, 301 e 304 também apresentam diferenças insignificantes quando analisados os dois grupos.

Tabela 7 – Resultado de Post hock para teste paramétrico e não paramétrico

<i>TARP-Adaptive convection</i>						<i>SIMPLE-Adaptive convection</i>					
Apto	<i>Tukey -HSD</i>		<i>Duncan - Bonferroni</i>			Apto	<i>Tukey -HSD</i>		<i>Duncan - Bonferroni</i>		
	pval	SG	p	p.adj p.	SG		pval	SG	p	p.adj p.	SG
101	0,0685	.	5,36E-02	1,61E-01	ns	101	1.4e-05	***	4,32E-05	1,30E-04	***
102	1,70E-03	**	4,76E-02	1,43E-01	ns	102	1,20E-12	***	1,58E-06	4,75E-06	****
103	3,38E-02	*	5,36E-02	1,61E-01	ns	103	3,40E-07	***	7,81E-06	2,34E-05	****
104	1,49E-01	.	6,02E-02	1,80E-01	ns	104	1,17E-02	*	2,12E-03	6,35E-03	**
301	6,15E-02	.	1,21E-01	3,64E-01	ns	301	2,40E-05	***	8,25E-05	2,48E-02	***
302	1,30E-04	***	3,29E-02	9,86E-02	ns	302	1,20E-14	***	1,08E-06	3,23E-06	****
303	1,30E-02	*	4,76E-02	1,43E-01	ns	303	7,00E-07	***	9,89E-06	2,97E-05	****
304	9,84E-02	.	7,54E-02	2,26E-01	ns	304	1,90E-03	**	1,15E-03	3,45E-03	**
501	3,20E-02	*	1,70E-01	5,11E-01	ns	501	1,80E-10	***	6,93E-06	2,08E-05	****
502	1,01E-02	*	8,41E-02	2,52E-01	ns	502	4,00E-13	***	2,96E-06	8,88E-06	****
503	8,45E-01	.	4,93E-01	1,00E+ 00	ns	503	3,40E-03	**	8,00E-04	2,40E-03	**
504	7,72E-01	.	4,46E-01	1,00E+ 00	ns	504	5,10E-03	**	1,37E-03	4,12E-03	**

<i>TARP-SIMPLE</i>						<b>C</b>
Apto	<i>Tukey -HSD</i>		<i>Duncan - Bonferroni</i>			SG
	Pval	SG	p	p.adj p.	SG	
101	6,20E + 01	**	3,08E-02	9,25E-02	ns	
102	3,00E-09	***	4,81E-03	1,44E-02	*	
103	3,60E-04	***	1,11E-02	3,33E-02	*	
104	4,75E-01	.	2,33E-01	6,98E-01	ns	
301	1,17E-02	*	1,70E-02	5,09E-02	ns	
302	3,70E-11	***	6,08E-03	1,83E-02	*	
303	2,20E-03	**	1,48E-02	4,43E-02	*	
304	2,31E-01	.	1,41E-01	4,22E-01	ns	
501	7,90E-08	***	1,78E-03	5,35E-03	**	
502	1,60E-10	***	3,21E-03	9,64E-03	**	
503	1,35E-02	*	7,65E-03	2,30E-02	*	
504	2,66E-02	*	1,48E-02	4,43E-02	*	

#### 4. CONCLUSÃO

Por meio do modelo numérico condicionado às orienta es do Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifica es Residenciais (RTQ-R), observou-se uma variabilidade expressiva na ado o de diferentes algoritmos na estimativa de carga térmica de resfriamento dos apartamentos de uma habita o social.

A estimativa da carga de resfriamento sofre influência significativa devido a utilização de diferentes combinações de algoritmos tanto por meio de teste paramétricos quanto por testes não paramétricos. Contudo assumiu-se a hipótese alternativa para os dois testes, que existe pelo menos uma diferença significativa entre as médias e medianas dos grupos levantando nessa pesquisa. Essas diferenças são mais vultosas quando comparado os grupos [SIMPLE ~ Adaptative convection] e [SIMPLE ~ TARP]. Entretanto, não é possível apontar qual combinação de algoritmo é a ideal, visto que esses possuem peculiaridades que demandaria um trabalho específico para avaliar a edificação presencialmente para levantamento das particularidades abordadas por essas lógicas. Por fim concluímos que a combinação de algoritmo é relativa e específica para cada caso de estudo.

Enfim, sugere-se como estudos futuros uma análise de variâncias considerando grupos formados por algoritmos de convecção de superfície externa e grupos formados por algoritmos de condução. Recomenda-se também análises qualitativas da edificação em relação às funcionalidades lógicas apresentadas pelo software, visto que apresentam peculiaridades quanto ao balanço térmico, orientações e características das superfícies que compõem a edificação.

## 5. REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – 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, 2005a.

\_\_\_\_\_. **NBR-16401**. Instalações de ar condicionado - sistemas centrais e unitários - parte 1 (projeto da instalação), parte 2 (parâmetros de conforto térmico) e parte 3 (qualidade do ar interno). Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR-16655-3**. Instalação de sistemas de ar condicionado residenciais - split e compactos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2018.

ALABOUD, M.; GADI, M. The effect of thermal insulation on cooling load in residential buildings in makkah, saudi arabia. *Future Cities and Environment*, **Ubiquity Press**, v. 6, n. 1, 2020.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. p. 30.12. Atlanta, 2009.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**, Atlanta, 1985.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. Influence of conduction algorithms and convince on simulation results of thermal building behavior. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 79–97, 2011.

BEAUSOLEIL-MORRISON, I. The adaptive simulation of convective heat transfer at internal building surfaces. *Building and Environment*, **Elsevier**, v. 37, n. 8-9, p. 791–806, 2002.

BIGLADDER. **Engineering Reference**. 9.4. ed. Denver, 2020. Disponível em: Acesso em: 27 jun. 2020.

**BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Plano Nacional de Energia 2050.** Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 30 maio 2021.

BOOTEN, Chuck; KRUIS, Neal; CHRISTENSEN, Craig. Identifying and resolving issues in energyplus and DOE-2 window heat transfer calculations. **National Renewable Energy Lab.(NREL)**, Golden, CO (United States), 2012.

CHAMBERS, J. Software for data analysis: programming with R. [s.l.] **Springer Science & Business Media**, 2008.

COSTANZO, V.; EVOLA, G.; MARLETTA, L.; GAGLIANO, A. Proper evaluation of the external convective heat transfer for the thermal analysis of cool roofs. **Energy and Buildings**, v. 77, p. 467-477, 2014.

EPE. **Air conditioning use in the brazilian residential sector: Perspectives and contributions to advancing energy efficiency.** *Nota Técnica EPE 030/2018*, Rio de Janeiro, 2018., EPE 030, 2018. Disponível em: Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/uso-de-ar-condicionado-no-setor-residencial-brasileiro-perspectivas-econtribuicoes-para-o-avanco-em-eficiencia-energetica>. Acesso em: 05 mar. 2021.

GIRARDI, L. H.; CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Erro tipo ie poder de cinco testes de comparação múltipla de médias. **Rev. Bras. Biom**, v. 27, n. 1, p. 23–36, 2009.

MAZZAFERRO, Leonardo; SORGATO, Marcio José; VERSAGE, Rogério; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do pré-processador Slab no programa Energyplus.** Florianópolis: LABEEE UFSC, 2013.

NASSIF, Nabil. Modeling and testing of a single-speed DX air-conditioning system. **ASHRAE Transactions**, v. 124, n. 1, p. 44-52, 2018.

OLAMA, M. M. et al. Coordination and control of building hvac systems to provide frequency regulation to the electric grid. *Energies*, **Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, v. 11, n. 7, p. 1852, 2018.

OLIVEIRA, F. M. D. **Impacto da adoção de estratégias bioclimáticas na eficiência energética de edificações residenciais condicionadas.** 120 p. Dissertação (Mestrado) — Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2019.

OSTERTAGOVA, Eva; OSTERTAG, Oskar; KOVÁČ, Jozef. Methodology and application of the Kruskal-Wallis test. In: **Applied Mechanics and Materials**. Trans Tech Publications Ltd, 2014. p. 115-120.

RASUL, M. G.; DORING, C. Performance assessment of desiccant air conditioning system in an institutional building in subtropical climate. **Energy Procedia**, v. 110, p. 486–491, 2017.

ROSA, M.; BIANCO, V.; SCARPA, F.; TAGLIAFICO, L. A.; Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach. **Applied Energy**, v. 128, p. 217-229, 2014.

RIBOLDI, J. et al. Precisão e poder de testes de homocedasticidade paramétricos e não-paramétricos avaliados por simulação. *Revista Brasileira de Biomedicina*, v. 32, n. 3, p. 334–344, 2014.

STOCHERO, E. L. M.; JACOBI, L. F.; LÚCIO, A. D. Imputation of data in analysis of variance in experiments in the Completely Randomized **Design**. *Ciência e Natura*, v. 42, p. 37, 2020.

SHEN, P. et al. Building heating and cooling load under different neighbourhood forms: Assessing the effect of external convective heat transfer. *Energy, Elsevier*, v. 173, p. 75–91, 2019.

TABARES-VELASCO, P. C.; GRIFFITH, B. Diagnostic test cases for verifying surface heat transfer algorithms and boundary conditions in building energy simulation programs. *Journal of Building Performance Simulation*, Taylor & Francis, v. 5, n. 5, p. 329–346, 2012.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio ao desenvolvimento deste trabalho.

Agradecemos também a Fernanda Mourão Dutra de Oliveira por ter cedido fotos do empreendimento, objeto de estudo desta pesquisa.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.