XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Métodos de cálculo da temperatura do solo: impacto nos ambientes internos no período histórico e futuro

Soil temperature calculation methods: impact on indoor environments in the historical and future period

Emeli Lalesca Aparecida da Guarda
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianopólis | Brasil | emeliguarda@gmail.com
Martín Gabriel Ordenes Mizgier
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianopólis | Brasil | martin.ordenes@ufsc.br

Resumo

A temperatura do solo e as mudanças climáticas pode influenciar diretamente nas condições internas dos edifícios, assim o objetivo desta pesquisa é analisar a influência dos métodos de cálculo da temperatura do solo nas condições internas de um dormitório, considerando o período histórico cenário climáticos futuros. A metodologia consiste em efetuar simulações computacionais para a obtenção das temperaturas do solo, e avaliar o seu impacto nas condições internas, utilizando do modelo adaptativo de conforto. Os resultados mostram que a escolha do método de cálculo da temperatura do solo é fundamental, pois, impactam diretamente nas condições internas dos edifícios.

Palavras-chave: Modelagem do Solo. Simulação Computacional. Mudanças Climáticas.

Abstract

Soil temperature and climate change can directly influence the internal conditions of buildings, so the objective of this research is to analyze the influence of soil temperature calculation methods on the internal conditions of a bedroom, considering the historical period and future climate scenarios. The methodology consists of performing computer simulations to obtain soil temperatures, and evaluate their impact on internal conditions, using the adaptive comfort model. The results show that the choice of soil temperature calculation method is fundamental, as it directly impacts the internal conditions of the buildings.

Keywords: Ground Modeling. Computational Simulation. Climate changes.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas vêm sendo consideradas como um potencial risco de vulnerabilidade para os edifícios e usuários no século XXI. As temperaturas do ar estão

Como citar:
GUARDA, E. L. A; MIZGIER, M. G. O. Métodos de cálculo da temperatura do solo: impacto nos ambientes internos no período histórico e futuro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19, 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-11

subindo e os eventos extremos estão se tornando mais frequentes e, como consequência, a demanda de resfriamento artificial dos edifícios pode aumentar em torno de 750% em edifícios residenciais e de 275% em edifícios comerciais até 2050 [1]. Diante disso, as simulações de desempenho de edifícios são uma importante ferramenta de análise, principalmente considerando as previsões de mudanças climáticas futuras, para garantir que os edifícios sejam adaptáveis às novas condições.

As previsões climáticas são realizadas utilizando de Modelos Gerais de Circulação (GCMs), os quais são conjuntos de equações que representam as características do sistema terrestre global, por exemplo, a atmosfera e os oceanos, e preveem séries temporais climáticas futuras. No entanto, os GCMs apresentam resoluções grosseiras, podendo influenciar negativamente nas previsões climáticas futuras. Assim, existem métodos para refinar as resoluções dos GCMs e reduzir as incertezas, sendo o mais utilizado o método Morphing [2].

Além disso, ferramentas de prospecção climática, como o WeatherShift [3], utiliza o método Morphing como base, e elabora arquivos climáticos futuros considerando os cenários de emissões RCP4.5 e RCP8.5 do Quinto Relatório do IPCC [5], para os períodos de tempo de 2035 (período de 2026-2045), de 2065 (período 2056-2075) e de 2090 (período de 2081-2100), em extensão EPW, podendo ser utilizados em simulações de desempenho de edifícios. Os RCP, descrevem quatro caminhos diferentes, sendo: RCP 2.6 que visa manter o aquecimento global abaixo dos 2,0°C e indica para uso de energia limpa e redução das concentrações de CO2, os RCP4.5 e 6.0, que são cenários estabilizados e o RCP 8.5 que apresenta um cenário com altas emissões de GEE e sem alterações das políticas de redução e mitigação [18].

Neste contexto, a interação dinâmica entre os sistemas dos edifícios e o clima externo considerando as mudanças climáticas é extremamente complexa, e envolve um grande número de variáveis e parâmetros, faz que o uso de técnicas de simulação computacional sejam eficientes [2], principalmente, para analisar a influência de uma série de parâmetros, apoiando a tomada de decisões de projetistas, principalmente sob novas condições climáticas futuras. Nas simulações devem ser inseridas inúmeras variáveis independentes, como os parâmetros termofísicos da edificação e as condições da região de implantação, dentre as quais destaca-se a temperatura do solo, no caso de edificações térreas, que possuem o piso em contato direto com o solo. Esta variável é complexa e representa as trocas dinâmicas de calor por condução entre o piso dos ambientes e o solo [5].

A temperatura do solo é determinada pela interação da radiação absorvida (aquecimento), da radiação refletida por ondas longas (resfriamento), troca convectiva entre o solo e o ar ambiente e a troca de calor entre a superfície e as camadas mais profundas do solo [6]. Dessa maneira, o perfil de distribuição de temperatura do solo pode ser definida em três zonas, sendo: zona de superfície (0-1m de profundidade), zona rasa (1-10m de profundidade) e zona profunda (+10m de profundidade). A zona de superfície depende fortemente das flutuações diárias de temperatura, ou seja, sofre influência das condições atmosféricas. A zona rasa, depende principalmente do ciclo sazonal, ou seja, é uma camada mais estável, podendo ser semelhante a temperatura do ar, e a zona

profunda é quase constante e depende exclusivamente do gradiente geotérmico [7]. Neste contexto, o solo apresenta resposta lenta às variações de temperatura, sendo mais frio no verão e mais quente no inverno [6], podendo impactar no desempenho térmico dos edifícios.

Nas simulações computacionais, o fluxo de calor entre o piso de uma edificação em contato com o solo é uns dos aspectos mais influentes no seu desempenho térmico. Esse fluxo pode ser calculado de diferentes formas. No software EnergyPlus, por meio do pré-processador *Slab* [8] e *GroundDomain* [9], e na ausência de dados, pesquisas apontam o uso da temperatura do solo igual à temperatura do ar externo [16] [17].

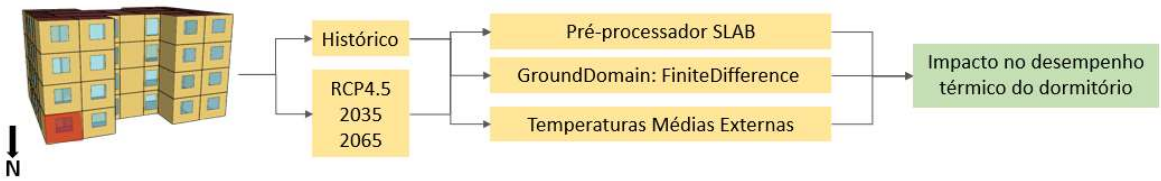
O pré-processador *Slab* [10], foi desenvolvido com a intenção de melhorar as soluções numéricas de transferência de calor entre o contato do solo e o piso da edificação, e se baseia em um método de cálculo de diferenças finitas tridimensional, o qual leva em consideração as temperaturas mensais do solo, obtidas do arquivo climático da região, das propriedades do solo e da edificação. A obtenção da temperatura do solo pelo método *GroundDomain* consiste em lidar com diferentes configurações de modelos finitos para obter as temperaturas, sendo os *FiniteDifference* e *KusudaAchenbach*. O modelo *FiniteDifference* utiliza diferenças finitas para a transferência de calor entre o piso da edificação e o solo, levando em consideração as condições do entorno e o arquivo climático, e partir de um comportamento constante das interações, obtém-se as temperaturas do solo ao longo do ano [9]. Já o modelo *KusudaAchenbach*, utiliza da condutividade térmica, densidade e o calor específico do solo para definir uma correlação das temperaturas do solo em função da profundidade e tempo [9].

Dessa maneira, destaca-se a importância da determinação da temperatura do solo, e atrelado aos arquivos climáticos futuros, os impactos no desempenho térmico dos edifícios podem ser potencializados. Assim, essa pesquisa tem como objetivo analisar a influência dos diferentes métodos de determinação da temperatura do solo, no desempenho térmico de um dormitório do edifício residencial multifamiliar, considerando os cenários de emissões RCP4.5 do Quinto Relatório do IPCC, nos períodos de tempo histórico, 2035 e 2065.

MÉTODO

A metodologia consiste em efetuar simulações computacionais para a obtenção das temperaturas do solo, utilizando de três metodologias: pré-processador SLAB, *GroundDomain: FiniteDifference* e a temperatura externa média do ar, considerando os arquivos climático histórico e futuro da cidade de Florianópolis-SC. A partir das temperaturas do solo, avalia-se o impacto no desempenho térmico do dormitório do apartamento térreo de uma edificação residencial multifamiliar (em destaque), com orientação a norte (0°). A Figura 1, apresenta o processo metodológico.

Figura 1: Processo metodológico da pesquisa



Fonte: a autora.

ELABORAÇÃO DOS ARQUIVOS CLIMÁTICOS FUTUROS

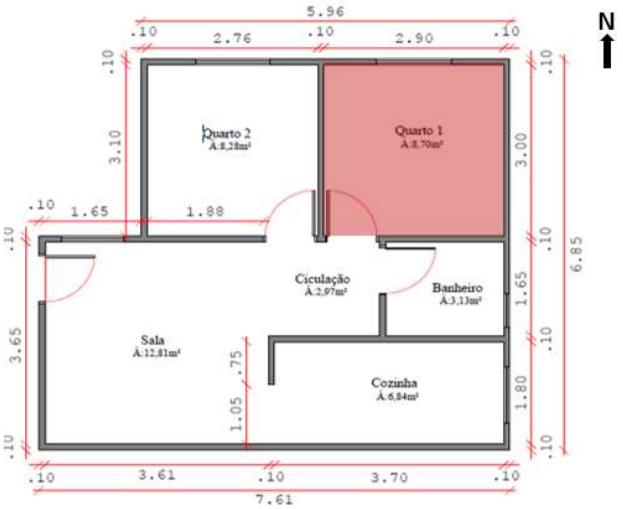
Para a geração dos arquivos climáticos futuros, utilizou-se a metodologia *Morphing* [11]. Essa metodologia modifica um conjunto de variáveis climáticas históricas de 8.760 horas por ano e incorpora os efeitos do aquecimento global nos arquivos climáticos, permitindo a projeção do clima. As séries históricas utilizadas como base, consistem em arquivos climáticos denominados em *Typical Meteorological Year* (TMYx) do banco de dados Climate.OneBuilding, para a cidade de Florianópolis-SC, referente ao período de 1975-2005.

Com o intuito de otimizar o processo de geração dos arquivos climáticos futuros, utilizou-se a ferramenta WeatherShift™, desenvolvida pelo grupo de pesquisa Arup North America e Argos Analytics [3]. A ferramenta disponibiliza o uso de dois cenários de emissões o RCP4.5 e RCP8.5, e três projeções climáticas futuras, divididas em fatias de tempo, sendo: 2035 (período de 2026-2045), 2065 (período de 2056-2075) e 2090 (período de 2080-2099). Assim, para esta pesquisa, utilizou-se o cenário de emissões RCP4.5 para as projeções de 2035 e 2065.

CARACTERIZAÇÃO DO DORMITÓRIO DA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR

O objeto de estudo desta pesquisa, trata-se de um recorte para as habitações de interesse social do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), o qual tem como objetivo de suprir o déficit habitacional brasileiro. Desta maneira, esta pesquisa concentra-se na moradia multifamiliar de apartamento com planta H, e no dormitório 1 com área total de 8,70m², e possui pé-direito de 2,60m (Figura 2).

Figura 2: Planta Baixa da HISbase com destaque para o dormitório em análise



Fonte: Triana, Lamberts e Sassi [12]

As esquadrias são metálicas com vidro de 4mm, sendo em duas folhas de correr (uma fixa e uma móvel), nos quartos 1 e 2, sala e cozinha. As dimensões e o fator de ventilação e de iluminação dos ambientes de permanência prolongada são descritos na Tabela 2. As portas são do tipo de madeira com dimensões de 0,8 x 2,10m. Os fechamentos verticais da HISbase são em painéis de concreto (10cm), e o forro em laje de concreto (10cm) e o piso em cerâmica (1cm). Para determinação das propriedades térmicas de materiais construtivos, utilizou-se a normativa NBR15.220 [13] (Tabela 3).

Tabela 2: Dimensões da HISbase

Esquadrias	Sala	Cozinha	Quarto 1	Quarto 2
Dimensões (m)	1,60x1,30	1,20x1,00	1,20x1,20	1,20x1,20
Área (m²)	2,08	1,20	1,44	1,44
Área efetiva de ventilação (m²)	0,94	0,54	0,65	0,65
Fator ventilação (%)	0,45	0,45	0,45	0,45

Fonte: a autora.

Tabela 3: Propriedades termofísicas dos materiais construtivos da HISbase

Envoltória	Composição	Esp. (cm)	α	c (J/KgK)	γ (W/m²K)	ρ (Kg/m³)
Piso (Radier)	Laje de concreto	15,00	0,30	960	1,20	1300
Parede externa/interna	Painel de concreto	10,00	0,30	1,00	1,75	2200
Forro	Laje de concreto	10,00	0,30	960	1,20	1300

Fonte: a autora.

Os padrões de ocupação e ganhos internos foram tomados da NBR15.575 [14], sendo considerado na simulação somente o apartamento do térreo. Essa normativa especifica os padrões de ocupação, o uso do sistema de iluminação artificial e as cargas dos equipamentos para os dias da semana e finais de semana (Tabela 4). Dessa maneira, foram consideradas duas pessoas por dormitório e quatro pessoas na sala. A carga interna dos equipamentos é considerada somente da sala, conforme o período de uso das 14:00 às 21:59hrs com potência de 120W e fração radiante de 0,30.

Tabela 4: Padrões de ocupação e sistema de iluminação artificial

		Ocupação
Ambiente	**Schedule**	**Atividade realizada**
Sala	14 as 17hrs – 50% 18 as 21hrs – 100%	Sentado ou assistindo TV – 60 W/m²
Dormitórios	22 as 08hrs – 100%	Dormindo ou descansando – 45W/m²
		Iluminação artificial
	Schedule	**Densidade de potência instalada de iluminação (DPI)**
Sala	16 as 21hrs	5 W/m²
Dormitórios	22 as 23hrs e 06 as 07hrs	5 W/m²

Fonte: NBR15.575 [14]

ANÁLISE DAS TEMPERATURAS DO SOLO: MÉTODOS DE OBTENÇÃO DOS DADOS NO PERÍODO HISTÓRICO E FUTURO

Com o intuito de verificar a influência dos diferentes métodos de obtenção da temperatura do solo, no desempenho térmico da HISbase, para Florianópolis, simulou-se

utilizando o EnergyPlus v. 9.0, considerando os métodos *Slab* e *GroundDomain: FiniteDifference e* temperatura externa média do ar. Para isto, utilizou-se como base os manuais "Manual do pré-processador *Slab* e o "Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto *Ground Domain* no programa EnergyPlus" [8] [9], para obtenção dos valores de temperatura do solo, respectivamente. Os parâmetros de entrada adotados na simulação foram obtidos dos manuais citados acima e conforme Tabela 5.

Tabela 5: Identificação dos parâmetros de entrada do solo

Parâmetros de entrada	FiniteDifference	KusudaAchenbach	SLAB[1]
Dados do solo	Default do EnergyPlus [8] [9]		
Dados do piso	Radier de 15cm, calor específico: 1,00 kJ/(kg·K); condutividade térmica: 1,75 W/(m·K)		
Localização do piso em relação ao solo	Superfície inferior do piso no mesmo nível da superfície do solo (OnGrade)		-
Condição de isolamento térmico do piso	Sem isolamento térmico		
Distância dos domínios horizontal e vertical	15m		

[1] *Slab*: Considera apenas dois materiais (solo e piso) para a modelagem no pré-processador.
Fonte: a autora.

Neste contexto, investigou-se a influência das variações da temperatura do solo nos três métodos descritos acima, na condição térmica interna do dormitório do apartamento térreo (Figura 1). Para isto, obteve-se as temperaturas do solo para o período histórico e no RCP4.5 para 2035 e 2065, e inseriu-se esses valores no input *Site:GroundTemperature:BuildingSurface* do EnergyPlus, e obteve-se as temperaturas operativas mensais, por meio do output *Zone:Operative Temperature*. Posteriormente, avaliou-se as condições térmicas do dormitório por meio dos limites de aceitabilidade térmica do modelo adaptativo da ASHRAE 55 [15], para edifícios naturalmente ventilados. Dessa maneira, obteve a temperatura neutra para a cidade de Florianópolis, referente ao período histórico de 24,15°C, e considerou 80% dos usuários satisfeitos, obtendo os limites superior e inferior de 27,6°C e 20,6°C, respetivamente. Esses limites foram considerados no período histórico e nos cenários climáticos futuros. Destaca-se que somente o parâmetro da temperatura do solo foi alterado nas simulações, os demais são constantes em todos os cenários analisados.

RESULTADOS

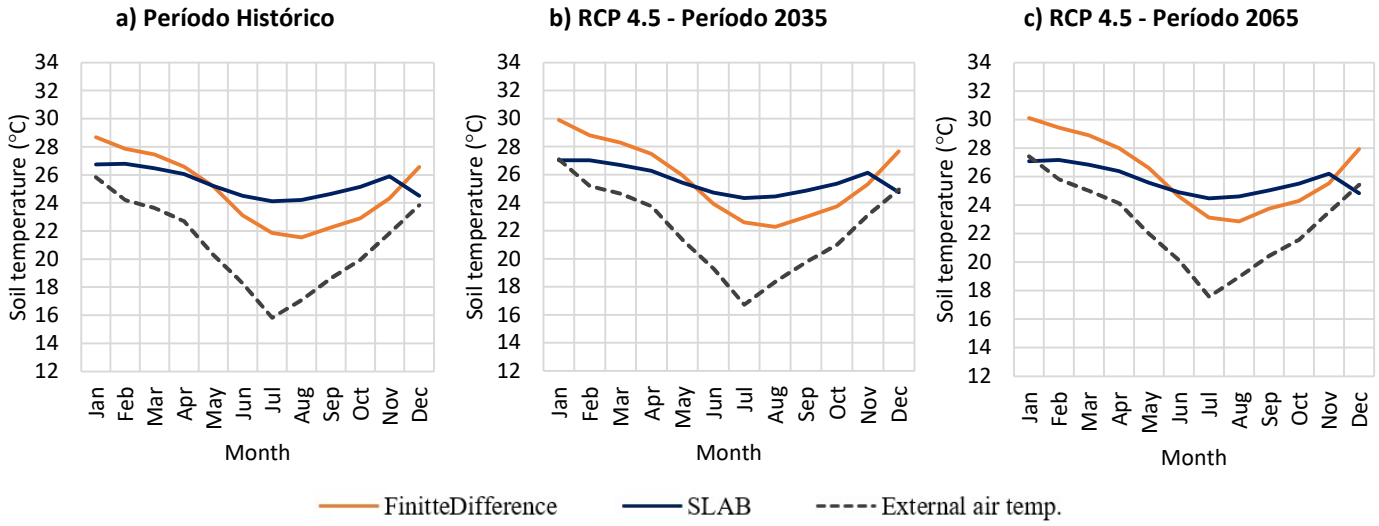
ANÁLISE DAS TEMPERATURAS DO SOLO: MÉTODO SLAB E GROUNDOMAIN NO PERÍODO HISTÓRICO E FUTURO

Após a execução das simulações computacionais, obteve-se as temperaturas do solo em médias mensais, para os três métodos em análise: pré-processador *Slab* e Ground Domain: *FinitteDifference* e temperatura externa média do ar, para o período histórico e para o RCP4.5 nos períodos de 2035 e 2065, para Florianópolis-SC.

Em todos os períodos analisados, as temperaturas do solo obtidas pelo *FinitteDifference* foram mais elevadas em relação ao *SLAB* e a temperatura externa do ar, em seis meses do ano (dezembro a maio) (Figura 3).

No período histórico, o modelo *FinitteDifference* apresentou maior valor de temperatura do solo, sendo a média anual de 24,86°C. A temperatura média anual obtida pelo pré-processador SLAB e externa foram de 25,36°C e de 21,02°C, respectivamente. No entanto, os comportamentos da temperatura do solo obtida pelo modelo *FinitteDifference* são semelhantes às temperaturas externas, sendo amena nos meses de junho a novembro e aumentando nos meses de dezembro a maio (Figura 3-a). Este comportamento, pode ser justificado pelo fato que o solo apresenta resposta lenta às variações de temperatura, sendo mais frio no verão e mais quente no inverno, podendo se prolongar entre as estações.

Figura 3: Temperatura do solo: a) período histórico; b) RCP4.5 – 2035 e c) RCP4.5 - 2065



Fonte: a autora.

No cenário de emissão RCP4.5, observa-se comportamento semelhante ao período histórico, no entanto, destaca-se que, com os efeitos das mudanças climáticas, as temperaturas do solo também sofreram aumento, como a temperatura externa do ar. No período de 2035, a temperatura externa do ar, aumentou em 1,10°C, e o modelo *FinitteDifference*, apresentou aumento em torno de 0,88°C em relação ao período histórico (Figura 3-b). As temperaturas obtidas pelo pré-processador SLAB, apresentou menores diferenças em relação ao período histórico, sendo de 0,22°C.

Em 2065, a temperatura do ar, aumentou em 1,65°C, e o modelo *FinitteDifference* apresentou aumento em média anual em torno de 1,40°C em relação ao período histórico (Figura 3-c). Como no período de 2035, o SLAB, apresentou menores diferenças, sendo de 0,35°C em relação ao período histórico, ou seja, as temperaturas do solo obtidas pelo SLAB não apresentaram impacto significativo de aumento frente as mudanças climáticas, em relação aos demais métodos. Destaca-se que neste período, as diferenças foram maiores em relação aos demais períodos analisados, ou seja, sob influência das mudanças climáticas, principalmente o modelo *FinitteDifference*, sofre maiores impactos de aumento da temperatura do solo.

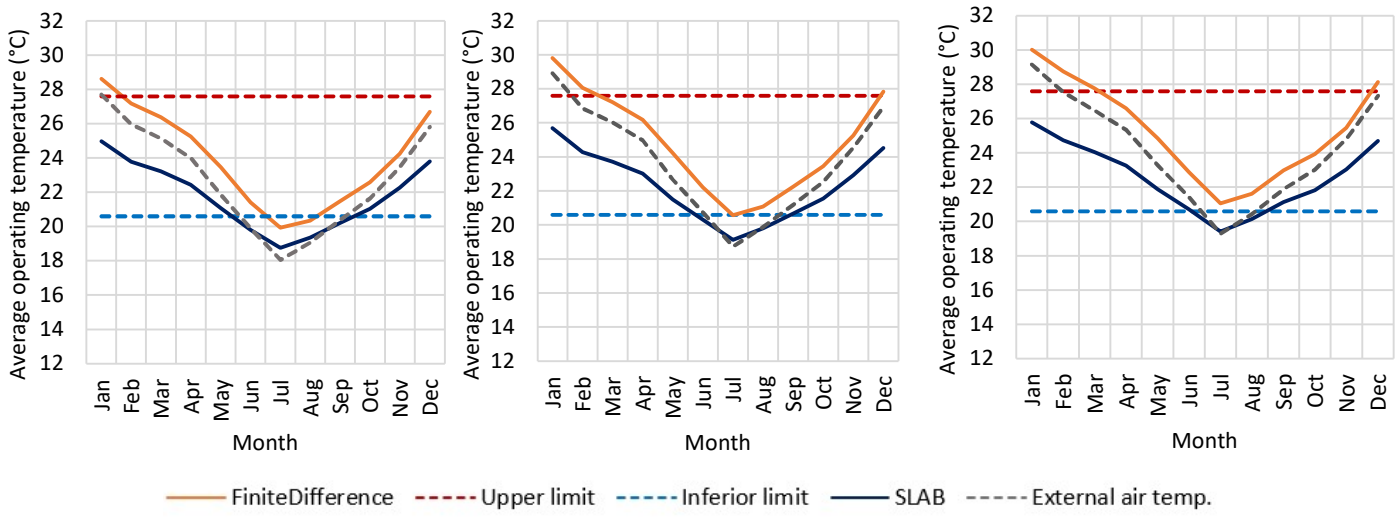
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS TEMPERATURAS DO SOLO NAS CONDIÇÕES INTERNAS DO DORMITÓRIO

A partir da obtenção das temperaturas do solo para os três métodos de cálculo, investigou-se as condições internas, por meio da temperatura operativas internas em médias mensais, do dormitório localizado no apartamento térreo da habitação, para o período histórico e para o RCP4.5 nos períodos de 2035 e 2065.

Em todos os períodos analisados, as temperaturas operativas do dormitório obtidas pelo *FinitteDifference* foi mais elevada em relação ao SLAB e a temperatura do ar externa, no entanto, os métodos apresentam comportamento semelhantes ao longo do ano, ou seja, com temperaturas mais elevadas de dezembro a abril (Figura 3). No período histórico, as temperaturas operativas do dormitório obtidas pelo método SLAB e temperatura externa, apresentou desconforto por frio nos meses de junho a setembro, com temperatura média em torno de 19,5°C, nos demais meses, a condição interna do dormitório se manteve dentro da faixa de aceitabilidade térmica (Figura 3-a).

As temperaturas operativas obtidas utilizando do método *FinitteDifference*, apresentou desconforto por calor no mês de janeiro, com temperatura média mensal em torno de 28,62°C, e nos meses de julho a setembro desconforto por frio (Figura 3-a). Destaca-se que, a diferença entre as temperaturas operativas internas obtidas pelo *SLAB* foi de até 3,63°C em janeiro, em relação ao método *FinitteDifference*. Essas diferenças foram maiores nos meses mais quentes (dezembro a abril) e menores nos meses mais amenos, apresentando diferença de 1,00° e 1,26°C nos meses de agosto e setembro, respectivamente.

Figura 3: Temperatura operativa média do dormitório: a) período histórico; b) RCP4.5 – 2035 e c) RCP4.5 - 2065



Fonte: a autora.

Considerando os impactos das mudanças climáticas, as temperaturas operativas internas do dormitório obtidas pelo método *FinitteDifference*, aumentou em média de 0,88°C e 1,37°C, e pelo método *SLAB*, em torno de 0,53°C e 0,83°C, em 2035 e 2065, respectivamente, em relação ao período histórico. A temperaturas operativas internas, obtidas utilizando as temperaturas externas médias como do solo, obteve-se aumento de 0,92°C e 1,42°C, em 2035 e 2065, respectivamente.

Dessa maneira, no período de 2035, as temperaturas operativas obtidas utilizando do método *FinitteDifference* apresentou desconforto por calor nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com temperatura média em torno de 28,57°C, e desconforto por frio em julho (20,58°C) (Figura 3-b). As condições internas do dormitório pelo método *SLAB*, se manteve dentro dos limites de aceitabilidade térmica em todos os meses do ano, exceto nos meses de julho e agosto, que apresentaram desconforto por frio, com temperatura média em torno de 19,5°C (Figura 3-b). E as condições internas do dormitório, quando se considera as temperaturas do solo, iguais a temperatura média externa do ar, obteve-se desconforto por calor em janeiro (28,9°C), e desconforto por frio nos meses de julho e agosto (Figura 3-b).

No período de 2065, as temperaturas operativas internas obtidas utilizando das temperaturas do solo pelo método *FinitteDifference* apresentou um prolongamento do desconforto por calor em relação ao período histórico, sendo de dezembro a março, com temperatura média em torno de 28,7°C, e não obteve desconforto por frio (Figura 3-c). Já as temperaturas operativas obtidas pelo método SLAB e pelas temperaturas médias externas, apresentaram desconforto por frio, somente nos meses de junho e julho, com temperatura média em torno de 20,0°C (Figura 3-c).

Destaca-se que as diferenças entre as temperaturas operativas internas obtidas pelo *SLAB* foi de até 2,78°C em média anual, em relação ao método *FinitteDifference,* em relação ao método das temperaturas externas média do ar foi de 1,62°C. Assim, destaca-se que, mesmo com a influência das mudanças climáticas, a temperatura do solo pelo método *SLAB*, se mantém constante, com comportamento semelhante ao período histórico, enquanto as temperaturas do solo obtidas pelos demais métodos são relativamente maiores, impactando diretamente na condição interna do dormitório.

CONCLUSÃO

Os resultados mostram que a escolha do método de cálculo da temperatura do solo é fundamental para a determinação das condições internas das edificações no presente e em prospecções climáticas futuras, principalmente as que estão em contato com o solo, pois, impactam diretamente nas temperaturas internas.

Dessa maneira, observa-se que as temperaturas obtidas utilizando do pré-processador *SLAB*, não apresentaram impacto significativo nos cenários climáticos futuros, com aumentos na média anual de +0,22°C em 2035 e +0,35°C em 2065, em relação ao período histórico. Os métodos *FinitteDifference* e temperatura externa média do ar, apresentaram aumento médio anual de 1,0°C em 2035 e de 1,5°C em 2065, assim, destaca-se que esses métodos sob influência das mudanças climáticas, sofre maiores impactos de aumento da temperatura do solo, podendo refletir nas condições internas das edificações.

Neste contexto, utilizando dos métodos *FinitteDifference* e temperatura externa média do ar, as temperaturas operativas internas do dormitório foram mais elevadas, sendo no período histórico as médias anuais de 23,36°C e 22,75°C, aumentando em +1,37°C e +1,42°C em 2065, respectivamente. As temperaturas operativas internas obtidas pelo pré-processador *SLAB*, apresentou média anual de 21,72°C no período histórico passando para 22,5°C em 2065, aumentando cerca de 0,83°C.

Dessa maneira, ressalta-se a importância dos programas de simulação do desempenho térmico de edificações levarem em consideração a definição dos parâmetros de temperatura do solo, pois deve ser realizada de forma criteriosa. Além disso, os métodos de cálculo da temperatura do solo, e a sua forma de interação com as condições internas das edificações, principalmente em condições de clima futuro, devem ser consideradas, pois, impactam diretamente nas condições internas dos edifícios em contato com o solo. Assim, para trabalhos futuros recomenda-se que os simuladores explorem a forma de cálculo da temperatura do solo em outros softwares de simulações do ambiente construído, pois assim podem apresentar domínio mais minucioso acerca dos métodos e terão resultados mais precisos.

REFERÊNCIAS

[1] SANTAMOURIS, M. **Cooling the buildings – past, present and future**. Energy and Buildings, v. 128, p.617-638, 2016.

[2] GUAN, L. **Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings**. Building and Environment, v. 44, p 793-800, 2009

[3] WEATHERSHIFT™. **Heat.** Disponível em: < https://www.weathershift.com/heat>. Acesso em: 14 abr de 2022.

[4] IPCC. **Climate Change 2012: Manging the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.

[5] NUNES, H. G; SANCHES, V. G; ZARA; B. R; GIGLIO, F. G. T. **Análise de métodos de cálculo para determinação da temperatura do solo em simulações computacionais**. XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. João Pessoa. 2019.

[6] STANIEC, M; NOWAK, H. T**he application of energy balance at the bare soil surface to predict annual soil temperature distribution**. Energy and Buildings, v. 127, p 56-65, 2016.

[7] POIEL, C. O; WOJTKOWIAK, J; BIERNACKA, B. **Measurements of temperature distribution in ground**. Experimental Thermal and Fluid Science, v. 25, p 301-309, 2001.

[8] MAZZAFERRO, L; SORGATO, M. J; VERSAGE, R; MELO, A. P; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do pré-processador SLAB no programa EnergyPlus**. Laboratório de Eficiência Energética de Edifícios, Florianópolis, 2013.

[9] MAZZAFERRO, L; MELO, A. P; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto Ground Domain no programa EnergyPlus**. Laboratório de Eficiência Energética de Edifícios, Florianópolis, 2015.

[10] CLEMENTS, E. **Three Dimensional Foundation Heat Transfer Modules for WholeBuilding Energy Analysis**. Dissertação (Mestrado) - The Pennsylvania State University). Pennsylvania, Estados Unidos, 2004.

[11] BELCHER, S. E.; HACKER, J. N.; POWELL, D. S. **Constructing design weather data for future climates**. Building Services Engineering Research and Technology, v. 26, n. 1, p. 49–61, 2005. DOI: https://doi.org/10.1191/0143624405bt112oa

[12] TRIANA, Maria Andrea; LAMBERTS, Roberto; SASSI, Paola**. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance**. Energy Policy, v. 87, p. 524–541, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041

[13] ABNT. **ABNT NBR 15220-1 Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2003.

[14] ABNT. **NBR 15575**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2021.

[15] ASHRAE. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **Standard 55-2017 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, GA, United States: [s. n.], 2017.

[16] CHVATAL, K. M. S; MARQUES, T. H. T. **Avaliação de diferentes alternativas de modelagem de habitações de interesse social no programa de simulação de desempenho térmico Energyplus**. Revista Tecnólogica, v.25, n.1, p.67-79, 2016.

[17] SANTOS, G. H; MENDES, N. **Moisture effects of unsaturated porus soils on ondoor air enthalpy**. Ninth Internacional IBSPA Conference. Prceedings… Canada, 2005.

[18] IPCC. **Climate Change 2014. Synthesis Report**. 2014