ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Projeto baseado no desempenho térmico por meio da modelagem paramétrica

Thermal performance-based design using parametric modelling

Vinicius Gomes de Almeida
Universidade Federal da Paraíba | João Pessoa - PB | Brasil |
arch.vinicius@gmail.com
Felipe Tavares da Silva
Universidade Federal da Paraíba | João Pessoa - PB | Brasil |
felipe.tavares@academico.ufpb.br

Resumo

O surgimento de normas de desempenho e programas de incentivo à eficiência energética das edificações, como o PBE Edifica, RTQ-R e RTQ-C, intensificou as discussões sobre o desempenho térmico das habitações, essencial para o conforto dos usuários. A simulação computacional, recomendada nas fases iniciais do projeto, avalia a envoltória da edificação antes da construção. Este estudo visa otimizar a forma do edifício (form-finding) para alcançar o melhor desempenho térmico, com base no cálculo do percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) da NBR 15.575-1. A modelagem paramétrica facilita as análises de desempenho inicial. A metodologia segue o Projeto Baseado no Desempenho, orientado por parâmetros específicos, através de simulações térmicas e ajustes na geometria e propriedades dos materiais, até alcançar o desempenho ótimo. Os resultados mostram que, ao otimizar o projeto e realizar simulações, é possível testar mais de 750 cenários, com variações de até 50% no desempenho. Em 523 cenários, o PHFT alcançou 100%, destacando a importância da escolha da absortância das tintas e da orientação das aberturas para melhorar o desempenho térmico da edificação.

Palavras-chave: Modelagem paramétrica. Desempenho térmico. Otimização projetual.

Abstract

The rise of performance standards and programs to promote and assess energy efficiency in buildings (PBE Edifica, RTQ-R, RTQ-C) has intensified discussions on the thermal performance of residential buildings, a crucial factor for occupant comfort and well-being. Computer simulation is recommended in the early design stages to evaluate the building envelope before construction. This study aims to optimize the building's form, targeting the best thermal performance based on the percentage of occupancy hours within the operating temperature range (PHFT) of NBR 15.575-1. Parametric modeling aids in these early performance analyses.

Como citar:
ALMEIDA, V. G.; SILVA, F. T. Projeto baseado no desempenho térmico por meio da modelagem paramétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

The methodology follows a Performance-Based Design approach, adjusting geometry and material properties through thermal simulations to achieve optimal performance. Results demonstrate that by combining design optimization and computer simulations, more than 750 configuration scenarios can be simulated, showing up to a 50% improvement in performance compared to the worst-case scenario. In 523 scenarios, a PHFT of 100% was achieved. The study highlights the critical role of selecting the absorptance of the building envelope's paints and the orientation of openings in improving thermal performance.

Keywords: Parametric Modeling. Thermal Performance. Design Optimization.

INTRODUÇÃO

Um dos métodos de se avaliar o desempenho térmico de uma edificação é através da simulação computacional sobre um modelo paramétrico, onde podem ser definidas estratégias e soluções projetuais que minimizem o impacto da radiação solar no envelope construtivo, melhorando o desempenho do edifício. A capacidade de utilizar ferramentas de análise de desempenho térmico no modelo digital cria oportunidades de melhorar a qualidade final da edificação [1].

Para realização da simulação de desempenho térmico, é necessário basicamente a inserção dos dados de entrada da edificação e do seu entorno, como geometria, arquivos climáticos, características termofísicas dos materiais, uso e ocupação da edificação, de forma a analisar o comportamento térmico da edificação frente ao clima em que está inserida, e sendo possível verificar parâmetros como a temperatura do ar no interior da edificação e a temperatura radiante.

Esse processo de análise-síntese deve prosseguir até que um desempenho razoável seja atingido, quanto antes o arquiteto iniciar esse processo, melhor e mais facilmente encontrará bons resultados [2]. Dessa forma, é possível contribuir na redução do consumo energético da edificação, tendo em vista que as edificações residenciais são responsáveis pelo consumo de mais de 27% de toda a energia elétrica produzida no país [3].

Com análises no comportamento dos elementos construtivos frente a parâmetros de sombreamento e ventilação, por exemplo, já é possível verificar quais elementos não se adequam ao clima, e apontar direções quanto a correta escolha dos materiais e a volumetria final da edificação [4].

Entre as ferramentas que podem ser utilizadas nesse processo, destaca-se o *Rhinoceros* (RH), que é uma ferramenta digital de modelagem em CAD 3D, trabalhando com *Non-Uniform Rational B-Splines* (NURBS), malhas poligonais, curvas e superfícies geradas a partir de diversas funções paramétricas [5]. De forma a aprimorar as configurações paramétricas do modelo 3D, é utilizado o plug-in *Grasshopper* (GH), que apresenta uma interface acessível de programação visual [6].

Na interface do GH, o *add-on Honeybee* consiste em uma interface para as ferramentas de simulação termoenergética (*Energyplus* e *Openstudio*), enquanto que o add-on *Ladybug* permite a utilização de arquivos climáticos no formato epw, possibilitando análises de insolação, e ventilação natural [7].

De acordo com a NBR 15575 [8], é recomendado a utilização do programa *Energyplus* para as simulações computacionais de análise de desempenho térmico, admitindo a utilização de outros programas desde que sejam validados pela norma ASHRAE Standard 140. O GH atende esse requisito, conforme demonstrado por [9] e [10], que realizaram a validação da ferramenta através do procedimento BESTEST indicado pela norma ASHRAE Standard 140-2014 [11].

Além da análise de parâmetros básicos como o sombreamento e a ventilação predominante da edificação, a fase de concepção é determinante ao definir áreas

expostas ao exterior, paredes, coberturas, contato com o solo, condicionantes de implantação e orientações [12]. A definição de metas e valores a serem alcançados durante o início do projeto, auxilia o projetista na leitura da simulação preliminar de desempenho, como a utilização de normas, legislações urbanísticas e manuais com diretrizes técnicas [13].

A Modelagem Paramétrica se caracteriza pela capacidade de representar um objeto digitalmente, criando atributos fixos e variáveis representados por parâmetros e regras, permitindo que estes objetos sejam automaticamente ajustados conforme as necessidades do projetista [1]. Esta metodologia proporciona obter soluções de projeto com características diferentes, a partir de uma mesma topologia de uma tipologia de objeto, neste caso a variação de características geométricas e propriedades térmicas dos materiais do modelo.

Dispondo-se dos conceitos de modelagem paramétrica, desempenho térmico das edificações habitacionais e de simulação computacional, esse trabalho tem o objetivo de realizar uma simulação de otimização da forma (*form-finding*) de um modelo simplificado (*shoe box model*), buscando o melhor desempenho térmico de acordo com o cálculo do percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) da NBR 15.575-1 de 2021 (Norma de desempenho das edificações habitacionais), utilizando o RH/GH, aliado aos *add-ons Honeybee*, *Ladybug* e *Galápagos*.

MÉTODO

A abordagem projetual utilizada nesse experimento, seguirá o conceito do projeto baseado em desempenho, que pode ser considerado um processo de projeto orientado para o atendimento de um certo parâmetro de desempenho, através da utilização de tecnologias digitais que suportem o desenvolvimento e experimentação de formas e características do objeto, até que seja alcançado o desempenho desejado [14].

Trabalhar com um fluxo de projeto baseado em desempenho, é uma forma de integrar simulações computacionais na análise de desempenho de uma proposta projetual. O primeiro passo seria estabelecer os requisitos de desempenho que devem ser alcançados, nesse caso o desempenho térmico da envoltória de uma edificação habitacional, através do cálculo do percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT), previsto pela NBR 15575-1 [8].

Para realização das simulações de desempenho térmico, foi utilizado o arquivo climático da cidade de João Pessoa – PB, disponibilizado pelo repositório da NBR 15575[1] [15].

A seguir, serão apresentados os três aspectos da modelagem paramétrica do modelo, que consiste na configuração geométrica, a configuração dos materiais e a configuração do processo de otimização.

[1] Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1L1L8ge6CGljufKWDhwzQQPhwnHL-15EW/edit

CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA DO MODELO

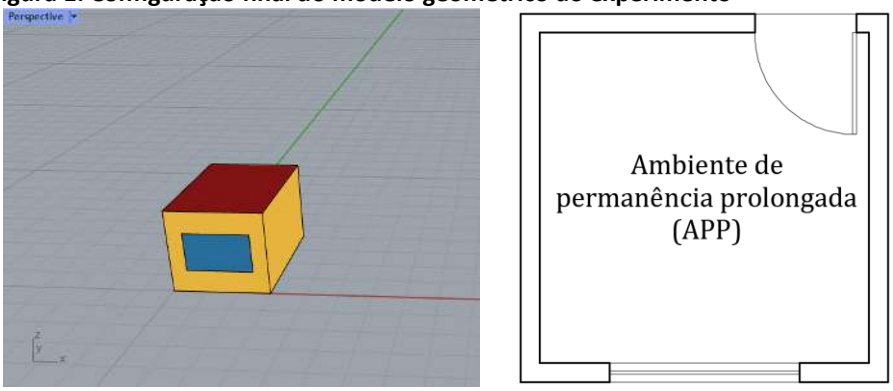
Para configuração geométrica do modelo, foram modeladas parametricamente as dimensões de largura, pé-direito, área do ambiente e área relativa mínima da janela, de forma que todas as dimensões atendessem os valores mínimos fornecidos pelo código de obras de João Pessoa – PB [16]. Todas as faces do invólucro foram modeladas parametricamente através de *Boundary Representations* (B-reps) por meio de componentes do GH.

Apesar da área da janela estar modelada parametricamente, foi estipulada a altura fixada em 1,20m, por ser considerada uma medida de altura facilmente encontrada no mercado, e a porta de entrada possui as dimensões de 0,80m de largura e 2,10m de altura.

Além da parametrização das principais dimensões, foram configuradas a orientação e posicionamento deste em relação ao norte de projeto (azimute), e o posicionamento da janela em relação as faces do modelo, de forma que a janela sempre fique posicionada de forma centralizada.

Após a configuração geométrica do modelo e orientação espacial no GH, temos o modelo de um ambiente residencial de permanência prolongada (Dormitório ou Sala) conforme apresentado na (Figura 1).

Figura 1: Configuração final do modelo geométrico do experimento



Nota: Modelo 3D geométrico (à esquerda); Planta baixa esquemática (à direita)
Fonte: Os autores.

CONFIGURAÇÃO DOS MATERIAIS

Após a configuração do modelo geométrico, foram inseridas as configurações dos materiais para as paredes, janela, porta, piso e cobertura, dentro do ambiente gráfico do GH, com a utilização dos componentes de materiais. O sistema construtivo considerado para o modelo, é composto da seguinte forma:

- Vedação em alvenaria de tijolo cerâmico de 8 furos (9x19x19cm), revestida com argamassa de cimento interna e externa;

- Piso cerâmico sobre camada de contrapiso, e lastro de concreto em contato com o solo;

- Cobertura em laje maciça de concreto sob telhado cerâmico;

- Janela de vidro liso comum 3mm – transparente;

- Porta semi-oca, de compensado liso.

Para configuração dos materiais das paredes, piso e cobertura, foram utilizadas as características termofísicas para alvenaria de tijolo cerâmico de 8 furos (9x19x19 cm), da cobertura em telha cerâmica sobre laje maciça de concreto, e do piso cerâmico sobre o solo, de acordo com a biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no Energyplus [17], conforme (Tabela 1), (Tabela 2) e (Tabela 3).

Tabela 1: Configurações dos materiais das vedações

Bloco	Revestimento	Composição	e (cm)	λ (W/m°C)	ρ (kg/m³)	C (Kj/Kg.K)
8 furos 9x19x19cm	Argamassa interna e externa	Argamassa Interna	2,50	1,15	2000	1,00
		Cerâmica	1,30	0,900	1600	0,920
		Câmara de ar	6,40	0,356	-	-
		Cerâmica	1,30	0,900	1600	0,920
		Argamassa externa	2,50	1,15	2000	1,00

Notas:
e – espessura
λ – condutividade térmica
ρ – peso específico aparente
c – calor específico
Fonte: Adaptado de [17].

Tabela 2: Configurações dos materiais da cobertura

Telha	Laje	Revestimento	Composição	e (cm)	λ (W/m°C)	ρ (kg/m³)	C (Kj/Kg.K)
Cerâmica	Maciça de concreto	Sem acabamento superior e inferior	Cerâmica	1,00	1,05	2000	0,920
			Câmara de ar	25,0	1,19	-	-
			Concreto	10,0	1,75	2200	1,00

Notas:
e – espessura
λ – condutividade térmica
ρ – peso específico aparente
c – calor específico
Fonte: Adaptado de [17].

Tabela 3: Configurações dos materiais do piso

Tipo	Revestimento	Composição	e (cm)	λ (W/m°C)	ρ (kg/m³)	C (Kj/Kg.K)
Piso Cerâmico	Piso cerâmico sobre o solo	Piso Cerâmico	0,750	1,05	2000	0,92
		Contrapiso	5,00	1,15	2000	1,00

	Lastro de concreto	5,00	1,75	2200	1,00

Notas:
e – espessura
λ – condutividade térmica
ρ – peso específico aparente
c – calor específico
Fonte: Adaptado de [17].

Os valores de absortância da camada externa das paredes e das telhas da cobertura foram modelados parametricamente, levando em consideração o intervalo entre os valores mínimos e máximos de absortância de tintas apresentado no trabalho de **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, onde os valores configurados serão apresentados na etapa de configuração do processo de otimização.

Para configuração da porta e janela, conforme demonstrado na Tabela 4, foram utilizadas as propriedades térmicas dos materiais apresentados na NBR 15220-2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, e foi considerando o mesmo valor de transmitância térmica do vidro da janela utilizado em [20].

Tabela 4: Configurações dos materiais da porta e da janela

Material	e (cm)	λ (W/m°C)	ρ (kg/m³)	C (Kj/Kg.K)	U W/(m².K)
Compensado	1,27	0,12	450	2,30	-
Vidro comum	0,03	1,00	2500	0,84	5,7

Notas:
e – espessura
λ – condutividade térmica
ρ – peso específico aparente
c – calor específico
U – transmitância térmica
Fonte: Adaptado de [19] e [20].

Dessa forma, temos o modelo com os materiais configurados para realização das simulações de desempenho térmico, com o intuito de verificar o requisito de desempenho da envoltória de acordo com a NBR 15575-1 [8], por meio do uso do algoritmo genético para otimização dos resultados, a serem realizados com a utilização do componente *Galapagos*.

CONFIGURAÇÃO DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

Para orientação do processo de otimização da forma, a ser realizado no componente *Galapagos*, foi definido que a solução a ser encontrada deveria atender a maior faixa de temperatura operativa (PHFT) do modelo geométrico, conforme equação abaixo, no período de ocupação de 01 ano (8760 horas), com base na média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBSm) do arquivo climático utilizado.

$$PHFT = \frac{NHft}{NHocup} . 100$$

onde:
PHFT: Percentual de horas de ocupação do APP dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem;
NHft: Número de horas em que o APP se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro da faixa de temperatura operativa de 28ºC, ao longo do ano;
NHocup: É o número de horas em que o APP é ocupado ao longo do ano, para esse experimento sendo considerada todas 8760 horas de um ano.

Dessa maneira, o PHFT é a função-objetivo (*fitness function*) do processo de otimização que visa maximizar esse parâmetro, alterando as configurações geométricas e de absortância dos materiais.

Com base no procedimento descrito na NBR 15.575, que determina o intervalo que deve ser considerado para cálculo do PHFT, e considerando a média da TBSm do arquivo climático de João Pessoa de 26,01 °C, foi utilizado o intervalo 2 onde a PHFT deve trabalhar abaixo dos 28 °C.

Nesse experimento não será avaliado se o modelo atende aos critérios mínimo, intermediário e superior de PHFT estabelecido na norma de desempenho, por não ser desenvolvido o modelo de referência para comparação dos resultados com o modelo real. O processo de otimização irá buscar a configuração do modelo que possui o maior PHFT, considerando todas as horas do ano, de forma a verificar qual configuração mais se aproxima do valor de 100%, e qual configuração apresenta o pior desempenho.

Após a definição do parâmetro de desempenho a ser alcançado, foram definidas as características geométricas e propriedades dos materiais, modeladas parametricamente, para utilização no processo de otimização do *Galapagos*.

Dessa forma, os parâmetros otimizáveis que serão modificados durante o processo de otimização projetual, apresentaram os valores mínimos e máximos, e intervalo conforme demonstrado na (Tabela 4).

Tabela 4: Configuração dos parâmetros otimizáveis do modelo

Parâmetros otimizáveis	Valor mínimo	Valor máximo
Largura (m)	2,60	3,08
Área (m²)	8,00	12,00
Pé-direito (m)	2,60	3,00

Azimute (graus)	0	315
Área relativa da janela (%)	16,66	25
Absortância das paredes (%)	10	90
Absortância da cobertura (%)	10	90

Fonte: O autores.

Os valores mínimos de largura, área do ambiente, pé-direito e área relativa da janela, obedecem ao disposto no Código de Obras de João Pessoa – PB [16], sendo que os valores máximos foram definidos considerando boas práticas projetuais para ambientes de permanência prolongada (quartos e salas) [21][21].

O valor do azimute se refere ao ângulo em que a parede que possui a janela está posicionada em relação ao norte, de forma que seja verificada a interferência da incidência solar no cálculo do PHFT, e para os valores de absortância foram considerados os valores mínimo de 10%, representando tintas claras, e máximo de 90%, representando tintas escuras.

No componente Galapagos, foram configurados os seguintes valores no *Evolutionary Solver*, conforme demonstrado na (Tabela 5).

Tabela 5*:* Configuração dos parâmetros no *Evolutionary Solver* do *Galápagos*

Parâmetro	Valor
Max. Stagnant	15
Population	50
Initial Boost	2
Maintain	5
Inbreending	75

Fonte: Os autores.

RESULTADOS

Durante o processo de otimização da forma, realizado pelo *Galapagos*, foram desenvolvidas 15 gerações, sendo a geração inicial com a elaboração de 100 cenários de projeto, e as posteriores com 50 cenários cada, totalizando 800 cenários analisados. Dessa forma, sendo encontrado o PHFT de 100,00 % em 523 cenários, onde independente das configurações geométricas do modelo, foram atendidos os valores de absortância de 10% tanto para as paredes como para as coberturas, reforçando o impacto desse parâmetro no desempenho térmico da edificação.

Em resumo, a (Tabela 6) apresenta um comparativo entre um dos cenários que atende ao PHFT de 100%, e o pior desempenho encontrado no processo de otimização da forma baseado no desempenho.

Tabela 6: Resumo das características do modelo no melhor e pior desempenho térmico

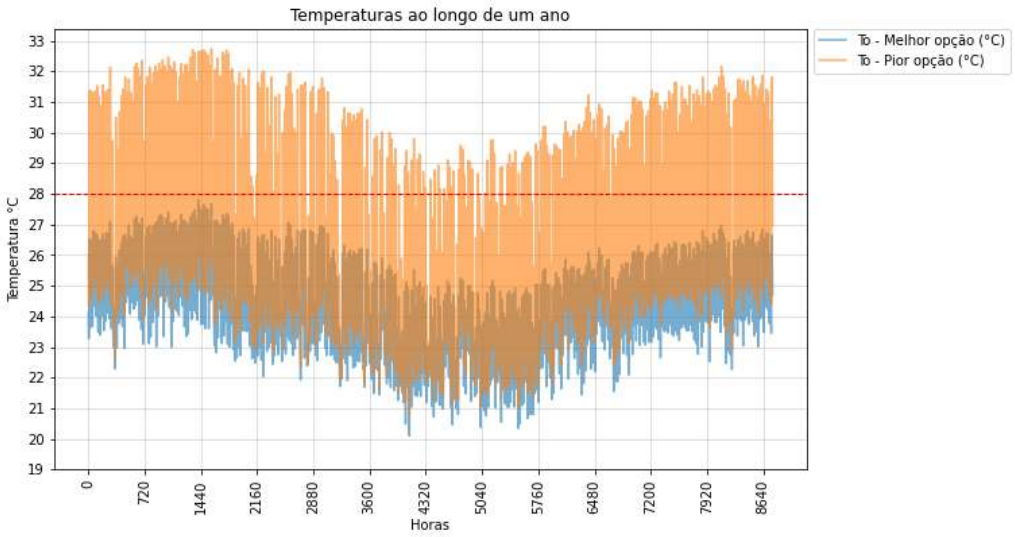
Desempenho	Largura (m)	Área (m²)	Pé-Direito (m)	Orientação da Janela (°)	Área relativa da janela (%)	Absortância das paredes (%)	Absortância da cobertura (%)	PHFT (%)
Melhor	2,80	9,00	2,68	90 (leste)	20 (1/5)	10	10	100
Pior	2,86	8,00	2,84	315 (noroeste)	18 (1/5,6)	80	80	67,62

Fonte: Os autores.

Apesar de na configuração do intervalo dos valores de absortância, ser inserido o valor máximo de 90%, o processo de otimização com 15 gerações (800 cenários) não chegou a simular a configuração com o maior valor de absortância, podendo ocorrer um cenário de PHFT ainda pior que o apresentado. Os resultados também demonstraram que não é possível obter o melhor desempenho térmico apenas com as dimensões mínimas estabelecidas no código de obras de João Pessoa.

Na (Figura 2), é possível observar as temperaturas operativas (To) registradas ao longo do ano (8760 horas), ficando evidente que as temperaturas operativas da melhor opção ficam sempre abaixo da faixa de 28°C, determinado pela NBR 15.575-1, e totalizando um PHFT de 100%.

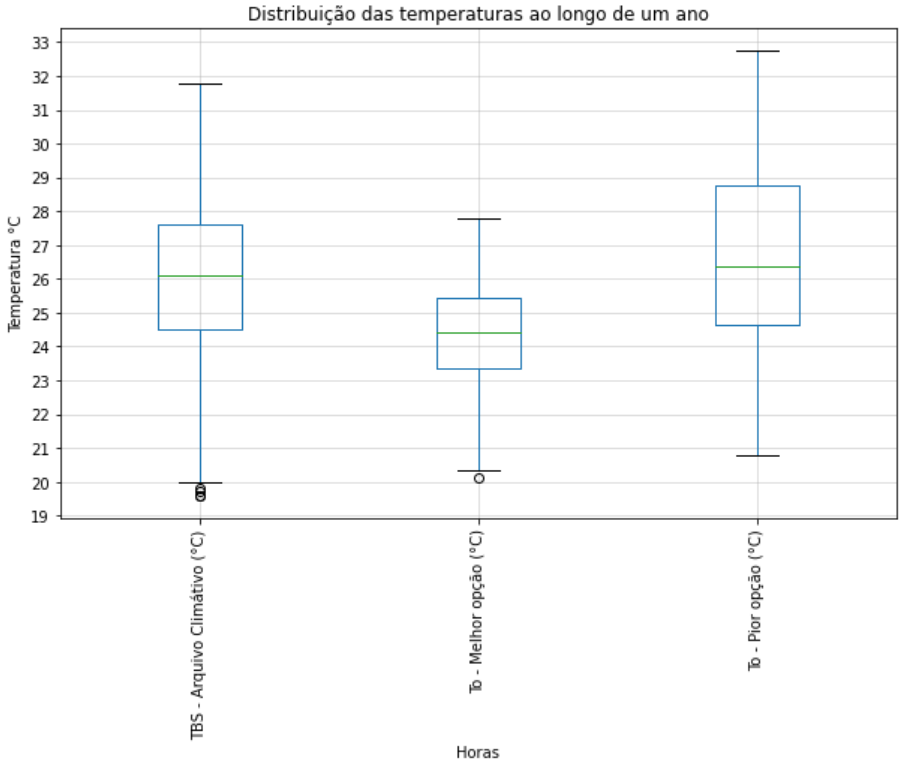
Figura 2: Gráfico das temperaturas operativas ao longo do ano (8760 horas)



Fonte: Os autores.

Já na (Figura 3), é possível observar as medianas e quartis das duas opções comparadas com as temperaturas de bulbo seco registradas no arquivo climático durante um ano, demonstrando principalmente uma grande divergência entre os quartis mínimos e máximos da temperatura em comparação à melhor e a pior configuração do modelo.

Figura 3: Gráfico com as medianas e quartis das temperaturas ao longo de um ano



Fonte: Os autores.

CONCLUSÕES

A utilização da modelagem paramétrica aliada à busca pela otimização de desempenho do projeto, é uma importante ferramenta na busca para o desempenho térmico da edificação nas fases iniciais de projeto, principalmente no caso de edificações habitacionais, que refletem diretamente no bem-estar dos usuários.

O resultado do experimento demonstra que é possível através da otimização projetual aliada com a simulação computacional, simular mais de 750 cenários de configuração de um modelo, que podem apresentar uma configuração com um desempenho melhor em até 50% que o pior cenário, além de demonstrar a interferência de parâmetros chave como a absortância do envelope construtivo (paredes e cobertura) da edificação no desempenho térmico, o que reflete diretamente no consumo energético da edificação, e no conforto térmico dos futuros ocupantes. Ficando evidente a interferência da escolha de materiais com baixos valores de absortância no envelope construtivo, além da correta orientação das aberturas do modelo.

Apesar de o modelo em questão possuir uma configuração simplificada, de forma a avaliar como parâmetros chave podem influenciar no desempenho térmico de uma edificação, os resultados apresentados podem indicar a direção dos parâmetros que mais interferem no desempenho térmico de uma habitação no sistema construtivo em questão, como a orientação das aberturas, principalmente janelas, e a escolha da absortância dos principais elementos de fachada, como vedações externas e a cobertura.

As análises de desempenho aliadas ao projeto paramétrico ajudam a desmitificar fórmulas prontas, e permitem uma maior quantidade de análises desde as fases iniciais do projeto. Esse trabalho representa um esforço inicial de configuração de modelos de otimização projetual focados no desempenho térmico de edificações habitacionais, fazendo parte de um trabalho de doutorado em andamento para elaboração de um modelo paramétrico de uma edificação habitacional de interesse social.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e com o apoio do Instituto Federal de Alagoas – IFAL.

REFERÊNCIAS

[1] EASTMAN, C. et al**. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores.** 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 500p.

[2] LAMBERTS, R.; et al. **Eficiência energética na arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf>, Acesso em: 06 Julho 2023

[3] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2023: Ano base 2022.** Rio de Janeiro: EPE, 2023.

[4] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Guia 1: Processo de Projeto BIM.** Brasília, DF:ABDI, 2017

[5] MCNEEL EUROPE. **Rhinoceros 5.0**. 2017. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/>, Acesso em: 06 Julho 2023

[6] ØSTERGÅRD, T.; JENSEN, R. L.; MAAGAARD, S. E. Building simulations supporting decision making in early design A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 187 201, ago. 2016.

[7] ROUDSARI, M. S.; PAK, M. Ladybug: A Parametric Environmental Plugin for Grasshopper to Help Designers Create an Environmentally-Conscious Design. In: Conference of International Building Performance Simulation Association, 13, 2013, Chambéry. **Proceedings [...]** France: IBPSA, 2013.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575:** Edificações Habitacionais – Desempenho Parte1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021.

[9] STRUNGE, J. W. Building performance simulation in architectural design, in : Advanced Building Skins Conference, **Proceedings [...]** Bern, 2017.

[10] LOPES, F. S. D.; SILVA, V. L.; LABAKI, L. C. Calibração de um modelo preditivo para eficiência energética em edifícios de escritório In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

[11] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE 140:** standard method of test for the evaluation of building energy analys computer programs. Atlanta, GA: ASHRAE, 2014

[12] LAMBERTS, R.; et al. Inserção de simulações de desempenho térmico no processo de projeto. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 12, p. e021011, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.20396/parc.v12i00.8657346.

[13] RODRIGUES, C. O. de M.; PEDRINI, A. Integração da simulação termoenergética nas primeiras fases do processo projetual: o estudo de seis casos. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 245–266, 2016. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/63427. Acesso em: 18 abril 2024.

[14] OXMAN, R. **Theory and design in the first digital age.** Design Studies, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 229-265, mai. 2006.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575:** Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1-1: Base-padrão de arquivos climáticos para a avaliação do desempenho térmico por meio do procedimento de simulação computacional. Rio de Janeiro, 2021.

[16] MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA. **Lei Nº 1. 347, de 27 de abril de 1967.** Institui o código de obras do munícipio de João Pessoa. João Pessoa, PB. 1967

[17] LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES (LABEEE). **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avalição de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** 2017. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Biblioteca_ComponentesConstrutivos_0.pdf> Acesso em 26 mai. 2023

[18] DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA.** 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220:** 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, 2005.

[20] DIAS, L. DE S. et al. Simulação termoenergética e lumínica de fachadas com brises no clima tropical. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 14, p. 1–22, 2023.

[21] NEUFERT, E. **A Arte de Projetar em Arquitetura.** 42. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.