


AVALIAÇÃO PARAMÉTRICA COMPOSITIVA PARA UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR EM CURITIBA-PR

Alexandre da Silva Castagini^A, Rodrigo Karini Leitzke^B, Eduardo Leite Krüger^C



ARTICLE INFO	RESUMO
<p>Article history: Received: April, 05th 2024 Accepted: June, 05th 2024</p>	<p>Objetivo: O objetivo deste trabalho é avaliar por simulação uma edificação residencial multifamiliar de forma paramétrica, considerando diferentes composições construtivas dos sistemas opacos e translúcidos e os custos construtivos destas composições como variáveis do cenário de avaliação.</p>
<p>Palavras-chave: Simulação Computacional; Parametrização; NBR 15.575. Conforto Térmico.</p>	<p>Referencial Teórico: O trabalho foi fundamentado nas práticas de simulação computacional, apresentando uma revisão sobre as tecnologias adotadas e o embasamento necessário para geração e tratamento dos resultados de desempenho da edificação.</p> <p>Método: A metodologia adotada para esta pesquisa compreende três etapas, sendo elas: (1) identificação e caracterização do problema a ser avaliado por simulação computacional, (2) elaboração e configuração do modelo paramétrico de avaliação e (3) análise e discussão acerca dos cenários avaliados.</p>
	<p>Resultados e Discussão: Os resultados obtidos revelaram para 2970 simulações realizadas um potencial de RedCgTT de até 70%, representando, portanto, uma melhoria expressiva de performance da edificação pelo parâmetro normativo a partir das mudanças realizadas.</p> <p>Implicações da Pesquisa: Este trabalho se posiciona como um ponto de partida para avaliação de cenários amplos de simulação para edifícios multifamiliares em Curitiba-PR, buscando contribuir com o processo de tomada de decisão compositiva para empreendimentos residenciais, levando em conta não apenas o preço da solução, mas também o potencial benefício termoenergético.</p> <p>Originalidade/Valor: A partir de uma análise paramétrica compositiva, apresenta-se ineditismo na busca por contrapor a relação de desempenho da edificação com os custos construtivos.</p> <p>Doi: https://doi.org/10.26668/businessreview/2024.v9i7.4746</p>

COMPOSITIVE PARAMETRIC ASSESSMENT FOR A MULTI-FAMILY RESIDENTIAL BUILDING IN CURITIBA-PR

ABSTRACT

Objective: The aim of this work is to evaluate a multifamily residential building through simulation in a parametric manner, considering different constructive compositions of opaque and translucent systems and the construction costs of these compositions as variables of the evaluation scenario.

Theoretical Framework: The work is based on computational simulation practices, presenting a review of the adopted technologies and the necessary foundation for the generation and treatment of the building's performance results.

^A Mestre em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, Paraná, Brasil.

E-mail: alexcastagini@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-3094-7150>

^B Mestre em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Curitiba, Paraná, Brasil.

E-mail: rkleitzke@inf.ufpel.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6752-1025>

^C Doutor em Arquitetura. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, Paraná, Brasil.

E-mail: ekruger@professores.utfpr.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2895-5530>

Method: The methodology adopted for this research comprises three stages: (1) identification and characterization of the problem to be evaluated by computational simulation, (2) development and configuration of the parametric evaluation model, and (3) analysis and discussion of the evaluated scenarios.

Results and Discussion: The results obtained revealed for 2970 simulations a potential RedCgTT of up to 70%, thus representing a significant improvement in the building's performance according to the normative parameter based on the changes made.

Research Implications: This work positions itself as a starting point for the evaluation of broad simulation scenarios for multifamily buildings in Curitiba, PR, aiming to contribute to the compositional decision-making process for residential projects, considering not only the solution's price but also the thermo-energetic potential benefit.

Originality/Value: Through a compositional parametric analysis, this work presents an unprecedented approach by contrasting the relationship between building performance and construction costs.

Keywords: Building Simulation, Parametric Analysis, NBR 15.575, Thermal Comfort.

EVALUACIÓN PARAMÉTRICA COMPOSITIVA PARA UNA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR EN CURITIBA-PR

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de este trabajo es evaluar mediante simulación una edificación residencial multifamiliar de forma paramétrica, considerando diferentes composiciones constructivas de los sistemas opacos y translúcidos y los costos constructivos de estas composiciones como variables del escenario de evaluación.

Marco Teórico: El trabajo se fundamenta en las prácticas de simulación computacional, presentando una revisión sobre las tecnologías adoptadas y el fundamento necesario para la generación y tratamiento de los resultados de desempeño de la edificación.

Método: La metodología adoptada para esta investigación comprende tres etapas: (1) identificación y caracterización del problema a ser evaluado por simulación computacional, (2) elaboración y configuración del modelo paramétrico de evaluación, y (3) análisis y discusión sobre los escenarios evaluados.

Resultados y Discusión: Los resultados obtenidos revelaron para 2970 simulaciones realizadas un potencial de RedCgTT de hasta 70%, representando, por tanto, una mejora significativa del desempeño de la edificación según el parámetro normativo a partir de los cambios realizados.

Implicaciones de la Investigación: Este trabajo se posiciona como un punto de partida para la evaluación de escenarios amplios de simulación para edificios multifamiliares en Curitiba, PR, buscando contribuir con el proceso de toma de decisiones compositivas para emprendimientos residenciales, teniendo en cuenta no solo el precio de la solución, sino también el potencial beneficio termoenergético.

Originalidad/Valor: A partir de un análisis paramétrico compositivo, se presenta una novedad al contraponer la relación de desempeño de la edificación con los costos constructivos.

Palabras clave: Simulación Computacional, Parametrización, NBR 15.575, Confort Térmico.

1 INTRODUÇÃO

Dentre as novas instruções apresentadas pela ABNT (2005), o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBBR) foi responsável pela diferenciação das características climáticas do território nacional em oito Zonas Bioclimáticas, sendo a Zona Bioclimática 1 a mais fria e a Zona Bioclimática 8 a mais quente. O clima de Curitiba/PR encontra-se na Zona Bioclimática 1, a qual representa menos de 0,8% do território nacional e é caracterizada por invernos rigorosos que não raramente atingem temperaturas abaixo de zero. De acordo com Soares e Silva (2017), os programas habitacionais costumam negligenciar as características

climáticas desta região, proporcionando habitações despreparadas para o enfrentamento de condições adversas em relação ao frio.

Os edifícios têm como função, portanto, para além da proveniência de segurança e abrigo, proporcionar conforto aos seus usuários (Nicol et al., 2012). Segundo os mesmos autores, a partir do século XX, o conforto térmico se torna um “produto” de fácil obtenção, sendo obtido por máquinas e usando energias baratas. Entretanto, a produção destaca que a crescente escassez de combustíveis fósseis, as mudanças climáticas e os impactos ambientais têm mostrado a grande importância em rever as abordagens tradicionais de se projetar edifícios confortáveis.

A demanda por conforto tem sido tema de diversos trabalhos acadêmicos, assim como uma preocupação latente das pessoas quando em ambientes residenciais ou comerciais. O conforto ambiental climático, térmico e lumínico das edificações pode ser suprido através de elementos de climatização ativo, entretanto, essa demanda energética gera um grande impacto ambiental, devido a demanda de energia elétrica e a poluição gerada Sorgato et al. (2012), Pereira et al. (2013).

Os simuladores reproduzem o comportamento térmico das construções em conformidade com a segunda lei da termodinâmica. As transferências de calor entre o edifício e o ambiente ocorrem por meio de radiação, condução, convecção e evaporação. A partir destas trocas, é possível observar o balanço térmico da edificação, no qual são consideradas as cargas internas de energia, os ganhos provenientes da radiação solar direta, bem como os ganhos ou perdas através da ventilação e condução. Nimlyat et al. (2014) afirmam que a avaliação do desempenho energético das edificações é uma tarefa complexa que envolve uma ampla gama de variáveis e conceitos distintos. Nesse contexto, o computador desempenha um papel fundamental, permitindo que a grande quantidade de cálculos relacionados ao desempenho térmico e energético das construções seja realizada por meio de uma simulação computacional.

Para analisar o desempenho de uma edificação, seja em termos de características construtivas ou aspectos técnicos relacionados ao uso de estratégias específicas para aumentar o conforto térmico dos usuários ou reduzir o consumo de energia elétrica, diversas ferramentas computacionais foram desenvolvidas ao longo das últimas décadas. Segundo os dados compilados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos no BEST Directory - Building Energy Software Tools, existem atualmente mais de 290 programas de simulação de desempenho de edificações disponíveis em todo o mundo.

A mais popular delas surgiu através da combinação das ferramentas BLAST e DOE-2, onde o Departamento de Energia dos Estados Unidos deu origem ao software EnergyPlus (EP),

uma ferramenta de código aberto que utiliza simulação computacional para realizar um balanço térmico em um modelo tridimensional, avaliando também o consumo energético dos sistemas de climatização (Crawley, 2000).

Um dos principais desafios enfrentados pelos usuários do EP surge ao tentarem automatizar, parametrizar ou otimizar as informações a serem simuladas. A tarefa de aplicar as variações necessárias em um estudo que envolve o uso da ferramenta não é tão simples como se poderia imaginar, principalmente porque as simulações termoenergéticas realizadas pelo EP não oferecem uma interface que permita ao usuário alterar de maneira adequada em grande escala as informações de entrada do programa, embora sejam eficientes para a análise pretendida.

Quando é necessário alterar diversas características da edificação para aplicação específica, os usuários do EP precisam buscar alternativas que evitem a necessidade de fazer as mudanças manualmente. Uma dessas alternativas é o uso de rotinas ou algoritmos. Para superar as limitações nas variações das entradas apresentadas pelo EP, uma biblioteca de código aberto chamada EnergyPlus Python (eppy) foi desenvolvida em 2011 por Santosh Philip e sua equipe. Atualmente, ela está na versão 0.5.63, lançada em 2022. A principal ideia por trás dessa biblioteca é fornecer aos usuários do EP a capacidade de utilizar diversas variações das características iniciais do projeto, simplificando assim o processo de automação, parametrização e otimização em uma variedade de estudos que fazem uso da ferramenta.

Ainda que o eppy contribua com a alteração das características configuradas inicialmente e apresente uma solução para a problemática da variação de um modelo de simulação em uma lógica de parametrização, o seu uso envolve o entendimento e a capacidade de programação em Python. A alternativa popularizada nos últimos anos, mas que surgiu inicialmente em 2013 foi o Ladybug Tools (Roudsari; Pak, 2013), um plug-in desenvolvido para o Grasshopper (interface de programação visual da ferramenta de modelagem tridimensional Rhinoceros), que apresentou a oportunidade de avaliar características de uma edificação a partir de um modelo 3D simplificado em uma ótica inicialmente pensada para o microclima, observando o comportamento do sol, dos ventos e das demais variáveis climáticas, considerando também as suas incidências nos edifícios.

Estes cenários possíveis para a avaliação termoenergética de edificação oportunizaram a adição do Grasshopper, ferramenta de programação visual atrelada ao Rhinoceros 3D, como parte da estratégia de avaliação. Através do Grasshopper é possível realizar avaliações paramétricas de forma integrada aos cenários de simulação, permitindo a variação não apenas

de aspectos arquitetônicos atrelados à forma da edificação, como também da composição construtiva e de seus custos.

O objetivo deste trabalho é avaliar por simulação uma edificação residencial multifamiliar de forma paramétrica, considerando diferentes composições construtivas dos sistemas opacos e translúcidos e os custos construtivos destas composições como variáveis do cenário de avaliação.

2 MÉTODO

Este trabalho foi realizado em três etapas, sendo elas: (1) identificação e caracterização do problema a ser avaliado por simulação computacional, (2) elaboração e configuração do modelo paramétrico de avaliação e (3) análise e discussão acerca dos cenários avaliados.

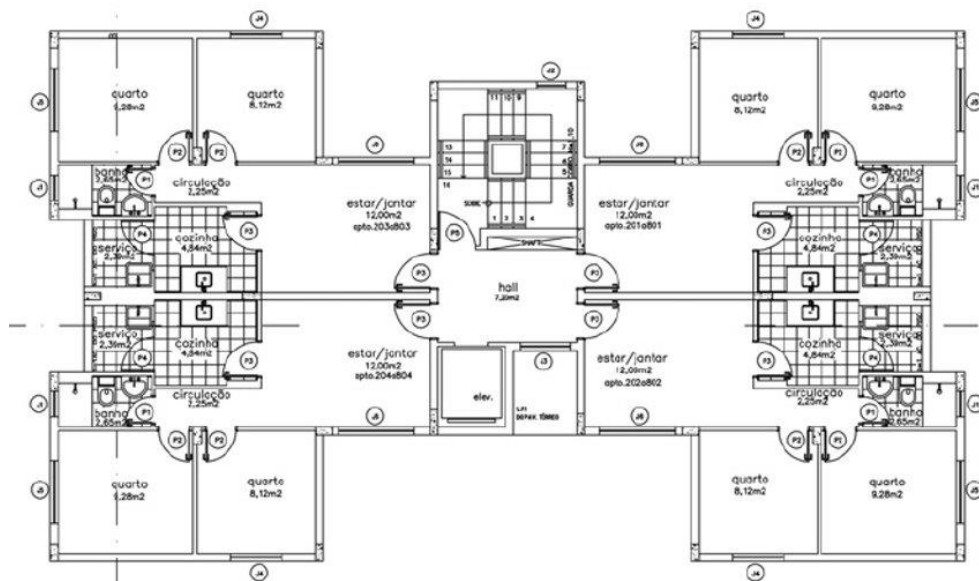
2.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

Como ambiente construído adotado para a avaliação comparativa do trabalho a tipologia representativa do Padrão R8N que segue o estabelecido pela ABNT NBR 12.721:2006 (ABNT, 2006) como Projeto-Padrão e adotado pelo Custo Unitário Básico do estado do Paraná (CUB-PR) foi considerada. Trata-se de uma edificação residencial multifamiliar de 8 pavimentos idênticos em formato H, com oito unidades de 41,4m² por pavimento.

As unidades habitacionais do Padrão R8N são compostas por dois dormitórios, sala de estar/jantar, circulação, banheiro, cozinha e área de serviço. Para as saídas das unidades há um hall com acesso para as escadas e elevador. Trata-se, portanto, de uma planta com formato convencional adotado comumente em edificações do programa Minha Casa Minha Vida (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009), contemplando as exigências mínimas de área e zoneamento interno.

Figura 1

Planta-baixa do Padrão R8N.



Fonte: Ministério das Cidades, 2009

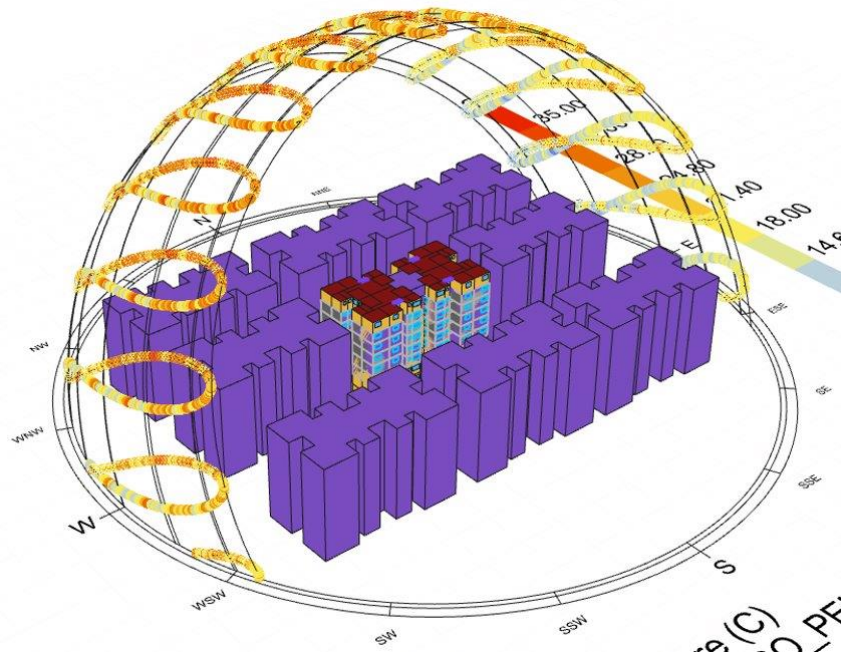
Com relação ao clima, foi adotado o de Curitiba-PR, única capital brasileira situada na ZB1. Curitiba é representativa por conta da alta amplitude térmica, dos prolongados períodos com baixas temperaturas nos meses de inverno e da alta umidade relativa (LEAL et al., 2015). O arquivo climático de simulação considerado foi o “BRA PR Curitiba-Pena.Intl.AP.838400 TMYx.2007-2021.epw”, disponível na base climática ClimateOneBuilding.

2.2 ELABORAÇÃO E CONFIGURAÇÃO

O projeto R8N foi modelado computacionalmente na ferramenta computacional Rhinoceros 3D, como mostram as Figuras 2 e 3 abaixo. Um entorno adensado foi considerado na avaliação, objetivando a adoção de uma condição urbana imediata crítica. A configuração do modelo computacional para simulação se deu através do software Plugin Honeybee Energy, vinculado ao Grasshopper, com propósito de execução no motor de simulação computacional do EnergyPlus. Os pavimentos 01, 02 e 08 foram modelados de forma integral e incluídos na avaliação, visto que representam as condições do térreo, cobertura e de pavimento tipo, os demais pavimentos foram considerados como um volume único.

Figura 2

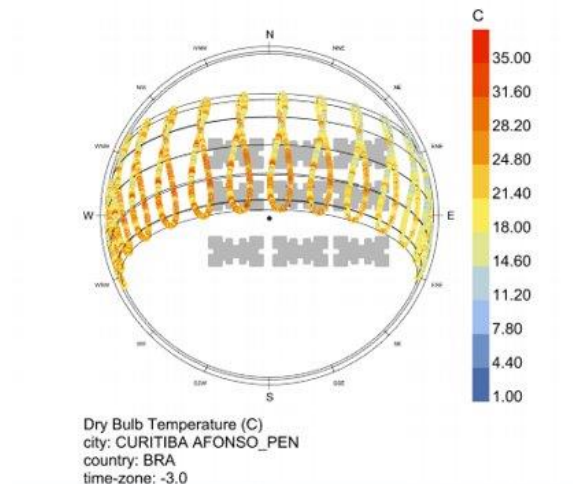
Modelo computacional de simulação



Fonte: Autores.

Figura 3

Trajetória solar e condições de temperatura ao longo do ano



Fonte: Autores.

Quanto à configuração compositiva para definição dos cenários de avaliação da simulação computacional, foram consideradas diferentes composições construtivas de vidros, paredes externas e paredes internas. Os custos dos sistemas construtivos também foram adotados como uma variável da avaliação, considerando os valores unitários por m² da TCPO/PINI para a região de Curitiba-PR (PINI, 2023). As propriedades térmicas dos materiais

adotados foram obtidas a partir do proposto pela ABNT NBR 15.220:2005 (ABNT, 2005) e ABNT NBR 15.220:2021 (ABNT, 2021), bem como os dados dos catálogos técnicos de fabricantes e fornecedores. As tabelas a seguir apresentam as composições construtivas adotadas, considerando o custo, a transmitância térmica (U) e a capacidade térmica (CT) de cada fechamento, assim como o fator solar (FS), no caso dos elementos translúcidos.

Tabela 1

Composições construtivas e custos de paredes externas

Nome	Custo m ²	U (W/m ² .K)	CT (kJ/Kg)
bloco cerâmico 09cm 2.5/9/2.5	216,81	2,29	141,37
bloco cerâmico 14cm 2.5/14/2.5	244,38	1,79	159,30
bloco cerâmico 14cm 2.5cm Thermox 2.5/14/2.5	272,08	1,46	128,55
bloco cerâmico 19cm 2.5/19/2.5	303,85	1,65	170,62
bloco cerâmico 19cm 2.5cm Thermox 2.5/14/2.5	331,55	1,36	139,87
bloco concreto 09cm 2.5/9/1.0	195,16	3,06	195,84
bloco concreto 14cm 2.5/14/1.0	222,59	2,84	211,25
bloco concreto 14cm e 2.5cm ThermoX 2.5/14/2.5	250,29	2,09	180,50
bloco concreto 19cm 2.5/19/1.0	252,78	2,71	220,23
bloco concreto celular 15cm 2.5/10/2.5	168,34	1,25	135,00
bloco concreto celular 20cm 2.5/15/2.5	240,08	0,91	157,50
bloco concreto celular 25cm 2.5/20/2.5	283,26	0,72	180,00
Bloco leve e parede de concreto 10cm	291,19	0,68	249,06
Glasroc, lâ de vidro 3cm e bloco cerâmico 14cm e reboco de 2.5cm	434,04	0,81	132,88
Glasroc, lâ de vidro 3cm e bloco concreto 14cm e reboco de 2.5cm	412,25	1,03	184,83
Parede de concreto 10cm	176,61	4,82	230,00
parede dupla 09 3 09cm cerâmico e reboco de 2.5cm	401,11	0,70	193,37
Parede dupla 09 3 14cm cerâmico e reboco de 2.5cm	428,68	0,63	211,30
Parede dupla 09 5 09cm cerâmico e reboco de 2.5cm	422,03	0,52	193,80
Steel Frame Cimentício	297,87	0,59	14,49
Steel frame com Glasroc	402,19	0,56	39,86
STO e bloco cerâmico 14cm e reboco de 2.5cm	498,88	0,54	115,36
STO e bloco cerâmico 9cm e reboco de 2.5cm	471,31	0,60	97,43
STO e bloco concreto 14cm e reboco de 1cm	477,09	0,63	167,31
STO e bloco concreto 9cm e reboco de 1cm	449,66	0,64	151,90
STO e parede de concreto 10cm	501,19	0,68	249,06

Tabela 2

Composições construtivas e custos das paredes internas

Nome	Custo m ²	U (W/m ² .K)	CT (kJ/Kg)
bloco cerâmico 09cm 2.5/9/2.5	216,81	2,29	141,37
bloco cerâmico 14cm 2.5/14/2.5	244,38	1,79	159,30
bloco cerâmico 19cm 2.5/19/2.5	303,85	1,65	170,62
bloco concreto 09cm 2.5/9/1.0	195,16	3,06	195,84
bloco concreto 14cm 2.5/14/1.0	222,59	2,84	211,25
bloco concreto celular 20cm 2.5/15/2.5	240,08	0,91	157,50
Parede de concreto 10cm	176,61	4,82	230,00
Drywall face simples ar 5cm	204,66	2,33	14,00
Drywall face simples com lâ 5cm	277,87	0,78	14,35

Tabela 3

Composições construtivas e custos dos vidros

Nome	Custo m ²	U (W/m ² .K)	FS
Cool Lite ST 420 4/4/12 arg/4 (insulado)	700,00	2,5	0,19
Habitat Cinza Refletivo 4/4/12 arg/4 (insulado)	640,00	2,7	0,2
Cool Lite BRB 127 4/4/12/4/4 (insulado)	680,00	2,8	0,22
Cool Lite BRS 131 4/4/12/4/4 (insulado)	620,00	2,8	0,24
Cool Lite KNT 140 4/4/12/4/4 (insulado)	680,00	1,8	0,26
Cool Lite ST 436 4/4/12/4/4 (insulado)	620,00	2,8	0,27
Cool Lite ST 420 (laminado)	320,00	5,6	0,28
Cool Lite BRB 127 (laminado)	380,00	5,6	0,32
Cool Lite BRS 131 (laminado)	320,00	5,6	0,33
Cool Lite SKN 154 (laminado)	410,00	5,6	0,33
Cool Lite KNT 140 (laminado)	380,00	5,6	0,34
Cool Lite BRN 148 4/4/12/4/4 (insulado)	620,00	2,8	0,35
Cool Lite STR 428 4/4/12/4/4 (insulado)	580,00	2,8	0,35
Habitat Esmeralda 4/4/12/4/4 (insulado)	580,00	2,8	0,35
Cool Lite SKN 165 (laminado)	410,00	5,6	0,37
Cool Lite ST 436 (laminado)	320,00	5,6	0,37
Cool Lite KNT 164 4/4/12/4/4 (insulado)	680,00	1,8	0,41
Cool Lite STR 428 (laminado)	280,00	5,6	0,43
Habitat Esmeralda (laminado)	280,00	5,6	0,43
Cool Lite ST 150 4/4/12/4/4 (insulado)	570,00	2,8	0,44
Habitat Neutro Cinza 4/4/12/4/4 (insulado)	570,00	2,8	0,44
Cool Lite BRN 148 (laminado)	320,00	5,6	0,45
Habitat Champanhe (laminado)	260,00	5,6	0,48
Cool Lite KNT 164 (laminado)	380,00	5,6	0,51
Cool Lite ST 167 4/4/12/4/4 (insulado)	570,00	2,8	0,54
Habitat Incolor 4/4/12/4/4 (insulado)	570,00	2,8	0,54
Cool Lite ST 150 (laminado)	270,00	5,6	0,55
Habitat Neutro Cinza (laminado)	270,00	5,6	0,55
Cool Lite ST 167 (laminado)	270,00	5,6	0,64
Habitat Incolor (laminado)	270,00	5,6	0,64
Float comum incolor (insulado)	320,00	2,8	0,76
Float comum incolor (laminado)	130,00	5,6	0,76

Tabela 4

Composições construtivas e custos dos demais fechamentos

Nome	Custo m ²	U (W/m ² .K)	CT (kJ/Kg)
Cobertura – Fibrocimento, ar e laje de concreto 10cm	153,70	2,36	240,08
Laje de piso externo – Laje de concreto 12cm e contrapiso 4cm	119,59	4,16	364,00
Laje de piso interno – Laje de concreto 12cm e contrapiso 4cm	119,59	4,16	364,00

2.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO

Para a avaliação paramétrica da composição construtiva, 2970 termoenergéticas únicas foram realizadas, tendo como saídas para comparação as variáveis detalhadas na Tabela 5 a seguir,

Tabela 5

Saídas avaliadas no cenário paramétrico

Variável	Objetivo	Unidade
Intensidade do uso de energia com refrigeração (EUI Cool)	Observação do consumo energético com refrigeração ao longo do ano	kWh/m ² ,ano
Intensidade do uso de energia com aquecimento (EUI Heat)	Observação do consumo energético com aquecimento ao longo do ano	kWh/m ² ,ano
Carga térmica de pico para refrigeração (Peak Cool)	Observação da demanda energética necessária para refrigeração a partir de um dia típico de verão	kW
Carga térmica de pico para aquecimento (Peak Heat)	Observar a demanda energética necessária para aquecimento a partir de um dia típico de inverno	kW
Custo operacional anual de energia (OPEX)	Custo tarifário da companhia de energia elétrica multiplicado pelo consumo anual de energia	R\$
Custo construtivo dos sistemas avaliados (CAPEX)	Somatório do custo construtivo dos sistemas multiplicado pela área de cada fechamento	R\$
Custo construtivo dos sistemas avaliados (CAPEX)	Somatório do custo construtivo dos sistemas multiplicado pela área de cada fechamento	R\$
Custo da tonelada de refrigeração (TR)	Custo total para instalação dos sistemas de climatização artificial	R\$
Redução de carga térmica total (RedCgTT)	Percentual médio de melhora energética do edifício em relação ao modelo de referência da NBR 15,575:2021	%

As análises paramétricas foram realizadas com tratamento dos dados em Python, considerando o uso dos plugins do Grasshopper Colibri e Ladybug Fly, desta forma, cada iteração de simulação foi armazenada para posterior tratamento e filtragem,

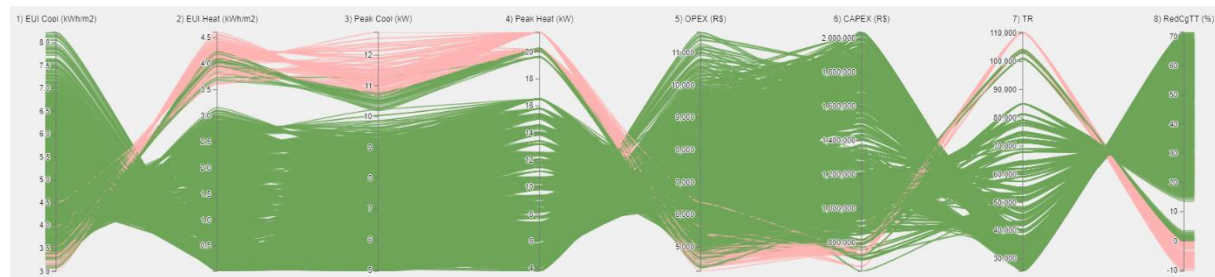
Como formato de visualização um gráfico de coordenadas paralelas foi considerado, nele cada coluna representa uma das variáveis de saída da simulação (Tabela 5) e cada linha representa um cenário apontado no estudo,

3 RESULTADOS

A Figura 4 abaixo apresenta um gráfico que coordenadas paralelas que contemplam os resultados das 2970 simulações realizadas como linhas no plano, bem como em cada coluna uma das variáveis de interesse do estudo é disposta,

Figura 4

Disposição dos resultados obtidos no gráfico de coordenadas paralelas



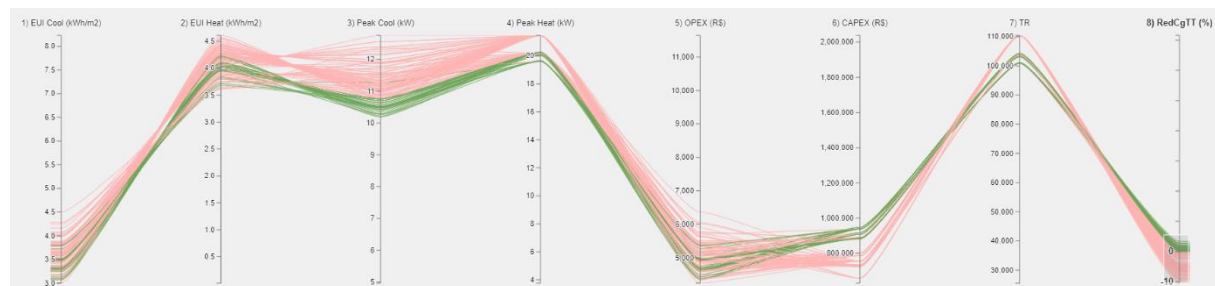
Fonte: Autores.

Os resultados mostram nas linhas verdes da Figura 4 que 2877 (96,9%) soluções apresentaram reduções de carga térmica positivas, enquanto as linhas vermelhas apresentam 93 soluções (3,1%) com reduções de carga térmica negativas, ou seja, performances energéticas abaixo do modelo de referência da NBR 15,575:2021. A estimativa geral mostra que, para as composições construtivas testadas, há um enorme potencial de obtenção de reduções de cargas térmicas positivas, indicando condições energéticas em consonância à norma de desempenho,

Para além dos dados gerais, a Figura 5 mostra que as 126 soluções com piores resultados de redução de carga térmica apresentaram composições construtivas considerando a parede de concreto de 10cm, independentemente da variação dos vidros e paredes internas,

Figura 5

Recorte com soluções com piores desempenhos energéticos (menores RedCgTT)



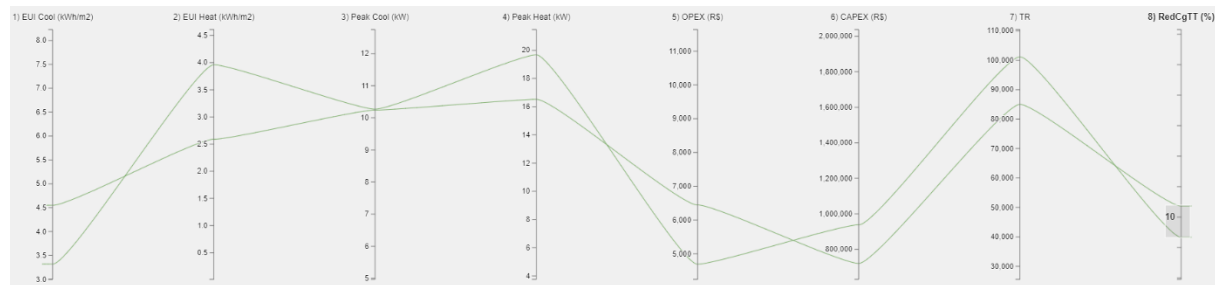
Fonte: Autores.

O que se observa pelas Figuras 4 e 5 na coluna 8 de redução de carga térmica, é que há uma diferença de 10,23% na RedCgTT entre a solução com vidros Cool Lite KNT 140 4/4/12/4/4 (insulado, com 1,8 de transmitância e 0,26 de fator solar), paredes internas de concreto 10cm e paredes externas de concreto 10cm, frente a solução com vidro comum (laminado, com 5,6 de transmitância e 0,76 de fator solar), paredes internas em drywall e externas em bloco de concreto 9cm. Estas duas soluções recortadas na Figuras 5 apresentam

também uma diferença em relação ao custo, a solução de menor desempenho com paredes de concreto 10cm, por conta do vidro especial, apresenta um custo de CAPEX (coluna 6) de R\$ 937,816,38, contra R\$ 721,257,28 da solução com vidro comum e bloco de concreto 9cm, uma diferença de R\$ 216,559,10 ou 23,1%.

Figura 6

Diferença na coluna de redução de cargas térmicas

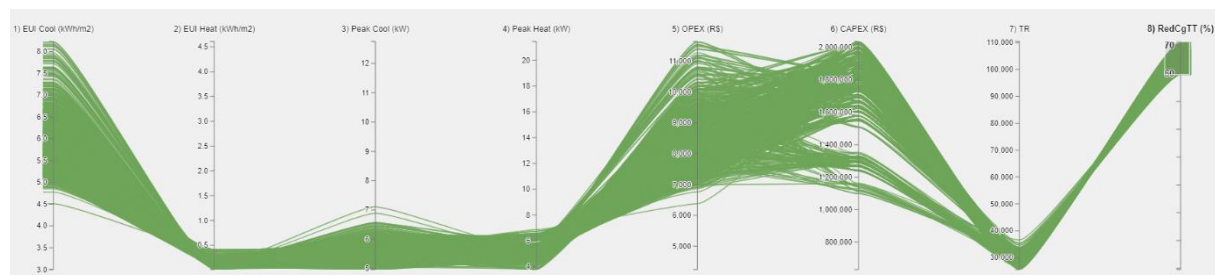


Fonte: Autores.

A Figura 7 abaixo apresenta o recorte das soluções com 60% ou mais de RedCgTT médio, ou seja, soluções que apresentam elevado desempenho energético em comparação com o modelo de referência da ABNT NBR 15.575:2021. Neste recorte 763 (25,7%) foram identificadas, com variações no custo construtivo (CAPEX) de R\$ 1.113.400,00 à R\$ 2.020.000,00, uma diferença de R\$ 906.600,00 ou 44,9%.

Figura 7

Diferença na coluna de redução de cargas térmicas



Fonte: Autores.

Ainda sobre as melhores composições construtivas do ponto de vista termoenergético, a Figura 7 permite dividir o CAPEX (6) em três grupos: soluções entre R\$ 1.000.000,00 e R\$ 1.200.000,00, soluções entre R\$ 1.200.000,00 e R\$ 1.400.000,00 e, por fim, soluções entre R\$ 1.400.000,00 e R\$ 2.020.000,00.

Para o primeiro grupo, com 20 soluções, vidros duplos insulados incolores predominaram, com a maior parte das soluções apresentando paredes externas em bloco de concreto celular de 10 e 15cm de espessura, estratégias com blocos de concreto ou cerâmico sem isolamento térmico não foram identificadas neste recorte. As paredes internas variaram sem uma predominância dentre as opções testadas.

Já para o segundo grupo, 98 soluções, os vidros duplos insulados com menor fator solar foram predominantes como o BRS 131 (FS de 0,24) e o Habitat Cinza Refletivo (FS de 0,20), as demais soluções tidas como parte deste grupo também apresentaram como característica comum valores baixos de fator solar. Quanto as paredes externas, soluções com bloco de concreto celular em 10, 15 e 20cm predominaram, havendo também a ocorrência de soluções com bloco leve e parede de concreto (estratégia de isolamento térmico externo) e paredes externas em steel frame cimentício com isolante também foram identificadas. Novamente, assim como visto para o primeiro grupo, os vidros laminados e blocos cerâmicos ou de concreto sem isolamento térmico não foram identificados. Para as paredes internas, novamente, assim como visto para o primeiro grupo, não houve uma predominância dentre as opções.

Por fim, para o terceiro grupo, com 627 soluções, o vidro Habitat Cinza Refletivo (FS de 0,20) foi a solução predominante. Para as paredes externas, as paredes duplas e as estratégias com isolante térmico externo como STO e Glasroc foram as predominantes. Ainda, para este recorte, paredes internas em bloco cerâmico, sobretudo nas condições de 19cm, apresentaram maior recorrência dentre as soluções. Para o recorte com maior custo das soluções, nenhuma situação com vidros laminados não insulados e paredes externas em blocos cerâmicos ou de concreto sem isolamento térmico foram identificadas.

4 CONCLUSÕES

A avaliação por simulação realizada neste trabalho busca contribuir com a discussão sobre o direcionamento dos ideais sistemas construtivos de edifícios multifamiliares na Zona Bioclimática 1, em especial, na cidade de Curitiba-PR.

Os resultados obtidos mostram que, para além de uma situação onde 96,9% do volume de simulações realizadas apontam para reduções positivas de cara térmica, ou seja, composições construtivas que performam melhor energeticamente que o modelo de referência da NBR 15.575:2021, o aumento, ainda que gradual do nível de isolamento térmico, em especial das paredes externas e vidros, mostrarem-se importantes componentes na melhora do desempenho.

Dentre os melhores resultados obtidos, as divisões dos três recortes mostram que, quanto maior a capacidade de investimento, maior o conjunto de possibilidades construtivas para um alto nível de desempenho termoenergético, ainda que soluções com custos intermediários para a amostra avaliada possam performar energeticamente tão bem quanto soluções mais caras, desde que mantidas as premissas comuns observadas nas melhores soluções energéticas, sendo vidros com baixo fator solar e baixa transmitância térmica e paredes externas com baixa transmitância térmica.

Como destaques de soluções com custo-benefício segundo o obtido via custos da TCPO-PINI e resultados de simulação, cabe menção ao bloco de concreto celular, sendo uma estratégia com boa capacidade térmica e menor transmitância térmica em comparação com os blocos cerâmicos e de concreto. Quanto aos vidros, soluções com menor fator solar, ainda que em um clima frio como Curitiba-PR foram as melhores opções, de qualquer modo, o nível de transmitância térmica do vidro ainda foi mais impactante. A adoção de vidros insulados (ainda que incolores e com maior fator solar), foram constantes na busca pelos melhores resultados termoenergéticos.

Este trabalho se posiciona como um ponto de partida para avaliação de cenários amplos de simulação para edifícios multifamiliares em Curitiba-PR, buscando contribuir com o processo de tomada de decisão compositiva para empreendimentos residenciais, levando em conta não apenas o preço da solução, mas também o potencial benefício termoenergético.

REFERÊNCIAS

- ABNT. (2021). *NBR 15575 – desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – partes 1–5*. Brasil. Associação Brasileira de Normas Técnicas (Vol. 2).
- ABNT. (2005). *NBR 15220 – desempenho térmico de edificações*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2006). *NBR 12721 – Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios*.
- Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Pedersen, C. O. & Winkelmann, F. C. (2000). Energy plus: energy simulation program. *Ashrae journal, Ashrae American Society Heating Refrigerating*, 42(4), 49–56.
- Leal, L., Biondi, D. & Batista, A. C. (2015). Extremos de temperatura na cidade de Curitiba–PR e estratégias para amenização microclimática. *Enciclopédia Biosfera*, 11(21).
- Ministério das Cidades. (2009). *Programa Minha Casa Minha Vida: Diretrizes Gerais*.

- Nicol, F., Humphreys, M. & Roaf, S. (2012). *Adaptive thermal comfort: Principles and practice*. Abingdon, Oxfordshire, UK: Routledge.
- Nimlyat, P., Dassah, E & Allu, E. (2014). Computer simulations in buildings: implications for building energy performance. *Computer*, 4(3).
- Pereira, H. A. da C., Melo, A. P., Sorgato, M., Versage, R., MATOS, M., & Lamberts, R. *Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa energyplus-versão 8.0*. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética de Edificações do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, (2013).
- PINI. (2023). *TCPO: tabela de composição de preços para orçamentos*.
- Roudsari, M. S. & Pak, M. (2013). *Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design*.
- Soares, M. M. & Silva, A. C. S. B. da. (2017). Análise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da nbr 15575: zona bioclimática 2. *Ambiente Construído*, SciELO Brasil, 17, 305–327.
- Sorgato, M. J. et al. (2012). *Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente*.