



DISCUSSÃO SOBRE A APLICAÇÃO DE ALGORITMOS MULTIOBJETIVO À OTIMIZAÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO ESCOLAR

THALITA DOS SANTOS MACIEL¹; RODRIGO KARINI LEITZKE²; EDUARDO GRALA DA CUNHA³

¹Universidade Federal de Pelotas – thalita-maciel@hotmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – rodrigokarinileitzke@gmail.com

³ Universidade Federal de Pelotas – eduardogralacunha@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o país registra uma grande progressão no consumo final de energia elétrica pelos setores residencial, comercial e público. A demanda por climatização contribuiu significativamente para esse crescimento e, de forma recente, é responsável por grande parcela do consumo total dos edifícios. Tais fatores podem estar diretamente relacionados com as escolhas feitas durante o processo de projeto e na definição do envelope térmico dessas edificações.

Numa perspectiva projetual, sabe-se que todas as decisões podem exercer grande influência no desempenho térmico e energético de uma edificação. O ato de projetar não apenas caracteriza uma tradução entre o meio ambiente natural e o construído, mas também envolve inúmeras variáveis que geralmente são interrelacionadas e configuram o sistema complexo e único que é o edifício (NIMLYAT; DASSAH; ALLU, 2014).

Dada essa complexidade, a análise por meio de simulação computacional é frequentemente utilizada na identificação de estratégias para melhoria do desempenho de edificações (COAKLEY; RAFTERY; KEANE, 2014). No entanto, apesar da simulação computacional convencional representar um grande avanço para esse tipo de análise, o processo de otimização no desempenho de uma edificação pode ser demorado.

Em seu estudo, Pan et. al. (2016) afirma que esse tipo de procedimento se feito de forma manual, pode consumir muito tempo, demandar de inúmeros testes e muitas vezes ainda tornar-se impraticável para projetos complexos. Por esse motivo, muitos trabalhos tem aliado o uso de simulação computacional com ferramentas baseadas nos princípios de inteligência artificial (IA) para o aumento da complexidade e relevância dos resultados.

O resumo apresenta o desenvolvimento de uma pesquisa em andamento, como parte da metodologia que será utilizada em uma dissertação de mestrado. Possui como principal objetivo discutir a aplicação de dois algoritmos evolutivos multiobjetivo à otimização dos parâmetros que compõem o envelope térmico de um projeto-padrão de uma Escola de Educação Infantil (EMEI), visando a redução do consumo de energia por climatização artificial dessa edificação.

2. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em cinco etapas: (i) definição do objeto de estudo; (ii) configuração das características da solução base; (iii) definição das variáveis de otimização e seus respectivos intervalos; (iv) desenvolvimento do algoritmo evolutivo multiobjetivo para otimização das variáveis e (v) análise de resultados, onde foram consideradas como funções-objetivo a Intensidade do Uso de Energia (EUI) para resfriamento e a EUI para aquecimento.

Considerando a designação do projeto de EMEI com tipologia 2 (FNDE, 2017) para implantação na cidade de Pelotas/RS e em outras diversas cidades da Zona Bioclimática (ZB) 2, este foi o modelo escolhido para avaliação do método proposto para este estudo. A edificação possui 890,33m² de área construída e capacidade de acolhimento de até 94 crianças em turno integral ou 188 em turnos alternados. Para representação do modelo real, a etapa de modelagem foi realizada através do *software SketchUp® PRO 2019*, com o acréscimo do *plugin Legacy Open Studio 1.0.13*.

Essa edificação apresenta um sistema construtivo convencional, com estrutura em concreto armado, paredes em tijolos cerâmicos furados, piso vinílico e cobertura com telha termoacústica com preenchimento em poliisocianurato (PIR). As principais propriedades da envoltória foram calculadas de acordo com o método apresentado na NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e a configuração do modelo numérico foi realizada através das especificações de projeto contidas no memorial descritivo fornecido pelo FNDE (FNDE, 2017). Além disso, para este estudo, a ventilação é caracterizada por um sistema misto, ou seja, um sistema híbrido. Essa estratégia consiste na alternância entre ventilação natural, com janelas operáveis, e sistemas mecânicos de condicionamento de ar (CBE, 2017), visando a redução do consumo por climatização.

Após estabelecer a composição inicial do modelo, é necessário que sejam definidas as variáveis que serão alteradas durante a análise multiobjetivo, assim como, seus intervalos limítrofes. Neste caso foram alteradas cinco variáveis, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis de otimização

Variável	Limites
Espessura do isolamento térmico das paredes externas (m)	0,001 – 0,10 ¹
Espessura do isolamento térmico do piso (m)	0,001 – 0,15 ²
Absortância solar das paredes externas	0,2 – 0,9
Absortância solar da cobertura	0,2 – 0,9
Orientação solar (°)	0 – 360

¹Correspondente a uma transmitância de 0,34 W/m²K / ²Correspondente a uma transmitância de 0,25 W/m²K

Fonte: Autores (2020)

O estudo foi realizado através da construção de uma abordagem de otimização com um algoritmo evolutivo multiobjetivo elitista que utiliza a distribuição normal para avaliar o comportamento de variáveis que interferem no desempenho das edificações. A estrutura inicial desse algoritmo acontece a partir da seleção das variáveis e dos seus intervalos onde, a partir disso, um conjunto amostral de dados com tamanho pré-definido pelo usuário é gerado aleatoriamente. Com base nesses limites, cada indivíduo desse conjunto será composto pelos valores sorteados para cada uma das variáveis.

Com uma linguagem *eppy*, escrita na linguagem de programação Python, os dados dos objetivos são adquiridos através dos relatórios de saída gerados pelo EnergyPlus versão 8.7. Neste estudo, os indivíduos são avaliados de acordo com os valores referentes às funções-objetivo de Intensidade do uso de energia elétrica (EUI) [kWh/(m².ano)] para aquecimento e resfriamento. Essa estratégia de otimização é dividida em dois tipos de abordagens, Abordagem 1 (OR) e Abordagem 2 (AND).

Na abordagem 1 (OR), são selecionados os indivíduos que apresentarem os 50% melhores resultados do eixo x ou do eixo Y do plano cartesiano de representação. Nessa estratégia potenciais bons indivíduos dentro de um mesmo eixo não podem ser descartados, o que pode ser interessante para esse tipo de

análise. Em contrapartida, a abordagem 2 (*AND*) seleciona 50% dos indivíduos que apresentarem os melhores resultados em ambos os objetivos dentro de uma mesma geração. A busca pelo elitismo é uma das principais características da abordagem, e nela apenas os melhores indivíduos, para ambos os eixos, são selecionados. Essa é uma das características que influenciam diretamente na convergência das gerações, visto que em poucas gerações é possível observar a convergência das soluções para regiões que apresentem resultados satisfatórios.

Para a concepção das próximas gerações, os resultados das novas serão sempre agrupados com àqueles referentes as gerações passadas. Esse procedimento realimenta o conjunto inicial de dados, auxiliando no processo de populações povoadas e precisas, fator essencial para melhoria da convergência de resultados das funções-objetivo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambas abordagens propostas neste trabalho (*OR* e *AND*) foram executadas em um mesmo contexto, com três, cinco e sete gerações. Além disso, foi definido um número de 69 indivíduos para cada geração, estabelecidos com base no estudo de Rosner (2015). No total, foram realizadas 2484 simulações e as funções-objetivo definidas para este trabalho foram as de Intensidade do Uso de Energia (EUI) para aquecimento ($\text{kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$) e EUI para resfriamento ($\text{kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$). Os resultados obtidos por essas simulações foram analisados através do conjunto de soluções que fazem parte do Pareto Front.

Com relação ao desempenho das abordagens, ambos algoritmos foram capazes de reduzir a Intensidade do Uso de Energia (EUI) da edificação. Esses resultados possibilitaram a caracterização das melhores soluções, levando em consideração os menores valores encontrados pelo eixo de EUI por Resfriamento, devido ao maior impacto que essa função exerce sobre o consumo final da edificação.

A melhor solução encontrada pela abordagem 1 (S1) foi identificada após a execução de cinco gerações. Essa composição de variáveis possibilitou uma redução de aproximadamente 23% para o consumo por resfriamento e 78% por aquecimento, respectivamente com $17,42 \text{ kWh}(\text{m}^2.\text{ano})$ e $0,38 \text{ kWh}(\text{m}^2.\text{ano})$. Essa redução é ocasionada por uma edificação combinada com suas maiores fachadas (referente aos ambientes de permanência prolongada, com solário) voltadas ao eixo Leste (L) e Oeste (O), e um envelope térmico isolado verticalmente, com 3 centímetros (cm) de isolamento nas paredes, paredes e cobertura em cores claras, com absorvâncias de 0,2 e 0,3, e baixo isolamento no piso, com apenas 1 cm de XPS.

No mesmo contexto de cinco gerações, a melhor solução encontrada pela abordagem 2 resultou em um consumo de energia de $15,06 \text{ kWh}(\text{m}^2.\text{ano})$ para resfriamento e $0,45 \text{ kWh}(\text{m}^2.\text{ano})$ para aquecimento, valores que representam algo em torno de 33% e 73%, respectivamente, em relação a solução base. Com *AND* a função-objetivo de EUI Resfriamento alcançou resultados mais satisfatórios que a abordagem 1. Nessa configuração, a edificação teria suas maiores fachadas voltadas ao eixo Sudeste (SE) e Noroeste (NO), e a composição ideal do envelope teria 1 cm de isolamento nas paredes, paredes e cobertura em cores claras, com absorvâncias de 0,2 e 0,4, e sem a necessidade de isolamento no piso.

4. CONCLUSÕES



Considerando a discussão sobre a execução das estratégias e seus respectivos resultados, pode-se afirmar que a utilização de um algoritmo evolutivo multiobjetivo auxilia o processo de caracterização de estratégias que possibilitem a redução da intensidade do uso de energia elétrica de edificações.

Ambos os algoritmos foram capazes de reduzir a EUI para os dois eixos e na análise das melhores soluções, observa-se que, para as duas abordagens essas soluções apresentaram características de envelope muito semelhantes, isolados verticalmente, com baixo ou nulo isolamento de piso, e paredes e cobertura em tons claros com coeficientes de absorvância baixos.

Como próximo encaminhamento do trabalho, está sendo realizado o desenvolvimento de um trabalho que avalie o comportamento de convergência dos dois algoritmos apresentados aqui juntamente com outros dois considerados atualmente como abordagens estado-da-arte. Esse procedimento visa a análise do desempenho dos quatro algoritmos aplicados a um mesmo objeto de estudo, possibilitando a definição daquele que será utilizado para metodologia da pesquisa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 15.220: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculos da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério da Educação. **Projeto Proinfância Tipo 2**. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – FNDE. Brasília, 2017. Acessado em 28 set. 2020. Online. Disponível em: <http://www.fnde.gov.br/index.php/programas/proinfancia/eixos-de-atuacao/projetos-arquiteticos-para-construcao/item/6413-proinfancia-tipo-2>

CBE - CENTER FOR THE BUILT ENVIRONMENT. **About mixed-mode**. Acessado em 28 set. 2020. Online. Disponível em: <https://cbe.berkeley.edu/mixedmode/index.html>

COAKLEY, D.; RAFTERY, P.; KEANE, M. A review of methods to match building energy simulation models to measured data. **Renewable and sustainable energy reviews**, v.37, p.123–141, 2014.

NIMLYAT, P.; DASSAH, E.; ALLU, E. Computer simulations in buildings: implications for building energy performance. **Computer**, v.4, n.03, 2014.

PAN, L.; LI, K.; XUE, W.; LIU, G. Multi-objective optimization for building performance design considering thermal comfort and energy consumption. In: CHINESE CONTROL CONFERENCE (CCC), 2016, **Anais...** Chengdu, China, 2016. [s.n.] p.2799–2803.

ROSNER, B. **Fundamentals of biostatistics**. Nelson Education, 2015.