

# EP EVOLUTIVO

## Ferramenta para análise evolutiva em simulações termoenergéticas

### EP EVOLUTIONARY SOFTWARE FOR EVOLUTIONARY ANALYSIS IN THERMOENERGETIC SIMULATIONS

Rodrigo Karini Leitzke<sup>1</sup>, Eduardo Grala da Cunha<sup>2</sup>,  
Anderson Priebe Ferrugem<sup>3</sup>, Celina Maria Britto Correa<sup>4</sup>  
e Fábio Kellermann Schramm<sup>5</sup>

#### Resumo

A simulação computacional permite com que a avaliação de desempenho de uma edificação seja realizada a partir de uma realidade simplificada. O *EnergyPlus* (EP), desenvolvido e mantido pelo departamento de energia dos Estados Unidos, é uma das ferramentas de maior destaque para este processo de avaliação. Embora eficiente para o que se propõe, o EP possui limitações no que tange às estratégias de otimização, parametrização e identificação dos melhores casos, sendo necessário nestes casos o uso de *softwares* ou recursos externos. Este trabalho apresenta uma ferramenta de interface que permite a variação de todos os componentes configuráveis do EP, realizando seguida uma avaliação evolutiva multiobjetivo a partir de algoritmos de inteligência artificial atrelados às simulações para identificação das melhores combinações. Os resultados deste trabalho apresentam um teste de execução com o objetivo de demonstrar a aplicabilidade da ferramenta em um modelo de simulação, nele é possível identificar os formatos de entrada e saída das avaliações, assim como a sua funcionalidade.

Palavras-chave: simulação computacional, algoritmos evolutivos, ferramenta de otimização, análise multiobjetivo.

#### Abstract

*Computational simulation allows the performance evaluation of a building to be carried out from a simplified reality. EnergyPlus (EP), developed and maintained by the U.S. Department of Energy, is one of the most important tools for this evaluation process. Although it is efficient, EP has limitations in terms of optimization strategies, parameterization and identification of the best cases, which require the use of external resources. This work presents an interface tool that allows the variation of all the configurable components of the EP, performing a multi-objective evolutionary evaluation from artificial intelligence algorithms linked to simulations to identify the best combinations. The results of this work present an execution test with the objective of demonstrating the applicability of the tool in a simulation model, in which it is possible to identify the input and output formats of the evaluations, as well as their functionality. Keywords: computational simulation, evolutionary algorithms, optimization tool, multi-objective analysis*

<sup>1</sup> Mestrando, Cientista da Computação, Estudante da Universidade Federal de Pelotas.

<sup>2</sup> Doutor, Arquiteto, Docente na Universidade Federal de Pelotas.

<sup>3</sup> Mestre, Cientista da Computação, Docente na Universidade Federal de Pelotas.

<sup>4</sup> Doutora, Arquiteta, Docente na Universidade Federal de Pelotas.

<sup>5</sup> Doutor, Arquiteto, Docente na Universidade Federal de Pelotas.

#### Introdução

Para análise do funcionamento de uma edificação, seja pelas características construtivas, ou por aspectos técnicos como o uso de equipamentos específicos para o aumento do conforto térmico dos usuários, o Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir da fusão das ferramentas *BLAST* e *DOE-2*, desenvolveu, no final dos anos 90, o software *EnergyPlus* (EP), que permite realizar o balanço térmico de diversos aspectos construtivos em um modelo de simulação tridimensional, bem como o consumo energético de sistemas de climatização (CRAWLEY *et al.*, 2000).

Um dos maiores desafios encontrados pelos usuários do EP diz respeito a parametrização, otimização ou modificação em escala dos dados de entrada do modelo (LACCARINO; FISCHER; HULT, 2010).

Assim, a construção de cenários que necessitem alterar dados de entrada utilizando a ferramenta não é uma tarefa tão simples quanto desejável. Isto se deve, principalmente, ao fato de que no desenvolvimento de simulações termoenergéticas no EP, não há uma interface própria que permita a alteração de dados de entrada para a simulação.

Quando diferentes características da edificação precisam ser alteradas para a aplicação de interesse, os usuários da ferramenta, em geral profissionais ligados(as) à construção civil, costumam realizar parametrizações e configuração de novos cenários manualmente, sem a utilização de rotinas que possibilitem a alteração desses dados de forma mais rápida e fácil.

Assim, a partir desta limitação relacionada a inserção de novos dados para a construção e teste de cenários alternativos apresentada pelo EP, uma biblioteca na linguagem de programação *Python*, código aberto, chamada *Eppy*, foi desenvolvida em 2011 por Santosh Philip e sua equipe (PHILIP; TANJUATCO, 2011), tendo como objetivo principal fornecer aos usuários do EP a possibilidade de ingressar dados para configuração de múltiplas variações das características de projeto inicialmente adotadas, reduzindo o tempo necessário e facilitando o processo de parametrização.

Embora a biblioteca *Eppy* facilite o processo de parametrização e otimização, o desconhecimento por parte dos usuários do EP de conceitos de programação de computadores, resultou na manutenção de métodos pouco funcionais na otimização das edificações em larga escala.

Observando soluções computacionais externas ao universo da simulação com o EP, Florentzou *et al.* (2002), desenvolveram um software interativo para auxiliar a tomada de decisão para o *retrofit* de edificações, chamado *TOBUS*. Essa ferramenta aponta sugestões baseadas nas características do projeto, com uma interface que permite que o usuário defina e visualize as sugestões apresentadas no momento da configuração.

Já no universo da simulação computacional, Zhang (2009) propôs uma análise paramétrica com recursos de paralelismo computacional em que a combinação entre arquivos parametrizados e arquivos climáticos para realização da simulação resultam na ramificação de uma árvore de decisão, possibilitando um melhor uso dos recursos de hardware disponíveis.

Dentre as ferramentas que ainda hoje buscam parametrizar as informações de entrada da simulação computacional ou oferecer soluções que auxiliem na otimização dos modelos, destaca-se o *JEPlus* (ZHANG; KOROLIJA, 2010). Essa ferramenta

possibilita a parametrização de todos os dados de entrada em um arquivo do EP. O *JEPlus*, contudo, exige o conhecimento da linguagem de programação Java por parte dos(as) profissionais e projetistas que utilizam a interface como um meio para otimizações no ambiente do EP.

Neste cenário, é possível identificar uma lacuna de interface de usuário, visto que as tecnologias de otimização/parametrização para os modelos do EP existem, porém com complexidades atreladas ao seu modo de operação que corroboram com a manutenção das soluções manuais.

Já Kaynak *et al.* (2018) propuseram um software para avaliar os potenciais de geração nas análises sobre energia solar, nas quais, baseado nos modelos matemáticos para avaliar os impactos da radiação solar em um plano, as características geométricas tridimensionais da edificação são inseridas e estratégias quanto aos potenciais de geração da energia solar no modelo são apontadas ao usuário por meio de uma interface visual.

Com o propósito de ampliar as possibilidades de avaliação do EP, Leitzke *et al.* (2020) desenvolveram uma interface em *Python*, com recursos da biblioteca *Eppy*, denominada *IDFModifier*. Nesta interface três componentes de configuração do EP podem ser parametrizadas: (a) transmitância térmica (kWh/(m<sup>2</sup>.K)) das paredes externas, piso e cobertura; (b) densidades de potência consideradas para o sistema de iluminação e equipamentos; e (c) padrões de uso e ocupação do edifício. Essa interface gráfica propõe-se a facilitar o processo de otimização das simulações. Neste trabalho serão ampliados os cenários de avaliação da ferramenta *IDFModifier* (LEITZKE *et al.*, 2020).

O Quadro 1 apresenta um levantamento de trabalhos que utilizaram diferentes estratégias de otimização associadas às simulações termoenergéticas do EP.

Autores	Objetivo	Estratégia
(ZHANG; KOROLJA, 2010)	Apresentar a ferramenta JEPlus desenvolvida para análises paramétricas com o EP	Paramétrica
(YU <i>et al.</i> , 2015)	Aplicação genética multiobjetivo para avaliação do conforto térmico e consumo de energia em edifícios	Multiobjetiva
(DELGARM <i>et al.</i> , 2016)	Otimização multiobjetivo para avaliação da edificação com o EP por meio de enxame de partículas	Multiobjetiva
(CALAFIORE <i>et al.</i> , 2017)	Utilização de um software matemático relacionado com o EP para análise paramétrica	Paramétrica
(DAHLAN; ARIS, 2018)	Avaliação do desempenho de um edifício de escritório utilizando programação evolucionária	Evolutiva
(WIJESURIYA; BRANDT; TABARES-VELASCO, 2018)	Análise paramétrica para materiais de mudança de fase em climas quentes e úmidos com o EP	Paramétrica
(OHTA; SATO, 2018)	Abordagem evolucionária multiobjetivo para determinar agendas de funcionamento para o ar condicionado	Evolutiva/ Multiobjetivas

Ainda sobre o Quadro 1, Trabalhos como os de Yu *et al.* (2015), Delgarm *et al.* (2016), Dahlan e Aris (2018) e Ohta e Sato (2018), propuseram a utilização de recursos de Inteligência Artificial (IA) para definir as estratégias que determinam o comportamento das simulações. Dentre as técnicas de IA mais utilizadas, destacam-se os algoritmos genéticos, evolutivos e multiobjetivo.

Os Algoritmos Genéticos (AG) são métodos de busca que relacionam os mecanismos de evolução natural das espécies com um processo matemático e computacional, compreendendo processos de evolução genética de populações como a sobrevivência e adaptação dos indivíduos (CHEUNG, 2004). As aplicações que envolvem AG podem ser vistas em diferentes áreas do conhecimento, sobretudo nos casos que buscam encontrar um conjunto de soluções satisfatórias para um determinado critério, partindo de um conjunto pré-definido de informações.

Já os Algoritmos Evolutivos (AE) surgem como uma vertente da Programação Evolutiva, proposta inicialmente Fogel (1962). Assim como os AG, os AE baseiam-se nos mecanismos da evolução biológica, motivados pela necessidade de distribuir recursos para que sejam solucionados problemas, algo comum para a sobrevivência de uma espécie, por exemplo. Esta classe de algoritmos infere que a natureza otimiza seus recursos para resolver um ou mais problemas (VIKHAR, 2016).

De acordo com Deb (2001), para cada problema numérico há um conjunto de soluções multiobjetivo eficientes, chamadas de *pareto-front* (ou frente de Pareto). Neste sentido, os métodos de otimização multiobjetivo ou algoritmos genéticos/evolutivos multiobjetivo têm como principal finalidade minimizar a distância entre a frente não-dominada e a frente ótima de Pareto, encontrando um conjunto de soluções variadas para um determinado problema (BARBOSA; RIBEIRO; ARANTES, 2010). Esta abordagem costuma ser utilizada em problemas com duas ou mais funções-objetivo conflitantes, que podem ser minimizadas ou maximizadas de acordo com o que se pretende para a análise.

A necessidade dos AG e AE em identificar estratégias com rápida convergência dos dados, utilizando por vezes o conceito de elitismo para que a preferência seja dada para os indivíduos mais aptos (SOUSA SOBRINHO, 2014), ampliou a busca por métodos genéticos e evolutivos que priorizassem o desempenho da curva de convergência ótima em uma quantidade menor de gerações, em detrimento de um maior potencial exploratório dos seus indivíduos. Dos algoritmos implementados com esta finalidade, destacam-se o *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II) (DEB *et al.*, 2002) com mais de 31 mil citações segundo a base de trabalhos acadêmicos do *Google Scholar* e o *Strength Pareto Evolutionary Algorithm* (SPEA2) (ZITZLER; LAUMANN; THIELE, 2001), com mais de 7 mil citações, de acordo com a mesma base.

Diante disto, este trabalho tem por objetivo apresentar uma ferramenta de interface que realiza a parametrização de todos os componentes configuráveis do EP, possibilitando com que o usuário realize uma análise dos cenários estipulados pelos algoritmos NSGA-II e/ou SPEA2 e avalie os resultados obtidos na ótica das simulações evolutivas multiobjetivo.

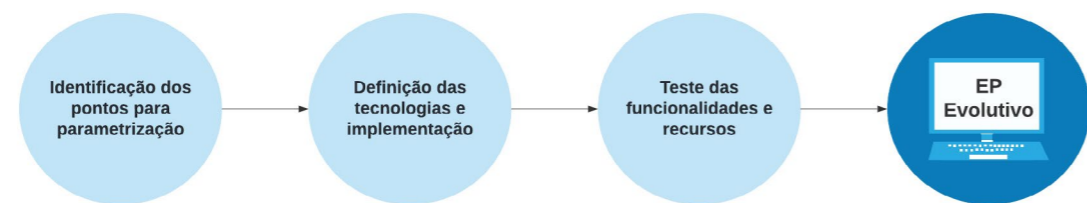
### Método

O presente trabalho foi desenvolvido em quatro etapas, que incluem: (a) definição dos pontos de ampliação dos cenários de avaliação da ferramenta *IDFModifier*; (b) definição das tecnologias de desenvolvimento de *softwares* e implementação, além



Figura 1: Delimitação da pesquisa. Fonte: Autores (2020).

das estratégias de avaliação dos resultados; (c) execução de testes relacionados às funcionalidades da ferramenta; e (d) proposição da ferramenta. Estas etapas encontram-se ilustradas na Figura 1.



Na primeira etapa foram identificadas as funcionalidades da ferramenta *IDFModifier*. Nesta ferramenta são variados aspectos referentes à transmitância térmica ( $W/m^2.K$ ) das paredes externas, piso e cobertura, além dos padrões de uso e ocupação, iluminação e equipamentos configurados no modelo de simulação (Figura 2). Se observa, portanto, que as possibilidades de otimização da ferramenta *IDFModifier* se limitam à variação de poucos parâmetros de entrada da simulação com o EP.

Figura 2 : Configuração dos componentes de parametrização no *IDFModifier*. Fonte: Leitzke et al. (2020).

Buscando ampliar as possibilidades de parametrização, a ferramenta EP Evolutivo amplia as possibilidades de avaliação de todos os campos configuráveis do *EnergyPlus*, considerando para tanto a seleção do grupo de configuração do EP, em seguida o objeto, o campo a ser variado e os limites estabelecidos para realização das simulações.

Na segunda etapa foram definidas as tecnologias de desenvolvimento e estratégias de implementação da ferramenta. A linguagem de programação *Python* foi definida como o recurso computacional para elaboração da interface, utilizando os recursos das bibliotecas de programação *Tkinter* (elaboração da interface), *epyy* (seleção e alteração das propriedades configuração do EP), *BESOS* (integração dos algoritmos evolutivos com o *EnergyPlus*), *Pandas* (análise de dados) e *Matplotlib* (plotagem dos gráficos de saída). Quanto à estrutura da forma da interface do *software*, optou-se por manter a estrutura em abas proposta no *IDFModifier* (Figura 2), porém com uma quantidade reduzida de abas, buscando facilitar a utilização dos recursos de otimização por parte do usuário.

Na terceira etapa foram testados os modelos de simulação do EP dentro do ambiente da ferramenta, avaliando as funcionalidades e recursos de otimização a partir de cenários de variação de diferentes campos de configuração. Para realização destes testes foram utilizados os modelos de exemplo disponibilizados pela instalação da versão 9.0.1 do *EnergyPlus*.

## A Ferramenta EP Evolutivo

Como resultado da quarta etapa do método, a Figura 3 apresenta a tela inicial da ferramenta proposta, na qual são inseridos os arquivos \*.idf (modelo de simulação), \*.idd (arquivo de ajuste do formato do EP) e \*.epw (arquivo com os dados climáticos para simulação).

Figura 3: Tela inicial da ferramenta EP Evolutivo. Fonte: Autores (2020).

A tela de avaliação evolutiva (Figura 4), apresenta os campos para a inserção das variáveis avaliadas no processo de análise evolutiva.

Figura 4: Tela para avaliação evolutiva da ferramenta EP Evolutivo. Fonte: Autores (2020).

Para o preenchimento deve ser selecionadas opções em três listas, indicando o grupo do *EnergyPlus* em que a variável a ser inserida para o processo de avaliação evolutiva está contida, o objeto deste grupo e o campo deste objeto. Em seguida devem ser preenchidos os limites de variação desejados, o número de gerações, ou seja, quantos ciclos evolutivos serão testados, o número de indivíduos da avaliação e, por fim, a seleção de um ou dos dois algoritmos estado da arte, NSGA-II e/ou SPEA2. O botão “Inserir variável” adiciona os campos preenchidos ao processo de avaliação, enquanto o botão “Simular” executa o cenário de avaliação no EP.

Um exemplo de preenchimento pode ser visto na Figura 5, no qual o arquivo de exemplo fornecido pelo EP *HybridVentilationControl.idf* foi testado para variação da orientação solar. Como grupo do EP foi selecionado o *BUILDING*, grupo

responsável por informações geográficas da configuração. Nele foi selecionado o objeto configurado no arquivo de exemplo *Small Office with AirflowNetwork model*, que indica um nome para o campo de objeto do modelo de simulação, a orientação, por sua vez, foi alterada em seguida a partir da seleção do campo *North\_Axis*, que indica a angulação que indica o Norte para o modelo. Os limites testados foram de 0 a 359, buscando avaliar todos os cenários possíveis. Como condições de avaliação multiobjetivo, foram definidas 5 gerações, com 20 indivíduos cada e o algoritmo NSGA-II como recurso evolutivo multiobjetivo. Além da variação da orientação, a espessura de uma de laje de concreto (com limites entre 5 e 20cm) foi inserida como variável neste teste.

Início	Avaliação evolutiva	Resultados
Selecione o grupo do EnergyPlus:	BUILDING	
Selecione o objeto:	Small Office with AirflowNetwork model	
Selecione o campo objeto:	North_Axis	
Limites para variação:	0 359	
Número de gerações:	5	
Número de indivíduos:	20	
Selecione o algoritmo:	<input checked="" type="checkbox"/> NSGA-II <input type="checkbox"/> SPEA2	
<input type="button" value="Inserir variável"/> <input type="button" value="Simular"/>		

Os resultados da simulação apresentados na terceira aba da ferramenta (Figura 6), mostram a estrutura de apresentação dos dados de saída da avaliação evolutiva. Na parte superior é possível identificar as duas variáveis testadas. Primeiro o “*North\_Axis*”, que representa variações observadas na orientação do algoritmo e, em seguida, os valores de “*Thickness*”, que indicam a variação da espessura da laje (segunda variável inserida no teste). Os campos seguintes indicam os resultados de consumo para aquecimento (*Heating:Electricity*) e resfriamento (*Cooling:Electricity*), além das informações sobre violação dos dados de saída (*violation*) e sobre a frente de Pareto dos dados (*Pareto-optimal*). No lado direito dos dados da tabela existem possibilidades de exportação dos dados de saída obtidos pela avaliação para formatos de tabela (\*.csv, \*.xlsx, etc...), bem como ferramentas de comparação e cálculo. Em seguida, logo abaixo da tabela, é apresentado um gráfico com eixos que indicam as duas variáveis-objetivo do modelo: a intensidade do uso de energia (EUI) para aquecimento e resfriamento. Ainda, em vermelho, é apontado o item que indica a solução verdadeira (*True*) para frente de Pareto do conjunto analisado.

	North_Axis	Thickness	Heating:Electricity	Cooling:Electricity	violation	pareto-optimal
1	244.59	0.18	0	0.37	0	False
2	338.06	0.071	0	0.39	0	False
3	354.50	0.055	0	0.38	0	False
4	94.65	0.086	0	0.39	0	False
5	297.26	0.17	0	0.37	0	False
6	302.94	0.2	0	0.37	0	False
7	73.62	0.16	0	0.37	0	False
8	284.62	0.17	0	0.37	0	False
9	358.59	0.19	0	0.36	0	True
10	124.08	0.14	0	0.37	0	False
11	88.67	0.059	0	0.38	0	False
12	257.51	0.14	0	0.38	0	False
13	252.72	0.094	0	0.38	0	False
14	305.77	0.11	0	0.38	0	False
15	119.50	0.17	0	0.37	0	False
16	0.61	0.075	0	0.38	0	False
17	170.25	0.17	0	0.37	0	False
18	247.66	0.14	0	0.38	0	False
19	350.20	0.15	0	0.36	0	False
20	264.12	0.052	0	0.38	0	False

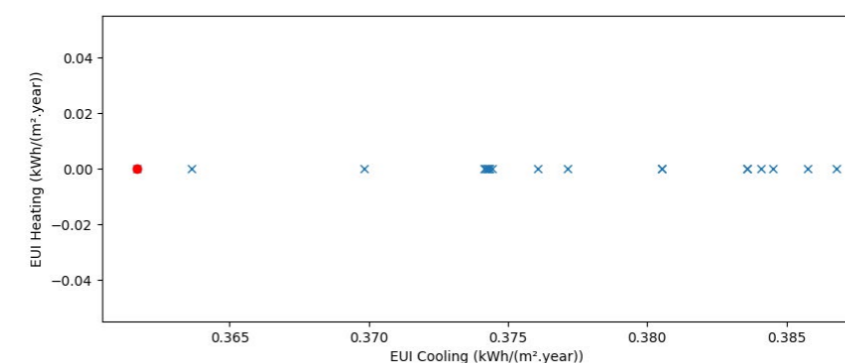


Figura 6: Resultados da execução do exemplo de avaliação. Fonte: Autores (2020).

## Conclusões

A partir da problemática introduzida e dos resultados apresentados, pode-se entender como viável a utilização do EP Evolutivo para avaliação dos cenários de simulação com o *EnergyPlus* através de recursos evolutivos multiobjetivo. Como objetivo do trabalho, as condições limitantes do processo de avaliação da ferramenta *IDFModifier* foram contornadas a partir da possibilidade de seleção de todos os campos configuráveis do EP dentro de uma única interface integrada, que considera além da variação dos componentes de configuração, a utilização de recursos de IA para identificação dos melhores resultados.

Para além dos objetivos, este trabalho contribui com a ampliação das possibilidades de avaliação dos modelos computacionais testados a partir de simulações com o EP, apresentando uma interface que realiza o intermédio entre o modelo tridimensional de simulação e os recursos de IA ofertados pelas análises evolutivas.

Como limitações da ferramenta é possível apontar a ausência de outras funções-objetivo que não a EUI para aquecimento e resfriamento, o que ampliaria as possibilidades de uso do *software* para além da problemática energética. Ainda, recursos automatizados de extração dos dados que podem colaborar com a identificação de padrões dos conjuntos de soluções ótimas, bem como a inserção das informações obtidas por meio do EP Evolutivo em outra ferramenta ou recurso de análise.

Quanto a aplicação, os cenários evolutivos podem ser testados em diferentes tipologias, desde que as mesmas considerem estratégias de climatização como

parte do processo de simulação, o que amplia o uso da ferramenta para a análise diferentes projetos arquitetônicos.

O presente trabalho foi elaborado em função das estratégias de otimização evolutiva multiobjetivo de duas dissertações de mestrado em andamento no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas. Os recursos de avaliação estão sendo testados em uma edificação residencial com alto nível de isolamento térmico e em uma escola municipal de educação infantil (EMEI), visando o aprimoramento das características térmicas de composição utilizadas nos fechamentos. Desta, o aperfeiçoamento das condições ora oferecidas pela ferramenta será realizado durante o seguimento destas pesquisas.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

### Referências

BARBOSA, Alípio Monteiro; RIBEIRO, Lucas de Carvalho; ARANTES, João Matheus de Oliveira. Algoritmo genético multiobjetivo: Sistema adaptativo com elitismo. In: *9th Brazilian Conference on Dynamics Control and their Applications, Anais...*, 2010, p.16.

CALAFIORE, Giuseppe Carlo; TOMMOLILLO, Cante; NOVARA, Carlo; FABRIZIO, Edio. APSEplus: a MATLAB toolbox for parametric energy simulation of reference buildings. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE AND COMPUTER APPLICATIONS, Anais...*, 2017. p.267–271.

CHEUNG, Peter Batista. *Análise de reabilitação de redes de distribuição de água para abastecimento via algoritmos genéticos multiobjetivo*. 2004. 268p. Tese (Doutorado em Engenharia Hídrica) — Universidade de São Paulo, São Carlos.

CRAWLEY, Drury; LAWRIE, Linda; PEDERSEN, Curtis; WINKELMANN, Frederick. Energyplus: energy simulation program. *ASHRAE journal*. v.42, n.4, p.49–56, 2000.

DAHLAN, Napitupulu; ARIS, Abuzahra. Optimizing Energy Baseline for Medium Size Office Using Hybrid EnergyPlus Evolutionary Programming (EP). *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, v.10, n.1-4, p.59–65, 2018.

DEB, Kalyanmoy. *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*. JohnWiley & Sons, 2001. v.16.

DELGARM, Navid; SAJADI, Behrang; KOWSARY, Farshad; DELGARM, Soveida. Multi-objective optimization of the building energy performance: A simulation-based approach by means of particles warm optimization (PSO). *Applied energy*, v.170, p.293–303, 2016.†

FLOURENTZOU, Florentzos; GENRE, Julian; ROULET, Claude-Alain. TOBUS software - An interactive decision aid tool for building retrofit studies. *Energy and buildings*, v. 34, n. 2, p. 193-202, 2002.

FOGEL, Lawrence Jerome. Autonomous automata. *Industrial research*, v.4, p. 14–19, 1962.

KAYNAK, Sümeyye; KAYNAK, Baran; ÖZMEN, Ahmet. A software tool development study for solar energy potential analysis. *Energy and Buildings*, v. 162, p. 134-143, 2018.

LACCARINO, Gianluca; FISCHER, Martin; HULT, Erin. Towards Improved Energy Simulation Tools for Buildings: Improving Airflow Parameterizations Within Energy Simulation Using CFD and Building Measurements. *PRECOURT ENERGY EFFICIENCY CENTER*, 2010.

LEITZKE, Rodrigo Karini; CUNHA, Eduardo Grala; SCHRAMM; Fábio Kellermann. CORREA, Celina Maria Britto; FERRUGEM; Anderson Priebe. IDFMODIFIER: Aplicação para parametrização das propriedades de configuração Do EnergyPlus. In: *XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Anais...*, 2020.

OHTA, Yoshihiro; SATO, Hiroyuki. Evolutionary multi-objective air-conditioning schedule optimization for office buildings. In: *GENETIC AND EVOLUTIONARY COMPUTATION CONFERENCE COMPANION, Anais...*, 2018. p. 296–297.

PHILIP, Santosh; TRAN, Tuan; TANJUATCO, Leora. *Eppy: scripting language for E+*. Repositório do Github. Acessado em 13 de nov. 2020. Disponível em: <https://github.com/santoshphilip/eppy>.

SOUSA, Paulo Sobrinho de. *Algoritmos genéticos canônico e elitista: uma abordagem comparativa*. 2014. 59f. Dissertação (Mestrado em Probabilidade e Estatística) — Departamento de Modelagem Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

VIKHAR, Pradnya. Evolutionary algorithms: A critical review and its future prospects. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON GLOBAL TRENDS IN SIGNAL PROCESSING, INFORMATION COMPUTING AND COMMUNICATION (ICGTSPICC), Anais...*, 2016. p.261–265.

WIJESURIYA, Sajith; BRANDT, Matthew; TABARES-VELASCO, Paulo Cesar. Parametric analysis of a residential building with phase change material (PCM) enhanced drywall, precooling, and variable electric rates in a hot and dry climate. *Applied Energy*, v.222, p.497–514, 2018.

YU, Shui; CUI, Yumeng; XU, Xiaolong; FENG, Guohui. Impact of civil envelope on energy consumption based on EnergyPlus. *Procedia Engineering*, v.121, p.1528–1534, 2015.

ZHANG, Yi. Parallel EnergyPlus and the development of a parametric analysis tool. In: *IBPSA CONFERENCE, Anais...*, 2009. p.1382–1388.

ZHANG, Yi; KOROLIJA, Ivan. Performing complex parametric simulations with jEPlus. In: *9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES, Anais...*, 2010. p.24–27.

ZITZLER, Eckart; LAUMANN, Marco; THIELE, Lothar. SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm. *TIK-report*. v.103, 2001.