



## **DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO DE ENSINO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES**

**Lucas Adler Rodrigues Procheira (1); Fernando Simon Westphal (2)**

(1) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, procheira.lucas@gmail.com

(2) Dr., Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, fernando.sw@ufsc.br  
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental, Caixa Postal 476 – CEP 88040-900, Trindade – Florianópolis – SC, Telefone/FAX: (48) 3721-9797

### **RESUMO**

O processo de projeto arquitetônico tem passado por diversos momentos de aprimoramento, e a tomada de decisões assertivas é fundamental para garantir a eficiência e rapidez no desenvolvimento das edificações. Nesse contexto, a parametrização dos processos e das simulações computacionais se tornam grandes aliadas, permitindo que o projetista crie protótipos virtuais de forma ágil e precisa. No entanto, muitos alunos de graduação não têm acesso a ferramentas suficientemente simplificadas para utilizar simulações de eficiência energética em seu processo de aprendizado. Para solucionar essa questão, foi desenvolvido um software para facilitar o aprendizado de simulação de eficiência energética em edificações. O objetivo deste trabalho é apresentar o processo de desenvolvimento dessa ferramenta, apresentando tomadas de decisões estratégicas para garantir que o aplicativo fosse fácil de usar e proporcionasse uma boa experiência ao usuário. Os resultados obtidos com a aplicação do software foram positivos, com boa recepção por parte dos alunos e feedback importante para o aprimoramento da ferramenta e do ensino de eficiência energética em edificações. A partir desses resultados, pode-se concluir que o desenvolvimento de ferramentas simplificadas e intuitivas é fundamental para estimular o aprendizado de simulação de eficiência energética em edificações e preparar os alunos para seu desenvolvimento profissional.

Palavras-chave: simulação computacional, eficiência energética, ensino de simulação.

### **ABSTRACT**

The process of architectural design has gone through various moments of improvement, and the ability to make assertive decisions is crucial to ensure efficiency and speed in the development of buildings. In this context, the parameterization of processes and computer simulations becomes a great ally, allowing the designer to create virtual prototypes quickly and accurately. However, many undergraduate students do not have access to tools that are simple enough to use energy efficiency simulations in their learning process. To solve this issue, a software was developed to facilitate the learning of energy efficiency simulation in buildings. The objective of this work is to present the process of developing this tool, including strategic decision-making to ensure that the application is easy to use and provides a good user experience. The results obtained from the application of the software were positive, with good reception from students and important feedback for improving the tool and teaching energy efficiency in buildings. From these results, it can be concluded that the development of simplified and intuitive tools is crucial to encourage the learning of energy efficiency simulation in buildings and to prepare students for their professional development.

Keywords: computer simulation, energy efficiency, simulation teaching.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de projeto arquitetônico tem sofrido substanciais evoluções (Burry, 2010; Schumacher, 2009), desde processos de design sendo aprimorados a elementos construtivos, a parametrização no projeto é algo importante no futuro da arquitetura. A tomada de decisões baseadas em informações pré-estabelecidas permite uma definição de relações entre elementos a partir destes dados (Dunn, 2012). Da mesma forma, a simulação computacional de eficiência energética em edificações se beneficia da parametrização, uma vez que estabelece critérios fixos e intercambiáveis para um resultado coeso e com uma baixa taxa de erros.

Visto que a simulação computacional é uma aliada no processo de projeto arquitetônico (Struck; Hensen, 2007), é importante que o assunto seja discutido no processo de formação do arquiteto, de forma que o indivíduo seja provido desde o início com o ferramental que lhe permita ter uma maior eficiência e coesão no seu objeto arquitetônico, minimizando as diferenças entre o projeto e o objeto construído. O processo de simulação, contudo, exige do simulador um conhecimento (Kong *et al.*, 2023), mesmo que básico, das diversas variáveis que podem afetar o resultado e gerar erros ou até mesmo modificar a geometria final da edificação.

Surgiu, portanto, a necessidade do desenvolvimento de uma ferramenta que suprisse essa necessidade de ensino de conceitos base de simulação em eficiência energética. Buscou-se desenvolver um aplicativo de uso simplificado e com elementos limitados, permitindo que o discente possa ter um contato brando com a simulação computacional, pavimentando aos poucos o seu conhecimento a fim de prepará-lo para simulações mais complexas. Utilizando-se de preceitos da parametrização foram estabelecidas 6 variáveis de controle para que os alunos pudessem alterar em seu modelo simulado.

Além disso, o desenvolvimento de uma ferramenta que permita a simulação computacional de eficiência energética em edificações tem se tornado cada vez mais relevante em um contexto de preocupação com a sustentabilidade ambiental e a redução do consumo de energia. A simulação pode auxiliar arquitetos e engenheiros a avaliar o desempenho energético de um edifício em diferentes cenários, desde o uso de diferentes especificações de materiais até a análise de estratégias de climatização.

A parametrização do modelo tornou-se fundamental para um resultado satisfatório, devido ao objetivo principal do aplicativo ser facilidade e limitação no seu uso, parâmetros como dimensões e materiais dos modelos foram deixados fixos para que se permitisse o aprofundamento de outras variáveis com maior impacto pedagógico no processo de aprendizagem de simulação. Dessa forma, dedicou-se maior ênfase no aprendizado dos alunos, evitando que o demasiado número de informações dificulte a assimilação do conteúdo pretendido com a utilização do aplicativo.

## 2. OBJETIVO

Este artigo apresenta parte do desenvolvimento de uma pesquisa de mestrado que tem como objetivo desenvolver uma ferramenta computacional para auxiliar o aluno de graduação na fixação de conteúdos apresentados em sala de aula e treinar as habilidades necessárias ao processo de simulação de eficiência energética de edificações.

## 3. MÉTODO

O método aplicado no trabalho se deu pelas seguintes etapas:

- (a) Concepção
- (b) Desenvolvimento
- (c) *Beta testing*

### 3.1. Concepção

O desenvolvimento do aplicativo se iniciou com as definições de objetivo, onde foram escolhidos alguns dos critérios para se saber qual seria o produto final. Estabeleceu-se que seria um software de acesso facilitado, possivelmente com acesso online, permitindo que qualquer usuário com um dispositivo com acesso à internet teria a ferramenta disponível. Com isso, seriam reduzidos os impedimentos causados por falta de compatibilidade de plataformas.

Outro fator definido previamente foi a delimitação do escopo do aplicativo. Como o objetivo é ensino de conceitos básicos de simulação energética, não haveria necessidade de um grande fluxo de informações. Bastariam algumas variáveis para que o discente pudesse escolher, restringindo a liberdade de simulação para fins didáticos (Brandão, 2009).

O *feedback* visual foi outro elemento considerado imprescindível para uma boa leitura por parte dos alunos. Seja por meio de gráficos ou outro elemento que pudesse representar os resultados, a resposta gráfica

da simulação é necessária para um bom entendimento do processo efetuado pelo discente, permitindo que relacione as grandezas de forma visual (Souza; Pacheco; Suzart, 2015).

Com as questões mais funcionais do aplicativo resolvidas, houve o momento de decisão sobre a simulação propriamente dita, onde seria necessário saber se ela ocorreria a partir de algoritmos de cálculo, como uma interface de outro método de processamento de simulações, como por exemplo o EnergyPlus™, ou seria disponibilizado um banco de dados de simulações previamente estabelecido onde o software buscaria os resultados.

Após alguns estudos, pesquisas e testes, notou-se que a forma mais simples, ágil e direta de se resolver o formato da simulação seria a utilização de um banco de dados com casos pré-simulados. Essa solução não depende da instalação de software específico ou de conexão externa com servidores para processamento. Além disso, evitaria o processo de desenvolvimento, testagem e ajustes de algoritmos personalizados. Como o aplicativo visa diretamente o ensino, não há a necessidade de personalização abrangente do modelo de simulação, onde se faça necessário um algoritmo próprio.

As definições apresentadas anteriormente estavam relacionadas a questões do funcionamento do *software*, contudo foi necessário de mesma forma definir os parâmetros da simulação, bem como aqueles que seriam fixos. Entre os parâmetros variáveis foi necessário estabelecer quantos elementos de variação haveria em cada um deles. A princípio, havia-se decidido que as dimensões do ambiente seriam fixas e a abertura da esquadria se daria em apenas uma das paredes, permitindo assim um controle da radiação dispersa no ambiente. Junto desta definição foi estabelecido que as paredes internas, o teto e o chão seriam elementos adiabáticos, ou seja, não apresentariam troca de calor, apresentando a troca de calor apenas a fachada externa com janela. Dessa forma, a ferramenta foi concebida com foco na análise energética de configurações das janelas, que são os elementos mais vulneráveis às trocas térmicas da edificação, especialmente em climas brasileiros.

Outro elemento definido previamente foi o tipo de uso da sala a ser simulada. Optou-se por uma sala comercial básica, com as dimensões padrão de uma sala comercial na cidade de Florianópolis, tendo 4 metros de largura por 7 metros de comprimento e 3 metros de altura, com uma janela ao longo de toda a fachada de menor comprimento (figura 1).

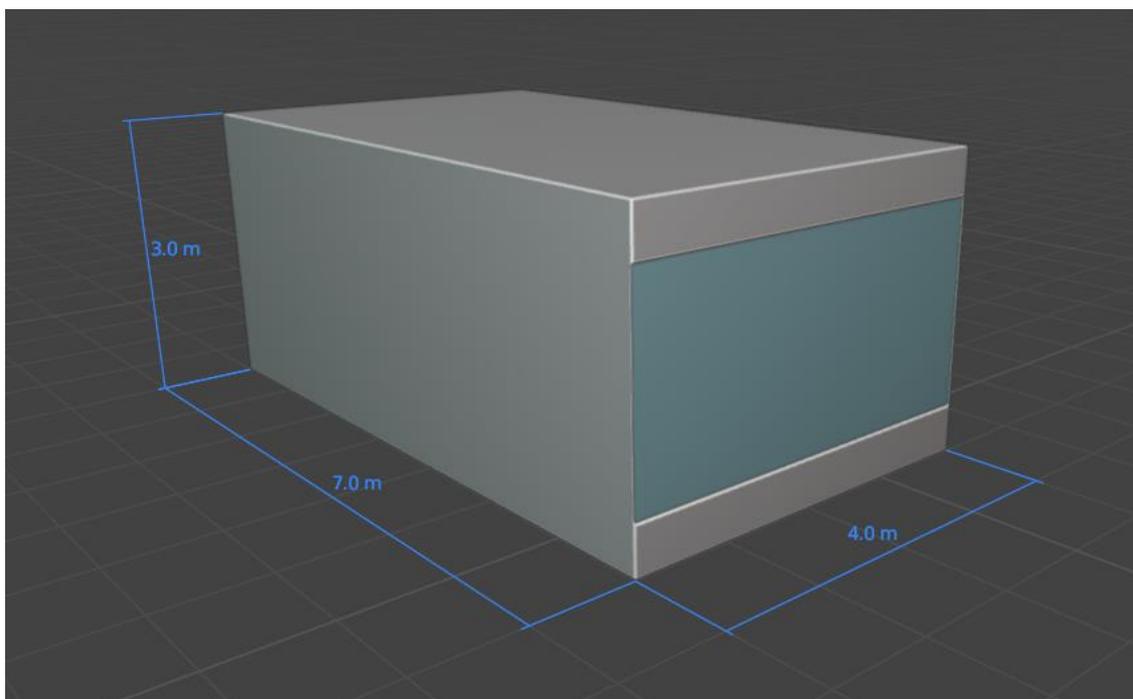


Figura 1: Maquete do Modelo Simulado (Autoria)

Com a volumetria definida, assim como os parâmetros fixos para a simulação, procedeu-se para a escolha dos parâmetros variáveis da simulação, tendo grande importância no processo de ensino, visto que a partir deles os alunos poderão fazer as correlações dos impactos de cada um na simulação de eficiência energética.

Foram selecionadas seis variáveis para que os alunos pudessem escolher as suas interrelações, assimilando assim os conceitos básicos para o uso em simulações mais complexas. O primeiro parâmetro escolhido para a escolha dos discentes foi a Cidade, variando, portanto, os dados climáticos da simulação. As opções definidas foram Florianópolis, Santa Catarina, com um clima subtropical úmido, Belo Horizonte, em

Minas Gerais, apresentando um clima tropical de altitude, e a cidade de Salvador, na Bahia, com um clima tropical quente.

O segundo elemento de escolha dos discentes foi definido como sendo o tipo de vidro a ser simulado, tendo sua variação entre diferentes valores de fator solar (FS), entre 0.8 e 0.3, intercalando a cada 0.1, permitindo assim uma escolha entre seis diferentes vidros.

Outra variável considerada foi a razão de área de janela por parede (Window to Wall Ratio - WWR) permitindo que o aluno altere a dimensão da janela, considerando-se a dimensão de largura fixa ao comprimento da parede. A variação deste elemento ocorre na altura da janela, interferindo principalmente na altura do peitoril a ser escolhido.

A opção definida a seguir foi a orientação da fachada principal onde ocorrerá a troca de calor, tendo como escolhas os quatro pontos cardeais: Norte, Sul, Leste e Oeste. A escolha de omitir os pontos colaterais em um primeiro momento foi a diminuição de resultados para reduzir o banco de dados inicialmente.

Os dois últimos elementos a serem escolhidos foram os brises. Os brises horizontais são apresentados na largura da fachada com 3 opções de profundidade: 10, 20 ou 30 cm. O elemento de sombreamento vertical é apresentado com profundidade fixa, mas permitindo variação na quantidade de aletas, sendo possível escolher entre 4, 6 ou 8 elementos, uniformemente distribuídos ao longo da janela.

Com os valores apresentados para os alunos seria possível obter 3456 resultados diferentes, permitindo assim que os discentes possam ter uma grande variação de simulações, dependendo dos dados de entrada selecionados. Com o grande número de resultados possíveis, a interrelação entre os parâmetros incentiva a criatividade dos alunos, permitindo que possam se aproveitar dos resultados para melhor compreender como tais variáveis se relacionam, fortalecendo assim o seu processo de aprendizagem por meio de práticas ativas. (Masson *et al.*, 2012)

Tabela 1: Parâmetros Variáveis utilizados no aplicativo

Parâmetro	Valores
Cidade	Florianópolis – SC Belo Horizonte – MG Salvador – BA
Fator Solar do Vidro	0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3
Razão Vidro Janela (WWR)	40% 50% 60%
Orientação	Norte Sul Leste Oeste
Sombreamento Horizontal	Sem Sombreamento 10 centímetros 20 centímetros 30 centímetros
Sombreamento Vertical	Sem Sombreamento 4 Unidades 6 Unidades 8 Unidades

### 3.2 Desenvolvimento

O processo de desenvolvimento do aplicativo, após as definições principais feitas previamente, se deu pela escolha das linguagens de programação a serem utilizadas, o processo de formatação de apresentação do site, bem como seu conteúdo a ser apresentado.

As linguagens utilizadas em um primeiro momento foram *HTML*, *CSS* e *JavaScript*, permitindo que a ferramenta rodasse totalmente online, sem restrições de tecnologias que possam não ser suportadas em diferentes dispositivos. A programação principal do funcionamento do aplicativo se deu em *JavaScript* puro, limitando em alguns aspectos uma flexibilidade na atualização do banco de dados por estar embutido no código da ferramenta.

O banco de dados, como apresentado anteriormente, foi pré-simulado, permitindo uma agilidade no processo de simulação. A simulação prévia foi efetuada a partir do software EnergyPlus™ (NREL, 2022), tendo o seu resultado apresentado em um arquivo de texto. Este foi convertido em formato *JSON*, para que pudesse ser lido e interpretado pela linguagem de programação.

O código da ferramenta funciona de forma intuitiva, onde o aluno escolhe as características do modelo que deseja simular. Acionando o botão de simulação, a ferramenta acessa o banco de dados, identifica o resultado pré-simulado e retorna com o valor de energia consumida total (em KW/ano).

Para a apresentação do conteúdo optou-se por uma saída por meio de um gráfico de barras. Essa decisão foi tomada visando agilizar o tempo de implementação e facilidade de atualização. Ao selecionar os parâmetros do modelo e realizar a busca na base de dados, o aplicativo apresenta um gráfico de barras do consumo de energia para aquela configuração de modelo. O gráfico permite comparar o consumo de energia de dois modelos simulados em sequência, permitindo sempre o comparativo e análise aos pares.

Com o intuito de facilitar a comparação utilizando-se de ferramentas externas, ao se clicar no botão de simulação, os parâmetros escolhidos são automaticamente copiados para a área de transferência do dispositivo, permitindo que o discente cole em uma planilha ou em algum outro local para armazenar o que foi escolhido.

### **3.3 Beta testing**

Para fazer um pré-lançamento do software, efetuou-se uma atividade com alunos da disciplina de Eficiência Energética e Sustentabilidade em Edificações, oferecida no sexto período do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. O exercício contou com a participação de 18 discentes e ocorreu da seguinte forma: o aplicativo foi apresentado, junto de todas as suas funções e os alunos foram estimulados a se dividirem em grupos de até 4 componentes. A atividade proposta aos grupos foi a breve concepção de alguns edifícios comerciais onde a sala a ser simulada seria utilizada como módulo de repetição para a fachada. Após a concepção os alunos deveriam fazer as devidas simulações e compará-las internamente no grupo para discutirem suas escolhas. Por fim, os resultados foram discutidos no grande grupo e mediados pelo professor onde foram demonstradas algumas correlações importantes entre os parâmetros de simulação.

A finalização da aula aconteceu com um breve questionário sobre o entendimento dos alunos sobre a utilização do aplicativo e o seu impacto na aprendizagem (Westphal; Procheira, 2023). Buscou-se uma avaliação dos alunos visando o aprimoramento da ferramenta, para que se possa aplicá-la com maior efetividade nas próximas atividades.

As respostas apresentadas pelos alunos apresentaram um impacto positivo no aprendizado, evidenciando que o aprendizado ativo (Kolb, 1984) tem fortes benefícios aplicado no ensino de simulação de eficiência energética.

## **4. RESULTADOS**

Com o lançamento do aplicativo e a validação positiva por parte dos alunos, foi possível disponibilizá-lo online, sem restrições de acesso. Desde então, o uso contínuo da aplicação tem sido observado na disciplina onde foi testada, demonstrando sua utilidade e eficácia no processo de aprendizagem.

O *software* apresenta uma interface intuitiva e fácil de usar, permitindo que o aluno selecione os parâmetros que deseja simular por meio de botões específicos. Além disso, a aplicação oferece a opção de redefinir os resultados obtidos, para que o usuário possa recomeçar a simulação quantas vezes forem necessárias.

Um dos principais recursos do aplicativo é a possibilidade de visualizar os resultados em gráficos, que são gerados e plotados em tempo real. Esse recurso facilita a interpretação dos dados e permite uma análise comparativa dos resultados obtidos em cada simulação e a anterior.

Outra vantagem do aplicativo é sua compatibilidade com dispositivos móveis e portáteis, como celulares, tablets e notebooks. Isso permite que os alunos tenham acesso à aplicação em qualquer lugar e a qualquer momento, tornando-a ainda mais útil e conveniente para o processo de aprendizagem.

## Simulação Térmica



Figura 2: Aplicativo de Simulação de Eficiência Energética (Autoria)

Os resultados gerados demonstraram claramente o comportamento das variáveis de controle em relação à eficiência energética do modelo simulado. Foi possível observar que a alteração dos parâmetros como a cidade, orientação solar, tipo de vidro e brise impactaram diretamente na eficiência energética do modelo, apresentando variações significativas nos resultados finais (tabela 2). Além disso, o software permitiu uma rápida visualização dos resultados, o que facilitou a análise comparativa entre diferentes modelos simulados.

Tabela 2: Resultados de Simulação

Parâmetros Escolhidos	Resultado
Florianópolis, FS 80, 40% WWR, Orientação Norte, Sem Brises	3198 KW/ano
Florianópolis, FS 50, 40% WWR, Orientação Norte, Brise Horizontal 20 cm	2732 KW/ano
Florianópolis, FS 30, 60% WWR, Orientação Leste, Brises Verticais 6 unidades	2877KW/ano
Salvador, FS 80, 40% WWR, Orientação Norte, Sem Brise	3370 KW/ano
Salvador, FS 50, 40% WWR, Orientação Norte, Brise Horizontal 20 cm	2804 KW/ano
Salvador, FS30, 60% WWR, Orientação Leste, Brises Verticais 6 unidades	3106 KW/ano
Belo Horizonte, FS 80, 40% WWR, Orientação Norte, Sem Brises	3470 KW/ano
Belo Horizonte, FS 50, 40% WWR, Orientação Norte, Brise Horizontal 20cm	3282 KW/ano
Belo Horizonte, FS 30, 60% WWR, Orientação Leste, Brise Vertical 6 unidades	3602 KW/ano

## 5. CONCLUSÕES

O aplicativo desenvolvido apresenta, portanto, uma abordagem didática e acessível para introduzir conceitos de simulação computacional de eficiência energética a estudantes. Ao permitir que os alunos alterem variáveis pré-estabelecidas e simulem diferentes cenários, a ferramenta proporciona uma experiência de aprendizado prática e dinâmica, que pode contribuir para a formação de profissionais mais preparados para lidar com as demandas atuais do mercado.

Com os resultados obtidos a partir do desenvolvimento e aplicação da ferramenta é possível notar um bom impacto no desenvolvimento do ensino de simulação em eficiência energética. Com os recursos e benefícios apresentados é possível compreender o motivo do aplicativo ter sido tão bem recebido pelos alunos, e porque seu uso tem se mostrado tão relevante no contexto acadêmico atual.

Contudo, vislumbra-se um panorama de aprimoramento da ferramenta. A partir do *feedback* apresentado pelos alunos já está em desenvolvimento o resultado visual das modificações escolhidas no parâmetro, facilitando a visualização do espaço a ser produzido outro elemento a ser inserido em curto prazo é a apresentação dos parâmetros escolhidos em tela, após a simulação, não apenas salvando na área de transferência como ocorre hoje. O aprimoramento nas linguagens de programação utilizadas está também auxiliando no processo de dinamização da base de dados, dando uma maior flexibilidade na adição de novos parâmetros e opções.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRANDÃO, C. R. **O que é o método Paulo Freire**. 1. ed. São Paulo: Brasiliense, 2009.
- BURRY, M. C. Homo Faber: Modeling, Identity, and the Post Digital. *In: Modelling the Unfamiliar*. Melbourne: Archadia Press, 2010. p. 13–22.
- DUNN, N. **Digital Fabrication in Architecture**. Londres: Laurence King, 2012. v. 45
- KOLB, D. **Experiential learning: experience as the source of learning and development**. Englewood Cliffs, N: Prentice Hal, 1984.
- KONG, D. *et al.* Evaluation of the Impact of Input-Data Resolution on Building-Energy Simulation Accuracy and Computational. **Buildings**, v. 13, n. 1, 2023.
- MASSON, T. J. *et al.* Metodologia de ensino: Aprendizagem Baseada em Projetos. **XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE)**, v. 2002, p. 1–10, 2012.
- NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL). **Energy Plus**, 2022. Disponível em: <<https://energyplus.net>>
- SCHUMACHER, P. Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design. **AD Architectural Design**, v. 79, n. 4, 2009.
- SOUZA, G. B.; PACHECO, L. M. B.; SUZART, N. S. **As Imagens Visuais e o Processo de Aprendizagem** Anais IV CEDUCE. **Anais...** Campina Grande: Realize Editora, 2015
- STRUCK, C.; HENSEN, J. On supporting design decisions in conceptual design addressing specification uncertainties using performance simulation. **IBPSA 2007 - International Building Performance Simulation Association 2007**, p. 1434–1439, 2007.
- WESTPHAL, F. S.; PROCHEIRA, L. A. R. Aplicação de ferramenta computacional no ensino de simulação de desempenho energético. **Anais do VII Congresso Latino-Americano de Simulação de Edifícios: IBPSA LATAM 2023**, p. 173–177, 2023.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelos recursos financeiros aplicados.

