



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS TRINDADE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Lucas Adler Rodrigues Procheira

Florianópolis

2024

Lucas Adler Rodrigues Procheira

**Desenvolvimento de Aplicativo Computacional para o Ensino de Eficiência  
Energética**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientador(a): Prof.(a) Fernando Simon Westphal,  
Dr.(a)

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.  
Dados inseridos pelo próprio autor.

Procheira, Lucas Adler Rodrigues  
Desenvolvimento de Aplicativo Computacional para o  
Ensino de Eficiência Energética / Lucas Adler Rodrigues  
Procheira ; orientador, Fernando Simon Westphal, 2024.  
130 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Ensino de Arquitetura e  
Urbanismo. 3. Simulação Computacional. 4. Eficiência  
Energética. I. Westphal, Fernando Simon. II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Lucas Adler Rodrigues Procheira

**Desenvolvimento de Aplicativo Computacional para o Ensino de Eficiência Energética**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 07 de março de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Rafael Prado Cartana, Dr.  
Universidade do Vale do Itajaí

Prof.(a) Joao Carlos Souza, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Prof.(a) Fernando Simon Westphal, Dr.(a)  
Orientador(a)

Florianópolis, 2024.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos em primeiro lugar ao meu orientador, Fernando Simon Westphal, pelo seu apoio e dedicação incansáveis durante o desenvolvimento desta pesquisa. Aos meus pais, meu profundo agradecimento pelo suporte inestimável neste período de intenso estudo e construção. Aos meus amigos do LabCon, sou imensamente grato pelos valiosos momentos de troca e aprendizado que compartilhamos, pois sem eles esta jornada não teria sido tão gratificante e enriquecedora. Um agradecimento especial ao Ricardo "Kuki" e ao Arthur "Sub" por sua ajuda crucial em diversos momentos do desenvolvimento do aplicativo; sem eles, partes fundamentais do código e da construção do site não teriam sido possíveis. À Kalluh, minha gratidão pelo apoio e incentivo. E a todos os meus amigos que me apoiaram com palavras de encorajamento e momentos de descontração, contribuindo significativamente para o avanço do aplicativo e da pesquisa.

## RESUMO

A pesquisa tem como objetivo desenvolver e aplicar uma ferramenta de ensino de eficiência energética para alunos de graduação em arquitetura e urbanismo. Buscou-se o desenvolvimento do aplicativo, a partir de uma necessidade identificada em sala de aula, a necessidade de um aplicativo introdutório de simulação de eficiência energética, para que os alunos possam, em períodos iniciais de projeto, assimilar conceitos basilares para uma boa simulação. A pesquisa se inicia com uma revisão bibliográfica onde são abordados os temas apresentados ao longo do trabalho, os motivos que levaram ao seu desenvolvimento e uma revisão teórica, apresentando conceitos essenciais para as metodologias utilizadas, além de teorias de suporte técnico para a ferramenta. Essa seção inclui bibliografias sobre o ensino de arquitetura e urbanismo, metodologias de ensino-aprendizagem, simulações computacionais de eficiência energética em edificações e abordagens de ensino relacionadas. A metodologia adotada, detalhada na segunda parte do trabalho, descreve o funcionamento do aplicativo, o qual é acessado por meio de um website para facilitar o acesso. Os usuários podem selecionar diferentes parâmetros, como cidade, fator solar do vidro, razão janela-parede, orientação solar, brise vertical e brise horizontal. Os resultados são apresentados em forma de gráficos, permitindo uma comparação entre diferentes cenários. Esses gráficos mostram o valor em kWh/ano do sistema de condicionamento de ar de uma sala comercial previamente simulada, simplificando assim a análise. Com relação à coleta de dados, as aplicações práticas com os alunos foram realizadas ao longo de três semestres, com seis atividades aplicadas no total. Os exercícios foram ajustados a cada semestre, e os alunos do sexto período do curso de arquitetura e urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina participaram das atividades. Além dos exercícios desenvolvidos, foi aplicado um questionário para investigar a recepção do aplicativo pelos alunos. Na parte final do trabalho, são apresentados os resultados obtidos a partir do desenvolvimento e da aplicação com os alunos. Esses resultados indicaram uma receptividade positiva ao aplicativo, uma vez que os alunos obtiveram bons resultados nas atividades efetuadas, assim como demonstraram uma boa recepção ao aplicativo na coleta de dados a partir do questionário. O que sugere uma perspectiva otimista sobre a integração de ferramentas de simulação no ensino de estudantes de arquitetura e urbanismo. Essa constatação reflete uma visão favorável em relação à utilidade prática dessas tecnologias no contexto educacional dessas áreas.

**Palavras-chave:** simulação computacional, eficiência energética, ensino de arquitetura e urbanismo.

## ABSTRACT

The research aims to develop and apply a teaching tool for energy efficiency for undergraduate students in architecture and urbanism. The development of the application was sought based on an identified need in the classroom, the need for an introductory energy efficiency simulation application, so that students can, in the early stages of the project, assimilate basic concepts for good simulation. The research begins with a literature review where the topics presented throughout the work are addressed, the reasons that led to its development, and a theoretical review, presenting essential concepts for the methodologies used, as well as technical support theories for the tool. This section includes references on the teaching of architecture and urbanism, teaching-learning methodologies, computational simulations of energy efficiency in buildings, and related teaching approaches. The adopted methodology, detailed in the second part of the work, describes the functioning of the application, which is accessed through a website to facilitate access. Users can select different parameters, such as city, glass solar factor, window-wall ratio, solar orientation, vertical and horizontal sunshade. The results are presented in the form of graphs, allowing for comparison between different scenarios. These graphs show the value in kWh/year of the air conditioning system of a previously simulated commercial room, thus simplifying the analysis. Regarding data collection, practical applications with students were carried out over three semesters, with six activities applied in total. The exercises were adjusted each semester, and sixth-semester students in the architecture and urbanism course at the Federal University of Santa Catarina participated in the activities. In addition to the developed exercises, a questionnaire was applied to investigate the reception of the application by the students. In the final part of the work, the results obtained from the development and application with the students are presented. These results indicated a positive receptivity to the application, as students obtained good results in the activities carried out, as well as demonstrated a good reception to the application in data collection from the questionnaire. This suggests an optimistic outlook on the integration of simulation tools in the teaching of architecture and urbanism students. This finding reflects a favorable view regarding the practical utility of these technologies in the educational context of these areas.

**Keywords:** computational simulation, energy efficiency, architectural education.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estratégias de arquitetura bioclimática	14
Figura 2: Zoneamento Bioclimático Brasileiro	15
Figura 3: Fluxograma Etiquetagem Prescritiva	18
Figura 4: Fluxograma Etiquetagem por Simulação	18
Figura 5: Estrutura do método de projeto em oficina	24
Figura 6: Metodo de processo de design	26
Figura 7: Site PROJETEEE	27
Figura 8: Website Windfinder	28
Figura 9: Aplicativo SOL-AR	28
Figura 10: Interface do aplicativo Dynamic Daylight	29
Figura 11: Diagrama do exercício desenvolvido.	30
Figura 12: Pirâmide de Aprendizagem de Edgar Dale	33
Figura 13: Fluxo de desenvolvimento das atividades propostas	38
Figura 14: Processo iterativo de modelagem computacional	42
Figura 15: Modelo de ensino tradicional de Máscara de Sombreamento	44
Figura 16: Heliodon	45
Figura 17: Fluxograma do paradigma de ensino de BSP	46
Figura 18: Ciclo de Aprendizado de Kolb	48
Figura 19: Gráfico do processo de desenvolvimento	54
Figura 20: Aplicativo responsivo	55
Figura 22: Dimensões da Sala Comercial Simulada	57
Figura 23: Carta Psicrométrica de Florianópolis	59
Figura 24: Carta Psicrométrica de Belo Horizonte	59
Figura 25: Carta Psicrométrica de Salvador	60
Figura 26: Fator solar	60
Figura 27: Distância mínima de fechamento opaco exigida entre lajes	
Instrução Técnica n ° 09 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo.	61
Figura 28: Trajetória do sol	62
Figura 29: Representação das opções de brises disponíveis para um modelo com 60% de área de janela.	63

Figura 30: Tela principal do Aplicativo de Simulação desenvolvido	66
Figura 31: Homepage	67
Figura 32: <i>MainPage</i>	68
Figura 33: Variáveis Apresentadas	68
Figura 34: Apresentação dos resultados da simulação pela ferramenta.	69
Figura 35: Exercícios de exemplo de utilização	71
Figura 36: Fluxo do <i>betatesting</i> segundo Dolan & Matthews (1993)	73
Figura 37: Linha do tempo da metodologia de aplicação	74
Figura 38: Versão beta do aplicativo	75
Figura 39 Valores simulados na apresentação do software	76
Figura 40: Edifício Sala <i>BetaTesting</i>	77
Figura 41: Slide do exercício de payback	82
Figura 42: Simulação exercicios iniciais	86
Figura 43: Histograma da pergunta 01	101
Figura 44: Histograma da pergunta 02	102
Figura 45: Histograma da pergunta 03	103
Figura 46: Histograma da pergunta 04	104
Figura 47: Histograma da pergunta 05	105
Figura 48: Histograma da pergunta 06	106

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características de reforço positivo e negativo	34
Quadro 2: Dimensões segundo Wallon	36
Quadro 3: Características de aprendizagem para Ausubel	36
Quadro 4: Dinâmica da sala de aula invertida	39
Quadro 5: Etapas do curso disponibilizado	49
Quadro 6: Variáveis do Aplicativo	64
Quadro 7: Parâmetros fixos do modelo	65
Quadro 8: Plano de aula 01	74
Quadro 9: Perguntas feitas aos alunos durante o <i>Betatesting</i>	77
Quadro 10: Respostas à primeira questão do questionário de <i>betatesting</i>	78
Quadro 11: Respostas à segunda questão do questionário de <i>betatesting</i>	79
Quadro 12: Plano de Aula 02	80
Quadro 13: Pontuação do jogo	83
Quadro 14: Resultados do exercício	84
Quadro 15: Plano de aula 03	84
Quadro 16: Exercícios iniciais.	85
Quadro 17: Exercícios aplicados na atividade 2 com o uso da ferramenta.	87
Quadro 18: Resultados do exercício 1	87
Quadro 19: Resultados do exercício 2	88
Quadro 20: Resultados do exercício 3	88
Quadro 21: Resultados do exercício 4	89
Quadro 22: Resultado do exercício 5	89
Quadro 23: Resultado do exercício 6	90
Quadro 24: Resultado do exercício 7	90
Quadro 25: Resultados do exercício 8	90
Quadro 26: Perguntas Questionário	93
Quadro 27: Plano de Aula 04	94
Quadro 28: Perguntas atividade de preparação.	95
Quadro 29: Resultado do exercício 1	95
Quadro 30: Resultado do exercício 2	96

Quadro 31: Resultados do exercício 3	96
Quadro 32: Perguntas da lista de exercícios.	97
Quadro 33: Resultados do exercício 1	98
Quadro 34: Resultados do exercício 2	99
Quadro 35: Resultados do exercício 3	99
Quadro 36: Resultados do exercício 4	100
Quadro 37: Respostas à pergunta 07	107
Quadro 38: Respostas à pergunta 08	107
Quadro 39: Respostas à primeira pergunta discursiva do questionário	123
Quadro 40: Respostas à segunda pergunta discursiva do questionário	124
Quadro 41: Respostas à primeira primeira discursiva do questionário	125
Quadro 42: Respostas à segunda pergunta discursiva do questionário	125
Quadro 43: Respostas à primeira pergunta discursiva do questionário	126
Quadro 44: Respostas à segunda pergunta discursiva do questionário	127

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIM	Modelagem de Informação da Construção
BPS	Building Performance Simulation (Simulação de Performance de Edifícios)
CAD	Desenho Assistido por Computador
DT	Design Tools (Ferramentas de Design)
E+	Energy Plus™
FS	Fator Solar
GH	Grasshopper
JSON	JavaScript Object Notation (Notação de Objetos JavaScript)
kWh	Quilowat-hora
MEC	Ministério da Educação
PBL	Problem-Based Learning (Aprendizagem baseada em problemas)
RJP	Razão Janela-Parede
SPE	Simulação de Performance em Edificações
TBL	Team-Based Learning (Aprendizagem baseada em times)
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFERSA	Universidade Federal do Semi-Árido
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USP	Universidade de São Paulo
WWR	Window-to-wall ratio (Razão Janela-Parede)
ZB	Zona Bioclimática

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS .....	21
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>21</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>21</b>
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	22
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>23</b>
2.1	ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO .....	23
2.2	METODOLOGIAS DE ENSINO .....	34
2.3	SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO.....	41
2.4	ENSINO DE SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL.....	44
<b>3.</b>	<b>METODO</b> .....	<b>54</b>
3.1	CONCEPÇÃO DO APLICATIVO .....	55
3.2	VARIÁVEIS UTILIZADAS.....	59
3.2.1	<b>Cidade</b> .....	<b>59</b>
3.2.2	<b>Fator Solar do Vidro</b> .....	<b>61</b>
3.2.3	<b>Razão Janela-Parede</b> .....	<b>62</b>
3.2.4	<b>Orientação solar</b> .....	<b>63</b>
3.2.5	<b>Brise-Soleil</b> .....	<b>63</b>
3.3	PARÂMETROS FIXOS.....	66
3.4	FUNCIONAMENTO DO APLICATIVO.....	67
3.4.1	<b>FORMA DE UTILIZAÇÃO DO APLICATIVO</b> .....	<b>68</b>
3.4.2	<b>EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO</b> .....	<b>71</b>
<b>4.</b>	<b>APLICAÇÃO COM OS ALUNOS</b> .....	<b>73</b>
4.1	APLICAÇÃO TESTE.....	73
4.2	APLICAÇÃO FINAL .....	80
4.2.1	<b>Atividade 01</b> .....	<b>80</b>
4.2.2	<b>Atividade 02</b> .....	<b>85</b>
4.2.3	<b>Atividade 03</b> .....	<b>95</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>102</b>
5.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	109
5.1.1	<b>Avaliação Aplicação teste</b> .....	<b>110</b>

<b>5.1.2</b>	<b>Avaliação Atividade 01.....</b>	<b>110</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Avaliação Atividade 02.....</b>	<b>110</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Avaliação Atividade 03.....</b>	<b>111</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>112</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>115</b>
	<b>APENDICE A – QUESTÕES APLICADAS AOS ALUNOS.....</b>	<b>123</b>
	<b>APÊNDICE B – RESPOSTAS DISCURSIVAS DOS ALUNOS NA ÍNTEGRA</b>	
	<b>124</b>	

## 1. INTRODUÇÃO

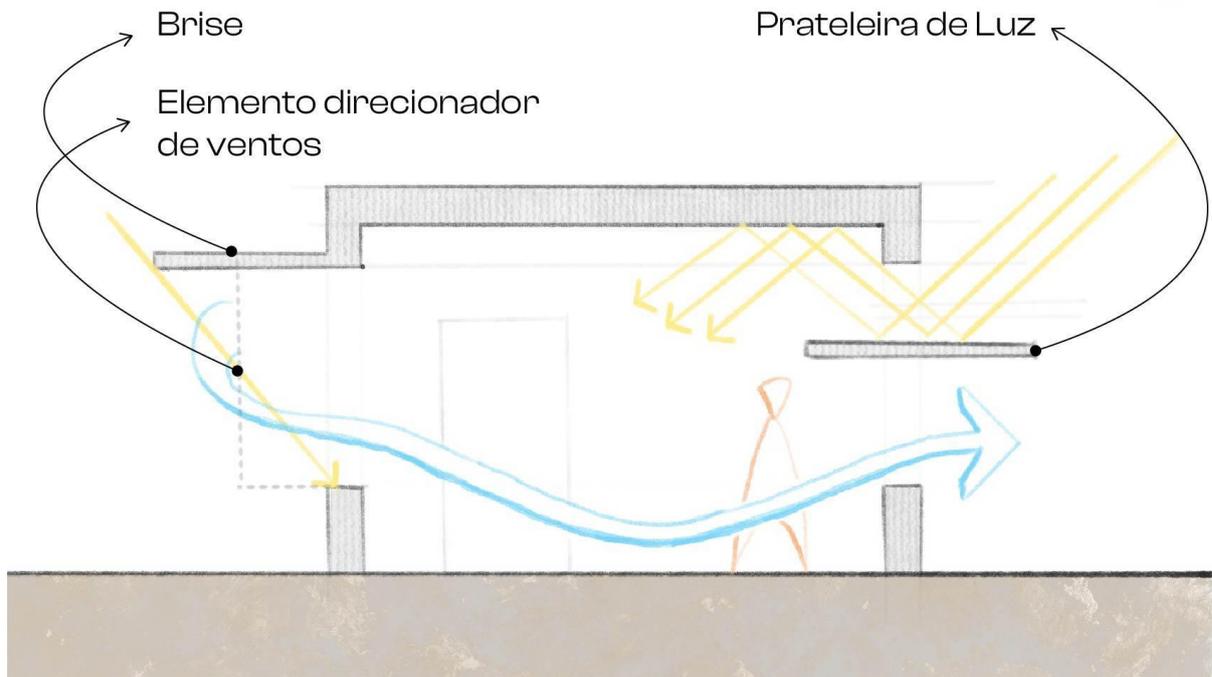
A inclusão do ensino de conforto ambiental, obrigatório a partir de 1994 pela Portaria 1770 do Ministério da educação (MEC), representou uma transformação significativa nos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Antes desse marco regulatório, as disciplinas de Higiene Ambiental e Física Aplicada eram abordadas, mas foi com a nova regulamentação que essas classes tiveram suas cargas horárias ajustadas e seus conteúdos realinhados para atender às novas exigências do Ministério (Bittencourt, Cábus e Toledo, 1997).

A partir dessa mudança, observou-se uma presença mais marcante do ensino de bioclimatologia nos currículos, proporcionando aos estudantes uma abordagem mais integrada no processo de projetar. Essa evolução reflete a crescente importância atribuída à consideração das características ambientais e do conforto do usuário no design arquitetônico. Com a ênfase no ensino de bioclimatologia, os estudantes são capacitados para integrar de forma mais efetiva esses aspectos no desenvolvimento de seus projetos, promovendo uma abordagem mais consciente e sustentável na prática profissional. Essa mudança curricular não apenas atende às demandas do MEC, mas também reflete uma resposta proativa às crescentes preocupações ambientais na área da arquitetura (Bittencourt, Cábus e Toledo, 1997).

Tornou-se imperativo, portanto, conceber o projeto arquitetônico considerando as características climáticas locais. Conforme evidenciado pela Agência Internacional de Energia (2023), observa-se uma tendência de redução no consumo de energia em edifícios. A implementação de estratégias bioclimáticas surge como um caminho promissor para a progressiva diminuição do consumo energético, promovendo a eficiência contínua das edificações. Além do impacto térmico positivo, essas estratégias não apenas contribuem para a eficiência energética, mas também exercem influência na produtividade, proporcionando ambientes climaticamente mais agradáveis para o desenvolvimento de atividades. Estratégias podem ser implementadas de diversas maneiras, como o uso de brises, vidros de controle solar, elementos direcionadores de vento, prateleiras de luz, etc. (Figura 1), oferecendo alternativas eficazes para o controle de variáveis climáticas. Essa abordagem visa reduzir a dependência de estratégias ativas de climatização,

como ar-condicionado e aquecedores, minimizando assim o consumo energético da edificação para o controle de temperatura e, conseqüentemente, promovendo uma maior eficiência energética.

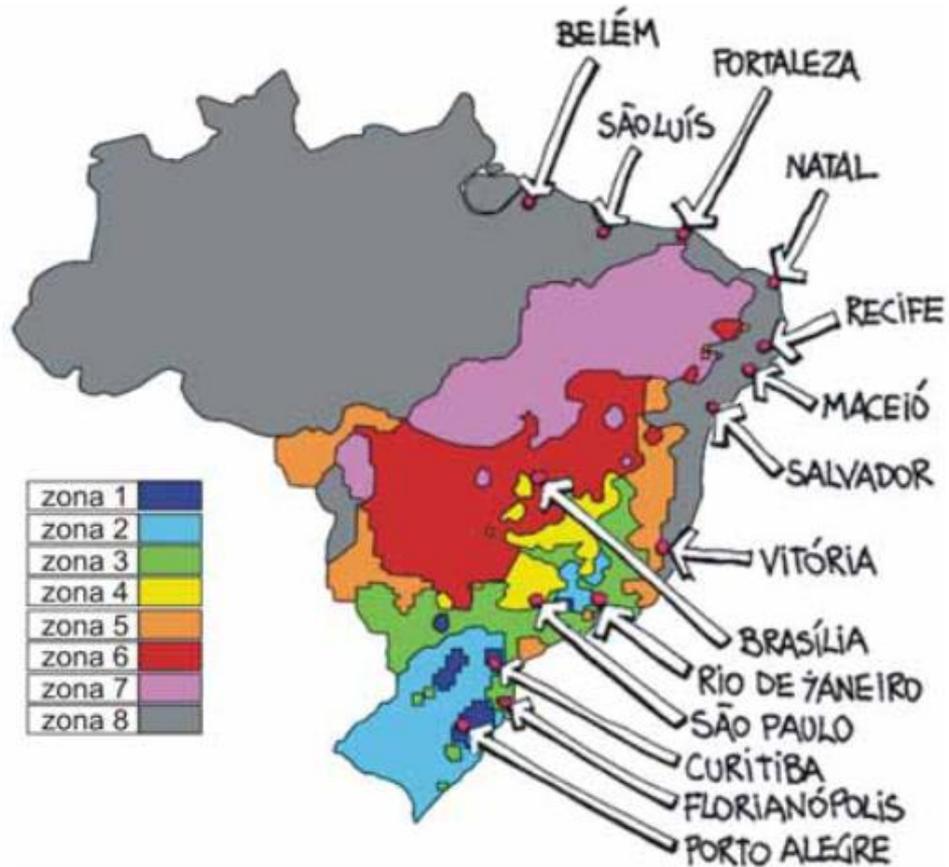
Figura 1: Estratégias de arquitetura bioclimática



Fonte: elaborado pelo autor

Outro fator a ser considerado é a localização do projeto. A geografia do local, seja em clima quente, frio, úmido ou seco, demanda estratégias específicas. Variáveis que descrevem a insolação e ventilação devem ser analisadas, levando em consideração locais com maior incidência de ventos. Elementos como neve ou chuva constante também devem ser contemplados. Nesse contexto, é relevante destacar a importância da arquitetura vernacular, que tem como ponto de partida a integração com o ambiente local. Para se identificar as melhores estratégias para cada região é possível usar a categorização do Zoneamento Bioclimático Brasileiro (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004), onde dividiu-se o país em 8 zonas, com dados coletados por 59 anos, categorizados a partir da Carta Bioclimática de Givoni, em uma adaptação para o Brasil (PROJETEEE, 2023)(Figura 2).

Figura 2: Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: reprodução eficiência energética em arquitetura (lamberts p.97)

Para assegurar uma análise eficiente das estratégias, além da abordagem qualitativa comumente adotada, torna-se imperativo incorporar uma análise quantitativa para o estudo de viabilidade econômica. Nesse contexto, surge a necessidade premente de utilização de programas de simulação que possibilitem essa análise virtual e, conseqüentemente, a obtenção de resultados numéricos. As simulações computacionais, amplamente empregadas na arquitetura contemporânea, não apenas contribuem para resultados quantitativos, mas também desempenham um papel crucial nas tomadas de decisões durante o processo de projeto de uma edificação. Ao permitirem uma comparação dinâmica das variáveis, essas simulações facilitam a verificação imediata dos resultados.

As simulações energéticas podem ocorrer tanto em estágios iniciais quanto em estágios finais de desenvolvimento do projeto, sendo os últimos focado principalmente na verificação de desempenho. É nesse momento que se destaca a importância das decisões tomadas nas fases iniciais do projeto, uma vez que essas

estratégias podem ser determinantes para o desempenho final da edificação. As simulações iniciais, embora exijam menos *inputs*, demandam definições projetuais sólidas, que são essenciais para um bom desempenho do edifício, dado que algumas estratégias adotadas inicialmente podem não ser passíveis de alteração posteriormente, tornando-se fundamentais para o partido projetual (Østergård, Jensen e Maagaard, 2017).

Atualmente, o ensino de estratégias privilegia, em sua maioria, abordagens qualitativas, proporcionando um entendimento aprofundado ao aluno, o que é crucial para a fase de aprendizado. No entanto, é essencial que o aluno possa compreender não apenas as relações qualitativas, mas também as quantitativas das estratégias, pois estas frequentemente tornam os resultados mais tangíveis, facilitando a compreensão dos fenômenos e parâmetros que influenciam na eficiência energética da edificação.

Em um período onde a quantidade de dados disponíveis é vasta e ilimitada, é crucial que o professor exerça uma curadoria adequada dos conteúdos e métodos de ensino. Caso isso não ocorra, as aulas podem se tornar apenas mais uma fonte de informação a ser armazenada na memória. Podem ainda, ser rapidamente esquecidas devido ao grande fluxo de informações ao qual os alunos são expostos diariamente. É necessário, portanto, uma abordagem mais criativa, dinâmica e interativa para o processo de ensino, que possibilite uma aprendizagem mais significativa e duradoura para os alunos.

Vislumbra-se a importância da utilização de atividades que explorem experiências no processo de ensino (Kolb, 1984) a fim de fortalecer o conteúdo passado em sala. Cada sujeito possui sua própria forma de aprendizado e cabe ao professor disponibilizar a maior quantidade de ferramentas para que este sujeito possa tirar proveito de seus próprios conhecimentos e assim criar um entrelaçamento de informações dando origem ao aprendizado. Torna-se impreterível a busca por ferramentas para que a assimilação do conhecimento aconteça da melhor forma possível.

Neste momento, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) entram em cena para aprimorar o ensino, proporcionando uma integração dinâmica às aulas. As TICs representam estratégias diversas, incluindo formatos e objetivos

variados, destacando-se ferramentas conhecidas como Kahoot (KAHOOT!, 2024), Blackboard (GOOGLE, 2024a) e Quizzis (Quizizz Inc., 2024). Tecnologias mais abrangentes como estas oferecem flexibilidade para diversas disciplinas, adaptando-se às necessidades de cada professor. Contudo, em cursos especializados, como arquitetura e urbanismo, é necessário o uso de ferramentas mais específicas, capazes de atender às demandas intrínsecas do curso, abrangendo análises de sistemas estruturais, conforto ambiental e análise projetual.

A integração das TICs no ensino permite identificar um impacto significativo no campo da arquitetura e urbanismo, com a introdução de softwares voltados ao Desenho Assistido por Computador (CAD), modelagem de maquetes 3D, ferramentas de Modelagem de Informação do Edifício (BIM) e simulações diversas. Possibilita-se uma formação alinhada aos desenvolvimentos econômicos e tecnológicos da sociedade.

Assim como a tecnologia passou a influenciar a formação do arquiteto, a interdisciplinaridade no ensino se fez presente, de forma que o estudante passou a ter uma visão global dos processos que envolvem o seu trabalho. A colaboração com diferentes áreas do conhecimento permite que a arquitetura se desenvolva para além da sua vertente construtiva, mas levando em consideração aspectos psicológicos, sociais e ambientais da edificação.

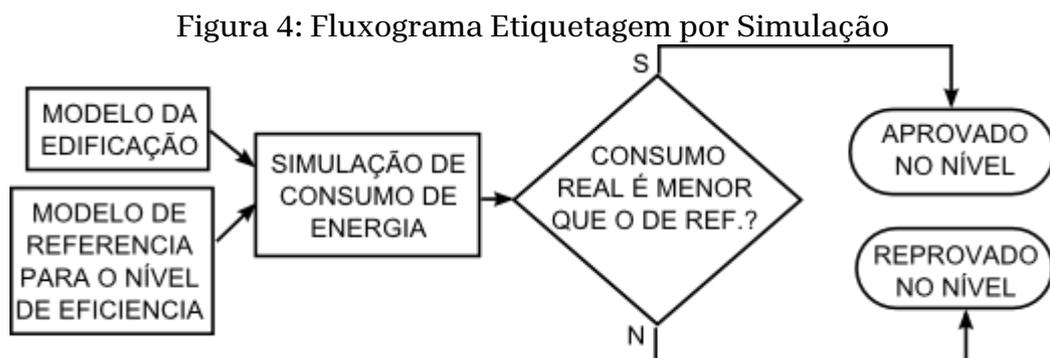
A sustentabilidade e a eficiência energética foram duas disciplinas de grande influência no pensamento arquitetônico nas últimas décadas, demonstrando uma linha de formação importante para futuros profissionais. O desenvolvimento de edifícios com melhor performance energética tem sido um alvo de diversos atores, como é evidenciado ao se identificar a diversidade de selos de avaliação de eficiência. A etiquetagem energética é um método de classificação que tem por objetivo fornecer informações sobre o desempenho energético da edificação analisada. Objetiva-se a partir desta prática, incentivar o desenvolvimento de projetos que considerem o consumo energético do edifício. Selos como LEED, PROCEL, Casa Azul e AQUA-HQE, são algumas das principais etiquetagem presentes no Brasil até o momento. Buscar por estratégias bioclimáticas e que busquem uma edificação eficiente em fases iniciais do projeto, facilitam no cumprimento das normas de etiquetagem. A norma de Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível

de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) estabelece dois métodos de etiquetagem (BRASIL, 2013), os quais são os métodos prescritivos e de simulação. Em métodos prescritivos de etiquetagem, utilizam de checklists como é o caso da certificação Leed, o desenvolvimento de um projeto que já considere elementos bioclimáticos em sua genes facilitam na obtenção de pontuação final, garantindo um bom posicionamento da categorização energética do edifício (Figura 3).



Fonte: reprodução labeee, 2023

O outro método utiliza de simulações para confirmar a efetividade das edificações onde se desenvolve um modelo de referência e um modelo da edificação a ser analisada, os resultados são então comparados e o projeto é aprovado ou reprovado na certificação (Figura 4).



Fonte: reprodução labeee, 2023

A criação e forte incentivo à utilização das etiquetas acaba evidenciando uma preocupação com aspectos climáticos no desenvolvimento da indústria da construção civil. É possível notar que um ensino de simulação alinhado com os modelos de etiquetagem se torna um grande trunfo para os estudantes, trazendo estratégias bioclimáticas e um conhecimento quantitativo destas pode auxiliar no

desenvolvimento de projetos etiquetados conforme as normas de eficiência energética vigentes.

As ferramentas de simulação energética, contudo, se apresentam de forma complexa para modelos mais simplificados que buscam um entendimento rápido dos elementos que envolvem os gastos energéticos de uma edificação. Dentro deste panorama, especialmente os softwares utilizados em estágios iniciais, destaca-se a limitada disponibilidade de softwares de acesso aberto e de baixa complexidade, permitindo que sejam utilizados na formação inicial de simuladores. (HONG; CHOU; BONG, 2000a)

É inegável que o processo de aprendizagem do arquiteto em formação tenha se alterado devido aos avanços da sociedade. Metodologias de ensino que visam o aprendizado a partir da prática projetual, como é o caso das metodologias construtivistas, amplamente utilizadas no processo educacional de arquitetos e urbanistas. É possível identificar tal modelo ao se comparar os seus três pilares com o processo de ensino-aprendizagem em arquitetura como demonstram (Thumé e Uren, 2003a):

1. Conhecimento é construído: o projeto de arquitetura é construído aos poucos juntamente com suas lógicas projetuais;
2. O aprendiz é o centro do processo: o enfoque é na aprendizagem significativa, decorrendo da elaboração e desenvolvimento de um projeto;
3. O ambiente de aprendizagem ocupa um papel determinante: há a contextualização do processo de ensino-aprendizagem, onde o aluno fica imerso no seu processo de projetar.

Os autores ainda evidenciam que a estruturação vertical dos projetos provoca uma evolução evidente no processo de projeto dos alunos, uma vez que a cada semestre a complexidade aumenta, junto com a integração horizontal de outras matérias complementares, onde pode-se incluir estratégias de bioclimatologia e eficiência energética, buscando introduzir o processo de pensar e simular o consumo energético da edificação ao longo de todo o currículo (Thumé e Uren, 2003b). Corona Martinez (2000) lembra que o projeto de arquitetura é um conhecimento arquitetônico aplicado, transformando então o saber em fazer. Portanto, dissociar

esta dimensão ativa no processo de ensino e aprendizagem do estudante seria negá-lo do contato com a experiência profissional do mercado de trabalho.

A partir do uso de tecnologias no ensino de arquitetura, é possível que se desenvolva um formato de ensino interativo, envolvendo conceitos e boas práticas no processo projetual de arquitetura. A simulação de eficiência energética pode ser explorada por estes recursos, visto que é uma atividade prática e se aproveita de plataformas digitais e interativas para o seu desenvolvimento.

A presente dissertação se faz importante para a expansão das pesquisas no âmbito do ensino de eficiência energética, principalmente em metodologias que busquem incluir simulações e processos interativos e dinâmicos no ensino.

Busca-se, portanto, desenvolver uma ferramenta, ao longo da dissertação, com foco na análise energética de configurações de janelas, objetivando aprimorar o ferramental dos professores em sala de aula.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem por objetivo desenvolver e aplicar um software educacional, com foco no ensino de eficiência energética em edificações, em turmas de graduação em arquitetura e urbanismo.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, serão buscados os seguintes objetivos específicos:

- a) Determinar o formato de ferramenta computacional mais adequado para uso em sala de aula;
- b) Identificar os temas a serem abordados e exercícios didáticos passíveis de serem realizados em sala de aula;
- c) Desenvolver um pacote de exercícios e aplicar a ferramenta em uma turma de alunos de graduação em arquitetura e urbanismo;
- d) Avaliar a percepção dos alunos quanto ao uso da ferramenta de ensino.

## 1.2 Estrutura do trabalho

A dissertação se constrói de forma a apresentar os referenciais teóricos necessários para a estruturação da pesquisa no capítulo 2. O capítulo 3 apresenta o método utilizado para o desenvolvimento do aplicativo, bem como as escolhas de metodologias educacionais e construção da aula preparada com o intuito da aplicação da atividade utilizando-se do aplicativo desenvolvido. Seguido diretamente por um capítulo dedicado à validação do aplicativo em sala de aula, junto de alunos do sexto período do curso de graduação em arquitetura e urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, bem como são apresentados neste capítulo exemplos comentados da aplicação em sala de aula. Os resultados e discussões obtidos a partir do questionário aplicado durante o processo da pesquisa serão apresentados no capítulo 5. Por fim a dissertação será finalizada com a conclusão final no capítulo 6 apresentando o fechamento da pesquisa e possíveis encaminhamentos para o aprofundamento da área do saber.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Ensino de Arquitetura e Urbanismo

Considerando a necessidade de exploração de novas práticas metodológicas a serem utilizadas no ensino de arquitetura, é possível perceber uma grande oportunidade de aprimoramento do ensino, intrínseca ao processo de projetar. O conceito de um pensamento arquitetônico, sendo não-linear, possui processos de revisão e constante mudança, buscando sempre uma concepção de arquitetura como uma forma de organizar espaços adequados a determinadas funções e à permanência de pessoas com qualidade (Unwin, 2009). Permite, assim, que os processos de ensino se tornem dinâmicos e interativos, visto que o desenho arquitetônico é algo que exige seu aprendizado por meio da prática.

Uma das metodologias utilizadas no ensino de projeto arquitetônico é o *Design Methods (DM)*, tendo seu início na metade dos anos 1920. Contudo teve seu início em 1962, ano que ocorreu a Conferência de Métodos Sistemáticos e Intuitivos em Engenharia, Design Industrial, Arquitetura e Comunicações (*Conference on Systematic and Intuitive Methods in Engineering, Industrial Design, Architecture and Communications*), com a intenção de aprimorar processos industriais e de desenho. O processo de projeto arquitetônico e urbanístico estava incluso nesta lista de aprimoramentos, contudo não atingiu os programas de ensino arquitetônico no Brasil, mantendo-se nos processos de erro e acerto (Celani *et al.*, 2006). Como resultado, houve uma desestabilidade na formação de uma estrutura projetual concreta, tendo como decorrência a metodologia de erro e acerto para o projeto. Por Meados dos anos 1970 foram se aperfeiçoando as metodologias e passou-se a admitir um procedimento de 3 fases - a análise, a síntese e a avaliação, baseadas nas técnicas de pesquisa operacional ou " métodos sistemáticos de projeto".

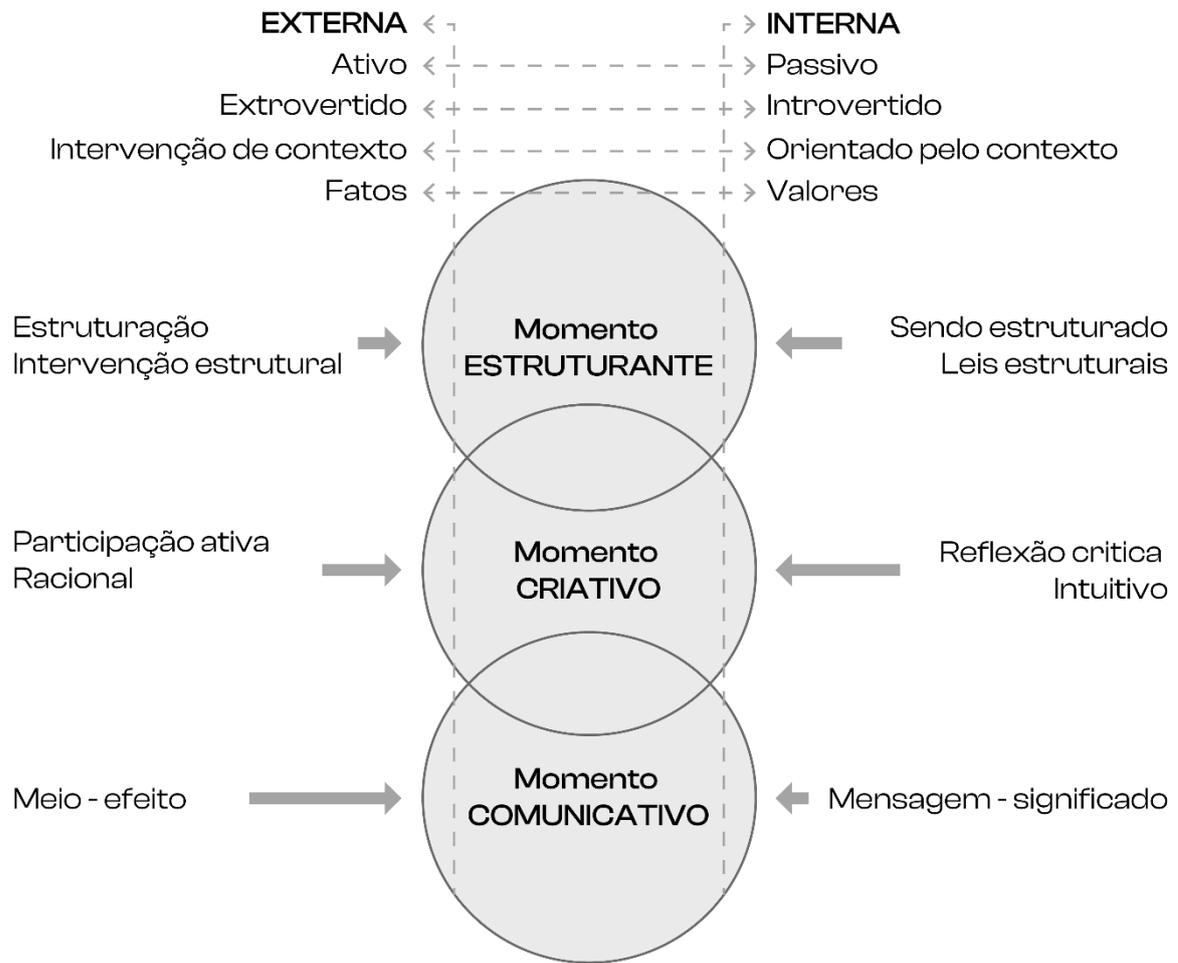
Já nos anos 1980 a abordagem dos *Design Methods* foi alterada novamente e passou a ser vista como uma ciência específica, que não necessitava de um respaldo filosófico. Com o avanço dos *DM*, emergiram diferentes abordagens complementares, tais como o Programa Arquitetônico, o *Design Thinking* e a aplicação de Técnicas Computacionais na resolução de problemas (Cross, 1984).

Como o início do processo projetual se caracteriza por ser uma fase analítica, onde passa-se a agregar informações necessárias para a sua resolução, muitos autores consideram o Procedimento do Projeto como uma fase de síntese, onde se busca uma resolução dos problemas encontrados no início do processo, assemelhando-se a um processo científico de análise, tese, antítese e síntese (Moreira, Kowaltowski and Beltramin, 2016).

No entanto, reconhece-se que o sucesso do ensino de arquitetura não depende apenas desses métodos, mas também da escolha e implementação adequadas de metodologias de ensino. A reestruturação do processo de ensino-aprendizagem deve perpassar a reestruturação curricular, focando-se em processos que viabilizem a forma do aprendizado e não a quantidade. Demonstra-se desta forma a importância da metodologia no ensino técnico-conceitual no ensino de arquitetura (Leite, 2005). Portanto, o ensino de arquitetura alinha-se com abordagens humanistas e cognitivas (Rebello, 2000). Possibilitando a formação de arquitetos competentes, criativos e preparados para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo.

Um dos métodos mais potentes de ensino projetual é o modelo de oficinas, sendo capaz de se estruturar em três etapas, como pode-se notar na Figura 5. A primeira é estruturante, buscando-se uma construção intelectual do processo de projeto, discutindo-se a teoria inerente ao projetar arquitetura. O segundo momento é o período criativo da metodologia, quando é desenvolvido o processo de design e concepção de fato do projeto, quando há o desenvolvimento técnico do aluno. O terceiro momento da oficina ocorre em um formato comunicativo, quando se faz uma retomada do processo como um todo e os resultados são discutidos e retornados para os alunos refletirem sobre a sua própria aprendizagem (Fiscarelli e Rodríguez, 2020).

Figura 5: Estrutura do método de projeto em oficina



Fonte: Reprodução de Fiscarelli e Rodríguez, 2020. Adaptado pelo autor

Contudo, os autores afirmam que o processo de aprendizagem em grupo, como é o caso das oficinas, não é efetivo de forma isolada, uma vez que o aprendizado, em última instância, ocorre individualmente.

Uma vez que a formação do arquiteto é generalista, é imprescindível que haja uma integração entre a área projetual e suas disciplinas complementares. Nota-se que em sua maioria os cursos de Arquitetura e Urbanismo trabalham os componentes curriculares de forma desintegrada, não havendo uma comunicação entre as disciplinas cursadas pelos alunos. Mantendo uma compartimentalização dos saberes perdendo, perde-se uma oportunidade de enriquecimento das discussões em âmbito acadêmico. Considerando que para uma intervenção positiva no espaço físico é necessário que se compreenda os fenômenos envolvidos no espaço, para tanto uma consciência socioambiental deve ser despertada nos

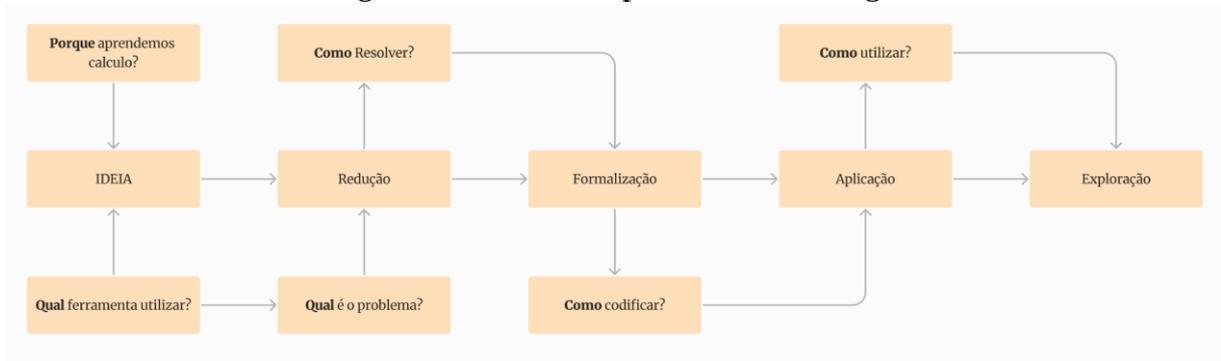
estudantes, especialmente quando se trata de questões ligadas à sustentabilidade e desenvolvimento tecnológico, formando profissionais preparados para suprir as demandas sociais, ambientais e econômicas da sociedade (Büttner e Santos, 2022). Portanto, se vê necessário que haja uma intencionalidade por parte do professor no processo metodológico.

O uso do *design* digital na arquitetura sustentável tem despertado grande interesse, permitindo a incorporação de elementos essenciais para uma abordagem bioclimática no ensino de projeto. O "*paperless studio*", modelo de projetar digitalmente (Norman, 2001), foi um dos pioneiros no processo de se pensar em uma arquitetura digital, onde se enfatiza o uso de algoritmos e *design* paramétrico. No entanto, ainda há um debate em curso sobre a melhor forma de integrar o ensino do *design* digital ao projeto arquitetônico. Diversos modelos têm sido propostos, como o progressivo, em que os conteúdos se tornam mais complexos à medida que o aluno progride no curso, e o interpassado, que incorpora estágios intermediários para consolidar e aprimorar o aprendizado. Além disso, há o modelo integrado, em que o conhecimento das ferramentas digitais é integrado ao desenvolvimento do *design* arquitetônico. E o modelo paralelo, em que ocorre uma aprendizagem simultânea e paralela do *design* e das ferramentas digitais. Essas abordagens representam diferentes maneiras de unir o ensino do *design* digital ao processo de projeto arquitetônico, buscando formar profissionais aptos a enfrentar os desafios da arquitetura sustentável no mundo contemporâneo. (Xiang *et al.*, 2020)

O *Design Thinking* Paramétrico é uma abordagem metodológica que tem sido cada vez mais explorada em cursos de arquitetura. Seu objetivo é introduzir o pensamento algorítmico necessário para a plena utilização do potencial da parametrização no processo projetual. Um exemplo é um curso oferecido por professores da Universidade de Varsóvia, que em sua estrutura traz questões de resolução de problemas e os métodos de desenvolvimento do processo de *design* (Figura 6). Foram trabalhados conceitos de *design* paramétrico com alunos iniciantes de arquitetura, os resultados foram bastante positivos, com os alunos demonstrando um bom entendimento do processo paramétrico e apresentando desenvolvimentos significativos ao longo do curso. Essa experiência evidencia a eficácia do *Design*

*Thinking* Paramétrico como uma abordagem promissora no ensino de arquitetura.  
(Ostrowska-Wawryniuk, Strzala e Słyk, 2022)

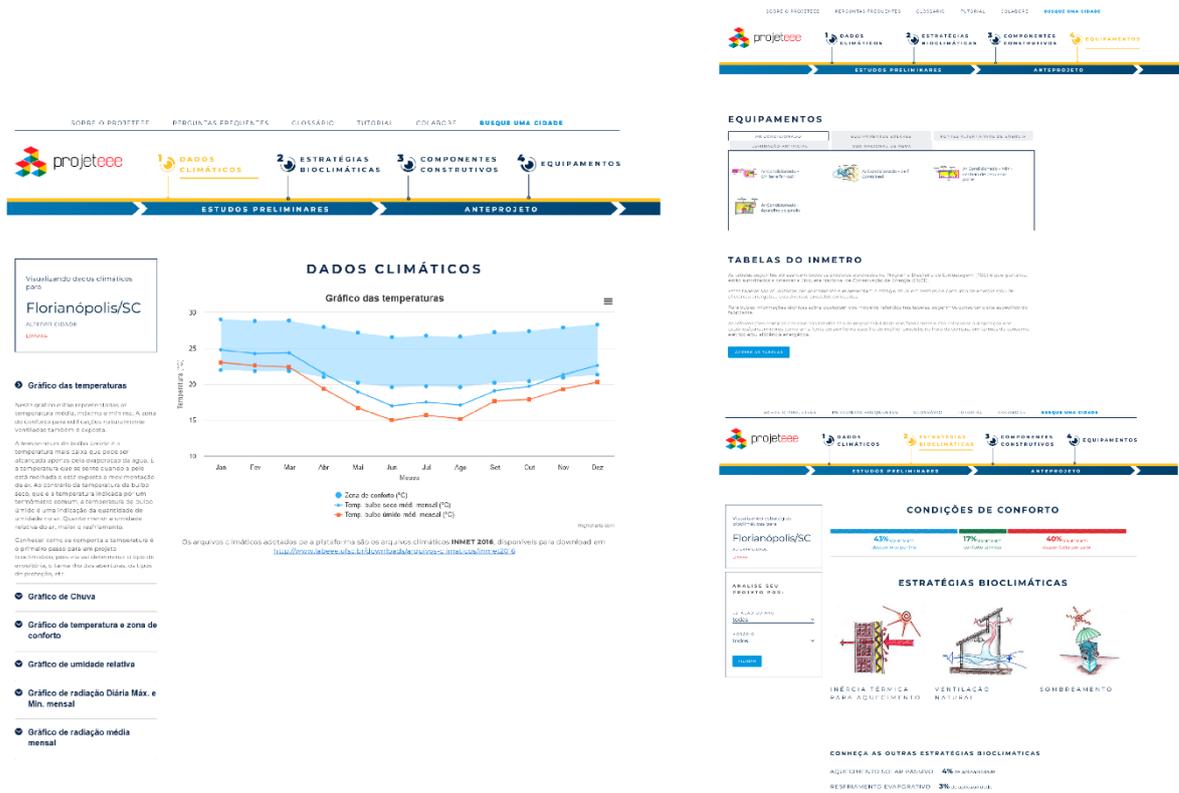
Figura 6: Metodo de processo de design



Fonte: reproduzido de Ostrowska-Wwryniuk, Strzala e Slik (2022). Adaptado pelo autor

Lima e Debiazi (2019) demonstram a importância da utilização de TICs no ensino de arquitetura, principalmente quando há uma busca por projetos climaticamente orientados. Os autores trazem algumas ferramentas que podem auxiliar no ensino de disciplinas onde se abordam temas como conforto lumínico, térmico e eficiência energética. O *website* Projeteee (MME, 2023) oferece uma ferramenta que permite interpretação de dados climáticos. Com uma base de dados abrangente contendo informações climáticas de várias cidades brasileiras, o site disponibiliza estratégias bioclimáticas e uma calculadora específica para equipamentos de climatização e geração de energia solar, alinhando-se às normas estabelecidas de desempenho (ABNT, 2005, 2021) (Figura 7).

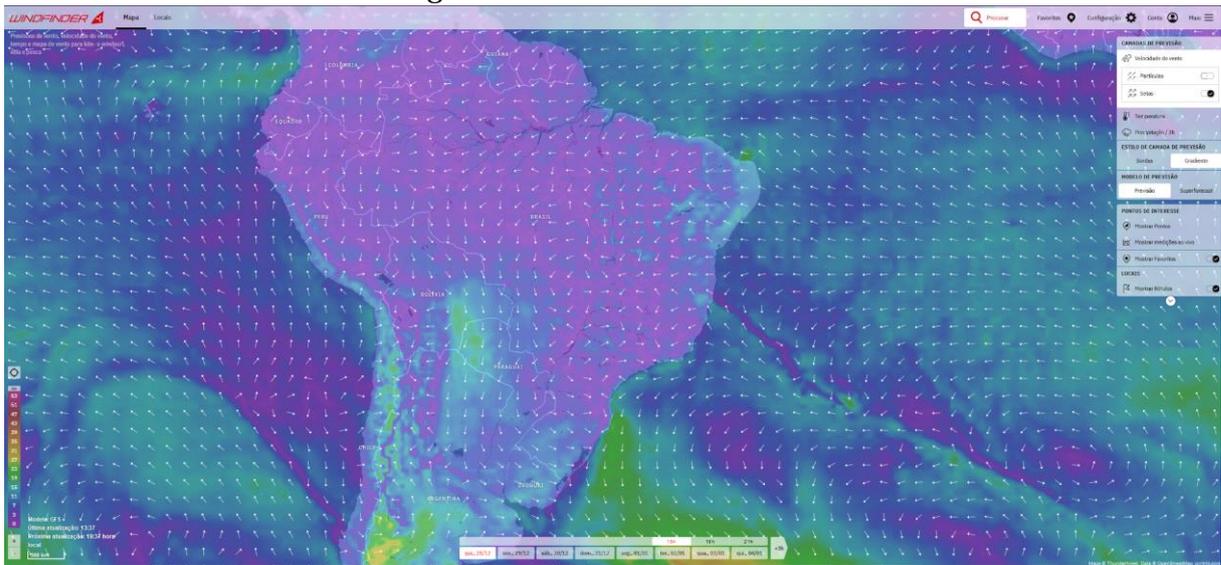
Figura 7: Site PROJETEER



Fonte: elaborado pelo autor. Acesso em: 28/12/2023

A *website* WindFinder (WindFinder, 2023) oferece análise de dados de mais de 20.000 bases meteorológicas em todo o mundo, disponibilizando estatísticas em tempo real. Permite, desta forma, observar a distribuição e direção dos ventos, além de apresentar mapas interativos de previsões climáticas, além de possuir uma calculadora de conversão e classificação da velocidade do vento. Pode ser utilizado para uma análise que facilita o posicionamento e dimensionamento das aberturas a fim de uma melhor ventilação nos projetos, apresentando-se como uma excelente ferramenta de apoio para o ensino de ventilação natural (Figura 8).

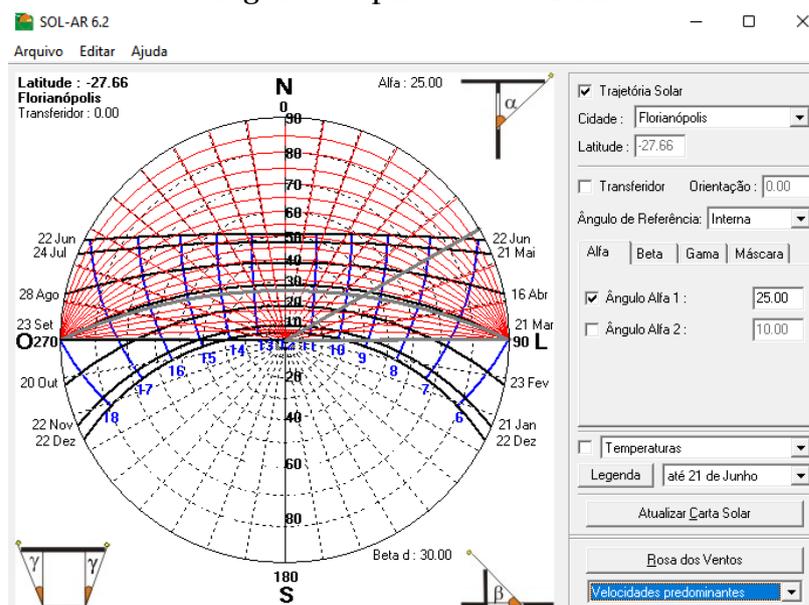
Figura 8: Website Windfinder



Fonte: elaborado pelo autor. Acesso: 28/12/2023

O software Analysis SOL-AR (LABEEE, 2009) permite que se gere cartas solares automaticamente, identificar intervalos térmicos anuais das cidades disponíveis no seu banco de dados, assim como gera máscaras de sombra a partir de ângulos que podem ser inseridos no aplicativo (Figura 9). Podendo ser utilizado para o ensino de mascaramentos complexos uma vez que os estudantes já possuem o conhecimento básico sobre o assunto bem estruturado.

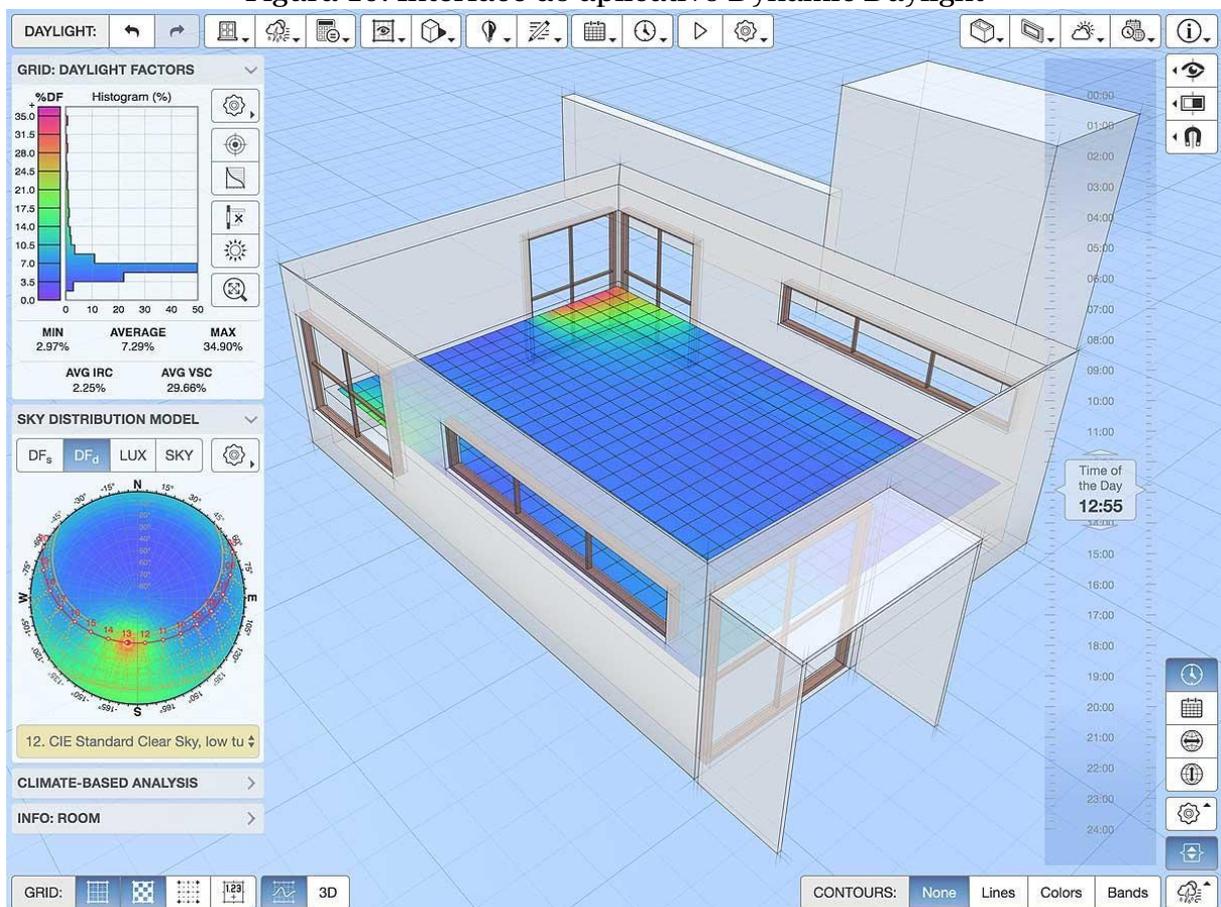
Figura 9: Aplicativo SOL-AR



Fonte: elaborado pelo autor

Os aplicativos disponibilizados por Andrew Marsh em seu *website* (Marsh, 2023) permitem análise de sombreamento (Dynamic Daylight) e de clima, de forma visual e interativa, possibilitando uma construção das estratégias em tempo real e lúdica (Figura 10), apresentando uma ferramenta muito valiosa para o ensino de estratégias de sombreamento, uma vez que abrange alguns dos elementos de aprendizado apresentados na pirâmide de aprendizado (Figura 12).

Figura 10: Interface do aplicativo Dynamic Daylight



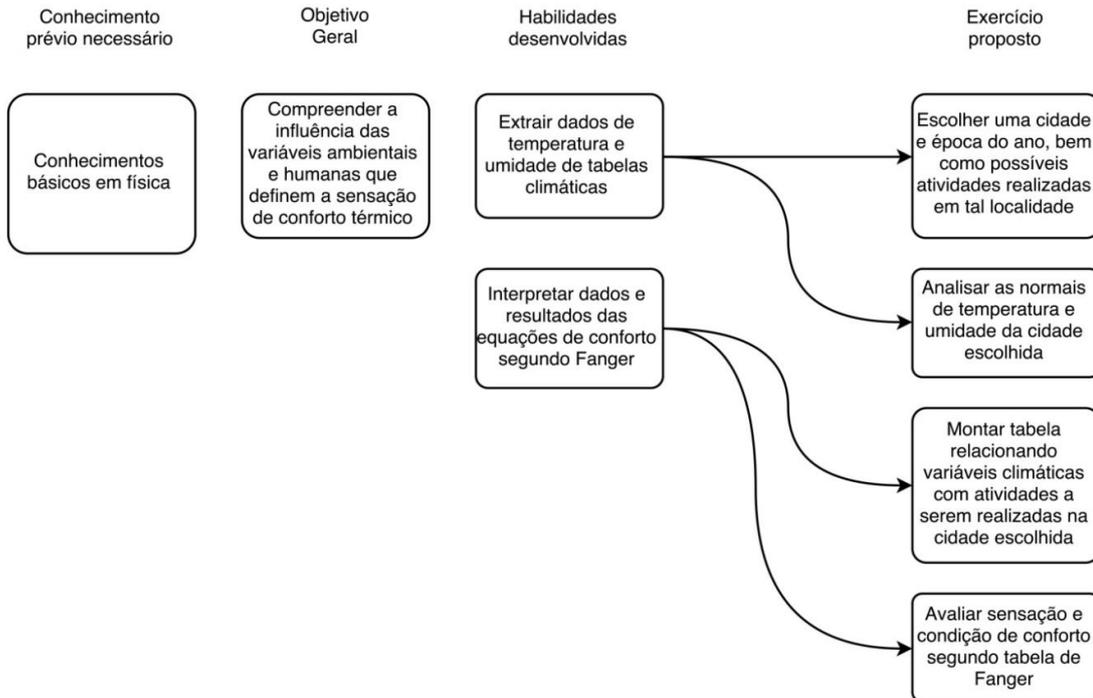
Fonte: reprodução de AndrewMarsh.org. Acesso em: 28/12/2023

Tais estratégias podem ser introduzidas tanto em disciplinas projetuais quanto em matérias mais específicas ao conforto ambiental no ambiente construído, apresentando interessantes ferramentas para os docentes abordarem o ensino de bioclimatologia de forma prática e descontraída.

Na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), uma experiência bem-sucedida no ensino de arquitetura utilizando TICs foi conduzida na disciplina de

conforto ambiental do quarto período. Nessa disciplina, foi adotado um ambiente virtual de aprendizagem que permitiu a distribuição de conteúdo educacionais interativos. O desenvolvimento dos exercícios foi organizado a partir de um objetivo geral, o qual resultou em habilidades as quais seriam desenvolvidas e dando origem ao exercício final (Figura 11).

Figura 11: Diagrama do exercício desenvolvido.



Fonte: reprodução dos autores Maier *et al.* (2016)

Ao utilizar-se de uma metodologia de aprendizagem baseada em problemas, os estudantes são apresentados a desafios e os mesmos devem ser resolvidos. Desta forma ocorre a concretização do seu processo de aprendizagem, proporcionando aos alunos a oportunidade de pôr à prova seus conhecimentos de bioclimatologia de forma colaborativa e interativa utilizando-se da plataforma fornecida pela universidade. Os resultados desse estudo se apresentaram positivos, uma vez que as respostas sugerem uma satisfação por parte dos alunos com relação ao desenvolvimento das atividades propostas (Maier *et al.*, 2016).

Em outra pesquisa na mesma universidade, buscou-se compreender as interações do ensino de tecnologias construtivas juntamente ao processo de projeto. O trabalho foi desenvolvido em uma turma da oitava fase, no curso de arquitetura e

urbanismo. Foi possível observar um distanciamento entre o ensino projetual e questões mais técnicas como a relação estrutural e definições de tecnologias construtivas. Evidenciou-se que as disciplinas se distanciam de tal forma que os estudantes não se veem capazes de aplicar os aprendizados de uma matéria em outra e vice-versa. Algumas das soluções apresentadas são a articulação entre as matérias, de forma a estimular a melhor contextualização dos cálculos e aplicações estudadas nas disciplinas de estruturas. A criação de um ambiente virtual colaborativo, pensado a partir do método de *Design Thinking*, foi utilizada como estratégia para que os alunos pudessem ter acesso comum aos conteúdos e conhecimentos aprendidos individualmente, contribuindo colaborativamente com bibliografias, fotos, e documentos pertinentes aos conteúdos apresentados em sala, estimulando a autonomia dos alunos de construção do seu próprio aprendizado (Mattana *et al.*, 2021).

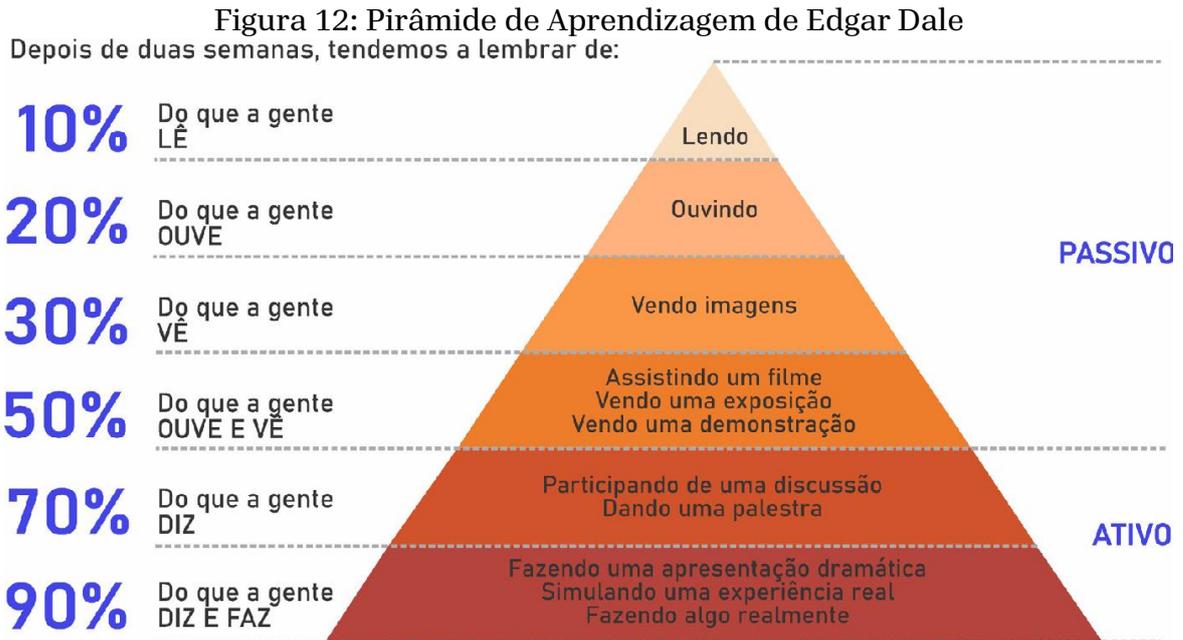
Na pesquisa realizada por Arcari (2013), foi destacada a importância da utilização e desenvolvimento de bibliotecas digitais de detalhamentos arquitetônicos ao longo do processo de ensino e aprendizagem de arquitetura. Tais recursos são essenciais para os profissionais da área, afinal, os detalhamentos arquitetônicos fazem parte do cotidiano de seu trabalho. No entanto, até o momento da pesquisa desenvolvida, esses detalhamentos eram predominantemente encontrados apenas em livros, não acompanhando o avanço digital dos processos de projeto contemporâneos. Isso evidencia a necessidade de um desenvolvimento paralelo entre os processos de projeto e o ensino de arquitetura, a fim de evitar uma defasagem tecnológica entre o mercado profissional e o processo de ensino e aprendizagem.

Em uma experiência de ensino de BIM no curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de São Paulo (USP), realizada em 4 turmas do primeiro período, com um total de 146 alunos, observou-se, por meio de relatos dos docentes e questionários respondidos pelos alunos, que o mero ensino do software pode acarretar problemáticas. Segundo os entrevistados, a falta de familiaridade prévia com conceitos como *Design Thinking* e uma base mais sólida dos elementos construtivos na modelagem dificultou o processo de aprendizagem. Além disso, tanto docentes quanto estudantes afirmaram que o grande número de alunos

dificultou os andamentos das aulas. É importante ressaltar que os exercícios foram realizados individualmente, sem a possibilidade de formação de duplas ou grupos para auxiliar no aprendizado colaborativo. Esses relatos destacam a importância de uma abordagem que vá além do simples ensino do software. É necessário fornecer aos alunos uma base sólida, uma visão mais ampla e promover atividades de aprendizagem colaborativa para garantir uma experiência mais eficaz no ensino (Santos *et al.*, 2016).

De forma similar, um estudo conduzido na Universidade Federal do Ceará (UFC) explorou uma experiência de ensino de projetos paramétricos. Envolvendo alunos de graduação e profissionais da área, o objetivo do curso introdutório era ensinar metodologias de projeto paramétrico abrangendo desde conceitos básicos das ferramentas até modelos de baixa complexidade. Os resultados desse estudo ressaltam a importância de ir além do simples ensino das ferramentas paramétricas, uma vez que isso por si só não proporciona o desenvolvimento das habilidades necessárias para que os alunos se tornem profissionais capacitados nessa área. Antes de se familiarizarem com as ferramentas, é crucial que os alunos adquiram uma base sólida no pensamento lógico algorítmico e paramétrico, pois essas competências servem como alicerce para explorar todo o potencial dos métodos de parametrização (Romcy e Cardoso, 2019).

Experiências pedagógicas em Arquitetura e Urbanismo têm demonstrado que as metodologias ativas em conjunto com TICs possuem uma grande potencialidade no que se refere ao aprimoramento do aprendizado multidisciplinar de projeto, incluindo bioclimatologia e simulação de conforto. A efetividade de tais metodologias se demonstra eficaz na abordagem identificada pela Pirâmide de Aprendizagem apresentada por Edgar Dale em 1946 (Figura 12) em que se observa no topo métodos menos eficazes na apreensão dos conteúdos e conforme vai-se aproximando da base são apresentadas formas de maior impacto na aprendizagem (Rosseti, Junior e Cox, 2022).



Fonte: Adaptado de Rosseti, Junior e Cox (2022)

Vislumbra-se, portanto, a contínua busca por aprimoramento no processo de ensino projetual, com o objetivo de proporcionar aos alunos uma aprendizagem mais significativa. Nesse contexto, é fundamental promover a interação entre metodologia e ensino, criando um espaço propício para a experimentação e a pesquisa de abordagens que possibilitem ao aluno assumir o papel de criador, em vez de mero espectador de seu próprio processo educacional. Essa abordagem flexível permite que cada aluno possa apreender os conteúdos de maneira personalizada, de acordo com suas necessidades e preferências individuais. Dessa forma, o ensino projetual se torna mais envolvente, estimulante e eficaz na formação dos futuros arquitetos.

## 2.2 Metodologias de Ensino

Na demonstração da superação dos métodos tradicionais de ensino, as metodologias ativas se apresentam como uma alternativa. Tais procedimentos se caracterizam por apresentar uma mudança na perspectiva do ensino, buscando tornar o aluno em um construtor do seu próprio conhecimento, dando autonomia na sua educação, onde o professor passa a se tornar um mediador do conhecimento, deixando de ser o único portador do conhecimento em sala de aula. John Dewey (2010) afirma que o aprender é algo intrínseco do aluno, no momento que a iniciativa

deve ser por parte dele, cabe ao professor direcionar a busca do aluno, mas a energia propulsora parte do discente. Dewey ainda apresenta que o processo de aprendizagem do aluno acontece em cinco etapas: a percepção do obstáculo, onde o aluno identifica o conteúdo a ser absorvido; a análise do obstáculo, observando então o conteúdo para buscar formas de abordá-lo; as alternativas para sua superação, quando desenvolve seus métodos para melhor compreender o tema; a experimentação das soluções, em uma tentativa de aplicar seus métodos para apreensão da matéria e a provação da resolução pelo meio científico, quando o aprendizado ocorreu de forma substancial (Gadotti, 2005)

Um dos principais expoentes do “behaviorismo”, B.F. Skinner, desenvolveu a teoria do condicionamento operante, que enfatiza o uso de reforços positivos e negativos para moldar o comportamento dos alunos (Quadro 1). Ele propôs que os comportamentos desejáveis sejam reforçados positivamente, enquanto os comportamentos indesejáveis sejam reforçados negativamente. Ao contrário de outras teorias que enfatizam a compreensão do ambiente para um aprendizado contextualizado, Skinner sugere que o aluno se adapte ao ambiente, promovendo uma uniformização do ambiente educacional. Sua abordagem baseia-se na ideia de que as consequências do comportamento são fundamentais para a aprendizagem e podem ser usadas como ferramentas eficazes para promover a mudança comportamental (Pilleti e Rossato, 2018).

Quadro 1: Características de reforço positivo e negativo

<b>Tipo de Reforço</b>	<b>Características</b>
<b>Positivo</b>	Aumento da frequência de um comportamento pelo acréscimo de alguma coisa como consequência desse comportamento
<b>Negativo</b>	Aumento da frequência de um comportamento pela ausência ou retirada de alguma coisa como consequência do comportamento

Fonte: elaborado pelo autor

A pedagogia construtivista é proposta por autores como Piaget e Vigotski. Na visão de Piaget, a construção do conhecimento deve passar pela interação do aluno

com aluno, similar aos processos apresentados anteriormente. O aluno é protagonista do seu aprendizado, construindo seu próprio repertório a partir de experiências conjuntas, tendo o professor como facilitador do seu processo, conduzindo o seu caminho, mas sem interferir diretamente na caminhada do aluno. Para o autor, o conhecimento pode ser adquirido em forma de coação onde a informação é passada de um local de autoridade, podendo ser esta um professor, uma construção social ou até mesmo dos pais, ou pode ser adquirida de forma cooperativa, tendo uma troca com seus iguais, incentivando a busca por referências e comprovações, construindo assim um repertório próprio de informações e conhecimento (Taille, La, Oliveira e Dantas, 2019).

Vigostki, contrastando ao projeto de Piaget, onde os fatos são dados como estáticos e inalteráveis, acredita que a construção de uma aprendizagem deva ser crítica, sempre em busca de uma experimentação que construa algo novo, testando os limites do conhecimento. Segundo o autor, só é possível compreender um fenômeno a partir do referencial interno de cada um. Faz-se necessária a criação de condições para se construir objetos de investigação que possam ultrapassar e expandir o conhecimento do estudante, internalizando os processos e o conhecimento. Permite-se que o aluno se aproprie do seu novo referencial interno para futuros aprendizados (Stretsenko, 2016; Taille, La, Oliveira e Dantas, 2019).

Wallon, em sua teoria, aborda as relações afetivas e cognitivas do aluno com seu aprendizado, tendo essas duas grandezas como inerentes à construção do estudante como ser social (Quadro 2). O autor incentiva que o aprendizado seja direcionado levando em consideração as relações do aluno com o conteúdo apresentado, visto que é necessário que o aluno possua alguma familiaridade com o objeto de estudo. Deve-se, portanto, criar um ambiente acolhedor, a fim de evitar criar ansiedades e frustrações, para que este possa ter uma relação saudável com o conteúdo, atingindo assim o desenvolvimento integral como estudante. (Ferreira e Acioly-Régnier, 2010; Taille, La, Oliveira e Dantas, 2019).

Quadro 2: Dimensões segundo Wallon

<b>Dimensão</b>	<b>Características</b>
<b>Afetiva</b>	Funções responsáveis pelas emoções e sentimentos
<b>Motora</b>	Possibilidades do corpo de localização e equilíbrio no tempo e no espaço. Um apoio para a expressão dos sentimentos
<b>Cognitiva</b>	Funções que permitem o conhecimento por meio de imagens, noções, ideias representações, imaginações e conceitos

Fonte: elaborado pelo autor

David Ausubel desenvolveu o conceito de aprendizagem significativa, onde teoriza que o aluno possui consigo uma biblioteca própria de conhecimentos próprios, o qual chama de subsunçores, elementos estes que são imprescindíveis para a construção do seu conhecimento (Quadro 3). A partir destes elementos o aluno faz suas próprias correlações, solidificando o aprendizado com suas referências internas, apropriando-se de sua maneira o conteúdo apresentado em sala de aula. Cabe ao professor, portanto a tarefa de identificar tais subsunçores dos seus alunos para que o aprendizado seja significativo e mais facilmente apropriado (Agra *et al.*, 2019).

Quadro 3: Características de aprendizagem para Ausubel

<b>Condições para que ocorra a aprendizagem significativa</b>
Intenção do aluno para aprender significativamente, isto é, disposição de relacionar o novo material não arbitrariamente e substantivamente à sua estrutura cognitiva.
Disponibilidade de elementos relevantes na sua estrutura cognitiva, com os quais o material a ser aprendido possa relacionar-se de modo não arbitrário e substantivo, incorporando-se à estrutura.
Material a ser aprendido potencialmente significativo para o aluno, isto é, relacionável de modo não arbitrário e substantivo aos elementos relevantes da sua estrutura cognitiva

Fonte: elaborado pelo autor

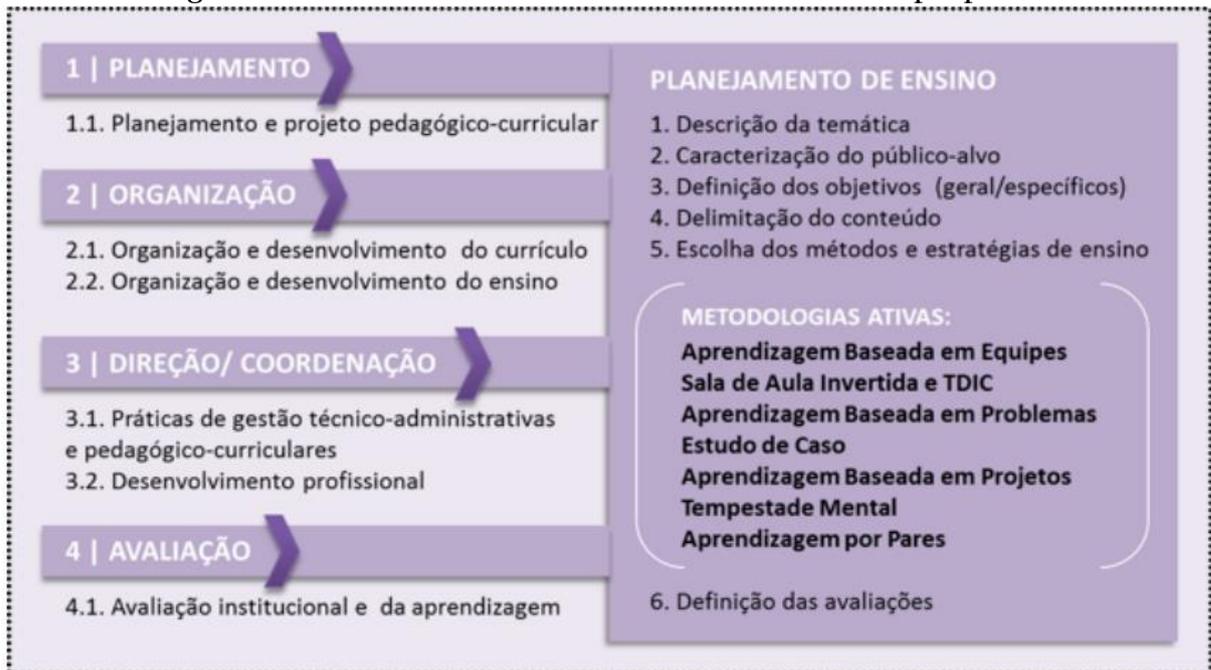
Durante o século XX o crescimento de diversas linhas de pensamento foi inegável dentro das ciências educacionais. Destacam-se neste período, Paulo Freire

com sua crítica ao modelo bancário de educação predominante no Brasil, trazendo uma ideia de inserção da cultura do aluno no seu processo de aprendizagem, buscando sempre uma educação emancipadora em suas linhas de pesquisa. Freire defende que o ensino do conteúdo apenas pela sua importância interna de nada vale para um aluno que precisa relacionar elementos do seu dia a dia para melhor internalizar seu aprendizado, defendendo uma educação para a formação de um indivíduo autônomo e independente (Freire, 1996).

Complementarmente às teorias educacionais, é importante ressaltar a importância de estratégias pedagógicas efetivas no processo de ensino-aprendizagem, como é o caso da utilização de *feedbacks* aos alunos, Souza, Pacheco e Suzart (2015) afirmam que a utilização de retornos visuais instantâneos aos alunos durante o processo de aprendizagem proporciona uma melhoria na apreensão dos conteúdos por parte dos estudantes, permitindo que eles possam fazer associações entre as imagens e o conteúdo apresentado pelo docente.

Cocco e Kozloski (2020) demonstram a partir de seu artigo a importância do desenvolvimento de metodologias ativas de ensino no processo educacional de novos profissionais arquitetos e urbanistas, visando sempre um melhor aproveitamento no desenvolvimento dos estudantes. As autoras trazem exemplos e estratégias para o uso de metodologias que coloquem os alunos como protagonistas do seu aprendizado (Figura 13). Aprendizagem baseada em equipes, Sala de aula invertida, aprendizagem baseada em problemas e aprendizagem por pares são alguns dos processos educacionais citados e de grande importância para o aprimoramento de técnicas de ensino nos cursos de graduação.

Figura 13: Fluxo de desenvolvimento das atividades propostas



Fonte: reprodução dos autores Coco e Kozloski (2020)

A aprendizagem baseada em equipes (TBL, do inglês *Team-Based Learning*) é uma abordagem educacional que envolve a realização de atividades em grupo, onde os alunos são desafiados a resolver problemas ou estudar casos específicos. Essa metodologia visa não apenas promover o aprendizado dos conteúdos, mas também desenvolver habilidades intrapessoais e interpessoais nos estudantes. Ao trabalhar em equipe, os alunos aprendem a colaborar, comunicar-se de forma efetiva, tomar decisões conjuntas e resolver conflitos, competências essenciais para profissionais que frequentemente irão trabalhar em equipes multidisciplinares. A aprendizagem baseada em equipes oferece um ambiente propício para o desenvolvimento dessas habilidades, preparando os alunos para a realidade profissional (Slavin, 1978).

A Sala de aula invertida busca trabalhar nos alunos a sua autonomia na construção do seu conhecimento, uma vez que neste modelo o professor apresenta, previamente, o conteúdo a ser abordado em sala de aula, os alunos então estudam-no e em sala de aula discutem e tiram suas dúvidas sobre o assunto (Quadro 4). Expande-se, portanto, as possibilidades de aprendizado uma vez que os alunos são livres para buscar mais informações e complementar por si próprios o conteúdo a ser discutido em sala de aula posteriormente (Guarda *et al.*, 2023).

Quadro 4: Dinâmica da sala de aula invertida

<b>Atividades em sala de aula invertida</b>	
<b>Relação do conteúdo com noções prévias</b>	Os alunos praticam leituras e exercícios, em momentos fora da sala de aula, relacionando o conteúdo com noções prévias do conteúdo
<b>Comunicar o aprendizado</b>	Posteriormente, o docente estimula os estudantes a comunicarem o que aprenderam. Neste momento, não há certo ou errado, o docente deve estimular os alunos a socializarem seus conhecimentos

Fonte: elaborado pelo autor.

A abordagem de aprendizagem baseada em problemas (PBL, do inglês *Problem-Based Learning*) é um método de ensino que envolve a resolução de problemas propostos pelos professores. Essa metodologia tem como objetivo preparar os estudantes para os desafios do mercado de trabalho, apresentando-lhes situações desafiadoras que são comuns na prática profissional. O PBL busca desenvolver as habilidades dos alunos em resolver problemas de maneira eficiente e autônoma, permitindo-lhes tomar decisões embasadas e encontrar soluções dentro de prazos estabelecidos (Tan, 2003).

A aprendizagem por pares, também conhecida como aprendizagem colaborativa, é uma abordagem educacional que enfatiza a troca e a interação entre os alunos durante o processo de aprendizagem. Nesse método, os estudantes são incentivados a estudar e se preparar previamente sobre o conteúdo a ser abordado em sala de aula. Durante a aula, eles têm a oportunidade de discutir e compartilhar seus conhecimentos com seus pares, enquanto o professor atua como mediador e facilitador do processo. Essa abordagem tem como objetivo principal promover a construção conjunta do conhecimento, por meio da troca de ideias, argumentações e reflexões entre os alunos (Lovato *et al.*, 2018).

As metodologias apresentadas, assim como outras metodologias ativas, podem e devem ser utilizadas de forma complementar. A combinação dessas abordagens pode oferecer uma experiência de aprendizagem mais enriquecedora,

permitindo uma melhor contextualização dos assuntos abordados e contribuindo para uma consolidação do aprendizado pelos alunos.

Atualmente, com as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), as possibilidades educacionais expandiram-se exponencialmente. Os professores não se limitam mais às tradicionais ferramentas analógicas de ensino, mas podem buscar elementos simulados digitalmente em sala de aula, nos quais os alunos podem adquirir conhecimento de maneira interativa. Ferramentas como *Kahoot!* (Kahoot!, 2024), *Google Classroom* (Google, 2024a), *Quizziz* (Quizizz Inc., 2024) e *Moodle* (Dougianas, 2024) são extensamente utilizadas para uma didática mais dinâmica, alinhada com os alunos. Essa abordagem de ensino, em conjunto com diversas metodologias ativas, amplia as formas de aprendizagem, permitindo que os estudantes explorem e interajam de maneiras inovadoras com o conteúdo educacional.

### 2.3 Simulação de Desempenho Térmico

A simulação computacional é uma forte aliada no processo de projeto arquitetônico, permitindo que o projetista possa ter um maior controle sobre o seu resultado final, previamente ao processo de construção (Struck e Hensen, 2007). Portanto é importante que o assunto seja abordado no processo de formação do arquiteto, de forma que o aluno seja provido desde o início da sua construção como profissional com o ferramental necessário para desenvolver um objeto arquitetônico eficiente e sustentável.

Crawley et al. (2008) conduziram uma investigação abrangente sobre os 20 principais programas de simulação, que incluem BLAST, BSim, DeST, DOE-2.1E, ECOTECH, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, eQUEST, ESP-r, IDA ICE, IES/VES, HAP, HEED, PowerDomus, SUNREL, Tas, TRACE e TRNSYS. Os resultados revelaram uma diversidade nos graus e formatos de resultados fornecidos por essas ferramentas, indicando a dificuldade de identificar um único software capaz de atender completamente às necessidades de um simulador. Para decisões em fases iniciais do projeto, os programas apresentam uma complexidade desnecessária, exigindo que o simulador faça escolhas que só seriam tomadas em

estágios subsequentes do projeto. Diante disso, recomenda-se a utilização de um conjunto de ferramentas para garantir a abrangência necessária de resultados.

O artigo apresenta um importante motivador para o desenvolvimento da presente dissertação, uma vez que demonstra a necessidade de uma ferramenta de simples utilização e a importância de formar arquitetos capazes de compreender e desenvolver simulações.

A simulação energética não possui o mesmo reconhecimento que ferramentas como CAD e de custeio de obras, apontando para uma lacuna na absorção das tecnologias na indústria da construção civil. Evidenciam, ainda, que a simulação não deve ser encarada como uma ferramenta conclusiva no processo de design, meramente para confirmar o desempenho, mas sim como uma integração essencial ao processo de projeto, destinada a orientar as decisões. A eficiência na inserção dos parâmetros a serem simulados surge como um fator crítico para a facilidade e agilidade na construção de simulações (Morbitzer *et al.*, 2001).

Hong, Chou e Bong (2000) demonstram uma problemática associada ao modelo padrão de projetos de eficiência energética, comumente guiado pela "regra-do-dedão" e conhecimento empírico, resultando, em muitos casos, em sistemas de condicionamento de ar superdimensionados e baixa eficiência energética da edificação. Isso ressalta a importância da realização de simulações em fases iniciais do projeto para garantir dimensionamentos adequados e eficiência otimizada.

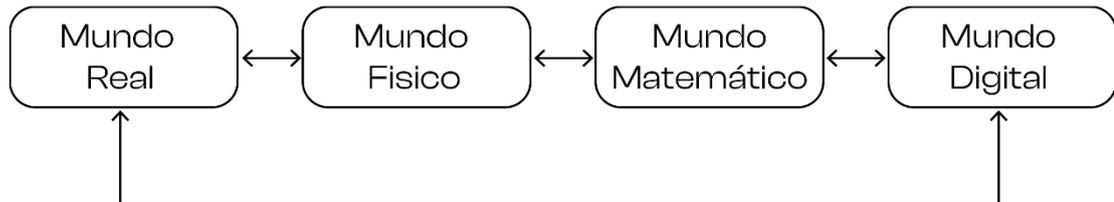
Identificam-se três fatores críticos na escolha de um software de simulação: a complexidade do programa, onde a capacidade de simulação não necessariamente se traduz em melhor desempenho; o custo do software, que pode impactar negativamente o orçamento do projeto; e a compatibilidade com o hardware disponível, destacando a necessidade de alinhamento entre software e hardware.

É desejável que um Programa de Simulação de Edifício (BSP) seja de fácil aprendizado, possua uma interface amigável, disponha de um manual abrangente para desenvolvimento mais complexo e seja responsivo, proporcionando uma usabilidade fluida.

Os autores enfatizam que a simulação é fundamentada na interação entre processos de compreensão e representação da vida real (Figura 14). Nesse contexto, é imperativo que o simulador interprete os resultados com base em sua experiência,

contribuindo para tomadas de decisões mais acertadas e alinhadas com a realidade. (Hong, Chou e Bong, 2000)

Figura 14: Processo iterativo de modelagem computacional



Fonte: reprodução de Hong, Chou e Bong (2000). adaptado pelo autor.

Para além da relação entre mundo digital e real, a simulação permite que o projetista teste as complexas relações entre materiais de forma prática e com baixo custo (Mazzarella e Pasini, 2009). Assim como em casos em que o objeto real é demasiado complexo, há a necessidade de uma simplificação no modelo, exigindo o *know-how* do simulador para que este saiba onde podem ocorrer as simplificações e seu impacto no produto da simulação (Suh, Park e Kim, 2011). Neste momento se torna importante para que em um processo de simulação mais simplificado seja utilizada uma ferramenta de simulação que possua funcionalidades genéricas, permitindo que o simulador faça suas verificações mesmo possuindo poucas definições com relação ao *design* final (Rabenseifer, 2015).

É importante lembrar que o processo de simulação mais completo exige do simulador um leque de conhecimentos básicos para que o resultado seja satisfatório (Kong *et al.*, 2023), visto que os *inputs* inseridos no modelo podem gerar incongruências com um modelo real. Até mesmo alterar a geometria da edificação, casos em que a simulação foi gerada com imprecisões, pode causar problemas no processo de construção posteriormente.

## 2.4 Ensino de Simulação de Desempenho Ambiental

Experiências que envolvem a incorporação de simulações no cenário educacional são observadas em variados contextos, dado que o desempenho energético de edificações tem ganhado crescente relevância na formação de profissionais comprometidos com a sustentabilidade. Esse enfoque representa uma abordagem essencial para a compreensão e prática de princípios sustentáveis no âmbito da arquitetura e urbanismo.

Argiro Dimoudi (1996) demonstra em seu capítulo no livro *Passive Cooling of Buildings*, que o resfriamento passivo abrange uma série de técnicas voltadas para a modulação e prevenção dos ganhos de calor em edificações. Essas técnicas podem ser agrupadas em duas categorias principais: proteção/prevenção de ganho de calor e resfriamento natural.

A proteção ou prevenção de ganho de calor envolve estratégias de design que incluem o projeto de microclima e localização do edifício, controle solar por meio de elementos como brises e sombreamento, a configuração da forma e layout do edifício, o isolamento térmico para redução das trocas de calor indesejadas, a influência do padrão de ocupação, comportamento dos usuários e o controle de ganho interno, que inclui escolhas de equipamentos de baixo consumo energético e iluminação eficiente.

Por outro lado, o resfriamento natural refere-se à utilização de fontes naturais para dissipar o excesso de calor do interior do espaço. Essas estratégias incluem a ventilação, o resfriamento do solo, o resfriamento evaporativo e o resfriamento radiativo.

O controle do ganho de calor desempenha um papel crucial quando se empregam métodos de desenho passivo para a eficiência energética. Estratégias como a seleção de lâmpadas eficientes e a escolha de equipamentos de baixo consumo energético complementam o processo de projeto de edifícios energeticamente eficientes. Além disso, a ventilação natural, que permite a ventilação cruzada por meio da abertura de janelas ou o uso de ventiladores de teto,

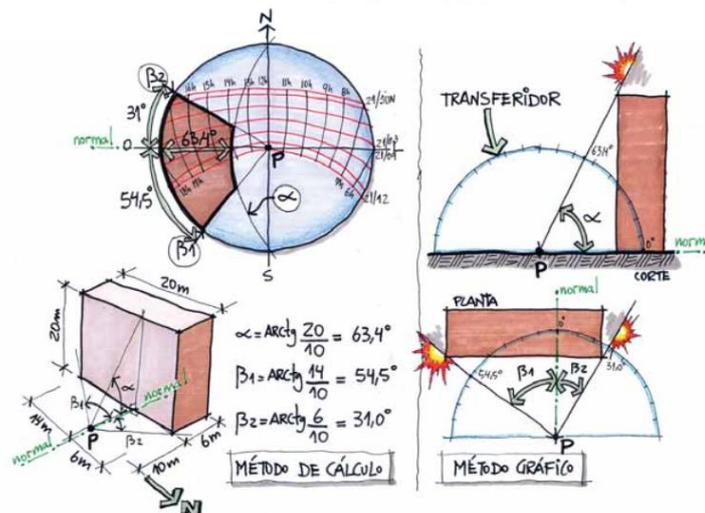
contribui significativamente para o resfriamento evaporativo, melhorando a circulação do ar interno.

Os edifícios, embora sejam estruturas estáticas, estão intimamente relacionados ao tempo e devem proporcionar conforto térmico, visual e acústico aos seus ocupantes, além de cumprir critérios estéticos. O consumo global de energia destinado à climatização de edifícios representa uma parcela substancial dos gastos energéticos totais, aproximadamente 6,7%. No entanto, a implementação de estratégias de design ambiental eficazes pode resultar em economia de cerca de 2,35% desse consumo global, destacando a importância do resfriamento passivo como um campo valioso no contexto da eficiência energética e da sustentabilidade na arquitetura (Argiro Dimoudi, 1996).

O Design Passivo pode ser considerado assim, uma estratégia para se obter eficiência energética em edificações, uma vez que a eficiência é obtida quando uma edificação proporciona as mesmas condições ambientais que outra oferecendo menos consumo energético (Lamberts, Dutra e Fernando Oscar Ruttkay Pereira, 2004)

O ensino de eficiência energética na arquitetura fundamenta-se no processo de instrução sobre estratégias passivas e ativas de conforto ambiental (Delbin, 2006). Essa abordagem inclui o ensino de técnicas qualitativas nos projetos, como a aplicação de máscaras de sombra (Figura 15), que possibilitam uma avaliação precisa da insolação quando se utilizam as ferramentas adequadas.

Figura 15: Modelo de ensino tradicional de Máscara de Sombreamento



Fonte: Reprodução Lamberts, Dutra e Pereira (2004)

Assim como a Aparelhos físicos também cumprem o papel de auxiliar na compreensão qualitativa da insolação como é o caso do heliodon (Figura 16). No entanto, há uma limitação quanto à mensuração quantitativa da radiação incidente e seu impacto no consumo energético da edificação.

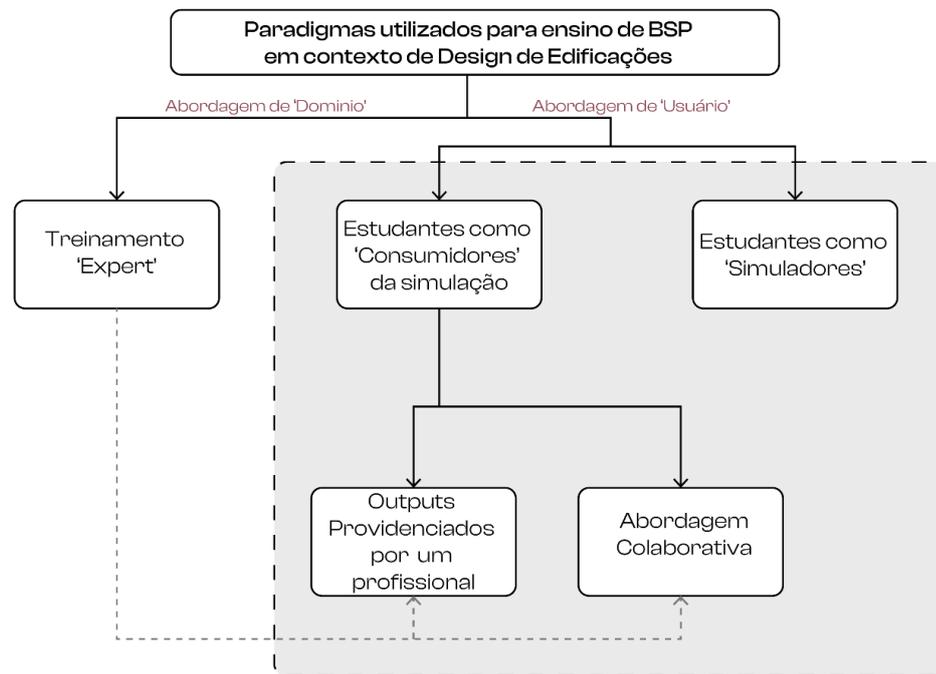
Figura 16: Heliodon



Fonte: univali.br, 2024

As experiências de ensino de Simulação de Performance em Edificações (SPE) podem ser divididas entre três categorias de proposta de formação: *Experts*, Consumidores e Simuladores (Figura 17). Trabalhos de diversas universidades onde houve experiências de ensino de simulação foram analisados por Alsaadani e Souza (2019). Propôs-se, a partir da análise, a categorização de acordo com o objetivo dos docentes, dando aos estudantes o ferramental para interpretação e desenvolvimento das simulações, capacidades analíticas dos resultados ou simplesmente os conceitos utilizados para uma boa prática de SPE (Alsaadani e Souza, 2019).

Figura 17: Fluxograma do paradigma de ensino de BSP



Fonte: reprodução dos autores Alsaadani e Souza (2019). Adaptado pelo autor.

Na universidade de Harvard, nos EUA, Christoph Reinhart desenvolveu junto de outros colegas docentes, uma estratégia de ensino de SPE utilizando-se de um jogo desenvolvido pelos professores. Os alunos deveriam tomar decisões formais no seu projeto a fim de torná-lo mais eficiente energeticamente. Divididos em grupos, os alunos recebiam um valor de pontos para que este pudesse ser ‘gasto’ em diferentes decisões a serem tomadas no projeto. Com as decisões tomadas os alunos entregariam o modelo para um simulador externo, a fim de reduzir incongruências entre as simulações. Ao final, os resultados eram apresentados aos alunos e comparados para definir quais grupos havia melhor desenvolvido os parâmetros de eficiência (Reinhart *et al.*, 2011).

Na Suécia, na universidade de Lund, identificou-se uma outra aplicação de ensino de SPE. Nesse caso, alunos de mestrado eram ensinados ao longo do semestre a desenvolver modelos simples em um software de CAD 3D (Rhinceros) e as simulações em Grasshopper (GH) e Energy Plus (E+). Os estudantes eram divididos em grupos de até quatro alunos, possuíam apoio em sala de aula e digital para o desenvolvimento da atividade, que ocorreu em em cinco partes:

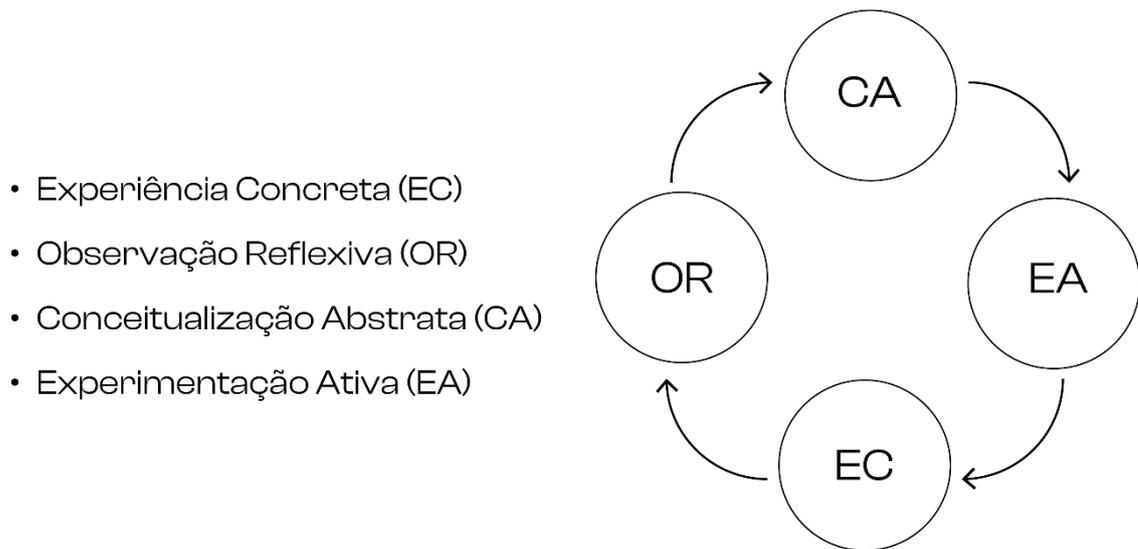
1. Introdução teórica de termodinâmica, conforto térmico e eficiência energética de edificações.
2. Desenvolvimento do modelo 'Caixa de Sapato' com cálculos estáticos a partir do Excel
3. Introdução (teoria e prática) ao BPS, utilizando Rhinoceros, GH e E+
4. Comparação do modelo Rhinoceros e Excel
5. Comparação guiada passo a passo por Método de Controle.

O método de controle foi utilizado de forma a se possuir um número limitado de parâmetros que poderiam ser alterados no processo de simulação. A fim de simplificar o processo dos alunos, questionários foram aplicados no início e ao final do processo para que pudesse ser analisada a sua evolução durante a disciplina oferecida (Gentile, Kanters e Davidsson, 2020).

Kumaraswamy e De Wilde, (2015) procuraram identificar o ensino de SPE na universidade de Plymouth na Inglaterra, onde as matérias voltadas a simulação eram diretamente ligadas a projetos desenvolvidos pelos alunos em anos anteriores. Notou-se que o conhecimento prévio dos alunos ao revisitarem seus projetos, revisando decisões para uma melhor eficiência energética, ajudou no processo de construção do conhecimento para que a tomada de decisões passasse a ser auxiliada pelo processo de simulação.

Em um curso de SPE, os autores Beausoleil-morrison e Hopfe (2015) desenvolveram um método de ciclo de aprendizado baseado nos estudos de (Kolb, 1984) (Figura 18), onde o aprendizado se efetiva a partir da experimentação. Os alunos, em sua maioria arquitetos e engenheiros já formados, deveriam iniciar o processo desenvolvendo previsões de como ocorreriam suas simulações de desempenho e então efetuar-las para verificação dos resultados. Com o material em mãos os alunos deveriam revisar suas escolhas e refiná-las. O processo ocorreria desta forma e ao final os estudantes poderiam ter uma base concreta de aprendizado a partir da prática.

Figura 18: Ciclo de Aprendizado de Kolb



Fonte: Reprodução dos autores Beausoleil-morrison e Hopfe (2015). Adaptado pelo autor.

Em Adelaide, na Austrália, a professora Veronica Soebarto (2019), procurou compreender a estrutura de ensino-aprendizagem de SPE em um curso de tecnologia ambiental. A estratégia do curso na graduação, assim como a identificada no trabalho de Beausoleil-morrison e Hopfe (2015), busca introduzir os alunos diretamente no processo de simulação, permitindo uma exploração direta na fase de concepção do edifício. Em um primeiro momento se dá a preferência para as estratégias passivas de controle de calor, evitando que os alunos busquem soluções como ar-condicionado e aquecimento externo. O curso na pós-graduação é dividido em três etapas, onde na primeira são feitos diversos estudos de caso para a compreensão de estratégias. Na segunda etapa os alunos desenvolvem seus projetos, conforme as estratégias obtidas anteriormente, e por fim devem apresentar os resultados simulados e como os processos de simulação impactaram no produto (Quadro 5).

Quadro 5: Etapas do curso disponibilizado

Etapas	Conteúdo presente
01	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Edifícios verdes, sustentáveis e zero.</li> <li>● Estudos de caso</li> <li>● Estratégias de Design: localização, zoneamento, forma, materiais</li> <li>● Aquecimento ativo e passivo, resfriamento e ventilação</li> </ul>
02	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estudo de Caso</li> <li>● Qualidade interna do ar</li> <li>● Introdução à BPS</li> <li>● Iluminação</li> <li>● Água e esgoto</li> <li>● Geração de energia <i>in loco</i></li> <li>● Avaliação ambiental</li> </ul>
03	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sumarização do Conteúdo</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Soebarto (2019)

A autora ainda evidencia que o processo de simulação apresentado no programa estimula os alunos a desenvolverem um senso crítico para tomadas de decisão projetuais posteriores (Soebarto, 2019).

Na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), um estudo foi realizado com o objetivo de desenvolver um projeto habitacional que cumprisse metas de desempenho energético. Para alcançar esta meta, os pesquisadores incorporaram simulações de sombreamento e termoenergéticas em diferentes estágios do processo. No início do processo foram desenvolvidas simulações simplificadas, visto que algumas decisões projetuais ainda não haviam sido tomadas. Os softwares *SunTool* (Marsh, 2001) e *DesignBuilder* (DesignBuilder Software Ltd., 2005) se mostraram úteis ao longo do processo, auxiliando em escolhas projetuais. Após a conclusão do projeto, novas simulações foram realizadas para verificar os resultados das estratégias desenvolvidas no início do processo de projeto, onde os aplicativos desempenharam um papel importante na tomada de decisão. O estudo identificou que a utilização das simulações teve um impacto direto

nos resultados, auxiliando na compreensão da influência dos fatores climáticos no projeto (Olimpio *et al.*, 2021).

Da mesma forma, as estratégias de ventilação ensinadas podem ser verificadas quanto à sua eficácia, seja por meio de métodos físicos, como uma mesa d'água (Xavier *et al.*, 2020), ou utilizando ferramentas computacionais, como o software *WindTunnel* (Algorizk, 2018). Contudo, a avaliação quantitativa da contribuição específica da ventilação para a redução do consumo energético do edifício permanece um desafio.

O ensino quantitativo é uma peça fundamental para aprofundar a compreensão dos alunos sobre os impactos específicos de cada estratégia em seus projetos. Destaca-se, portanto, a importância das decisões tomadas nos estágios iniciais do projeto, considerando o impacto significativo que essas escolhas exercem sobre a performance energética da edificação, conforme discutido por Hong, Chou e Bong (2000). Essa percepção evidencia a necessidade de abordagens cautelosas e precisas durante esses primeiros estágios do desenvolvimento do projeto arquitetônico.

Os resultados quantitativos não apenas fornecem uma compreensão mais clara e mensurável, mas também facilitam o processo de aprendizado dos alunos, permitindo comparações diretas entre diferentes estratégias adotadas. Enquanto uma abordagem qualitativa desempenha um papel vital na definição formal e na compreensão preliminar dos fenômenos que influenciam a eficiência de uma edificação, é importante dar um passo adiante e quantificar esses resultados para uma validação efetiva. Assim, o ensino quantitativo não apenas complementa, mas aprimora a abordagem qualitativa, proporcionando uma visão mais completa e embasada para os futuros arquitetos.

É possível verificar que o ensino analítico e quantitativo de conforto ambiental pode contribuir efetivamente no aprendizado dos alunos, trazendo um entendimento mais crítico dos processos que levam à uma maior eficiência energética. Como evidenciam em seu artigo, Schiano-Phan, Gonçalves e Vallejo (2022). No qual, a partir de uma análise dos métodos educacionais em arquitetura nos últimos 20 anos,

conduzem uma revisão de métodos educacionais na arquitetura, onde os autores examinaram casos em diversas faculdades, com ênfase na pesquisa de arquitetura sustentável. As evidências encontradas indicam que o método centrado em evidências de design está intrinsicamente ligado ao currículo abrangente que busca cultivar uma aprendizagem significativa. Esse método enfatiza a obtenção e interpretação de evidências de maneira empírica e analítica, fornecendo um suporte robusto ao processo de aprendizado.

Apresentou-se em um dos estudos de caso que o método convencional de ensino em escolas ocidentais de arquitetura inicia-se com uma análise qualitativa do conceito do contexto local e do usuário, resultando na identificação genérica de parâmetros de design e na produção de edifícios racionais. Posteriormente, no desenvolvimento do design, são estabelecidas regras gerais de maneira genérica, delineando as estratégias utilizadas nos estágios iniciais do projeto.

Uma análise mais analítica do processo, incorporada nos estudos, inclui fontes como princípios de design ambiental, precedentes locais e *insights* do contexto local. No estudo de caso em questão, uma relação de aprendizado entre aluno e mentor foi evidenciada, proporcionando aos estudantes benefícios em um processo mais profissional. Isso se traduziu na absorção de workflows internos e no desenvolvimento de projetos inovadores.

Os autores ressaltam que a rápida evolução das ferramentas computacionais para o desempenho de edificações nos últimos 5 anos proporciona uma oportunidade constante de explorar métodos alternativos de design. Por meio do processamento de dados, introduz-se uma nova abordagem à performance de edifícios e às decisões de desenho arquitetônico, incorporando definições para métricas de prioridade de impacto e a efetividade das estratégias de cada fator do projeto. Apesar da curva de aprendizado íngreme, a abordagem gradual de um design analítico é preferível.

Um ponto a ser considerado é que esse processo analítico pode prejudicar a criatividade dos alunos. Porém observou-se que, de certa forma, quando os alunos amadurecem no processo, a criatividade se manifesta de maneiras diferentes. Isso resulta na apresentação de formas e processos de design mais analíticos, além da

resolução de problemas com destreza e complexidade, de maneira criativa (Schiano-Phan, Gonçalves e Vallejo, 2022).

Também com a relação do ensino de eficiência energética com métodos práticos, é possível identificar diversas relações entre o aprendizado a partir da prática. Principalmente, com foco na geração Z, onde o contato frequente com as tecnologias os incentiva a desenvolver uma forma de aprendizado mais direta. De forma que tais práticas desenvolvem pensamento de unidade, de propósito, responsabilidades e cooperação entre os alunos. Percebe-se que os alunos consideram que o ‘aprender fazendo’ demonstra resultados positivos no aprendizado e na relação dos alunos com o conteúdo (Güzelçoban Mayuk e Coşgun, 2020).

### 3. METODO

O método utilizado buscou o desenvolvimento de um aplicativo com intuito educacional, visto que muitos dos programas encontrados no mercado tem como função a utilização comercial de simulação em análises térmicas. Identificou-se a necessidade de uma ferramenta que pudesse ser utilizada com o foco no ensino de simulação em eficiência energética com alunos de graduação em arquitetura e urbanismo. Diversas ferramentas buscam trazer resultados qualitativos e visuais para o processo de simulação ao longo da atividade de projeto de uma edificação, tais como a análise de insolação, sombreamento, direção da ventilação etc. Mas o cálculo do consumo de energia não costuma ser tratado. Visando essa questão, objetivou-se o desenvolvimento de uma ferramenta que pudesse demonstrar os resultados de forma quantitativa, permitindo, desta forma, uma análise direta e numérica dos resultados obtidos a partir das simulações efetuadas. A ferramenta foi desenvolvida pelo autor de forma independente. A aplicação da ferramenta foi efetuada baseando-se em metodologias pedagógicas já consolidadas como o Aprendizado por Experiência (Kolb, 1984), por onde se buscou trazer juntamente do aplicativo um formato de aula o qual envolve-se os alunos buscando que participem ativamente do seu processo de aprendizagem. Desenvolveu-se uma atividade prática em sala de aula, com os alunos divididos em grupos. Uma série de desafios foram propostos para que explorassem o aplicativo e, simultaneamente consolidassem seus conhecimentos previamente obtidos nos parâmetros e conceitos referentes a simulações computacionais de eficiência energética. Para a validação do aplicativo no ensino de eficiência energética foi feita a aplicação de um questionário, juntamente da entrega dos resultados da atividade desenvolvida em sala de aula.

O desenvolvimento do aplicativo seguiu uma abordagem gradual, envolvendo etapas que resultaram na sua construção. Inicialmente, houve a definição dos objetivos a serem alcançados, seguida pela especificação das funcionalidades essenciais, formatos de apresentação, modelos simulados e parâmetros variáveis. Com base nessas diretrizes, o aplicativo foi programado, dando início a uma fase de testes e correções. Essa iteração visou aprimorar a funcionalidade, a usabilidade e a precisão do aplicativo, preparando-o para a sua

utilização prática em ambientes educacionais. Essa abordagem sistemática permitiu ajustes contínuos para garantir que o aplicativo atendesse efetivamente aos requisitos e oferecesse uma experiência significativa aos usuários finais (Figura 19).

Figura 19: Gráfico do processo de desenvolvimento



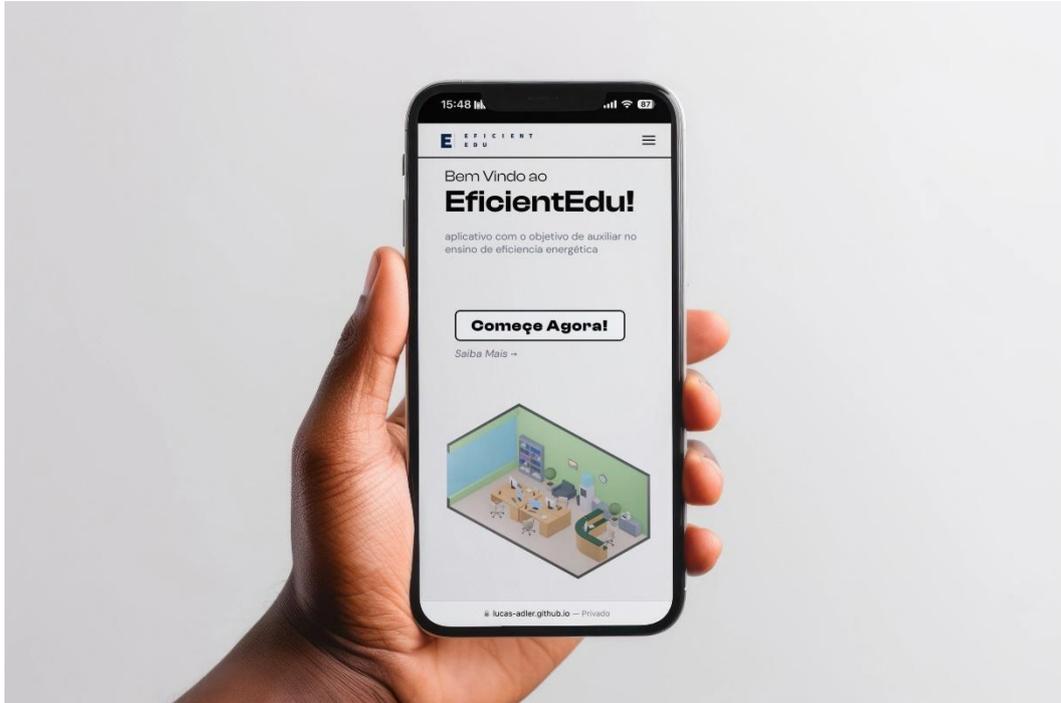
Fonte: elaborado pelo autor

### 3.1 Concepção do aplicativo

Desenvolveu-se o aplicativo de forma que tivesse sua funcionalidade a partir de um *website*. Escrito em linguagem *React Native*, o software tem por objetivo ser intuitivo e de simples usabilidade, permitindo uma exploração posterior por parte dos alunos, para que possam compreender a dinâmica entre as variáveis escolhidas, embasando conteúdos que poderão ser desenvolvidos posteriormente no decorrer do curso.

A escolha de linguagem de programação foi tomada com o intuito de tornar o site responsivo, permitindo que a ferramenta seja utilizada sem a necessidade do uso de computadores ou de um laboratório específico para tal, desta forma os alunos podem utilizar de celulares ou tablets para o aproveitamento total do aplicativo (Figura 20).

Figura 20: Aplicativo responsivo



Fonte: elaborado pelo autor.

A ferramenta foi concebida com foco na análise energética de configurações de janelas, os elementos mais sensíveis a trocas térmicas em edificações, especialmente nos climas tropicais brasileiros.

Como uma primeira etapa para o desenvolvimento da ferramenta foram necessários passos prévios como a definição de objetivos a serem alcançados com o aplicativo. O primeiro critério definido foi a facilidade de acesso, com o intuito de que qualquer aluno possa usufruir da ferramenta. Discutiu-se sobre o acesso facilitado, permitindo que os usuários possam utilizar em qualquer dispositivo com acesso à internet, evitando possíveis impedimentos por falta de compatibilidade de plataforma.

A utilização de um *feedback* visual se mostrou essencial para a efetividade didática da simulação de eficiência energética. Isso se deve ao fato de que os alunos não absorvem o conteúdo apenas de forma ativa, mas também passivamente por meio de elementos visuais. Dessa forma, o *feedback* visual atua como uma ferramenta complementar e essencial para a compreensão do conteúdo, facilitando a assimilação das informações e tornando o processo de aprendizagem mais efetivo

(Souza, Pacheco e Suzart, 2015). Tomadas as decisões conceituais do aplicativo, foi necessário focar no formato de simulação a ser desenvolvido. As opções avaliadas foram:

- a) o desenvolvimento de um algoritmo de cálculo especificamente para a ferramenta,
- b) a utilização da ferramenta como uma interface gráfica para outro programa de simulação rodando em um servidor externo; ou
- c) a elaboração de uma interface para acesso a uma base de dados de simulações previamente desenvolvidas, onde seria feita a busca dos resultados para análise energética de edificações.

Efetuados estudos, pesquisas e protótipos, optou-se por uma forma mais simples, ágil e direta para se resolver o problema de simulação. O método da utilização de um banco de dados com resultados pré-simulados seria o formato ideal para as funcionalidades disponibilizadas pela ferramenta. A solução se mostra independente de instalação de programas específicos, conexões externas com servidores para processamento ou desenvolvimento de algoritmos específicos de cálculo. Como o aplicativo é dedicado ao processo de ensino, não foi identificada necessidade de personalização abrangente do modelo de simulação.

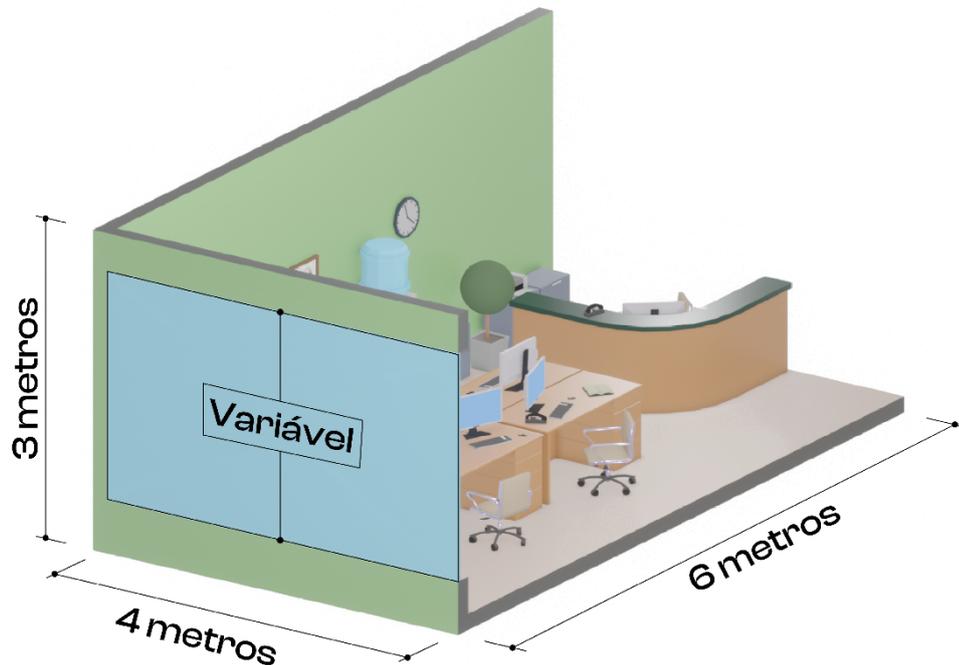
Uma vez definidas as características do formato da simulação e como seria efetivamente desenvolvido, passou-se a dar atenção a detalhes referentes aos modelos a serem simulados, como dimensões, parâmetros fixos, variáveis e composição de materiais.

Optou-se por uma simulação de apenas uma sala comercial, em oposto à edificação completa, a fim de simplificar o modelo para o entendimento do aluno, considerando-se que ao ser feita a simulação de apenas uma parte da edificação foca-se apenas na interferência da fachada, foco este que seria disperso caso fosse optado por uma simulação completa do edifício.

As características da sala também foram fatores decididos previamente. Optou-se por um perfil de uso de escritório. Este perfil se apresenta estável ao longo do ano, além de necessitar uma maior exigência dos sistemas de condicionamento de ar, apresentando uma geometria retangular padronizada. A geometria simplificada foi um condicionador na escolha pois o objetivo da ferramenta é testar

os conceitos aplicados à uma simulação e não uma análise energética integral da edificação. A partir desta definição foi possível estabelecer conjuntamente as dimensões do modelo. Utilizou-se tamanho de uma sala comercial padrão em Florianópolis, com 4,0 m de largura na fachada, 6,0 m de profundidade e um pé direito de 3 m. A sala foi modelada com uma janela ao longo de toda a largura da fachada com altura variável na execução das simulações e exercícios (Figura 21).

Figura 21: Dimensões da Sala Comercial Simulada



Fonte: elaborado pelo autor.

Para as relações de troca de calor do modelo, optou-se novamente por uma simplificação, considerando-se as paredes internas, o teto e o piso como superfícies adiabáticas, ou seja, onde não há trocas de calor com os ambientes vizinhos, considerando-os em iguais condições térmicas da sala em estudo. O modelo foi representado com apenas a fachada exposta ao ambiente exterior.

Com a estrutura inicial do aplicativo delineada e seu escopo definido, passou-se à fase de testes, conhecida como *Alpha Testing*. Este estágio inicial marca o primeiro contato do aplicativo com a avaliação prática, comumente realizado internamente pelos próprios desenvolvedores, simulando cenários de uso para identificar e corrigir as principais lacunas do software. No contexto desta ferramenta

educacional específica, o *Alpha Testing* revelou questões significativas, incluindo falhas na geração de gráficos e na integração com o banco de dados. Notavelmente, uma preocupação central emergiu na apresentação dos dados, pois a escala dos valores estava inadequadamente ajustada, resultando em uma variação visual insuficiente entre os gráficos. Esse aspecto comprometia a compreensão das variabilidades entre os parâmetros de estudo. Diante dessas identificações, o software foi submetido a ajustes e refinamentos durante o processo de desenvolvimento, preparando-o para fases subsequentes com base nas lições aprendidas nessa etapa inicial.

### 3.2 Variáveis Utilizadas

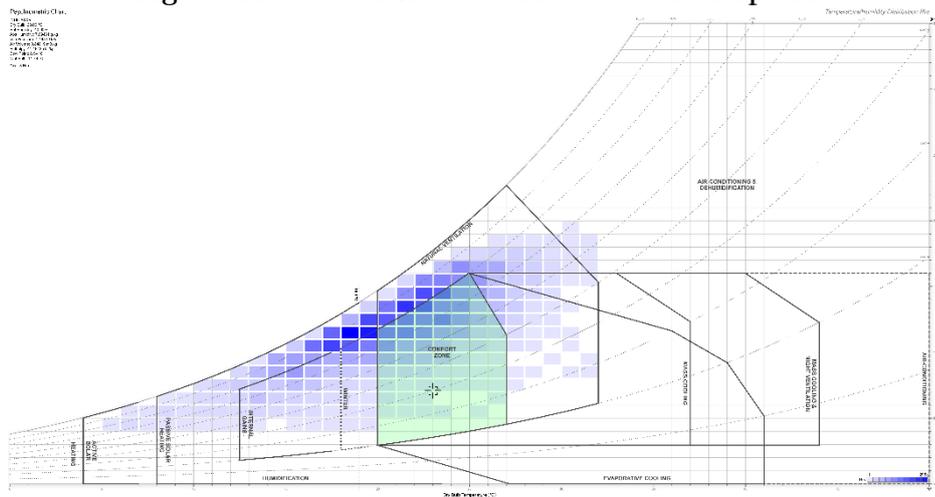
Previamente, apresentou-se a necessidade de uma redução na complexidade dos modelos a serem simulados e como ocorreram os testes iniciais do projeto. Os resultados impactaram diretamente na lista de variáveis a serem utilizadas, visto que parte do intuito do aplicativo é o incentivo à descoberta das relações entre as opções disponibilizadas. Como o foco foi na análise de desempenho da envoltória, especificamente da fachada, foram escolhidos seis parâmetros variáveis: cidade (clima), fator solar do vidro (FS), razão de área de vidro-parede, orientação solar da fachada, brise vertical e brise horizontal.

#### 3.2.1 Cidade

Foram definidas 03 (três) cidades, em diferentes zonas climáticas brasileiras. As escolhidas foram:

- a) Florianópolis, localizada no litoral de Santa Catarina, onde foi desenvolvida esta pesquisa, e possui um clima subtropical úmido, identificada na Zona Bioclimática (ZB) 03 com verão chuvoso e inverno seco; a carta psicrométrica com os dados do arquivo climático é apresentada na Figura 22

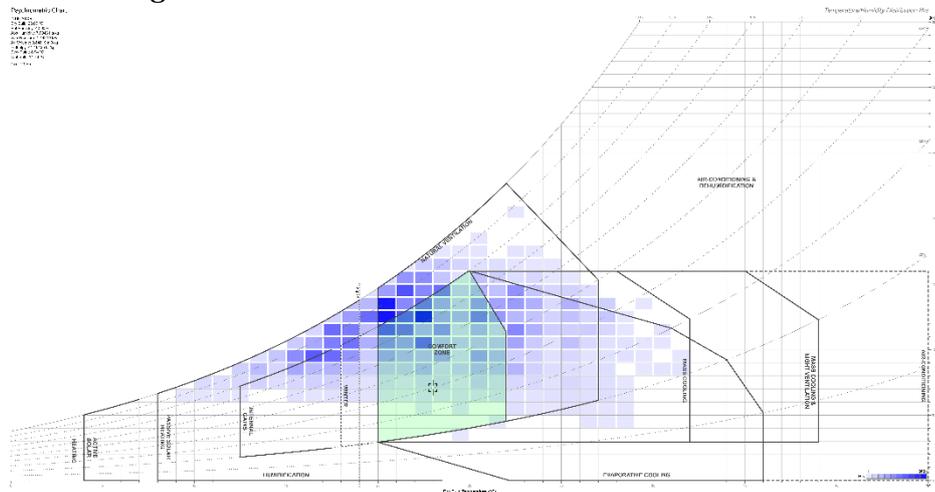
Figura 22: Carta Psicrométrica de Florianópolis



Fonte: elaborado pelo autor a partir do software psychrometric chart.

- b) Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, na região sudeste, com um clima tropical de altitude, atendendo a estratégias da ZB 04 (Alvim, 2010) , representando um clima e latitude intermediários (Figura 22); e

Figura 23: Carta Psicrométrica de Belo Horizonte



Fonte: elaborado pelo autor a partir do software psychrometric chart.

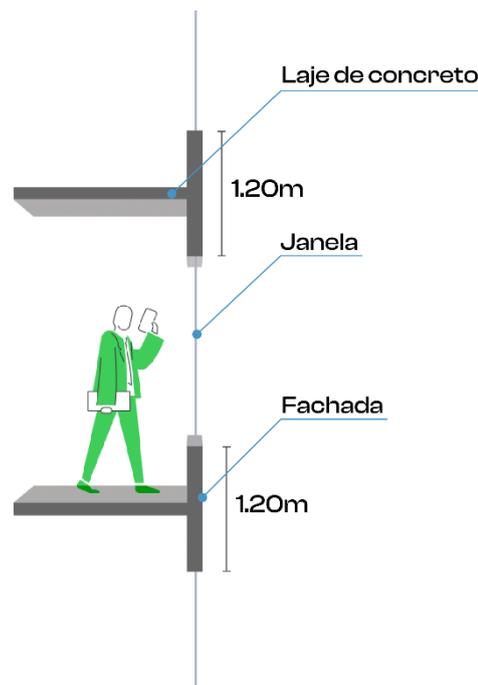
- c) Salvador, capital da Bahia, na região nordeste brasileira, onde o clima se caracteriza por ser tropical quente, encontra-se na ZB 08 com chuvas e temperaturas quentes por todo o ano (Figura 24).



### 3.2.3 Razão Janela-Parede

Esta razão (fração) representa a relação direta entre a área de janela em comparação à parede (Janela/Parede), na sigla em inglês WWR (*window-to-wall ratio*). Reconhecendo a forte influência do dimensionamento das aberturas externas na eficiência energética da edificação, bem como no padrão estético das fachadas, a variável tornou-se imprescindível no desenvolvimento do aplicativo. Conforme orienta a Instrução Técnica n<sup>o</sup> 09 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019), a dimensão mínima entre peitoril e verga deve ser de 1,2 m (Figura 26), portanto um edifício nunca terá 100% de área transparente nas fachadas. Mesmo que o prédio venha a ser inteiramente revestido por vidro, na prática, essa exigência do Corpo de Bombeiros implica num WWR máximo de até 60%, considerando edifícios com altura de 4,0 m de laje a laje. A partir desse valor, mais duas opções foram simuladas para alimentar a base de dados: 50% e 40% de área de janela na fachada.

Figura 26: Distância mínima de fechamento opaco exigida entre lajes Instrução Técnica n<sup>o</sup> 09 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo.

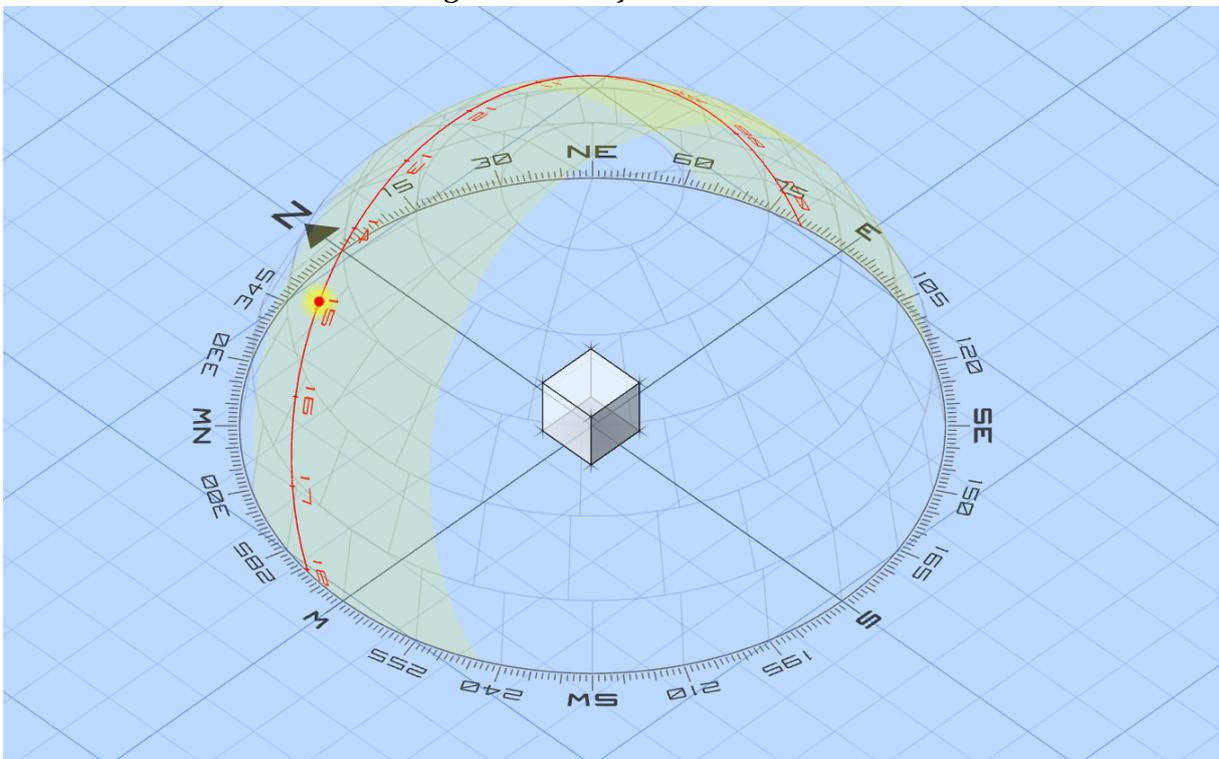


Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.2.4 Orientação solar

De simples entendimento, a variável de orientação solar permite que o aluno rotacione a fachada da sala comercial em 4 eixos cardeais, norte, sul, leste e oeste (Figura 27). Apesar de uma variável simples e de fácil entendimento, é importante perceber a forte influência que esta possui, visto que se relaciona diretamente à insolação da edificação e diferentes estratégias de controle, como tipo de vidro (indicado pelo fator solar) e brises, que serão explicados a seguir.

Figura 27: Trajetória do sol



Fonte: elaborado pelo autor a partir do software dynamic overshadowing.

### 3.2.5 Brise-Soleil

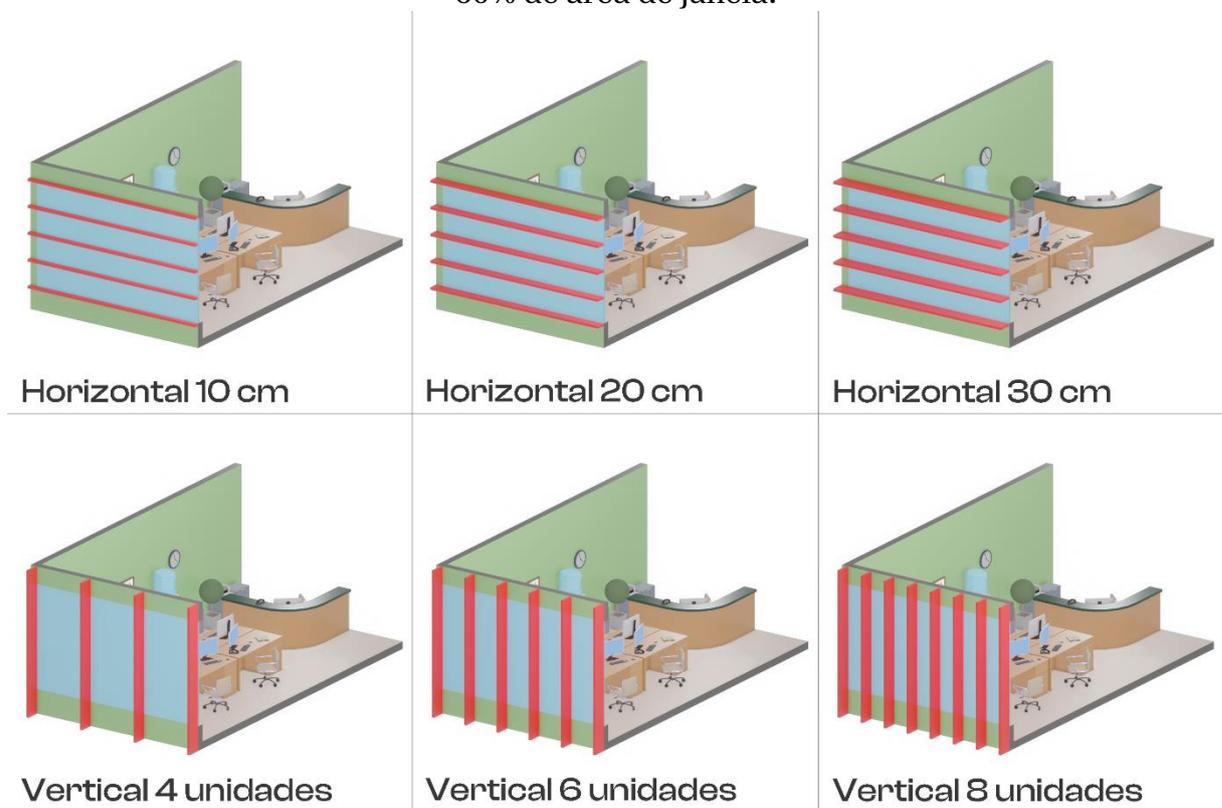
O brise-soleil, ou somente brise, como é conhecido no Brasil, é um elemento arquitetônico que tem como função reduzir a incidência direta do sol nas aberturas. Tornou-se popular a partir do uso extensivo de Le Corbusier nos anos 20 como uma solução formal para a redução de incidência solar em latitudes onde o ganho de calor pela insolação não é desejado (Morel Correa, Anzolch e Pedrotti, 2016). O dispositivo pode ter diversos formatos, tecnologias e materiais, contudo, para efeitos práticos

na modelagem da edificação a ser simulada foram estipuladas três configurações de proteções horizontais e três opções de brises verticais.

Os brises horizontais foram modelados com cinco unidades distribuídas uniformemente, variando a distância entre elas devido à variação de altura da janela (variável WWR). Todas as unidades teriam a largura total da janela, variando apenas a profundidade de cada aleta de brise entre 10 cm, 20 cm e 30 cm.

A outra opção sugerida na simulação foram os elementos de sombreamento verticais, possuindo uma profundidade fixa de 30 cm, contudo com uma variação na quantidade de aletas, as opções de 4, 6 e 8 unidades estão disponíveis (Figura 28). Os dispositivos de sombreamento apresentados possuem uma função estratégica em um projeto arquitetônico, possibilitando uma construção de linguagem, bem como a proteção solar e conseqüentemente melhora no desempenho energético da edificação.

Figura 28: Representação das opções de brises disponíveis para um modelo com 60% de área de janela.

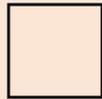
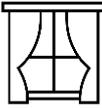


Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.3.6 Resumo das Variáveis

Com as variáveis selecionadas foi possível tabelar os itens a fim de melhor organizar o processo e estruturar a formatação de apresentação do aplicativo. Permite-se também obter um melhor entendimento das correlações entre os parâmetros variáveis como é possível identificar no Quadro 6

Quadro 6: Variáveis do Aplicativo

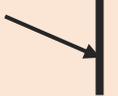
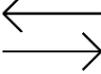
Parâmetro	Valores		
<b>Cidade</b>	+ FRIO ↓ + CALOR	Florianópolis – SC Belo Horizonte – MG Salvador – BA	
<b>Fator Solar do Vidro</b>	- PROTEÇÃO SOLAR ↓ + PROTEÇÃO SOLAR	0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3	
<b>Razão Vidro Janela (WWR)</b>	MENOR JANELA ↓ MAIOR JANELA	40% 50% 60%	
<b>Orientação</b>	- INTENSIDADE ↓ + INTENSIDADE	Sul Norte Leste Oeste	
<b>Sombreamento Horizontal</b>	- PROTEÇÃO ↓ + PROTEÇÃO	Sem Sombreamento 10 centímetros 20 centímetros 30 centímetros	
<b>Sombreamento Vertical</b>	- PROTEÇÃO ↓ + PROTEÇÃO	Sem Sombreamento 4 Unidades 6 Unidades 8 Unidades	

Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.3 Parâmetros Fixos

Além dos parâmetros variáveis, o modelo possui parâmetros fixos, utilizados para manter o controle das alterações, podendo-se assim focar a atenção dos alunos nas informações pertinentes ao conteúdo ministrado nas aulas. Os parâmetros fixos definidos principalmente com relação à utilização da sala e a materialidade dela estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7: Parâmetros fixos do modelo

Parâmetro		Valores
Dimensões		4 metros x 6 metros (24 m <sup>2</sup> ) Pé direito: 3 metros
Material das paredes		Alvenaria de bloco de concreto (U = 2,26 W/m <sup>2</sup> . K)
Materiais de piso e cobertura		Laje de concreto
Absortância das paredes		0,4
Carga de iluminação		12 W/m <sup>2</sup>
Ocupação		3 pessoas
Carga energética dos equipamentos		16 W/m <sup>2</sup>
Horário de utilização		8h às 18h de segunda à sexta-feira
Infiltração de ar		0,6 trocas por hora
Renovação de ar		7,5 L/s/pessoa

<b>Ar-condicionado</b>		<p>Split com COP 3,2;          Pressao de 250 Pa;          Setpoint: 20°C aquecimento/          23°C resfriamento</p>
------------------------	---	---

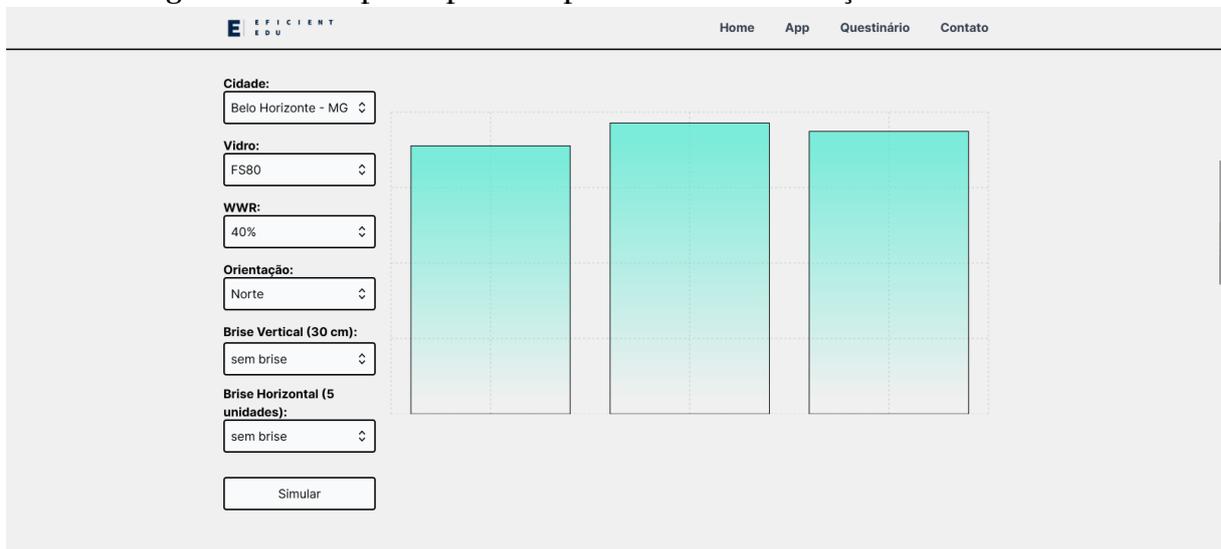
Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.4 Funcionamento do Aplicativo

O banco de dados previamente simulado contou com 3456 simulações em sua estrutura (3 cidades x 6 tipos de vidro x 3 áreas de janela x 4 orientações solares x 4 opções de sombreamento horizontal x 4 opções de sombreamento vertical = 3456 modelos). As simulações foram feitas a partir do software EnergyPlus™ (National Renewable Energy Laboratory (NREL)., 2022) O resultado, consumo anual de energia em climatização, foi apresentado em um arquivo de texto, o qual foi, posteriormente, convertido em formato *JSON*, para que pudesse ser lido e interpretado pela linguagem de programação utilizada no aplicativo.

O código foi desenvolvido para que funcionasse da forma mais intuitiva possível. Uma vez selecionadas as variáveis, a ferramenta fará uma busca em seu banco de dados por um arquivo simulado que contenha as variáveis escolhidas pelo aluno, retornando então com o valor de energia total consumida pelo modelo em um ano, em kWh (Quilowatt-hora). O aplicativo apresenta um gráfico de barras do consumo de energia para aquela configuração de modelo e permite comparar resultados dos modelos simulados em sequência (Figura 29).

Figura 29: Tela principal do Aplicativo de Simulação desenvolvido

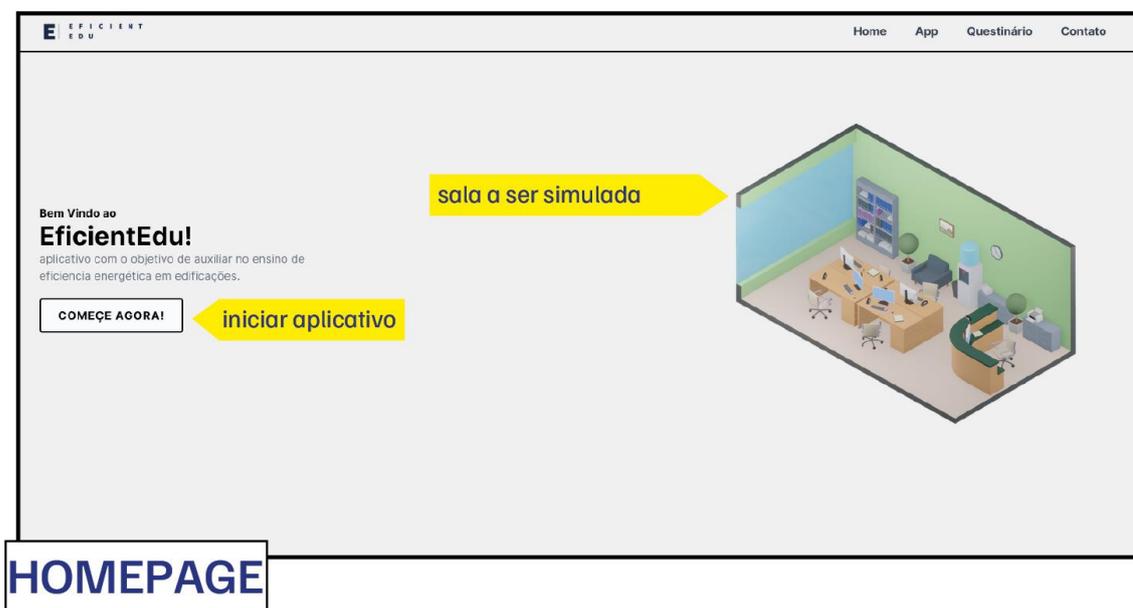


Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.4.1 FORMA DE UTILIZAÇÃO DO APLICATIVO

Ao acessar o site do simulador (<http://Bit.ly/Eficient-Edu>) o usuário é encaminhado à *homepage* onde irá encontrar um modelo tridimensional da sala a ser simulada e um botão convidando para iniciar o processo de simulação, conforme identifica-se na Figura 30.

Figura 30: Homepage



Fonte: elaborado pelo autor.

O usuário deve então iniciar o processo, em que será direcionado à página de uso efetivo do aplicativo, a qual fica logo abaixo da *homepage* (Figura 31).

Figura 31: MainPage



Fonte: Elaborado pelo autor.

Continuando a simulação, o usuário seleciona as variáveis as quais busca alterar, e então pressiona o botão simular, para se obter o resultado da simulação efetuada, conforme a Figura 32

Figura 32: Variáveis Apresentadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a simulação é possível passar com o cursor do *mouse* por cima dos gráficos apresentados, a fim de obter um memorial dos resultados, como pode ser visto na Figura 33. Lembrando que embora a ferramenta indique o botão “Simular”, todas as configurações de modelo já foram simuladas previamente, mas se manteve a nomenclatura para deixar claro ao aluno que os resultados são de fato de simulações computacionais, mesmo que tenham sido executadas previamente. A partir destas funcionalidades, docentes podem elaborar perguntas que incentivem o desenvolvimento das habilidades os quais pretendem que os alunos obtenham.

Figura 33: Apresentação dos resultados da simulação pela ferramenta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta sessão do aplicativo, são apresentados os resultados em forma de gráfico, permitindo a visualização e rápida comparação entre os modelos simulados. Para uma melhor compreensão e análise mais aprofundada dos dados, é possível identificar quais os parâmetros utilizados para cada uma das simulações. No uso móvel, basta clicar na barra a ser analisada. Na versão de *Desktop*, basta passar com o mouse por cima do gráfico e serão exibidos os parâmetros escolhidos.

### 3.4.2 EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO

Em uma simulação simples do aplicativo estabelece-se um caso base, utilizando-se de tais valores para comparações posteriores com variações nos parâmetros de interesse.

Um exemplo será apresentado a seguir, utilizando como caso base essas características:

- a) Cidade: Florianópolis – SC
- b) Fator solar: 80
- c) 40% de abertura de janela
- d) Orientação: norte
- e) Sem brise vertical
- f) Sem brise horizontal

Obtém-se como primeiro resultado um consumo de 1444 kWh, de acordo com as características do modelo apresentadas acima. Para entender como os vidros ou brises influenciam no consumo energético da edificação são apresentadas mais duas simulações, alterando em uma delas o vidro utilizado e na outra, uma configuração de brises.

A Figura 34 apresenta os resultados alcançados. A primeira barra indica o consumo do caso base (1444 kWh). A segunda barra mostra o consumo de energia do modelo com a substituição do vidro por outro de Fator Solar 50%: 1257 kWh. A terceira e última barra representa o resultado do modelo com o vidro original, mas adicionando-se os brises horizontais de 30 cm. O consumo caiu para 989 kWh.

Figura 34: Exercícios de exemplo de utilização



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir deste exercício é possível identificar que a utilização de 5 elementos horizontais de 30 cm de profundidade possuem uma maior efetividade na redução do consumo energético daquele ambiente. Houve uma redução de 455 kWh (31%) ao se utilizar elementos físicos de bloqueio solar, contra redução de apenas 187 kWh (13%) ao se utilizar um vidro de controle solar com Fator Solar 50%.

## 4. APLICAÇÃO COM OS ALUNOS

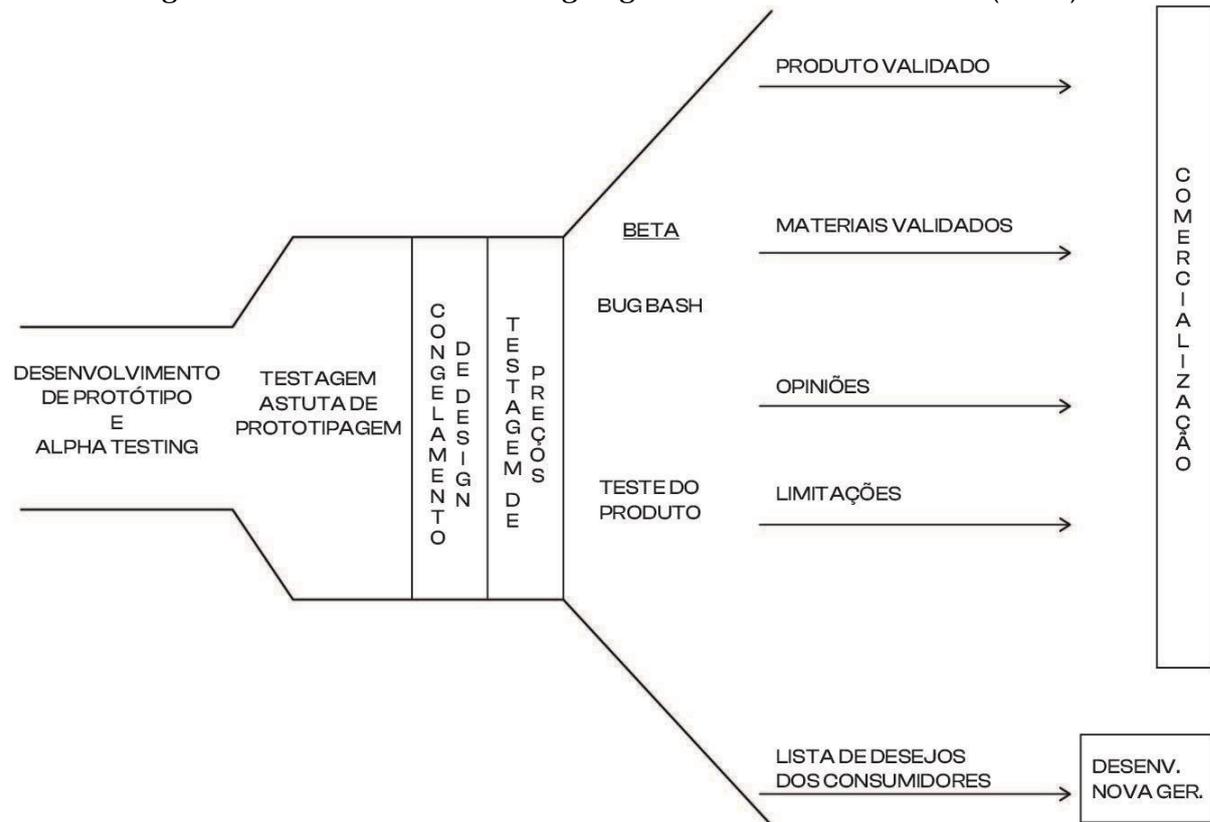
### 4.1 Aplicação Teste

Anteriormente a uma aplicação definitiva da atividade, ainda durante o período de desenvolvimento da ferramenta, foi desenvolvida uma atividade de testagem com os alunos, a fim de se obter uma métrica para o prosseguimento do desenvolvimento, conforme recomendam Dolan e Matthews (1993).

O processo de desenvolvimento do aplicativo, realizado por meio de testes *alpha* e *beta*, segue uma sequência coordenada. Inicia-se com a criação do protótipo, durante o qual os próprios desenvolvedores conduzem testes preliminares para identificar erros gerais, período conhecido como *alphatesting*. Após essa fase, passa-se à testagem de prototipagem, na qual uma versão mais próxima do produto final é submetida a testes mais detalhados. Com base nos resultados obtidos e na correção de erros e problemas identificados, ocorre uma fase de congelamento do design para a realização de testes de preço, nos quais o produto é avaliado visando sua comercialização. Vale ressaltar que essa etapa não se aplica a alguns projetos, como no caso da ferramenta desenvolvida nesta pesquisa.

Após a finalização interna do produto, inicia-se a fase de testagem final, ou *betatesting*, na qual o produto é disponibilizado para um público reduzido, permitindo que os usuários finais forneçam *feedback* sobre erros e sugestões de melhorias. Durante esse processo, os desenvolvedores analisam as respostas, selecionam as modificações a serem implementadas e corrigem os principais erros identificados. Após essa validação final, o produto é lançado para o público em geral, recebendo *feedbacks* contínuos para possibilitar melhorias e o desenvolvimento de novas versões do produto. Este ciclo de desenvolvimento iterativo visa aprimorar constantemente a qualidade e a experiência do usuário (Dolan e Matthews, 1993).

Figura 35: Fluxo do *betatesting* segundo Dolan & Matthews (1993)

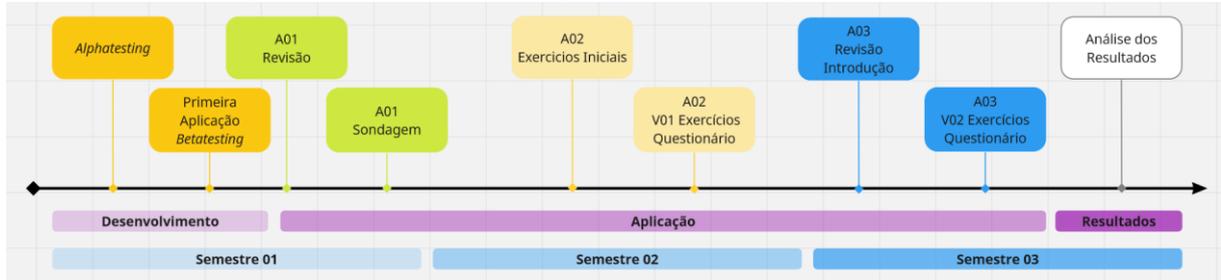


Fonte: reprodução do artigo, editado pelo autor.

A organização da realização dos exercícios seguiu uma linha do tempo de aplicação e ajustes, iniciando-se no primeiro semestre com uma testagem interna (*alphatesting*), ainda durante o desenvolvimento da ferramenta. Em seguida, uma primeira aplicação com os alunos, utilizando uma versão inicial, foi realizada como *betatesting*. Logo em seguida foram ajustados alguns itens simples de usabilidade do aplicativo (A01 Revisão). Então foi feita a primeira aplicação, com aula de revisão e uma sondagem com os alunos (A01 Sondagem). No segundo semestre executou-se a segunda aplicação, onde foram feitos exercícios de introdução ao aplicativo (A02 Exercícios Iniciais), objetivando familiarizar os discentes, e então prosseguiu-se com uma lista de exercícios em conjunto com um questionário sobre a aplicação da ferramenta (A02 V01 Exercícios Questionário). A lista de exercícios foi ajustada após esta aplicação, a fim de melhor se adaptar ao processo didático dos docentes, obtendo-se no terceiro semestre uma aula de revisão de conceitos básicos de bioclimatologia, uma introdução ao aplicativo, com perguntas objetivas e então uma lista de exercícios mais breve e direta (A03 Revisão Introdução). A linha do tempo

pode ser identificada na Figura 36 e as atividades serão descritas em detalhes a seguir.

Figura 36: Linha do tempo da metodologia de aplicação



Fonte: elaborado pelo autor.

Para uma primeira aplicação foi disponibilizada uma aula da classe de Eficiência Energética em Arquitetura do sexto período da Universidade Federal de Santa Catarina. O primeiro momento da aula se deu a partir de uma metodologia expositiva convencional, revisando conteúdos de sombreamento de edificações. No momento de aplicação da testagem, os alunos foram apresentados ao aplicativo, tendo os elementos básicos descritos, e com simulações efetuadas pelo docente, conforme pode ser visto no plano de aula (Quadro 8).

Quadro 8: Plano de aula 01

Tema	Teste de aplicativo de simulação de consumo energético
Objetivos	Compreensão da influência de diferentes variáveis no consumo energético de uma edificação comercial.
Habilidades	Entendimento de relação brise e vidro
Conteúdo	Consumo energético, Influência de brises e vidros no consumo energético
Recursos didáticos	Dispositivo com acesso à internet.

<b>Metodologia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula expositiva revisando conteúdo básico</li> <li>• Demonstração da utilização do aplicativo (Figura 38 Valores simulados na apresentação do software)</li> <li>• Desenvolvimento de atividades</li> <li>• Discussão sobre os resultados</li> </ul>
<b>Avaliação</b>	Análise da discussão e questionário

Fonte: elaborado pelo autor.

Esta primeira versão do aplicativo não possuía funcionalidades completas. Existia a limitação de casos simulados, podendo ser feitos apenas dois testes por vez. Os dados não eram salvos, então os alunos deveriam anotar os valores que escolheram em cada simulação, onde apenas os resultados eram apresentados, além da pouca funcionalidade na experiência do usuário. O software inicial pode ser visto na Figura 37.

Figura 37: Versão beta do aplicativo

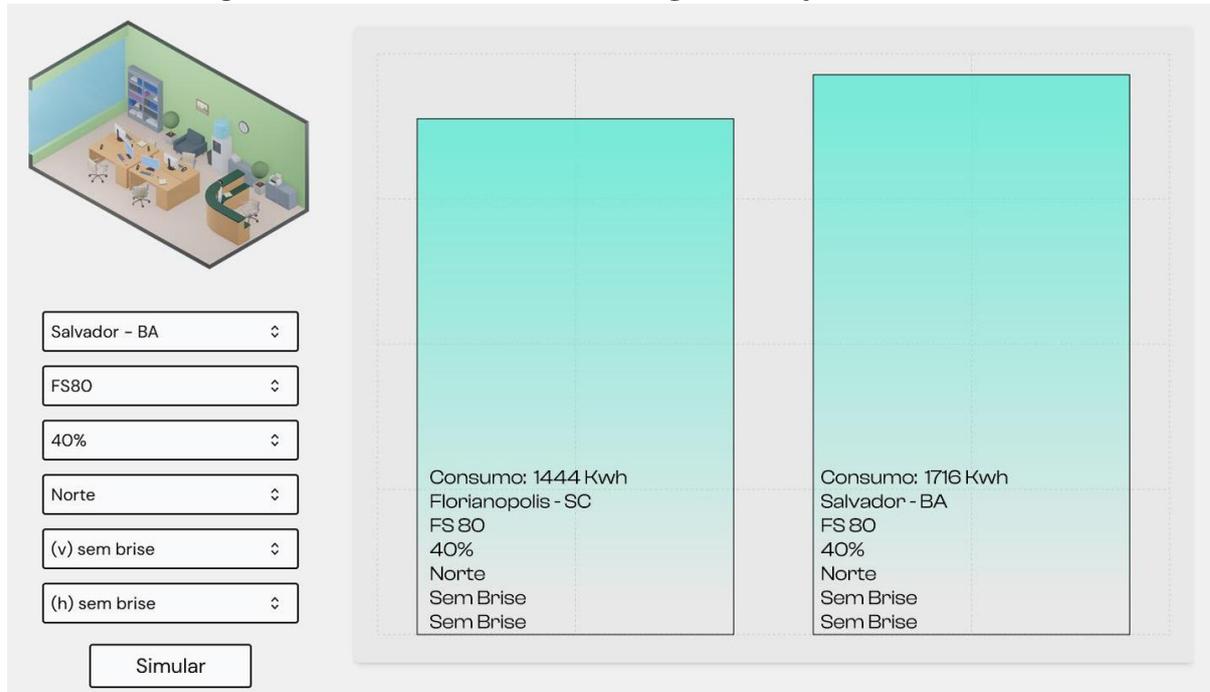


Fonte: acervo do autor.

No momento da apresentação da ferramenta, o docente efetuou um exercício simples, demonstrando aos alunos como utilizá-la e apresentando os resultados. O primeiro teste consistiu na comparação rápida de consumo de energia para um modelo em Florianópolis e com as mesmas configurações em Salvador. Florianópolis – SC, Vidro FS 80, WWR 40%, Orientação Norte, Sem Brises. A

simulação de comparação utilizou como valores: Salvador – BA, Vidro FS 70, WWR 60%, Orientação Norte e Brises Horizontais de 30 cm. Os resultados obtidos das simulações foram respectivamente 1444 KWh e 1661 KWh (Figura 38).

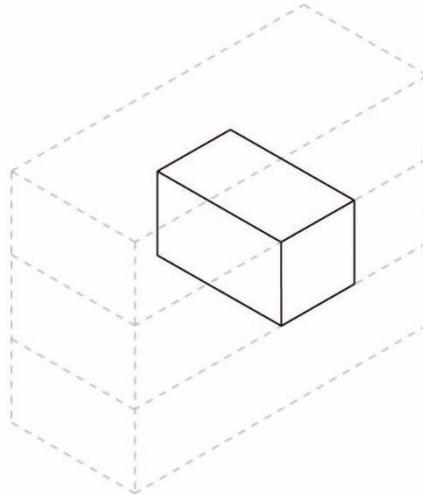
Figura 38 Valores simulados na apresentação do software



Fonte: elaborado pelo autor.

Com essa breve simulação foi possível apresentar aos alunos o formato em que o exercício ocorreria, quais resultados obtidos e como poderiam ser feitas as comparações para o exercício que seria desenvolvido a seguir.

Para esta primeira aplicação da ferramenta a turma foi distribuída em grupos de quatro alunos, a fim de facilitar as discussões internas (dentro de cada grupo) e posteriormente a discussão externa (com toda a sala). Os discentes foram instruídos a desenvolverem um pequeno edifício com 12 salas comerciais, pensando na sua linguagem arquitetônica final, com os parâmetros disponibilizados pela ferramenta, de forma que o edifício teria como base resultante um prédio com 3 andares e 4 salas comerciais lado a lado, conforme pode-se identificar na Figura 39.

Figura 39: Edifício Sala *BetaTesting*

Fonte: elaborado pelo autor.

Uma vez definida a edificação padrão a qual eles desejassem desenvolver, os alunos foram incentivados a buscar ajustes de parâmetros os quais reduzissem ao máximo o consumo energético da sua edificação. Esta atividade teve por objetivo trazer os alunos a uma prática comum no mercado de trabalho ao se buscar certificações de eficiência energética, uma vez que estas funcionam ao se ganhar pontos por cada item alcançado a partir de um modelo de referência pré-estabelecido. Este exercício visava auxiliar de forma direta no teste e desenvolvimento do software, onde foram identificados *bugs* e melhorias a serem feitas.

Após o exercício, ainda em sala de aula, os alunos foram incentivados a responderem um breve questionário sobre a utilização do aplicativo como ferramenta de auxílio em sala de aula. As perguntas com maior relevância para o processo de finalização do produto foram as duas últimas conforme apresenta-se no quadro a seguir (Quadro 9).

Quadro 9: Perguntas feitas aos alunos durante o *Betatesting*

1	Quais as vantagens e desvantagens da utilização do aplicativo na sua aprendizagem?
2	Quais melhorias o aplicativo poderia ter para um melhor aproveitamento em sala de aula?

Fonte: elaborado pelo autor.

A primeira pergunta objetivou compreender como os alunos percebiam a ferramenta em seu processo de aprendizagem, com o intuito de sondar se no entendimento deles a utilização do aplicativo auxiliava no seu processo de aprendizagem. As respostas foram positivas., como pode-se identificar no Quadro 10.

Quadro 10: Respostas à primeira questão do questionário de *betatesting*

1	“Apenas vantagens, ajudou a entender melhor sobre conceitos que ainda não estavam claros pra mim, como o WWR e o fator solar dos vidros na prática”
2	“Entendimento concreto dos parâmetros, facilidade no entendimento.”
3	“Considero que o aplicativo auxilia graficamente no entendimento dos conceitos abordados.”
4	“Vantagens: rápida simulação de fácil controle e compreensão didática Desvantagens: impossibilidade de mesclar brises verticais e horizontais”
5	“Releva uma experiência prática e real”

Fonte: elaborado pelo autor.

A segunda pergunta, sendo a mais importante com relação ao processo de *betatesting* da ferramenta, buscou de forma direta inquirir os alunos sobre o que havia de espaço para melhora no aplicativo. Os principais feedbacks recebidos foram:

- a) Melhoria da Interface gráfica do software;
- b) maior quantidade cidades para serem simuladas;
- c) possibilidade de mesclar os brises (funcionalidade que não estava disponibilizada ainda neste primeiro momento);
- d) rotação da edificação para pontos cardeais intermediários;
- e) gravação dos resultados para consulta posterior; e
- f) apresentação visual da sala simulada e suas variáveis.

Conforme pode ser identificado no Quadro 11 a seguir:

Quadro 11: Respostas à segunda questão do questionário de *betatesting*

1	“Seria interessante uma interface mais visual, que apresentasse por exemplo as dimensões dos brises, e a possibilidade de analisar como a geometria do edifício influenciara (como edifícios curvos, por exemplo. Um histórico de análises também seria muito útil, podendo regressar facilmente a tentativa anteriores com um clique.”
2	“Poderia ter mais opções de cidades do Brasil.”
3	“Seria interessante conter mais fachadas, já que na realidade nem sempre temos a possibilidade de focar nos cardeais.”
4	“O aplicativo poderia gravar os resultados e manter um histórico das simulações feitas”
5	“Mostrar mais simulações simultâneas na comparação, e uma legenda com os parâmetros analisados”

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio da análise dos resultados dessa fase inicial de teste da ferramenta identificou-se pontos importantes a serem melhorados. Esse *feedback*, essencial para a contínua evolução do software, permitiu identificar lacunas e áreas de aprimoramento que são cruciais para a otimização do aplicativo nas futuras aulas. Este processo iterativo de desenvolvimento, guiado pelas percepções dos alunos, é fundamental para assegurar que o software atenda de maneira eficaz às necessidades pedagógicas, proporcionando uma ferramenta mais refinada e alinhada com os objetivos educacionais propostos.

## 4.2 Aplicação Final

### 4.2.1 Atividade 01

Uma vez desenvolvido o aplicativo na sua versão final, seguiu-se para uma atividade *in loco* com os alunos. Considerou-se importante a participação dos estudantes no processo de sondagem do aplicativo, visto que a ferramenta foi desenvolvida com o intuito educacional.

A sondagem do aplicativo se deu por meio de atividades efetuadas em sala de aula, questionário com os alunos e com o professor responsável pela disciplina, seguindo o plano de aula 02. (Quadro 12) O intuito da pesquisa foi o de investigar como a utilização do aplicativo impactaria no processo de aprendizagem dos discentes. Como demonstrado pela literatura, há um ganho na aprendizagem com a utilização de metodologias ativas de ensino (Celani *et al.*, 2006; Kolb, 1984; Lovato *et al.*, 2018; Masson *et al.*, 2012; Moreira, Kowaltowski e Beltramin, 2016). Busca-se, portanto, identificar a eficácia do aplicativo como um facilitador no processo de ensino, uma vez que as TICs surgem no modelo educacional como uma linha auxiliar à docência, permitindo uma interação direta do aluno com seu objeto de estudo.

Quadro 12: Plano de Aula 02

<b>Tema</b>	<b>Atividade de Aplicativo de Simulação de Consumo Energético</b>
<b>Objetivos</b>	Compreensão da influência de diferentes variáveis no consumo energético de uma edificação comercial.
<b>Habilidades</b>	Entendimento do custo-benefício de uma estratégia bioclimática
<b>Conteúdo</b>	Consumo energético, Custo-Benefício
<b>Recursos didáticos</b>	Material para cálculo e anotações
<b>Metodologia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aula expositiva revisando conteúdo básico</li> <li>● Desenvolvimento de Atividades</li> <li>● Discussão sobre os resultados</li> </ul>
<b>Avaliação</b>	Análise da discussão e questionário

Fonte: elaborado pelo autor.

Previamente à aplicação final com os alunos foi desenvolvida uma aula de investigação no semestre anterior ao que se daria o desenvolvimento da pesquisa, utilizando-se de uma versão *beta* (não finalizada) do programa. Nesta experiência o docente apresentou o programa previamente e requisitou aos alunos que

desenvolvessem uma linguagem desejada para a edificação final, levando em consideração a repetição da fachada da sala comercial simulada. A partir das decisões tomadas os alunos deveriam gerar variações desta mesma sala comercial, com o intuito de aprimorarem a eficiência de seus projetos. Ao final das simulações os alunos discutiram seus resultados com os demais, sendo estimulados a interpretar seus resultados e os dos colegas. A experiência prévia permitiu identificar fortalezas e deficiências no método de ensino utilizado, por exemplo a dificuldade na compreensão espacial dos estudantes ao serem instigados a desenvolver uma linguagem arquitetônica em um aplicativo de simulação sem uma referência visual da sala a ser analisada. Outro elemento identificado, passível de aprimoramento foi a estrutura da aula, de forma que um objetivo mais aberto deu espaço à dúvidas e distrações por parte dos alunos, tendo de ser remediadas ao longo da aula.

A pesquisa foi desenvolvida em uma turma do sexto período, no primeiro semestre de 2023, na disciplina de Eficiência Energética e Sustentabilidade em Edificações, no curso de graduação em arquitetura e urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Contou com a participação de 23 alunos. A atividade ocorreu em dois momentos distintos, uma primeira aula de percepção do entendimento dos alunos, onde não foi utilizado o aplicativo, mas teve por função uma primeira sondagem da compreensão deles referente ao conteúdo que seria abordado em aulas subsequentes. Em um segundo momento ocorreu a aula preparada para ter a função de fixar os conteúdos apresentados em aulas anteriores e introduzir conceitos base para a simulação de eficiência energética em edificações. O objetivo de uma aula dinâmica, concisa e didática foi almejado, pois o assunto abordado possui uma complexidade que pode afetar o entendimento imediato dos estudantes.

Nesta primeira aula de sondagem foram explicadas brevemente as funções de elementos de controle solar e um exercício de avaliação de custos da implantação de brises em uma unidade habitacional de hotelaria, com o intuito de fornecer os alunos uma familiaridade com a aplicação de brises em edificações. A atividade de avaliação de custo, ou de *payback*, foi feita baseada em um artigo de Grala da Cunha (2011), onde o autor apresenta os valores de custo de implantação dos brises o consumo

energético da unidade habitacional com e sem os elementos de proteção solar. Os dados foram apresentados aos alunos (Figura 40) e foi feita a pergunta aos alunos de quantos anos seria o *payback* dos brises considerando-se uma taxa de energia de R\$0,42 o kWh. Os resultados obtidos no exercício foram de uma economia de consumo energético de R\$97,50 ao ano, resultando em um *payback* de 8,4 anos.

Figura 40: Slide do exercício de *payback*

## Resultados

### Estudo de caso

Hotel Jacques George Tower, Pelotas – RS.

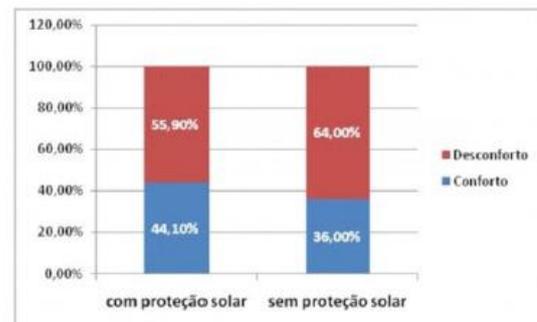
Utilizou-se: 5 brises horizontais de 2 x 0.5 m

2 verticais de 1.7 x 1.6m

Custo de R\$814,72 por janela

Consumo de energia anual:

Dormitório analisado	Unitário (1 m <sup>2</sup> )	Apartamento (25 m <sup>2</sup> )
Consumo com proteção solar (kWh/m <sup>2</sup> ano)	39,05	976,25
Consumo sem proteção solar (kWh/m <sup>2</sup> ano)	48,27	1.206,75



Fonte: elaborado pelo autor.

Neste exercício os alunos puderam obter uma noção de custo efetivo de um elemento de sombreamento e qual seria o tempo de retorno de investimento, podendo então entender de forma prática as consequências de uma aplicação de estratégia bioclimática.

No segundo momento da aula foi desenvolvido um jogo desenvolvido pelo docente, onde os alunos, divididos em grupos, teriam uma pontuação inicial de 20 pontos de investimento (PI) para escolherem entre brises horizontais e verticais para serem utilizados em uma sala comercial base. Cada 10 cm de brise horizontal lhes custariam 5 pontos, dando como retorno 2 ‘unidades de eficiência’ (UE) e cada brise vertical teria o custo de 4 pontos com a contrapartida de 1,6 UE conforme pode ser visto no Quadro 13.

Quadro 13: Pontuação do jogo

Elemento	Custo	Eficiência
10 cm de brise horizontal	5 PI	2 UE
02 aletas de brise vertical	4 PI	1,6 UE

Fonte: elaborado pelo autor.

Com os pontos distribuídos desta forma, os alunos poderiam escolher colocar 40 cm de brise horizontal ou 10 aletas verticais. As definições utilizadas para a atribuição dos pontos ocorreram de forma que os pesos de cada um dos brises equiparasse ao final da somatória, desestimulando a utilização de apenas um modelo de brise e incentivando desta forma a mescla entre os modelos para uma maior pontuação. Os alunos teriam por objetivo obter o maior valor ‘unidades de eficiência’ possível dentro da linguagem arquitetônica escolhida pelo grupo, contanto que não utilizassem todos os seus pontos em apenas uma estratégia.

#### 4.2.1.1 EXEMPLO DO EXERCICIO

Em um cenário imaginário, considera-se um edifício comercial de fachada simples equipada com brises infinitos, cujo consumo energético inicial é de 100 Unidades de Energia (UE). Os participantes, representados pelos Grupos A, B e C, têm à disposição 20 Pontos de Investimento (PI) para 'comprar' elementos a fim de otimizar a eficiência energética desta edificação. No caso do Grupo A, a escolha foi investir em 3 brises horizontais e 1 brise vertical, resultando em uma economia de 7,6 UE. Por outro lado, o Grupo B priorizou brises verticais, investindo em 1 brise horizontal e 3 verticais, alcançando uma economia de 6,8 UE. Por fim, o Grupo C adotou uma abordagem equilibrada, investindo em 2 brises horizontais e 2 verticais, obtendo uma economia de 7,2 EU (Quadro 14). Este exercício ilustra como diferentes estratégias de alocação de recursos podem impactar a eficiência energética do edifício.

Quadro 14: Resultados do exercício

<b>Modelo simulado</b>	<b>Pontos de investimento utilizados</b>	<b>Unidades de Energia</b>
<b>3 brises h. + 1 brises v.</b>	19 PI	7,6 UE
<b>1 brises h. + 3 brises v.</b>	17 PI	6,8 UE
<b>2 brises h. + 2 brises v.</b>	18 PI	7,2 UE

Fonte: elaborado pelo autor.

Foi possível notar na atividade que um delineamento não muito claro, com a falta de perguntas norteadoras para serem respondidas de forma direta, tornou a compreensão dos alunos difusa, conseqüentemente necessitando de um apoio maior do professor durante o processo de tomadas de decisões dos alunos.

#### 4.2.2 Atividade 02

A metodologia aplicada na aula onde seria utilizado o aplicativo educacional levou em consideração os aprendizados obtidos a partir da atividade de sondagem e buscou consolidar conhecimentos dos alunos de forma prática, utilizando-se da ferramenta de simulação como base.

As aulas foram divididas em dois dias. No primeiro foi apresentado o aplicativo e foram desenvolvidas atividades para que os estudantes se familiarizassem com a ferramenta e pudessem fazer uma breve discussão sobre seus resultados. No segundo dia, procedeu-se a uma breve revisão da aula anterior, seguida pela realização completa do questionário, com o propósito de avaliar o efeito do aplicativo no grau de compreensão dos conceitos por parte dos participantes. (Quadro 15)

Quadro 15: Plano de aula 03

<b>Tema</b>	<b>Aplicativo de simulação de consumo energético</b>
<b>Objetivos</b>	Compreensão da influência de diferentes variáveis no consumo energético de uma edificação comercial.
<b>Habilidades</b>	Entendimento de relação entre brise e tipo de vidro

<b>Conteúdo</b>	Consumo energético, influência de brises e vidros no consumo energético em climatização
<b>Recursos didáticos</b>	Dispositivo com acesso à internet.
<b>Metodologia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aula expositiva revisando conteúdo básico</li> <li>● Demonstração da utilização do aplicativo</li> <li>● Desenvolvimento de atividades</li> <li>● Discussão sobre os resultados</li> </ul>
<b>Avaliação</b>	Análise da discussão e questionário

Fonte: elaborado pelo autor.

A primeira aula teve início com uma nova revisão rápida sobre a utilização de brises em edificações com alguns exemplos e discussão de conteúdos vistos pelos alunos em semestres anteriores. Em seguida, foi apresentado o aplicativo desenvolvido para a aula, demonstrando suas funcionalidades. Os alunos foram incentivados a explorar a ferramenta, a fim de se familiarizar com as possibilidades de simulação, para tanto foram realizados os exercícios listados no Quadro 16.

Quadro 16: Exercícios iniciais.

01	Qual percentual de diferença entre a utilização do vidro FS 50 em Florianópolis e Salvador?
02	E entre Florianópolis e Belo Horizonte?

Fonte: elaborado pelo autor.

Resolução:

Figura 41: Simulação exercícios iniciais



Fonte: elaborado pelo autor.

1. Efetuando-se o cálculo de aumento percentual obtém-se um valor de 28%, demonstrando que há uma diferença considerável na utilização de um vidro de controle solar entre as cidades. Há, portanto, uma necessidade de utilizar conjuntamente um elemento de controle solar ou a utilização de um vidro com maior fator solar.

2. Na cidade de Belo Horizonte, o aumento apresentado é de 11%, sendo um valor não tão alto, poderia ser utilizada a mesma estratégia. Sendo financeiramente viável a utilização de um elemento de proteção externo como a utilização de brises ou até mesmo a utilização de elementos de vegetação, seria bem-vinda.

Com o final da atividade, foi possível desenvolver um breve debate sobre as diferentes interpretações acerca dos enunciados das questões. Como o exercício não determinou qual orientação solar adotar, os grupos chegaram a resultados com valores de consumo de energia diferentes entre si, demonstrando a influência da orientação solar na eficiência energética da edificação; e gerando uma discussão proveitosa para o desenvolvimento crítico dos estudantes.

Na segunda aula, deu-se início ao processo de delineamento da atividade principal proposta para os alunos. A turma foi dividida em grupos de até quatro alunos cada. Apresentou-se uma lista de exercícios com oito questões ordenadas em

escala de complexidade na resolução (Quadro 17). Ao final do exercício os alunos deveriam enviar os seus resultados para avaliação posterior pelo docente.

Quadro 17: Exercícios aplicados na atividade 2 com o uso da ferramenta.

1	Qual o aumento percentual de consumo ao se ampliar a área de janela de 40% para 60% na fachada sul em Florianópolis? Identifique esse aumento para um caso com vidro de Fator Solar 30% e para outro com FS 80%.
2	Faça a mesma análise anterior para a fachada oeste.
3	Em qual das três cidades o brise vertical traz mais benefícios na fachada oeste?
4	Na fachada norte, o brise horizontal seria mais eficaz em qual cidade?
5	Com a sala voltada para leste, na cidade de Salvador, com 50% de área de janela, seria possível ter um vidro equivalente a uma configuração de vidro incolor com brise misto com 6 aletas verticais e 5 placas horizontais de 10 cm?
6	Qual(is) configuração(ões) de brises resultaria(m) em desempenho equivalente a um vidro com FS 40 em uma fachada oeste com 60% de área de janela em Florianópolis?
7	Quais configurações para a fachada norte, buscando-se maior área transparente possível, permitiriam desempenho igual a uma fachada sul com WWR 40% e vidro FS 80?
8	Como ampliar a área de janela de uma fachada leste que possui originalmente WWR 40%, vidro com FS 60, mantendo o desempenho energético? Resolva esta questão para as 3 cidades.

Fonte: elaborado pelo autor.

Resolução:

1. No primeiro exercício obteve-se os valores da tabela a seguir (Quadro 18):

Quadro 18: Resultados do exercício 1

Fator Solar	Razão janela-parede	Consumo (kWh)	Aumento % consumo
FS30	40%	864	
	60%	907	5%
FS80	40%	999	
	60%	1096	10%

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se que o aumento da área de janela resulta em incrementos diferentes no consumo, dependendo do tipo de vidro. O uso de um vidro com Fator Solar mais baixo, 30%, permite ampliar a área de janela com menor elevação de consumo de energia, quando comparado aos cenários com vidro de Fator Solar 80%.

2. No segundo exercício é possível verificar que os valores foram consideravelmente maiores, por se tratar de um posicionamento da sala na fachada oeste (Quadro 19).

Quadro 19: Resultados do exercício 2

Fator Solar	Razão janela-parede	Consumo (kWh)	Aumento % consumo
FS30	40%	1098	
	60%	1215	11%
FS80	40%	1378	
	60%	1622	18%

Fonte: elaborado pelo autor.

Percebe-se inicialmente que o menor consumo na fachada oeste é superior ao maior consumo da fachada norte, da mesma forma os aumentos percentuais de consumo também foram superiores ao exercício anterior. O aumento de 7% entre os fatores solares demonstra que para a fachada oeste, a utilização de um vidro de controle solar traz um bom resultado.

3. Para efetuar este exercício fez-se a simulação das 3 cidades com e sem os brises verticais, obtendo-se os dados apresentados no Quadro 20.

Quadro 20: Resultados do exercício 3

Cidade	Florianópolis	Salvador	Belo Horizonte
<b>Sem Brise (kWh)</b>	1622	2516	1928
<b>Com Brise (kWh) 8 un.</b>	1392	2290	1668
<b>Dif. no consumo (KWh)</b>	230	226	<b>260</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

É possível identificar, portanto, ao se verificar os valores absolutos obtidos da diferença de consumo entre as cidades, que a cidade de Belo Horizonte tem o maior benefício da utilização de brises verticais, com uma redução de consumo de 260 kWh.

4. As simulações desenvolvidas para este exercício foram as apresentadas no Quadro 21.

Quadro 21: Resultados do exercício 4

Cidade	Florianópolis	Salvador	Belo Horizonte
<b>Sem Brise (kWh)</b>	1678	1895	1922
<b>Com Brise (kWh) 30cm</b>	1171	1692	1259
<b>Dif. no consumo (KWh)</b>	507	203	<b>663</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Neste exercício observa-se que novamente a cidade mais beneficiada com a utilização de brises é Belo Horizonte, de mesma forma que Salvador continua sendo a que menos se beneficiaria.

É importante também realçar que os resultados se alteram ao se utilizar de valores percentuais, onde, desta forma na questão 3 a maior beneficiada seria a cidade de Florianópolis.

5. Para o quinto exercício foram feitas três simulações, o modelo base e outras duas simulações sem a utilização de elementos de sombreamento e buscando se aproximar do valor base apenas com os fatores solares dos vidros (Quadro 22).

Quadro 22: Resultado do exercício 5

	FS80 Com Brises	FS40 Sem Brises	FS30 Sem Brises
<b>Consumo (kWh)</b>	1877	1927	<b>1854</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se que para se alcançar o consumo de uma edificação com brises, seria necessária a utilização de um vidro com fator solar 30, sendo este um fator solar baixo.

6. Para a simulação do exercício foram configurados mais três modelos, sendo aquele com o consumo desejado, e novamente mais dois modelos simulando a

utilização de elementos de sombreamento para se obter um consumo próximo do caso base, conforme o Quadro 23.

Quadro 23: Resultado do exercício 6

<b>Consumo desejado (FS40):</b>		<b>1299 kWh</b>
FS 80	Brise Vertical 8un + Brise Horizontal: 10cm	1280 kWh
FS 80	Brise Horizontal: 20 cm	1299 kWh

Fonte: elaborado pelo autor.

Neste exercício observa-se que a utilização de brises mistos resulta em consumo inferior ao modelo com vidro de fator solar 40. Contudo, ao se utilizar um brise horizontal de 20 cm obtém-se um valor de consumo idêntico ao caso base, com vidro de FS 40, demonstrando que estratégias diferentes podem gerar resultados idênticos.

7. Nesta questão, ao se aumentar a janela e alterar a orientação do modelo padrão obtém-se os valores apresentados no Quadro 24.

Quadro 24: Resultado do exercício 7

Consumo desejado (Florianópolis + FS80 + RJP40% + Orientação sul + sem brise v. + sem brise h.):	999 kW
Florianópolis + FS80 + RJP 40% + Orientação norte + sem brise v. + brise h. 30cm	989 kWh

Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores resultantes demonstram que é possível obter um valor próximo ao se utilizar brises e ainda reduzir o consumo da sala.

8. Para a última questão deveriam ser feitas as simulações para as três cidades buscando ampliar a área de janela, porém mantendo o consumo (Quadro 25).

Quadro 25: Resultados do exercício 8

<b>Cidade</b>	<b>Consumo Almejado</b>	<b>Solução</b>	<b>RJP aumentado para 60%</b>
Florianópolis:	1203 kWh	FS: 50 Brise H.: 10 cm Consumo: 1199 kWh	
Salvador:	1896 kWh	FS: 80 Brise H.: 20 cm Brise V.: 4un Consumo: 1885 kWh	
Belo Horizonte	1469 kWh	FS: 70 Brise H.: 10 cm Brise V.: 8un Consumo: 1461 kWh	

Fonte: elaborado pelo autor.

Com os modelos apresentados observa-se que para se obter um desempenho similar ao de uma abertura de janela menor é necessário o uso conjunto de estratégias. Isso demonstra que as aberturas externas são as principais fontes de aquecimento interno do ambiente conseqüentemente aumentando o consumo energético da edificação, uma vez que se faz necessária a utilização de elementos de resfriamento ativo.

As questões 1 e 2 foram delineadas com a finalidade de incitar o aluno a desenvolver uma compreensão sobre a influência da relação entre área de janela e parede da fachada, ou seja, o percentual de transparência, no desempenho térmico da edificação. Nesse contexto, buscou-se motivar os estudantes a fixar os demais parâmetros, enquanto variavam apenas a dimensão da janela. A abordagem educacional seguiu uma estratégia de construção progressiva de conhecimento. As questões seguintes tinham o intuito de provocar a compreensão sobre a influência da orientação solar na eficiência térmica da fachada.

As questões 3 e 4 foram concebidas com a finalidade de instigar os alunos a explorarem distintas alternativas de sombreamento para as aberturas, visando uma assimilação da ideia de que estratégias idênticas podem apresentar eficácia variada em contextos climáticos distintos. O propósito central consiste em compreender que não existe uma abordagem única e universalmente superior; assim, por meio da experimentação, os alunos concluem que a efetividade de algumas estratégias, como brises horizontais ou verticais, é intrinsecamente vinculada às características específicas do clima em questão. Essa abordagem pedagógica visa não apenas o entendimento isolado de soluções de sombreamento, mas também a apreciação da necessidade de adaptabilidade e contextualização na concepção de projetos arquitetônicos voltados para maior eficiência energética.

As perguntas 5 e 6 foram concebidas com o propósito de fomentar nos alunos uma análise das possíveis correlações entre estratégias construtivas e a aplicação de vidros de controle solar. O foco reside em destacar que a escolha apropriada do tipo de vidro pode não apenas substituir, mas também superar estratégias convencionais, como a utilização de brises, no contexto da eficiência energética em edificações. Ao direcionar a atenção dos alunos para essa abordagem, a intenção é instigar uma reflexão crítica sobre as inovações tecnológicas disponíveis,

incentivando a consideração das características intrínsecas dos materiais na tomada de decisões projetuais.

Na penúltima questão, ao orientar os alunos a ampliarem a dimensão da janela sem aumentar o consumo energético, o objetivo é incentivar uma compreensão de que existem possibilidades de expansão das áreas envidraçadas sem acarretar um significativo ganho térmico. Essa abordagem visa proporcionar aos estudantes uma percepção sutil das nuances associadas ao dimensionamento das aberturas na edificação, enfatizando que a otimização da entrada de luz natural pode ser alcançada sem necessariamente comprometer o desempenho térmico do ambiente, desde que utilizados os elementos de controle solar adequados.

Na oitava questão, caracterizada pela sua complexidade, incentiva-se os alunos a alterarem o máximo de variáveis possível. A premissa subjacente é que, munidos de conceitos sólidos e claramente definidos, os alunos consigam abordar o exercício com destreza. Por conseguinte, a solicitação específica recai sobre a simulação em três cidades distintas, conforme disponibilizadas no aplicativo. Essa abordagem multifacetada visa não apenas testar a habilidade dos alunos em manipular diversos parâmetros, mas também aprofundar a compreensão sobre como diferentes contextos urbanos podem influenciar as demandas e os resultados no âmbito da eficiência energética em edificações. Ao desafiar os alunos a considerarem variáveis como orientação geográfica, padrões climáticos e demandas energéticas locais, busca-se enriquecer a experiência de aprendizado, proporcionando uma visão mais abrangente e contextualizada do papel da eficiência energética no design arquitetônico.

Divididos em grupos os alunos passaram a discutir sobre os parâmetros relacionados em cada questão e a configurar seus modelos. As perguntas frequentes ao professor se apresentavam sobre as possibilidades a serem abordadas, buscando também saber se haveria a necessidade de um número máximo ou mínimo de simulações a serem feitas. Questões funcionais sobre o aplicativo se apresentavam recorrentes. Observou-se neste momento uma grande apropriação do ferramental por parte dos alunos, demonstrando estarem investidos no processo de desenvolvimento e simulação dos seus modelos. O professor, no decorrer deste

período, passou entre os grupos oferecendo auxílio e examinando o processo de construção de conhecimento.

Após o desenvolvimento da atividade em grupos, as alternativas simuladas e os modelos finais definidos, os alunos foram questionados sobre os seus resultados e alguns entendimentos do processo. Com o fim da aula os alunos deveriam enviar seus arquivos com resultados por meio de plataforma digital (*Moodle*) para que os docentes pudessem analisar e corrigir suas atividades, bem como os alunos foram requisitados a responderem um breve questionário referente ao seu aprendizado em sala de aula, a fim de obter um feedback acerca da ferramenta no seu processo de aprendizagem. o questionário consistia nas perguntas, apresentadas no quadro 4 a seguir:

Quadro 26: Perguntas Questionário

	<b>Perguntas</b>
<b>1</b>	Os conceitos utilizados em sala foram claros e de fácil entendimento?
<b>2</b>	O uso do aplicativo auxiliou na fixação dos conceitos apresentados em sala?
<b>3</b>	O seu entendimento do conteúdo está diretamente ligado à utilização do aplicativo?
<b>4</b>	O desenvolvimento ativo da atividade facilitou sua compreensão do conteúdo?
<b>5</b>	O desenvolvimento ativo da atividade auxiliou na fixação do conteúdo?
<b>6</b>	A atividade prática colaborou para a compreensão do conteúdo? Justifique.
<b>7</b>	Quais as vantagens e desvantagens da utilização do aplicativo na sua aprendizagem?

Fonte: elaborado pelo autor.

As perguntas 01 a 06, desenvolvidas conforme recomenda MALHEIROS (2011), deveriam ser respondidas com notas de 0 a 10, do menor ao maior grau de satisfação, respectivamente. A pergunta 07 possui um seletor booleano entre sim e não, com a justificativa tendo sua resposta de forma dissertativa assim como a pergunta 08.

### 4.2.3 Atividade 03

Em uma segunda aplicação no segundo semestre de 2023, em uma turma com 18 alunos, foram desenvolvidos novos exercícios. As perguntas foram remodeladas, incentivando um processo mais participativo para os alunos, simplificando algumas variáveis, a fim de se obter uma melhor percepção das correlações entre as interferências de cada variável na eficiência energética final da sala simulada. Seguiu-se como referência o plano de aula seguir descrito no Quadro 27.

Quadro 27: Plano de Aula 04

<b>Tema</b>	<b>Aplicativo de simulação de consumo energético</b>
<b>Objetivos</b>	Compreensão da influência de diferentes variáveis no consumo energético de uma edificação comercial.
<b>Habilidades</b>	Entendimento de relação entre configurações de brise e tipos de vidro
<b>Conteúdo</b>	Consumo energético, Influência de Brises e Vidros no consumo energético
<b>Recursos didáticos</b>	Dispositivo com acesso à internet.
<b>Metodologia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aula expositiva revisando conteúdo básico</li> <li>● Demonstração da utilização do aplicativo</li> <li>● Atividade de preparação</li> <li>● Desenvolvimento de Atividades</li> <li>● Discussão sobre os resultados</li> </ul>
<b>Avaliação</b>	Questionário e Observação participante

Fonte: elaborado pelo autor.

Na terceira aplicação da atividade, foi feita uma redução nas perguntas para torná-las mais diretas, buscando atingir de forma precisa os pontos nos quais se espera que os alunos desenvolvam novas habilidades. Ao direcionar o foco diretamente para as relações entre as variáveis, os alunos podem assimilar o processo com maior facilidade, envolvendo-se em uma prática de aprendizado mais imersiva. Essa abordagem estruturada não apenas simplifica a compreensão, mas

também proporciona uma experiência educacional que replica de maneira mais fiel os desafios do cotidiano profissional.

As perguntas efetuadas durante a atividade de preparação estão apresentadas no Quadro 28.

Quadro 28: Perguntas atividade de preparação.

	Perguntas
1	Com a sala voltada para leste, na cidade de Salvador, qual configuração de janela e vidro para se alcançar consumo energético de no máximo 1877KWh/ano, sem brises?
2	Mantendo o vidro com FS 70 na cidade de Belo Horizonte, qual configuração de brises seria possível para aumentar a área de janela de 40% para 60% na fachada norte, mantendo-se o consumo de energia?
3	Escolha uma das cidades e desenvolva um modelo que, ao virar a oeste, obtenha por volta de 30% de economia em relação ao modelo base: FS80, RJP 50%, fachada Norte e Sem brises.

Fonte: elaborado pelo autor.

Resolução:

1. Para o primeiro exercício seria possível efetuar a simulação apresentada no Quadro 29

Quadro 29: Resultado do exercício 1

Consumo desejado	1877 kWh
FS80 + RJP 40%	1848 kWh

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se que para atingir um valor aproximado ao consumo desejado seria necessária a utilização de um misto entre o dimensionamento correto das aberturas em conjunto com um bom vidro de controle solar.

2. Ao simular os brises obtêm-se os seguintes valores do Quadro 30.

Quadro 30: Resultado do exercício 2

Consumo desejado:	1523 kWh
FS70 + RJP 60% + Brise horizontal 20cm	1503 kWh

Fonte: elaborado pelo autor.

É possível notar que a utilização de um brise de 20 cm se torna uma estratégia eficaz para que o consumo se mantenha muito próximo do valor base ao se aumentar a dimensão da janela.

3. O terceiro exercício poderia ser efetuado de uma das três formas a seguir expostas no Quadro 31:

Quadro 31: Resultados do exercício 3

Cidade	Consumo Base (kWh)	Consumo Almejado (kWh)	Soluções
Florianópolis	1565	1096	FS 70 + RJP 50% + Brise V. 4un + Brise H. 20cm Consumo: <b>1100 kWh</b>
			FS 80 + RJP 50% + Brise V. 8un + Brise H. 30cm Consumo: <b>1048 kWh</b>
Salvador:	1806	1265	FS 30 + RJP 40% + Brise V. 6un + Brise H. 30cm Consumo: <b>1554 kWh</b>
Belo Horizonte	1772	1241	FS 80 + RJP 40% + Brise V. 4un + Brise H. 20cm Consumo: <b>1235 kWh</b>
			FS 40 + RJP 40% + Brise V. 8un + Sem Brise H. Consumo: <b>1240 kWh</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

A primeira questão propôs que os alunos aprimorassem suas habilidades, visando compreender as interações entre as variáveis da Razão Janela-Parede e o Fator Solar do vidro de controle solar, utilizou-se o valor de 1877 kWh por ser um modelo base com as características de:

- a) Salvador;
- b) Orientação oeste;
- c) Vidro fator solar 70;
- d) RJP 40%;
- e) Sem brise vertical; e

f) Brise horizontal de 10cm.

A compreensão adquirida é crucial, uma vez que a alteração desses parâmetros pode resultar em um consumo energético adequado para a cidade de Salvador.

Na sequência, ao manter o fator solar do vidro, na segunda questão, os alunos foram desafiados a reconhecer que um brise, devidamente modelado e combinado com uma razão Janela-Parede otimizada, pode substituir eficazmente a estratégia de um vidro com fator solar mais baixo. Isso transforma a escolha entre essas estratégias em uma decisão arquitetônica justificável, enfatizando a importância da fundamentação na seleção de estratégias energéticas.

A terceira pergunta foi concebida com o propósito de promover a autonomia dos estudantes, proporcionando uma abordagem aberta que permite diversas respostas. Essa abertura estratégica tem o intuito de estimular os estudantes a explorarem a ferramenta, fomentando o desenvolvimento de um raciocínio estratégico. Ao enfrentar uma questão mais livre, os alunos são desafiados a articular um pensamento crítico sobre quais parâmetros manipular para alcançar os resultados desejados. Este exercício visa não apenas consolidar o conhecimento técnico, mas também cultivar uma abordagem estratégica e adaptativa no processo de simulação e design arquitetônico.

A lista de exercícios finais foi apresentada em uma aula posterior, apresentando um total de 4 perguntas diretas e simplificadas, para um entendimento facilitado da dinâmica entre as variáveis discutidas, como pode-se observar no Quadro 32.

Quadro 32: Perguntas da lista de exercícios.

	<b>Perguntas</b>
<b>1</b>	Na fachada oeste, o brise vertical traz mais benefícios em qual das 3 cidades?
<b>2</b>	Qual cidade é mais beneficiada com o brise horizontal na fachada norte?
<b>3</b>	Qual a diferença percentual da utilização de um vidro com fator solar 50 entre as cidades de Florianópolis e Fortaleza?

<b>4</b>	E entre as cidades de Florianópolis e Belo Horizonte?
----------	---

Fonte: elaborado pelo autor.

Resolução:

1. Para este exercício foram efetuadas seis simulações utilizando como modelo base os seguintes parâmetros:

- a) Fator solar 60;
- b) Orientação oeste;
- c) RJP 60%;
- d) Sem brise vertical; e
- e) Sem brise horizontal;

apresentadas no Quadro 33:

Quadro 33: Resultados do exercício 1

Cidade	Modelo Referência (kWh)	Soluções
Florianópolis	1338	FS 60 + RJP 50% + Brise V. 6un + sem brise H. Consumo: <b>1222 kWh</b>
Salvador:	2162	FS 60 + RJP 50% + Brise V. 6un + sem brise H. Consumo: <b>2049 kWh</b>
Belo Horizonte	1580	FS 60 + RJP 50% + Brise V. 6un + sem brise H. Consumo: <b>1451 kWh</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Com os valores obtidos é possível notar que Belo horizonte é a cidade mais beneficiada nesta configuração obtendo uma redução de 129 kWh enquanto Florianópolis e Salvador obtiveram uma redução de 116 kWh e 113 kWh respectivamente.

2. Com os brises horizontais houve o mesmo procedimento do exercício anterior, estabelecendo-se como parâmetros:

- a) Fator solar 60;
- b) Orientação norte;
- c) RTJP 60%;
- d) Sem brise vertical; e
- e) Sem brise horizontal;

Os resultados obtidos estão dispostos a seguir no Quadro 34:

Quadro 34: Resultados do exercício 2

<b>Cidade</b>	<b>Modelo Referência (kWh)</b>	<b>Soluções</b>
Florianópolis	1402	FS 60 + RJP 50% + sem brise V. + Brise H. 20cm Consumo: <b>1077 kWh</b>
Salvador:	1713	FS 60 + RJP 50% + sem brise V. + Brise H. 20cm Consumo: <b>1599 kWh</b>
Belo Horizonte	1572	FS 60 + RJP 50% + sem brise V. + Brise H. 20cm Consumo: <b>1155 kWh</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se que novamente Belo Horizonte é a cidade mais beneficiada com uma redução de 417 kWh em seu consumo, sendo seguida por Florianópolis com 325 kWh de economia e Salvador com 114 kWh de redução.

3. No terceiro exercício foram necessárias apenas 2 simulações considerando a comparação entre Florianópolis e Salvador, tendo como parâmetros fixos os seguintes:

- a) Fator Solar 50
- b) RJP 50%;
- c) Orientação norte;
- d) Sem brise vertical; e
- e) Sem brise vertical;

obtendo-se os resultados apresentados no Quadro 35.

Quadro 35: Resultados do exercício 3

<b>Cidade</b>	<b>Modelo Base</b>	<b>Resultado</b>
Florianópolis	1565 kWh	1341 kWh
Salvador	1806 kWh	1675 kWh

Fonte: elaborado pelo autor.

Uma redução percentual de 20% é observada nos resultados obtidos com a simulação efetuada.

4. No último exercício deveria ser efetuado o mesmo processo do exercício anterior obtendo-se os valores apresentados no Quadro 36.

Quadro 36: Resultados do exercício 4

<b>Cidade</b>	<b>Modelo Base</b>	<b>Resultado</b>
Florianópolis	1565 kWh	1341 kWh
Belo Horizonte	1772 kWh	1500 kWh

Fonte: elaborado pelo autor.

É observado neste exercício uma economia de 10,6% ao se utilizar um vidro de fator solar 60 nas cidades de Florianópolis e Belo Horizonte, demonstrando assim que a cidade que mais se beneficia do uso de tal vidro é Florianópolis, contudo ainda há bons resultados na cidade de Belo Horizonte.

A atividade buscou utilizar o aplicativo para que os alunos aprimorassem habilidades suas habilidades fundamentais para a simulação de eficiência energética. Com o desenvolvimento de uma autonomia de raciocínio, a fim de que possam em futuras atividades obter objetivos mais complexos em suas simulações.

Mediante uma observação participante, foi possível constatar um domínio conceitual e uma destreza no emprego do aplicativo por parte dos alunos. Nota-se que a solicitação para utilizar o aplicativo foi efetuada em um momento posterior à sessão de aula destinada ao conteúdo teórico, sugerindo que os alunos assimilaram os conceitos abordados e demonstraram proficiência na aplicação prática desses conhecimentos por meio do referido aplicativo. Essa observação permitiu notar que os alunos, após a instrução teórica, foram capazes de aplicar os conhecimentos de forma autônoma e eficiente na resolução prática dos exercícios propostos.

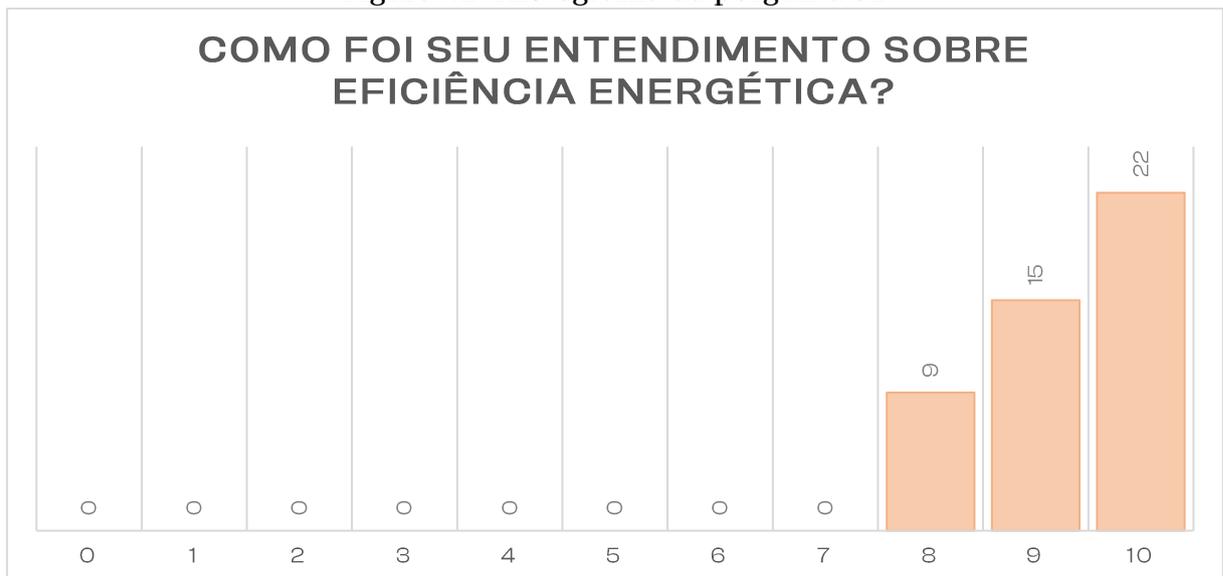
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obteve-se um total de 46 respostas ao longo das 3 atividades efetuadas com os alunos ao longo de 3 semestres. Para o tratamento dos dados foram somadas as respostas de cada semestre, não havendo distinção entre as turmas. O questionário foi efetuado sem alterações, com exceção de uma pergunta (Pergunta 07: A atividade prática colaborou para a compreensão do conteúdo?) a qual foi excluída do último questionário, uma vez que não apresentou variação necessária que justificasse a sua utilização, de toda forma será apresentada no trabalho a fim de registro da pesquisa.

As respostas revelaram uma receptividade favorável ao aplicativo, proporcionando uma perspectiva otimista sobre a integração de ferramentas de simulação no contexto do ensino de futuros profissionais de arquitetura e urbanismo. Este feedback sugere uma apreciação positiva em relação à aplicação prática dessas tecnologias no processo educacional dessas disciplinas.

A primeira pergunta apresentada (Como foi seu entendimento sobre eficiência energética?) (Figura 42) demonstrou um padrão que seria repetido nas questões posteriores.

Figura 42: Histograma da pergunta 01



Fonte: elaborado pelo autor.

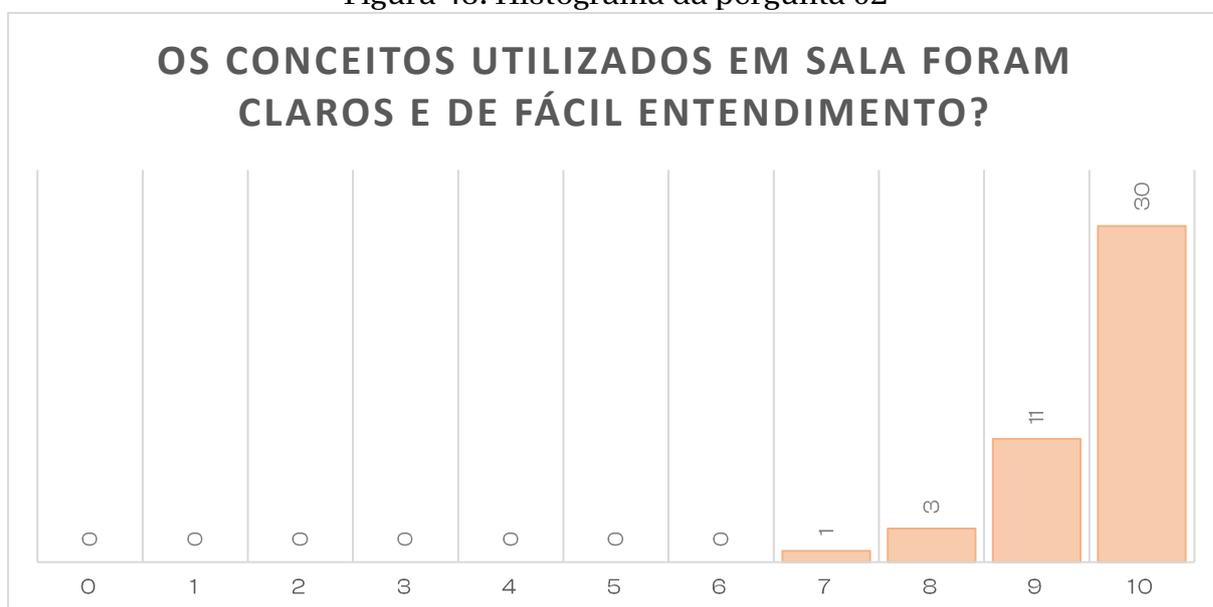
Objetivou-se nesta pergunta entender como o aluno se relaciona com o conceito de eficiência energética após o decorrer da aula ministrada. Para essa

pergunta, as respostas indicaram uma tendência positiva, mostrando que a maioria dos alunos possui um bom entendimento do conceito de eficiência energética.

Na segunda pergunta buscou-se identificar se os alunos foram capazes de entender com clareza o conteúdo ministrado. Para, em caso negativo, desenvolver o processo de ensino.

A pergunta seguinte, sobre a clareza e facilidade de entendimento dos conceitos abordados em sala de aula, obteve resultados promissores, conforme ilustrado na Figura 43, revelando um excelente grau de compreensão.

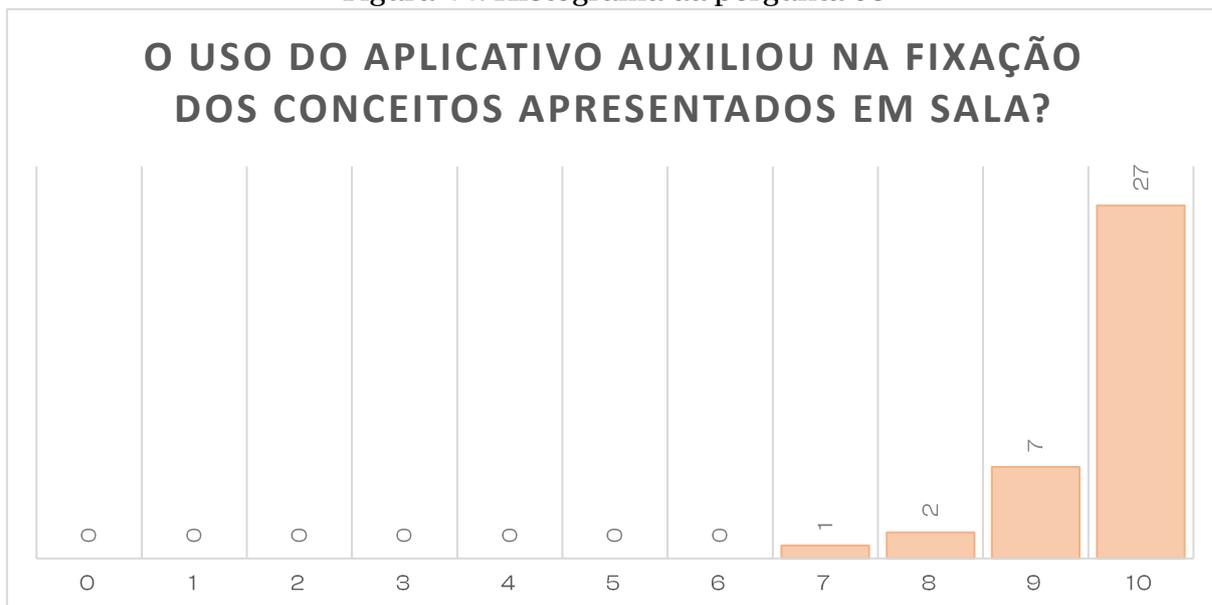
Figura 43: Histograma da pergunta 02



Fonte: elaborado pelo autor.

Observou-se a partir das respostas que os alunos consideraram que os conceitos abordados foram apresentados de forma clara, na terceira pergunta (Figura 44), o objetivo foi investigar se o aplicativo teve algum impacto perceptível nos alunos, estimulando-os a refletir sobre o método aplicado em seu processo de aprendizagem (O uso do aplicativo auxiliou na fixação dos conceitos apresentados em sala?).

Figura 44: Histograma da pergunta 03

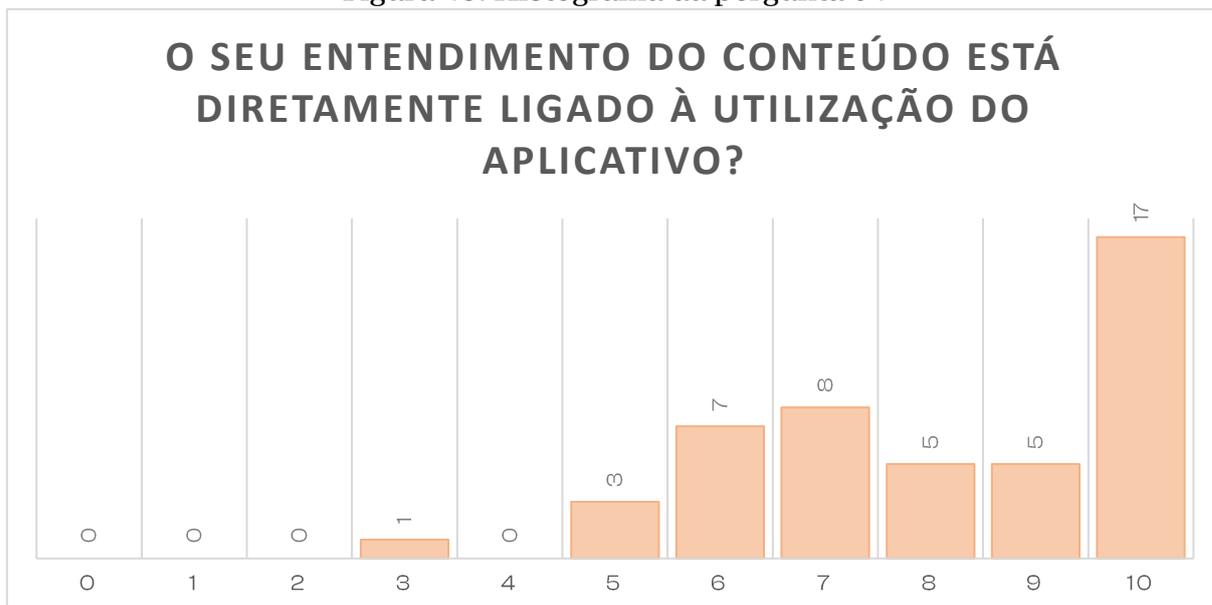


Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados apresentados na Figura 44 revelam que os alunos perceberam o impacto do software em seu processo de aprendizagem, sugerindo uma possível correlação entre o aprendizado de simulação e a utilização da metodologia ativa. No entanto, a quarta pergunta apresentou uma variação considerável nos resultados.

Com o objetivo de complementar a questão anterior, considerando-se que a fixação do conteúdo está ligada ao entendimento, porém são conceitos diferentes, apresentando uma diferença importante ao se tratar do processo de aprendizagem. Os alunos foram indagados se o entendimento do conteúdo estava diretamente relacionado ao uso do aplicativo, a fim de reforçar ou descartar a hipótese levantada sobre a correlação do aprendizado mencionada anteriormente (Figura 45).

Figura 45: Histograma da pergunta 04

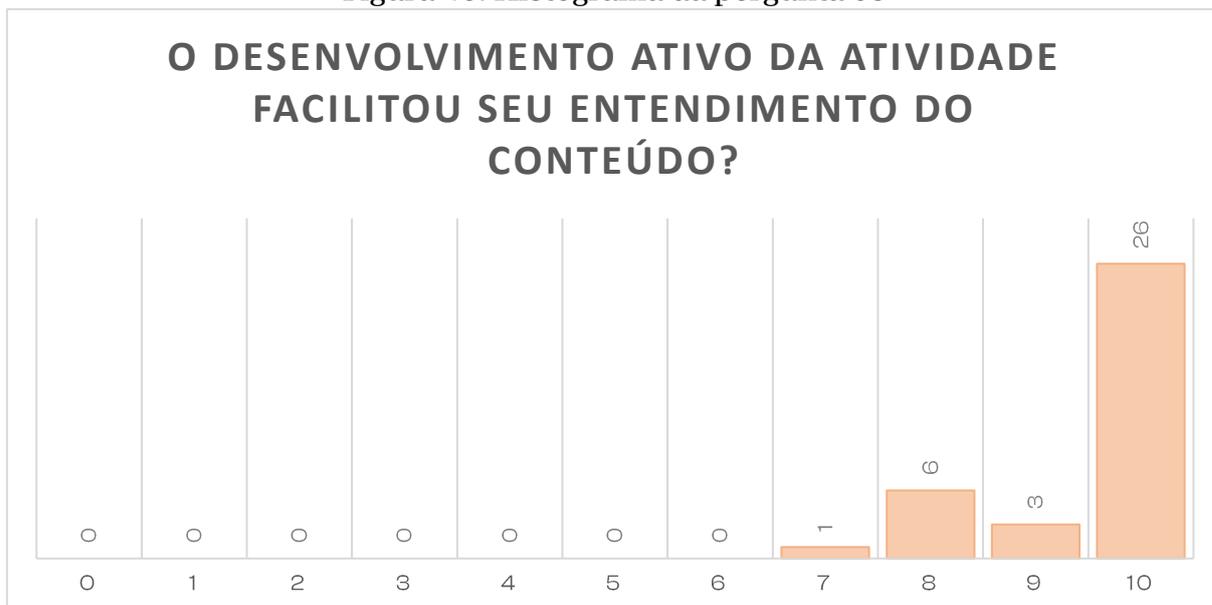


Fonte: elaborado pelo autor.

As respostas revelam uma grande variabilidade de percepção entre os alunos (Figura 45), no entanto, ainda evidenciam um resultado positivo para a tese de que a compreensão do fenômeno está correlacionada à metodologia aplicada. A média de 8,6 na escala de 0 a 10 indica que a maioria dos alunos reconheceu uma relação entre seu aprendizado e o uso do aplicativo. São necessários estudos mais aprofundados para um melhor entendimento do fenômeno, contudo, os resultados preliminares apresentam uma perspectiva promissora para uma continuidade das investigações.

A pergunta seguinte buscou compreender se o entendimento do conteúdo estava de fato vinculado à utilização da ferramenta, uma vez que o processo de aprendizagem abrange uma gama maior de fatores, como a metodologia utilizada na apresentação, a didática do docente, os conhecimentos prévios dos alunos, entre outros (Figura 46).

Figura 46: Histograma da pergunta 05

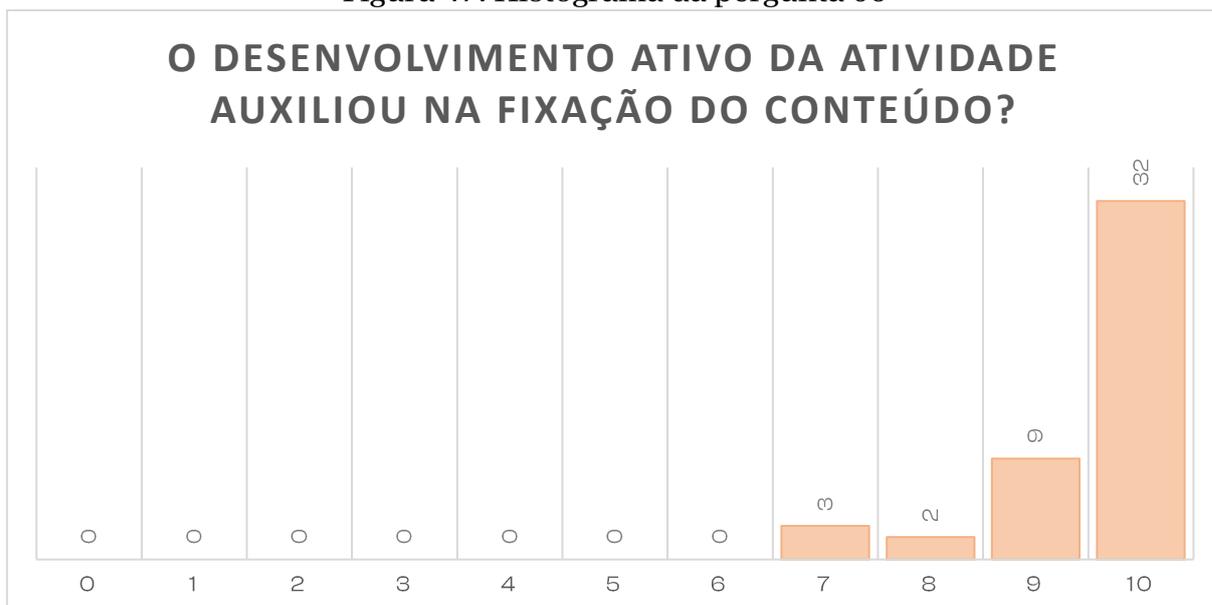


Fonte: elaborado pelo autor.

A análise do histograma revela que os alunos percebem uma melhora em seu aprendizado do conteúdo quando aplicada uma metodologia ativa no ensino de simulação de eficiência energética, demonstrando que pelo entendimento dos alunos a ferramenta causou um efeito positivo no seu desenvolvimento acadêmico.

Em seguida, a pergunta sobre o desenvolvimento ativo da atividade e a fixação do conteúdo (Figura 47) retoma a ideia de reflexão do aluno, buscando compreender se a fixação dos conteúdos foi facilitada com a utilização do aplicativo.

Figura 47: Histograma da pergunta 06



Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados desta pergunta (Figura 47) reforçam a importância da conscientização dos estudantes em relação ao aprendizado ativo, no qual eles participam ativamente do processo. Isso evidencia a capacidade dos alunos em utilizar seu repertório de conhecimentos adquiridos para aplicá-los de forma mais efetiva.

A última pergunta, objetivou compreender todo o processo abordado, abrangendo de certa forma todas as perguntas anteriores, buscando que o aluno revise em sua memória a aula ministrada e assim reflita sobre o que aprendeu. (A atividade prática colaborou para a compreensão do conteúdo?).

As respostas obtidas foram positivas, apresentando um resultado de 100% de aproveitamento por parte do entendimento dos alunos ao desenvolverem a atividade em sala de aula. Contudo, devido à possíveis respostas tendenciosas, uma vez que o questionário foi aplicado logo em seguida à aula, a pergunta não obteve uma recepção adequada para fins estatísticos, portanto está sendo apresentada no trabalho apenas à caráter de registro, não tendo sido utilizada em análises posteriores dos resultados obtidos.

A justificativa aberta da pergunta posterior demonstrou um bom entendimento dos alunos em seu processo de aprendizagem como pode-se identificar na tabela abaixo (Quadro 37).

Quadro 37: Respostas à pergunta 07

<b>Aluno</b>	<b>Resposta</b>
<b>1</b>	“A atividade permitiu compreender, de maneira mais prática, a influência das variáveis trabalhadas no consumo energético da edificação.”
<b>2</b>	“Sim, pois com a atividade prática conseguimos ter mais noção de como os diferentes tipos de vidros e brises afetam a eficiência do sistema”
<b>3</b>	“Quando temos que fazer e justificar nossas escolhas dos vidros e brises a utilizar conseguimos realmente ver quais são melhores para cada tipo de situação”
<b>4</b>	“Aplicativo de fácil utilização, que necessita de um entendimento prévio de conceitos que foram discutidos ao longo da disciplina, possibilitando aplicar de forma prática a relação entre diversas variáveis.”
<b>5</b>	“Todo conteúdo prático ajuda na compreensão da disciplina. Utilizar o aplicativo ajudou a entender as diferenças entre brises, entre cidades e outros fatores. E de uma forma totalmente dinâmica.”

Fonte: elaborado pelo autor.

É possível, a partir das respostas apresentadas, notar a influência da utilização do aplicativo no aprendizado dos alunos demonstrando que uma metodologia voltada à prática pode contribuir para a o ensino de eficiência energética.

Por fim, uma pergunta aberta foi incluída no questionário para que os alunos pudessem expressar suas perspectivas, críticas e pontos positivos em relação à utilização do aplicativo em seu processo de aprendizagem. Os resultados obtidos foram satisfatórios e demonstraram um impacto favorável no desenvolvimento educacional dos alunos. São reproduzidas no Quadro 38 a seguir, algumas das respostas recebidas.

Quadro 38: Respostas à pergunta 08

<b>Aluno</b>	<b>Respostas</b>
<b>1</b>	“Vantagens: facilidade na utilização, fácil compreensão, auxilia na compreensão do conteúdo. Desvantagens: apresentar maior variedade quanto aos brises”
<b>2</b>	“A principal vantagem da utilização do aplicativo se deve à facilidade de alteração das variáveis disponíveis, que permitem ao estudante de graduação obter resultados de simulação sem precisar utilizar nenhum tipo de software.”

3	“Vantagens: pôr em prática o conteúdo, app intuitivo. Desvantagem: talvez meio simplista, mas bom como utensílio didático”
4	“Vantagens: Facilidade de utilização, relação com os conteúdos das aulas, dinâmicas de estudo com os colegas.”
5	“A vantagem é que fica muito mais rápido e prático de simular. Já a desvantagem penso que está mais ligada à limitação do ambiente escolhido para a simulação, pois poderia ter opção de configurar o tamanho do ambiente, materiais etc. para que ficasse mais completo.”

Fonte: elaborado pelo autor.

As respostas obtidas podem sofrer distorções por se tratar de uma coleta de dados aberta, havendo uma tendência de se obter um viés de confirmação, visto que os alunos tendem a responder o que se quer ouvir, porém apesar desta limitação pode-se observar uma tendência positiva nas respostas apresentadas. Os pontos negativos destacados em sua maioria apresentam limitações com relação às funcionalidades do aplicativo, apresentando possíveis encaminhamentos futuros para o seu desenvolvimento mais aprofundado como material didático.

Majoritariamente os discentes apresentaram um bom desempenho no desenvolvimento da atividade, demonstrando um bom aprendizado no seu processo de descobrimento das simulações efetivadas e uma compreensão das variáveis apresentadas, construindo uma base sólida para futuras simulações.

### 5.1 Análise Dos Resultados

Os resultados obtidos demonstram uma boa recepção do aplicativo por parte dos alunos. a partir do questionário, com as respostas positivas. Constatou-se que a utilização correta das ferramentas em conjunto de uma metodologia ativa alinhada com o processo de ensino, permite que os alunos tenham um bom aproveitamento no seu aprendizado. Uma vez que metodologias ativas se apresentam eficazes na melhora da performance dos alunos. E um ferramenta alinhada com o objetivo de ensino facilita o processo iterativo de aprendizagem.

### **5.1.1 Avaliação Aplicação teste**

Este primeiro momento permitiu que os docentes e desenvolvedores aprimorassem a ferramenta para uma aplicação definitiva e mais completa para a avaliação do software. Observou-se que as limitações de visualização, cruzamento de variáveis e usabilidade geral do software impediram um aproveitamento total do aplicativo, implicando em melhorias que foram efetivadas logo após a finalização dos resultados obtidos a partir da pesquisa.

### **5.1.2 Avaliação Atividade 01**

A atividade, visando familiarizar os alunos com as relações de custo-benefício, revelou-se uma ferramenta útil na preparação para atividades subsequentes. Observou-se que os alunos não apenas adquiriram uma compreensão sólida dos cálculos de *payback*, mas também demonstraram proficiência na atividade que explorava a aplicação de brises mistos na linguagem arquitetônica. Essa familiaridade inicial com conceitos econômicos e práticos na arquitetura se revelou valiosa, fornecendo uma base sólida para abordagens mais avançadas nas atividades futuras.

### **5.1.3 Avaliação Atividade 02**

Na segunda atividade desenvolvida já utilizando o aplicativo de forma integral, observou-se uma participação ativa dos alunos, onde foi demonstrado interesse pelo funcionamento do aplicativo, suas funcionalidades e a exploração de suas possibilidades. Demonstrou-se, portanto, que a recepção por parte da turma foi positiva, apresentando uma confirmação de que o desenvolvimento de um aplicativo de fácil acesso e utilização quando bem aplicado e alinhado com a linguagem dos discentes possui um bom grau de transformação no seu processo de aprendizagem.

#### **5.1.4 Avaliação Atividade 03**

A última atividade desenvolvida, com as suas questões mais focadas e com uma intencionalidade mais definida na sua iteração entre a metodologia e a utilização da ferramenta demonstrou uma efetividade na recepção do aplicativo. A participação dos alunos foi intensa, mesmo não tendo sido obrigatório o envio dos resultados por parte dos alunos, foram recebidas as atividades, demonstrando um bom desempenho no aprendizado, com as correções feitas na atividade observou-se um bom entendimento do conteúdo.

## 6. CONCLUSÃO

A presente dissertação teve como objetivo principal o desenvolvimento de um aplicativo de simulação voltado para o ensino em eficiência energética de edificações. Para alcançar esse propósito, foi realizada uma abordagem ativa no ensino, por meio do desenvolvimento do aplicativo didático que visou auxiliar os docentes em sala de aula, proporcionando uma experiência de aprendizagem dinâmica e interativa aos alunos. Durante o processo de pesquisa, foi possível constatar que a questão central abordada neste estudo foi respondida de maneira positiva.

Durante a pesquisa também foi possível identificar uma relação positiva e satisfatória entre os alunos e as tecnologias utilizadas para o seu aprendizado. Além de se mostrarem receptivos às ferramentas disponibilizadas, os estudantes demonstraram um interesse significativo em explorar o aplicativo de forma extracurricular, utilizando-o como um recurso auxiliar na tomada de decisões projetuais. Esse engajamento por parte dos alunos evidenciou um incentivo notável ao aprofundamento do interesse na área de simulação de desempenho térmico em edificações. Essa interação ativa com as tecnologias demonstra não apenas a relevância do aplicativo desenvolvido, mas também a capacidade de despertar nos alunos a curiosidade e o desejo de aprimorar seus conhecimentos e habilidades nessa área específica.

Com os resultados obtidos admite-se que o objetivo geral da pesquisa, de se desenvolver e aplicar um software educacional se apresenta como cumprido, uma vez que a finalização do aplicativo e a aplicação em aula com os alunos se apresentaram satisfatórios.

Dos objetivos específicos:

- a) Indicar o formato de ferramenta computacional mais adequado para uso em sala de aula;

O processo de indicação do formato da ferramenta foi efetuado no período inicial da pesquisa, acontecendo em formato de discussões internas a fim de

dar início ao desenvolvimento do aplicativo já com um objetivo pré-definido. (Item 3.1)

- e) Identificar os temas a serem abordados e exercícios didáticos passíveis de serem realizados em sala de aula;

Os temas a serem abordados com o aplicativo foram definidos já no início do desenvolvimento, juntamente do formato da ferramenta (Item 3.1). Os exercícios a serem aplicados, foram sendo desenvolvidos ao longo da pesquisa, junto do feedback apresentado pelos alunos e a observação dos docentes. (Capítulo 4)

- f) Desenvolver um pacote de exercícios e aplicar a ferramenta em uma turma de alunos de graduação em arquitetura e urbanismo;

O pacote de exercícios se deu ao final dos desenvolvimentos de aplicação com os alunos, ao passo que se obteve uma boa gama de atividades a serem desenvolvidas (Capítulo 4). A aplicação ocorreu ao longo do segundo semestre de 2022 e durante o ano de 2023, e se apresentou satisfatória, gerando bons feedbacks e recepção dos discentes.

- g) Avaliar a percepção dos alunos quanto ao uso da ferramenta de ensino.

A avaliação de percepção dos estudantes ocorreu após a aplicação com os mesmos, uma vez que pode-se obter uma visão mais completa do processo e com uma maior amostragem. Foi possível identificar que o uso da ferramenta foi bem aceito pelos alunos, que demonstraram um bom engajamento nos processos de aprendizagem, demonstrou-se tais resultados a partir de respostas discursivas dos alunos (Item 5.1).

Ao longo do processo de pesquisa foram identificadas algumas limitações que devem ser mencionadas. Primeiramente, devido ao prazo restrito para o

desenvolvimento do aplicativo, nem todas as ferramentas puderam ser incluídas em sua totalidade, sendo apresentado apenas um modelo básico funcional neste trabalho. Além disso, a amostra de estudantes envolvidos na pesquisa foi limitada, uma vez que o estudo foi realizado apenas na turma de sexto período, do primeiro semestre de 2023, na disciplina de Eficiência Energética e Sustentabilidade em Edificações, no curso de graduação em arquitetura e urbanismo da UFSC, restringindo-se ao número de alunos matriculados na disciplina.

Contudo as metodologias pesquisadas desempenharam um papel fundamental no processo de construção das aulas e do aplicativo, fornecendo orientações e facilitando as tomadas de decisão com base em experiências anteriores. Através dessa pesquisa, foi possível ampliar os conhecimentos nessa área específica de estudo, contribuindo para o avanço e aprimoramento do ensino de eficiência energética de edificações.

As experiências e resultados apresentados previamente, demonstram possibilidades de evolução no trabalho, possibilitando explorações metodológicas por diferentes docentes, bem como a utilização do aplicativo desenvolvido em diferentes matérias, com possibilidades versáteis do seu uso. Assim como ampliações e desenvolvimentos posteriores de ampliação das funcionalidades do aplicativo, como a disponibilização de visualizar as variáveis a serem simuladas em tempo real, ampliando a gama de *feedback* visual, facilitando a utilização e a visualização do estudante; a ampliação de opções nos parâmetros definidos, aumentando o banco de dados de simulações; ou até mesmo inserindo novos parâmetros, como a possibilidade de alterar as dimensões da sala, estes foram alguns dos itens solicitados pelos alunos, os quais poderão ser considerados para futuros updates.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Nbr 15220-3. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 16, 2005.

\_\_\_\_. NBR 15575-1. **ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 16, 2021.

AGRA, G. *et al.* Análise do conceito de Aprendizagem Significativa à luz da Teoria de Ausubel. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 72, n. 1, p. 258–265, 2019.

ALGORIZK. **WindTunnel**, 2018.

ALSAADANI, S.; SOUZA, C. B. DE. PERFORMER, CONSUMER OR EXPERT? A critical review of BPS training paradigms for building design decision-making. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 12, n. 3, p. 289–307, 2019.

ALVIM, L. G. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E DO CONFORTO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO VENTILADA NATURALMENTE SEGUNDO AS NORMAS BRASILEIRAS DE DESEMPENHO TÉRMICO E A ASHRAE 55**. [s.l.: s.n.].

ARCARI, E. DO A. A utilização e produção didática de bibliotecas digitais no processo de detalhamento do projeto arquitetônico. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 4, n. 2, p. 4, 2013.

ARGIRO DIMOUDI. Passive Cooling of Buildings. *Em*: SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULOS, D. (Eds.). . **Passive Cooling of Buildings**. 2ª ed. Londres: James & James, 1996a. v. Unicop. 35–54.

\_\_\_\_. Passive Cooling of Buildings. *Em*: SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULOS, D. (Eds.). . **Passive Cooling of Buildings**. 2ª ed. Londres: James & James, 1996b. v. Unicop. 35–54.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15200 : 2004 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento Definições e simbologia**, 2004. (Nota técnica).

BEAUSOLEIL-MORRISON, I.; HOPFE, C. J. TEACHING BUILDING PERFORMANCE SIMULATION THROUGH A CONTINUOUS LEARNING CYCLE Faculty of Engineering and Design , Carleton University , Ottawa , Canada School of

Civil and Building Engineering , Loughborough University , Loughborough , UK. **Building Simulation Conference**, p. 2757–2764, 2015.

BITTENCOURT, L. S.; CÁBUS, R.; TOLEDO, A. M. **Ensino de conforto ambiental: mudanças no enfoque e metodologia** Anais do IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Florianópolis: 1997

BRASIL. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. **Diário Oficial da União**, p. 96, 2013.

BÜTTNER, S. B.; SANTOS, F. M. DE M. Ensino de Conforto Térmico: uma busca por métodos mais integrados com práticas projetuais. *Em: Inovações e tendências no ensino e pesquisa em conforto ambiental e sustentabilidade do ambiente construído*. [s.l: s.n.]. p. 14–25.

CELANI, M. G. C. *et al.* Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 2, p. 7–19, 2006.

COCCO, R. M.; KOZLOSKI, C. L. METODOLOGIAS ATIVAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM EM CURSOS DE ARQUITETURA E URBANISMO. **Pixo**, v. 4, n. 15, p. 142–152, 2020.

CORONA MARTINEZ, A. **Ensaio Sobre o Projeto**. Brasília: UNB, 2000.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instrução Técnica nº 009/2019 Compartimentação Horizontal e Compartimentação Vertical. **Diário Oficial do Estado**, nº 132, de 04 de julho de 2020, 2019.

CRAWLEY, D. B. *et al.* Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. **Building and Environment**, v. 43, n. 4, p. 661–673, 2008.

CROSS, N. **Developments in Design Methodology**. Nova Jersey: John Wiley & Sons Ltd. , 1984.

DELBIN, S. **INSERÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE CONFORTO AMBIENTAL DE EDIFÍCIOS EM ENSINO DE PROJETO ARQUITETÔNICO: PROPOSTA DE METODOLOGIA**. [s.l.] UNICAMP, 2006.

DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. **Design Builder** Stroud (UK), 2005.

DEWEY, J. **Experiência e Educação**. 2 edição ed. São Paulo: Editora Vozes, 2010.

DOLAN, R. J.; MATTHEWS, J. M. Maximizing the Utility of Customer Product Testing: Beta Testing and Management. **Journal of Product Innovation Management**, p. 318–330, 1993.

DOUGIANAS, M. **MoodlePerth** (Australia), 2024.

FERREIRA, A. L.; ACIOLY-RÉGNIER, N. M. Contribuições de Henri Wallon à relação cognição e afetividade na educação. **Educar em Revista**, n. 36, p. 21–38, 2010.

FISCARELLI, D. M.; RODRÍGUEZ, L. G. Didáctica de la arquitectura (re) visitando el taller en clave pedagógica. **I2 Innovación e Investigación en Arquitectura y Territorio**, v. 8, n. 2, p. 117, 2020.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia**. 25. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996. v. 1

GADOTTI, M. **Histórias das Ideias Pedagógicas**. São Paulo: Editora Ática, 2005.

GENTILE, N.; KANTERS, J.; DAVIDSSON, H. **Teaching Building Performance Simulations by using a Control Method** Proceedings of Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA. **Anais...IBPSA**, 23 mar. 2020

GOOGLE. **Google Classroom** Mountain View (EUA), 2024a.

\_\_\_\_. **Blackboard**, 2024b.

GRALA DA CUNHA, E. **Brise-soleil: da estética à eficiência energética** **Arquitextos** São Paulo Vitruvius, , abr. 2011.

GUARDA, D. *et al.* Validação de instrumento de avaliação da metodologia ativa de sala de aula invertida. **Educação e Pesquisa**, v. 49, p. 0–3, 2023.

GÜZELÇOBAN MAYUK, S.; COŞGUN, N. Learning by Doing in Architecture Education: Building Science Course Example. **IJEAD Education in Architecture and Design IJEAD International Journal of Education in Architecture and Design**, v. 1, n. 1, p. 2–15, 2020.

HONG, T.; CHOU, S. K.; BONG, T. Y. Building simulation: An overview of developments and information sources. **Building and Environment**, v. 35, n. 4, p. 347–361, 2000a.

\_\_\_\_. Building simulation: An overview of developments and information sources. **Building and Environment**, v. 35, n. 4, p. 347–361, 2000b.

KAHOOT! **Kahoot**Trondheim (Noruega), 2024. Disponível em: <<https://kahoot.com/>>

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.

KUMARASWAMY, S. B.; WILDE, P. DE. SIMULATION IN EDUCATION: APPLICATION IN ARCHITECTURAL TECHNOLOGY DESIGN PROJECTS. **14th Conference of International Building Performance Simulation Association**, n. Ciat, p. 2773–2780, 2015.

LABEEE. **Analysis SOL-AR**FlorianópolisLABEEE, , 2009.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; FERNANDO OSCAR RUTTKAY PEREIRA. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2<sup>2</sup> edição revisada ed. São Paulo: Pro Livros, 2004. v. Unico

LEITE, M. A. D. F. D. **A Aprendizagem Tecnológica do Arquiteto**. [s.l.] Universidade de São Paulo - USP, 2005.

LIMA, N. M. L.; DEBIAZI, P. R. **FERRAMENTAS DIGITAIS PARA O ENSINO DA ARQUITETURA E URBANISMO ORIENTADOS PELO CLIMAXV** Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído & XVI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**João Pessoa: 2019

LOVATO, F. L. *et al.* Metodologias Ativas de Aprendizagem: uma Breve Revisão. **Acta Scientiae**, v. 20, n. mar./abr., p. 154–171, 2018.

MAIER, S. *et al.* **DESENVOLVIMENTO DE UM OBJETO DE APRENDIZAGEM VIRTUAL**Anais do XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...**Porto Alegre: ANTAC, 2016

MALHEIROS, B. T. **Metodologia da Pesquisa na Educacao**. 1<sup>a</sup> ed. [s.l.] LTC Editora, 2011.

MARSH, A. **SUNTOOL v1.10 - Window Shading and Overshadowing**Perth (Australia), 2001.

\_\_\_\_. **Andrew Marsh Software Development**. Disponível em: <<https://andrewmarsh.com/software/>>.

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.

MATTANA, L. *et al.* Interações da tectônica no ensino de projeto de arquitetura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 12, p. e021008, 2021.

MAZZARELLA, L.; PASINI, M. Building energy simulation and object-oriented modelling: Review and reflections upon achieved results and further developments. **IBPSA 2009 - International Building Performance Simulation Association 2009**, p. 638–645, 2009.

MME. **PROJETEEE**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/projeteee/>>. Acesso em: 6 dez. 2023.

MORBITZER, C. *et al.* Integration of Building Simulation Into the Design Process of an Architecture. **Seventh International IBPSA Conference**, p. 697–704, 2001.

MOREIRA, D. D. C.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; BELTRAMIN, R. M. G. DINÂMICAS QUE ENSINAM: A METODOLOGIA DE PROJETO NO ENSINO DE ARQUITETURA. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 11, n. 1, p. 55–69, 2016.

MOREL CORREA, S.; ANZOLCH, R.; PEDROTTI, R. **Brise-soleil: principios y transformación en la obra de Le Corbusier** Universitat Politecnica de Valencia, 22 mar. 2016

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL). **Energy Plus**, 2022.

NORMAN, F. **Towards a Paperless Studio**. [s.l: s.n.].

OLIMPIO, M. L. V. *et al.* Projeto De Ensino Casa Sustentável No Semiárido Potiguar Para O Atendimento De Metas De Desempenho Ambiental. **Qualidade e Sustentabilidade na Construção Civil**, n. 1, p. 49–59, 2021.

ØSTERGÅRD, T.; JENSEN, R. L.; MAAGAARD, S. E. Early Building Design: Informed decision-making by exploring multidimensional design space using sensitivity analysis. **Energy and Buildings**, v. 142, p. 8–22, 2017.

OSTROWSKA-WAWRYNIUK, K.; STRZAŁA, M.; SŁYK, J. Form Follows Parameter: Algorithmic-Thinking-Oriented Course for Early-stage Architectural Education. **Nexus Network Journal**, v. 24, n. 2, p. 503–522, 2022.

PILLETI, N.; ROSSATO, S. M. **Psicologia da Aprendizagem: Da teoria do condicionamento ao construtivismo**. São Paulo: Contexto, 2018.

PROJETEEE. **Glossario**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/projeteee/glossario/zoneamento-bioclimatico-brasileiro/>>. Acesso em: 7 dez. 2023.

QUIZIZZ INC. **Quizizz**Bangalore (India), 2024. Disponível em: <<https://quizizz.com>>

RABENSEIFER, R. **TEACHING BUILDING PERFORMANCE SIMULATION USING GENERIC SIMULATION MODEL**14th Conference of International Building Performance Simulation Association. **Anais...**Hyderabad (India): 2015

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo: Editora Zigurare, 2000.

REINHART, C. F. *et al.* **LEARNING BY PLAYING-TEACHING ENERGY SIMULATION AS A GAME**. **Proceedings of Building Simulation**, nov. 2011.

ROMCY, N. M. E S.; CARDOSO, D. R. A introdução da abordagem paramétrica no ensino de projeto arquitetônico: relato de uma experiência. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019018, 2019.

ROSSETI, K. DE A. C.; JUNIOR, E. N. R.; COX, E. P. Metodologia ativa aplicada ao ensino integrado de Conforto Lumínico e Arquitetura de Interiores. *Em: Inovações e tendências no ensino e pesquisa em conforto ambiental e sustentabilidade do ambiente construído*. [s.l: s.n.]. p. 38–47.

SANTOS, E. T. *et al.* **RELATO DE EXPERIÊNCIA DE ENSINO DE BIM EM DISCIPLINA INTRODUTÓRIA DE CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**Porto Alegre: ANTAC, 2016

SCHIANO-PHAN, R.; GONÇALVES, J. C. S.; VALLEJO, J. A. Pedagogy Pro-Design and Climate Literacy: Teaching Methods and Research Approaches for Sustainable Architecture. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 11, p. 1–28, 2022.

SLAVIN, R. E. Using Student Team-Learning. The Johns Hopkins Team Learning Project. **Johns Hopkins University, Center for Social Organization of Schools.**, 1978.

SOEBARTO, V. **Evaluation of the use of building performance simulation for architectural design studio projects**Building Simulation Conference

Proceedings. **Anais...International Building Performance Simulation Association**, 2019

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

STRETSENKO, A. Teoria do método e filosofia da prática de Vygotsky: implicações para metodologia trans/formativa. **Educação**, v. 39(4), n. 2, p. s32–s41, 2016.

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.

SUH, W.; PARK, C.; KIM, D. Application of a whole building simulation tool for a real-life building - Department of Architectural Engineering , SungKyunKwan University , Suwon , South Korea. **Proceedings of Building Simulation: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association**, p. 712–719, 2011.

TAILLE, Y. DE LA; OLIVEIRA, M. K. DE; DANTAS, H. **Piaget, Vigotsky, Wallon: Teorias psicogenéticas em discussão**. 2. ed. São Paulo: Summus, 2019.

TAN, O. SENG. **Problem-based learning innovation : using problems to power learning in the 21st century**. Singapura: Cengage Learning Asia, 2003.

THUMÉ, H. P.; UREN, F. H. O Construtivismo Em Piaget E Sua Relação Com O Ensino De Projeto De Arquitetura. **Projetar**, n. 1, 2003a.

\_\_\_\_\_. O Construtivismo Em Piaget E Sua Relação Com O Ensino De Projeto De Arquitetura. **Projetar**, n. 1, 2003b.

UNWIN, S. **Analysin Architecture**. Londres: Routledge, 2009. v. 1

WESTPHAL, F. **Vidros de controle solar**. Disponível em: <[https://arq5658.paginas.ufsc.br/files/2012/03/a4\\_vidros.pdf](https://arq5658.paginas.ufsc.br/files/2012/03/a4_vidros.pdf)>.

WINDFINDER. **WindFinder**. Disponível em: <<https://pt.windfinder.com/>>. Acesso em: 5 dez. 2023.

XAVIER, A. C. DE A. *et al.* Visualização da ventilação natural em ensaios na mesa d'água comparado a simulações computacionais. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, 2020.

XIANG, X. *et al.* A comprehensive model of teaching digital design in architecture that incorporates sustainability. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 1–29, 2020.

**APENDICE A – QUESTÕES APLICADAS AOS ALUNOS**

1. Como foi seu entendimento sobre eficiência energética?
2. Os conceitos utilizados em sala foram claros e de fácil entendimento?
3. O uso do aplicativo auxiliou na fixação dos conceitos apresentados em sala?
4. O seu entendimento do conteúdo está diretamente ligado à utilização do aplicativo?
5. O desenvolvimento ativo da atividade facilitou sua compreensão do conteúdo?
6. O desenvolvimento ativo da atividade auxiliou na fixação do conteúdo?
7. A atividade prática colaborou para a compreensão do conteúdo?
8. Justifique a resposta anterior.
9. Quais as vantagens e desvantagens da utilização do aplicativo na sua aprendizagem?
10. Quais melhorias o aplicativo poderia ter para um melhor aproveitamento em sala de aula?

## APÊNDICE B – RESPOSTAS DISCURSIVAS DOS ALUNOS NA ÍNTEGRA

### 1 Primeira Aplicação:

Pergunta: Quais as vantagens e desvantagens da utilização do aplicativo na sua aprendizagem? (Quadro 39)

Quadro 39: Respostas à primeira pergunta discursiva do questionário

Aluno	Resposta
1	Acho que conforme o aplicativo for crescendo vai ser perfeito, ainda está bem no começo e não deu para pesquisar muito, mas em geral foi muito interessante para reforçar o aprendizado
2	Apenas vantagens, ajudou a entender melhor sobre conceitos que ainda não estavam claros para mim, como o WWR e o fator solar dos vidros na prática
3	Entendimento concreto dos parâmetros, facilidade no entendimento.
4	Considero que o aplicativo auxilia graficamente no entendimento dos conceitos abordados.
5	Poder ver de forma prática e clara como cada fator auxilia ou atrapalha a redução do consumo de energia. Entendimento muito mais simples do que uma aula teórica
6	Melhor entendimento do conteúdo
7	Ajudou na fixação do conteúdo, visto que alguns conceitos estavam um pouco confusos.
8	Dá para visualizar melhor os conceitos da eficiência
9	Vantagens: rápida simulação de fácil controle e compreensão didática Desvantagens: impossibilidade de mesclar brises verticais e horizontais
10	O aplicativo ajudou a fixar os conceitos trabalhados nas aulas teóricas.
11	Não vejo desvantagens, e as vantagens são que cada caso nos ajuda a entender melhor o conteúdo de forma mais prática do que a teoria vista em sala.
12	Vantagem ver na prática as mudanças. Desvantagem: parâmetros muito limitados e pouca margem para diferenciação.
13	Vantagem: aplicativo simples, prático e objetivo. Desvantagem: impossibilidade de mesclar brises horizontais e verticais.
14	Acredito que ajuda a compreender melhor a parte prática da disciplina, além de ser uma forma mais prática de testar as possibilidades. A desvantagem seria utilizar o software sem antes compreender a teoria envolvida.
15	Ele ajuda a visualizar, compreender e fixar a matéria
16	Praticidade e agilidade na comparação de resultados

17	Creio que não há desvantagens. Acredito que pela experiência prática e a experimentação o app só traz vantagens ao aprendizado e fixação do conteúdo.
18	Releva uma experiência prática e real

Fonte: elaborado pelo autor.

Pergunta: Quais melhorias o aplicativo poderia ter para um melhor aproveitamento em sala de aula? (Quadro 40)

Quadro 40: Respostas à segunda pergunta discursiva do questionário

Aluno	Resposta
1	Quais melhorias o aplicativo poderia ter para um melhor aproveitamento em sala de aula?
2	Respondido na anterior
3	Salvar os dados das simulações com o valor final
4	Mostrar mais simulações simultâneas na comparação, e uma legenda com os parâmetros analisados
5	A possibilidade de salvar os dados.
6	
7	
8	A possibilidade de salvar dados e fazer várias simulações simultâneas.
9	
10	Melhoria no brise e mais gráficos para simulação
11	O aplicativo poderia gravar os resultados e manter um histórico das simulações feitas
12	
13	Salvar mais resultados e possibilitar mais alterações no projeto.
14	Possibilidade de mesclar brises horizontais e verticais e mais opções de simulação.
15	Seria interessante conter mais fachadas, já que na realidade nem sempre temos a possibilidade de focar nos cardeais.
16	
17	Seria interessante uma interface mais visual, que apresentasse por exemplo as dimensões dos brises, e a possibilidade de analisar como a geometria do edifício influenciara (como edifícios curvos, por exemplo. Um histórico de análises também seria muito útil, podendo regressar facilmente a tentativa anteriores com um clique.
18	Poderia ter mais opções de cidades do Brasil.

Fonte: elaborado pelo autor.

## 2 Segunda Aplicação

Pergunta: Quais as vantagens e desvantagens da utilização do aplicativo na sua aprendizagem? (Quadro 41)

Quadro 41: Respostas à primeira primeira discursiva do questionário

Aluno	Respostas
1	Vantagens: facilidade na utilização, fácil compreensão, auxilia na compreensão do conteúdo. Desvantagens: apresentar maior variedade quanto aos brises
2	A principal vantagem da utilização do aplicativo se deve à facilidade de alteração das variáveis disponíveis, que permitem ao estudante de graduação obter resultados de simulação sem precisar utilizar nenhum tipo de software.
3	Tem a vantagem de aplicar conceitos em um exercício prático.
4	Vantagem: compreender qual melhor estratégia para diminuir o consumo em diferentes cidades. Desvantagem: Não mostrar como o consumo se altera durante o ano.
5	.
6	Vantagens: pôr em prática o conteúdo, app intuitivo. Desvantagem: talvez meio simplista, mas bom como utensílio didático
7	É um aplicativo que relaciona a partir dos dados que tem! acho que uma desvantagem é a interface não ter uma comparação simultânea com outras cidades
8	Vantagens: Facilidade de utilização, relação com os conteúdos das aulas, dinâmicas de estudo com os colegas.
9	Vantagens eu acredito que seja a dinâmica e prática em absorver o conteúdo.
10	A vantagem é que fica muito mais rápido e prático de simular. Já a desvantagem penso que está mais ligada à limitação do ambiente escolhido para a simulação, pois poderia ter opção de configurar o tamanho do ambiente, materiais etc. para que ficasse mais completo.

Fonte: elaborado pelo autor.

Pergunta: Quais melhorias o aplicativo poderia ter para um melhor aproveitamento em sala de aula? (Quadro 42)

Quadro 42: Respostas à segunda pergunta discursiva do questionário

Aluno	Respostas
1	
2	O aplicativo poderia permitir reiniciar as simulações sem precisar reabrir a página.

3	
4	Outras Fachadas, permitir retirar um gráfico produzido, sem ter que reiniciar o sistema.
5	talvez a possibilidade de excluir algumas simulações isoladas (apenas uma coluna do gráfico) que não deram certo para deixar o gráfico mais "limpo", sem a necessidade de recomeçar tudo
6	Não sei
7	O aplicativo é bem programado, intuitivo e de fácil uso, o que facilita a navegação e compreensão dos dados.
8	Aumentar a capacidade de dados, opção de limpar os resultados na tela para continuar mexendo (quanto mais fazemos, a tela vai ficando lotada e a visualização fica difícil).
9	Talvez acrescentar mais localizações e mais opções de brises, angulações, materiais. Acredito que tudo isso poderia enriquecer ainda mais o aplicativo. Talvez, criar uma aba com parâmetros para o próprio usuário criar o seu material, com base em informações de fabricantes.
10	mencionado na resposta anterior

Fonte: elaborado pelo autor.

### 3 Terceira Aplicação

Pergunta: Quais as vantagens e desvantagens da utilização do aplicativo na sua aprendizagem? (Quadro 43)

Quadro 43: Respostas à primeira pergunta discursiva do questionário

Aluno	Respostas
1	Eu achei a interface bem bonita e simples, e no geral bem fácil de mexer. O, porém é que conforme pegamos mais dados eles ficam acumulados na tela e fica um pouco confuso. Talvez seja legal ele montar uma planilha com os dados para a gente conferir mais visualmente ou dando até a oportunidade de exportar essa planilha do site para nosso computador e com eles já na planilha fazermos as contas direto ali. Fica a ideia.
2	A vantagem do aplicativo é a otimização de tempo de trabalho e a possibilidade de comparação rápida de diferentes alternativas para determinadas regiões. Não vejo desvantagens.
3	Vantagem de visualizar resultados de demanda de energia que são relacionados diretamente com as escolhas de projeto.
4	Visualização dos efeitos diretos da proteção solar é extremamente vantajosa
5	Muito prático. Achei um aplicativo fácil de usar e demonstrar as diferenças de um vidro para outro de uma forma mais fácil
6	Vantagens: visualização e comparação dos diferentes parâmetros

7	Como vantagem o que citei acima, deixa a aula mais dinâmica e interessante. A desvantagem seria mais caso alguém não tivesse algum aparelho para usar, mas acho difícil.
8	acredito que não há desvantagens pois é um auxílio na agilidade de cálculo
9	A vantagem é que os alunos podem ter contato com uma ferramenta simplificada que utiliza os dados do EnergyPlus para posteriormente, quem sabe, trabalharem com o software com conhecimento prévio de como os dados são gerados, além de poderem utilizar o aplicativo para realizarem simulações nas disciplinas de projeto arquitetônico. Sobre as desvantagens não há nada a comentar.
10	Desvantagem nenhuma e a vantagem além de facilitar a aprendizagem futuramente na hora de estudar essas estratégias dentro do projeto ter uma forma mais fácil de fazer as comparações
11	A vantagem é que é possível uma análise dos cálculos de maneira mais simplificada ajudando na escolha do melhor vidro para a fachada. Desvantagem é que o cálculo é um valor aproximado, mas não exato caso mude a área do ambiente ou número de itens e pessoas dentro do ambiente.
12	Vantagens: melhor velocidade para comparação e entendimento do sistema. Desvantagem: não verifiquei nenhuma
13	Não houve nenhuma desvantagem. A vantagem maior é auxiliar na fixação do conteúdo aprendido em aula.
14	Acredito que de vantagem é ter um auxílio rápido ali em mãos na hora de responder uma atividade e fazer as comparações entre regiões diferentes do país, agora em relação a desvantagem acho que talvez o aplicativo ter uma interface melhor para mexer no celular.
15	Melhor visualização do conteúdo
16	Creio ser muito útil ao comparar os efeitos das escolhas projetuais.
17	Acredito que, acompanhado do estudo da parte teórica, a utilização do aplicativo só tem a agregar, e facilitar a etapa de projeção.
18	Vantagens: promove agilidade às análises, facilita a compreensão e oferece vários cenários. Desvantagens: poucas variáveis de opção em alguns campos, necessita de compreensão prévia, pois não dispõe de explicações no próprio app.

Fonte: elaborado pelo autor.

Pergunta: Quais melhorias o aplicativo poderia ter para um melhor aproveitamento em sala de aula? (Quadro 44)

Quadro 44: Respostas à segunda pergunta discursiva do questionário

Aluno	Respostas
1	Citei na pergunta anterior.
2	Acredito que o aplicativo poderia oferecer simulações com mais opções de vidros, já que não contempla a diversidade do mercado atual

3	Organizar melhor os resultados das simulações. Quando feita mais de uma, cria-se dificuldade em consultar simulações anteriores.
4	Projeção das sombras criadas pelos brises
5	As vezes eles não abriam no computador ou no celular. Nem reabrindo.
6	Aplicativo excelente! A única melhoria a meu ver seria o desenvolvimento de uma interface para celular, ficou complicadinho de fazer no celular!
7	Acho que ser mais fluido e intuitivo, mas já achamos ótimo como estava.
8	
9	Acredito que a interface onde mostra-se os resultados da simulação pode ser diagramada para aparecer na horizontal e assim os números serem maiores para facilitar a leitura.
10	
11	Uma melhoria seria acrescentar novos ambientes, não só corporativos, mas também residenciais.
12	Tive dificuldade em relação a utilização do aplicativo pois ele não salvava as simulações anteriores, isso poderia ser alterado.
13	O aplicativo quando utilizado pelo celular, pelo menos no meu, não funcionou. Nem sempre os alunos trazem consigo notebook para a aula...
14	Como eu pontuei anteriormente, acho que uma interface mais bem voltada para o uso no celular, onde a tabelinha de comparação possa aparecer mais clara com as informações.
15	diagramação própria para o celular
16	
17	Poder ter os dados disponíveis, não apenas quando passa o mouse.
18	Colocar algum ponto de interrogação ao lado das opções que, ao passar o mouse por cima, ou clicar, dê uma breve explicação sobre o que está sendo selecionado, conferindo praticidade a quem está revisitando o site após muito tempo. Ex: Ao lado da escolha do FS colocar a definição de fator solar, além de uma ilustração de que quanto maior o fator solar do vidro, mais calor será transmitido etc.

Fonte: elaborado pelo autor.