

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
DOUTORADO CIDADES  
LINHA DE PESQUISA: TECNOLOGIAS

NÁDIA MILENA DA SILVA BARBOSA

**A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM ILUMINAÇÃO NATURAL:  
UMA AVALIAÇÃO DA USABILIDADE DE SOFTWARE**

Maceió

2021

NÁDIA MILENA DA SILVA BARBOSA

**A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM ILUMINAÇÃO NATURAL:  
UMA AVALIAÇÃO DA USABILIDADE DE SOFTWARE**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Doutorado Cidades, Linha de Pesquisa: Tecnologias, da Universidade Federal de Alagoas como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús

Maceió

2021

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

B238s Barbosa, Nádia Milena da Silva.

A simulação computacional em iluminação natural : uma avaliação da usabilidade de *software* / Nádia Milena da Silva Barbosa. – 2021.  
191 f. : il. color.

Orientador: Ricardo Carvalho Cabús.

Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 162-175.

Apêndices: f. 176-191.

1. Iluminação natural. 2. Simulação computacional. 3. Usabilidade de *software*. 4. Heurística. I. Título.

CDU: 72.011.22+004.414.23

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
DOUTORADO CIDADES  
LINHA DE PESQUISA: TECNOLOGIAS

Nádia Milena da Silva Barbosa

A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM ILUMINAÇÃO NATURAL:  
UMA AVALIAÇÃO DA USABILIDADE DE SOFTWARE

Tese aprovada em 30/07/2021.


BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús – UFAL  
Orientador - Presidente


---

Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa – UFAL  
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente  
 Juliana Oliveira Batista  
Data: 16/08/2021 22:40:02-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>


---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Juliana Oliveira Batista – UFAL  
Examinadora Interna

Documento assinado digitalmente  
 Eliana Silva de Almeida  
Data: 10/08/2021 16:31:40-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>


---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Eliana Silva de Almeida – UFAL  
Examinadora Convidada

Documento assinado digitalmente  
 Aldomar Pedrini  
Data: 11/08/2021 08:32:12-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Aldomar Pedrini – UFRN  
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente  
 Victor Figueiredo Roriz  
Data: 23/08/2021 17:10:04-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Victor Figueiredo Roriz – USP  
Examinador Externo



## AGRADECIMENTOS

Este é um projeto realizado com a valiosa colaboração de todos a quem eu agradeço. Ao meu orientador, Ricardo Cabús, pela confiança que tivemos no trabalho um do outro. Aos membros do Grilu, pelas contribuições. À Lidiane, pelo apoio e atenção. À Natasha e à Lara, pela dedicação em contribuir durante a pesquisa.

A todos do PPGAU da UFAL: os professores, os colegas de turma e os funcionários da secretaria. À Luciane, pela presteza e atenção. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), pelo fomento.

Aos membros da banca: Aldomar Pedrini, Victor Roriz, Eliana Almeida, Juliana Oliveira e Ricardo Victor Barbosa, pelas contribuições na construção da tese.

Aos amigos que fiz durante o doutorado: Danielle Lamenha, pela sensibilidade do ponto de vista nos mais variados assuntos, e Pedro Ribeiro, pela generosidade genuína em ajudar. O apoio de vocês vai além da pesquisa.

Aos meus amigos: Carol, Wallace, Nanda, Mary, Emerson (Malungo) e Elthon, pela torcida e por me fazerem mais feliz.

À minha família, que é uma benção para mim. Meus pais: Osvaldo e Maria, minhas irmãs: Karine e Lidianne e o Nick. O amor de vocês renova a minha fé e me motiva a seguir. Este projeto, que é nosso, está concluído.

À Nossa Senhora, a São José, ao meu anjo da guarda e à Santa Teresinha, por intercederem por mim. A Nosso Senhor Jesus Cristo e ao Espírito Santo, por terem me conduzido e abençoado com a conclusão do doutorado, que eu dedico a Deus.

*Conhece-te a ti mesmo [...]*

*(Aforismo encontrado no templo de Apolo  
em Delfos. Autor desconhecido).*

## RESUMO

Os softwares de simulação da iluminação natural apresentam características específicas em relação ao algoritmo empregado, à entrada e saída de dados e ao processamento. A precisão dos resultados tem sido um ponto em comum no desenvolvimento dessas ferramentas computacionais. A confiabilidade dos dados gerados é um dos fatores que influenciam na escolha do usuário, bem como a interação com o software, o que confere à interface um papel fundamental. A avaliação da qualidade de software pode incidir sobre os requisitos funcionais, não funcionais e de desempenho. Esta tese tem o objetivo de avaliar a usabilidade de softwares de simulação da iluminação natural e, nessa perspectiva, propor um conjunto de heurísticas para auxiliar o usuário na tomada de decisão sobre softwares. A percepção do usuário sobre a usabilidade foi identificada por meio do questionário aplicado em uma amostra do universo da pesquisa. Para a análise estatística, utilizou-se os métodos da relação e da comparação entre proporções, realizados através do teste de Kruskal Wallis e Dunn's e do teste do Qui-quadrado. Os resultados dessa etapa apontam que os aspectos que versam sobre eficiência, segurança, memorização e satisfação estão presentes nos softwares avaliados. Entretanto, a facilidade de uso e a facilidade de aprendizado não são comuns a todos. Verificou-se a prática de uso de softwares em pesquisa por meio do levantamento de dados bibliográficos em artigos científicos. Foram averiguados itens referentes à simulação computacional, tais como: dados de entrada, processamento e dados de saída. Na análise estatística, optou-se pelo cálculo da média e a comparação entre proporções. Constatou-se um incremento no uso da simulação computacional na última década e foram apontadas com tendências a simulação em malha e a utilização de métricas atualizadas. O uso de *plug in* para a integração do software à plataforma BIM foi observado. Para a proposição do conjunto de heurísticas, utilizou-se os resultados estatísticos do questionário. A avaliação da eficácia das heurísticas foi realizada através do grupo focal. Adotou-se o método qualitativo da análise de conteúdo. As inferências basearam-se no cálculo das proporções e na regra da direção. O conjunto de heurísticas está ancorado em um contexto específico e o método empregado para a sua concepção pode ser utilizado em outras áreas. A análise das interfaces, por meio da avaliação da usabilidade, fomenta os usuários com informações que estão para além da confiabilidade dos dados, mas que incluem esse aspecto em um conjunto que visa revelar também a qualidade da interação do usuário com o software.

Palavras-chave: Iluminação Natural. Simulação Computacional. Usabilidade. Heurísticas.



## ABSTRACT

The daylighting simulation software has specific characteristics in relation to the usage algorithm, data input and output and processing. The accuracy of the results has been a common point in the development of this computational tools. The reliability of the generated data is one of the factors that influence the user's choice, as well as the interaction with the software, which gives the interface a fundamental role. Software quality assessment can focus on functional, non-functional and performance requirements. This thesis aims to evaluate the usability of daylighting simulation software and, in this perspective, to propose a set of heuristics to assist the user in making software decisions. The user's perception of usability was identified through a questionnaire applied to a sample of the research universe. For statistical analysis, we used the methods of relation and comparison between proportions, performed using the Kruskal Wallis and Dunn's test and the Chi-square test. The results of this stage show that the aspects that deal with efficiency, safety, memorization and satisfaction are present in the evaluated software. However, facility of use and facility of learning are not common to everyone. The practice of using software in research was verified through the collection of bibliographic data in scientific articles. Aspects related to computer simulation were investigated, such as: input data, processing and output data. In the statistical analysis of the results, we opted for calculating the average and comparing proportions. There was an increase in the use of computer simulation in the last decade and trends were pointed out to mesh simulation and the use of annualized metrics. The use of plug in for software integration to the BIM platform was observed. To propose the set of heuristics, the statistical results of the questionnaire were used. The evaluation of the effectiveness of the heuristics was carried out through the focus group. The qualitative method of content analysis was adopted. The inferences were based on the calculation of proportions and on the driving rule. The set of heuristics is anchored in a specific context and the method used for its conception can be used in other areas. The analysis of the interfaces, through the usability assessment, provides users with information that goes beyond the reliability of the data, but which includes this aspect in a set that also aims to reveal the quality of the user's interaction with the software.

Keywords: Daylighting. Computer Simulation. Usability. Heuristics.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxograma das fases da pesquisa. ....	22
Figura 2: Fluxograma do processo de decisão para o uso de software de simulação da luz natural durante a fase de projeto. ....	26
Figura 3: Metas de usabilidade (dentro do círculo) e metas de experiência de uso (sobre a circunferência). ....	47
Figura 4: Os três níveis de métricas de qualidade de software. ....	56
Figura 5: Fluxograma das fases do método de pesquisa do objetivo 1. ....	58
Figura 6: Fluxograma das fases do método de pesquisa do objetivo 2. ....	96
Figura 7: Fluxograma das fases do método de pesquisa do objetivo 3. ....	118
Figura 8: Modelo de escala bipolar para a aplicação da regra da direção em relação à frequência. ....	129
Figura 9: Escala bipolar para a avaliação da estrutura do conjunto de heurísticas. ....	143
Figura 10: Escala bipolar para a avaliação da clareza gramatical e semântica do conjunto de heurísticas. ....	144
Figura 11: Escala bipolar para a avaliação da coerência entre as heurísticas e os aspectos de usabilidade. ....	144
Figura 12: Escala bipolar para a avaliação da coerência entre as heurísticas e as suas descrições. ....	145
Figura 13: Escala bipolar para a avaliação da adequação do número de heurísticas do conjunto. ....	146
Figura 14: Escala bipolar para a avaliação do modelo para a aplicação do conjunto de heurísticas. ....	146
Figura 15: Escala bipolar para a avaliação da flexibilidade de escolha das heurísticas no conjunto. ....	147
Figura 16: Escala bipolar para a avaliação da coerência entre a sugestão de software e o perfil do usuário. ....	147
Figura 17: Escala bipolar para a avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas. ....	148
Figura 18: Escala bipolar para expor os apontamentos adicionais dos avaliadores com relação a eficácia do conjunto de heurísticas. ....	149
Figura 19: Escala bipolar contendo o resultado da avaliação dos itens estudados para verificar a eficácia das heurísticas. ....	149

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valor do erro amostral a partir da população e da amostra obtidas na pesquisa. ....	66
Tabela 2: Experiência do usuário quanto ao tempo e à quantidade de softwares que já usou. ....	80
Tabela 3: Quantitativo das métricas e grandezas das respostas dos usuários dos softwares. ....	80
Tabela 4: Relação entre as questões Q6 e Q7 sobre a facilidade de aprendizado. ....	82
Tabela 5: Medidas calculadas para a variável “Facilidade de Aprendizado”. ....	83
Tabela 6: Relação entre as questões Q8 e Q9 sobre a facilidade de uso. ....	84
Tabela 7: Medidas calculadas para a variável “Facilidade de Uso”. ....	85
Tabela 8: Relação entre as questões Q10 e Q11 sobre a eficiência. ....	86
Tabela 9: Medidas calculadas para a variável “Eficiência”. ....	86
Tabela 10: Relação entre as questões Q12 e Q13 sobre a memorização. ....	87
Tabela 11: Medidas calculadas para a variável “Memorização”. ....	88
Tabela 12: Relação entre as questões Q14 e Q15 sobre a segurança. ....	89
Tabela 13: Medidas calculadas para a variável “Segurança”. ....	89
Tabela 14: Relação entre as questões Q16 e Q17 sobre a satisfação. ....	90
Tabela 15: Medidas calculadas para a variável “Satisfação”. ....	91
Tabela 16: Relação entre as questões Q18 e Q19 sobre a usabilidade. ....	92
Tabela 17: Medidas calculadas para a variável “Usabilidade”. ....	92
Tabela 18: Informações gerais dos eventos: ENTAC e ENCAC. ....	101
Tabela 19: Quantitativo de softwares obtidos nos artigos. ....	103
Tabela 20: Integração com a plataforma BIM apresentada por ano e software. ....	105
Tabela 21: Publicações com o uso do software individualmente ou combinado com outros. ....	106
Tabela 22: Variação dos parâmetros geométricos e de simulação e presença de entorno por software. ....	108
Tabela 23: Distribuição do quantitativo de simulações em ponto ou em malha por software. ....	109
Tabela 24: Distribuição quantitativa de simulações atualizadas, por software. ....	110
Tabela 25: Proporções obtidas pelos softwares para a facilidade de aprendizado. ....	132
Tabela 26: Ordem de precedência dos softwares para a heurística baseada em Q6-B. ....	133
Tabela 27: Proporções obtidas pelos softwares para a facilidade de uso. ....	134
Tabela 28: Ordem de precedência dos softwares para as heurísticas baseadas em Q8-A, Q8-B, Q8-C, Q8-D e Q8-E. ....	135
Tabela 29: Proporções obtidas pelos softwares para a eficiência. ....	135
Tabela 30: Ordem de precedência dos softwares para as heurísticas baseadas em Q10-A, Q10-C e Q10-D. ....	136
Tabela 31: Proporções obtidas pelos softwares para a memorização. ....	136
Tabela 32: Ordem de precedência dos softwares para a heurística baseada em Q12-A. ....	137
Tabela 33: Proporções obtidas pelos softwares para a segurança. ....	138
Tabela 34: Ordem de precedência dos softwares para a heurística baseada em Q14-A. ....	138
Tabela 35: Proporções obtidas pelos softwares para a satisfação. ....	139
Tabela 36: Ordem de precedência dos softwares para a heurística baseada em Q16-B. ....	139

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação de princípios clássicos de usabilidade. ....	53
Quadro 2: Esboço do trecho do questionário: Q1 – sobre o tempo que usa ou usou software e Q2 – sobre a quantidade de softwares utilizados. ....	61
Quadro 3: Esboço do trecho do questionário: Q3 – o(s) software(s) que já usou e as suas versões e Q4 – o software a respeito do qual vai preencher o questionário. ....	61
Quadro 4: Esboço do trecho do questionário: Q5 – as métricas que podem ser extraídas do software. ....	62
Quadro 5: Esboço do trecho do questionário: Q6 – o conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Facilidade de Aprendizado” e Q7 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido. ....	62
Quadro 6: Esboço do trecho do questionário: Q8 – o conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Facilidade de Uso” e Q9 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido. ....	63
Quadro 7: Esboço do trecho do questionário: Q10 – o conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Eficiência” e Q11 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido. ....	63
Quadro 8: Esboço do trecho do questionário: Q12 – o conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Memorização” e Q13 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido. ....	63
Quadro 9: Esboço do trecho do questionário: Q14 – conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Segurança” e Q15 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido. ....	64
Quadro 10: Esboço do trecho do questionário: Q16 – o conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Satisfação” e Q17 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido. ....	64
Quadro 11: Esboço do trecho do questionário: Q18 – o conhecimento do usuário a respeito do requisito “Usabilidade” e Q19 – a percepção do usuário sobre esse requisito no software escolhido. ....	65
Quadro 12: Variáveis do questionário, classificação e especificação. ....	69
Quadro 13: Modelo da tabela utilizada para expor a relação entre variáveis nominais e ordinais. ....	72
Quadro 14: Modelo da tabela utilizada para expor as medidas alcançadas por software para os aspectos de usabilidade. ....	73
Quadro 15: Métricas e grandezas de iluminação natural extraídas dos softwares segundo a literatura. ....	81
Quadro 16: Relação entre softwares de iluminação natural e os aspectos de usabilidade. ....	94
Quadro 17: Modelo esquemático da planilha para coleta de dados. ....	97
Quadro 18: Referências para as proporções e as médias. ....	120
Quadro 19: Modelo da tabela utilizada para expor as proporções calculadas, por software, para cada alternativa. ....	121
Quadro 20: Ordem de precedência estabelecida por faixa de percentual. ....	121
Quadro 21: Modelo da tabela utilizado para apresentar a ordem de precedência dos softwares para as heurísticas. ....	122

Quadro 22: Modelo do esquema utilizado para mostrar os softwares sugeridos em ordem de precedência. ....	124
Quadro 23: Modelo do quadro utilizado para expor as informações categorizadas das perguntas sobre o perfil como usuário. ....	128
Quadro 24: Itens averiguados e perguntas do formulário correspondentes.....	128
Quadro 25: Modelo do quadro utilizado para expor as informações categorizadas da seção de avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas. ....	129
Quadro 26: Modelo do quadro utilizado para expor a categorização dos itens averiguados. ....	129
Quadro 27: Informações gerais sobre os avaliadores do grupo focal.....	140
Quadro 28: Critérios para a escolha de um software de simulação da iluminação natural. ....	141
Quadro 29: Definição de usabilidade de software.....	142
Quadro 30: Estrutura utilizada para apresentar o conjunto de heurísticas. ....	143
Quadro 31: Clareza gramatical e semântica das heurísticas e das suas descrições. ....	144
Quadro 32: Coerência entre as heurísticas e os aspectos de usabilidade que as fundamentam. ....	144
Quadro 33: Coerência entre as heurísticas e as suas descrições.....	145
Quadro 34: Adequação do número de heurísticas do conjunto.....	145
Quadro 35: Esquema utilizado como modelo para aplicação do conjunto de heurísticas.....	146
Quadro 36: Flexibilidade para o usuário escolher as heurísticas adequadas ao seu perfil. ....	147
Quadro 37: Coerência entre a sugestão de software e o perfil do usuário.....	147
Quadro 38: Eficácia do conjunto de heurísticas. ....	148
Quadro 39: Comentários, sugestões e/ou críticas adicionais sobre o conjunto de heurísticas. ....	148
Quadro 40: Síntese dos resultados dos itens averiguados. ....	149

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribuição dos softwares escolhidos pelos usuários em resposta ao questionário. ....	75
Gráfico 2: Distribuição do resultado da variável “Formação” para ambos os grupos. ....	76
Gráfico 3: Distribuição do resultado da variável “Atividade” para os grupos. ....	76
Gráfico 4: Distribuição do resultado da variável “Instituição” para ambos os grupos. ....	77
Gráfico 5: Distribuição do resultado da variável “Tempo” para ambos os grupos. ....	77
Gráfico 6: Distribuição do resultado da variável “Quantidade” para ambos os grupos. ....	78
Gráfico 7: Distribuição do resultado da variável “Faixa Etária” para ambos os grupos. ....	79
Gráfico 8: Tempo como usuário. ....	79
Gráfico 9: Quantidade de softwares usados. ....	79
Gráfico 10: Aspecto “Facilidade de Aprendizado”. ....	82
Gráfico 11: Aspecto “Facilidade de Uso”. ....	84
Gráfico 12: Aspecto “Eficiência”. ....	85
Gráfico 13: Aspecto “Memorização”. ....	87
Gráfico 14: Aspecto “Segurança”. ....	88
Gráfico 15: Aspecto “Satisfação”. ....	90
Gráfico 16: Usabilidade de software. ....	91
Gráfico 17: Distribuição do número de artigos por ano e por evento. ....	102
Gráfico 18: Distribuição de artigos por estados e regiões. ....	102
Gráfico 19: Distribuição de artigos por instituições. ....	103
Gráfico 20: Metodologias de pesquisa encontradas nos artigos: simulação computacional, medição <i>in loco</i> e revisão de literatura. ....	104
Gráfico 21: Modelo de projeto para a simulação computacional: real ou fictício. ....	106
Gráfico 22: Tipo de modelo de projeto adotado para simulação computacional por software. ....	107
Gráfico 23: Presença de entorno e variação de parâmetros geométricos e de simulação. ....	107
Gráfico 24: Distribuição do quantitativo de simulações em ponto ou em malha. ....	109
Gráfico 25: Distribuição quantitativa de simulações anualizadas. ....	110
Gráfico 26: Distribuição quantitativa das métricas e grandezas. ....	111
Gráfico 27: Distribuição quantitativa das métricas e grandezas por software. ....	112
Gráfico 28: Esquemas utilizados para a exibição dos dados de saída por edição dos eventos. ....	113
Gráfico 29: Esquemas utilizados para a exibição dos dados de saída por software. ....	114
Gráfico 30: Proporções para a facilidade de aprendizado. ....	133
Gráfico 31: Proporções para a facilidade de uso. ....	134
Gráfico 32: Proporções para a eficiência. ....	136
Gráfico 33: Proporções para a memorização. ....	137
Gráfico 34: Proporções para a segurança. ....	138
Gráfico 35: Proporções para a satisfação. ....	139
Gráfico 36: Distribuição das unidades de registro por contexto para os critérios de escolha de software. ....	142
Gráfico 37: Distribuição das unidades de registro por contexto para a definição de usabilidade de software. ....	143

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
ALN	Autonomia de Luz Natural
ALNe	Autonomia de Luz Natural Espacial
ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CIE	<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>
DGI	Índice de Ofuscamento em Iluminação Natural
DGP	Probabilidade de Ofuscamento em Iluminação Natural
DGPs	Probabilidade de Ofuscamento em Iluminação Natural Simplificada
E	Iluminância
ENCAC	Encontro de Conforto no Ambiente Construído
ENTAC	Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ESA	Exposição Solar Anual
FLD	Fator de Luz do Dia
Grilu	Grupo de Pesquisa em Iluminação
IHC	Interação Humano-Computador
InfoHAB	Centro de Referência e Informação em Habitação
IULN	Iluminância Útil de Luz Natural
L	Luminância
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
U	Uniformidade da Luz Natural

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1. Objetivos .....	21
1.2. Estrutura da Tese .....	21
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
2.1. Simulação computacional em iluminação natural .....	23
2.1.1. Modelos de cálculo de simulação da iluminação natural .....	29
2.1.1.1. Método da Radiosidade .....	30
2.1.1.2. Método do Raio Traçado .....	31
2.1.2. Softwares de simulação da iluminação natural .....	33
2.1.2.1. Apolux .....	36
2.1.2.2. Daysim .....	37
2.1.2.3. DIVA .....	38
2.1.2.4. EnergyPlus .....	39
2.1.2.5. Lumen Micro .....	40
2.1.2.6. Radiance .....	40
2.1.2.7. TropLux .....	41
2.1.3. Validação de softwares de simulação da iluminação natural .....	42
2.2. Usabilidade de software .....	45
2.2.1. Interação Humano-Computador .....	49
2.2.2. Princípios de usabilidade .....	50
2.2.3. Avaliação da qualidade de software .....	54
<b>3. A PERCEPÇÃO DO USUÁRIO QUANTO À USABILIDADE .....</b>	<b>58</b>
3.1. Método de pesquisa .....	58
3.1.1. Elaboração do questionário .....	59
3.1.2. Identificação da população e definição da amostra .....	65
3.1.3. Realização do estudo preliminar .....	66
3.1.4. Aplicação do questionário .....	67
3.1.5. Tabulação dos dados .....	68
3.1.6. Análise descritiva .....	70
3.1.7. Análise estatística .....	70
3.2. Resultados e Análises .....	74
3.2.1. Análise descritiva do questionário .....	74



3.2.2.	Análise estatística do questionário .....	79
3.3.	Conclusão da aplicação do questionário .....	93
<b>4.</b>	<b>A PRÁTICA DE USO DE SOFTWARES EM PESQUISA.....</b>	<b>96</b>
4.1.	Método de pesquisa .....	96
4.1.1.	Levantamento de dados bibliográficos .....	97
4.1.2.	Tabulação dos dados.....	98
4.1.3.	Análise descritiva .....	99
4.1.4.	Análise estatística .....	99
4.2.	Resultados e Análises .....	101
4.2.1.	Análise descritiva do levantamento bibliográfico .....	101
4.2.2.	Análise estatística do levantamento bibliográfico .....	104
4.3.	Conclusão do levantamento bibliográfico .....	115
<b>5.</b>	<b>O CONJUNTO DE HEURÍSTICAS .....</b>	<b>118</b>
5.1.	Método de pesquisa .....	118
5.1.1.	Levantamento bibliográfico de heurísticas.....	119
5.1.2.	Proposição das heurísticas e sugestão dos softwares.....	119
5.1.3.	Definição da ordem de precedência dos softwares.....	120
5.1.4.	Avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas .....	122
5.1.4.1.	Análise descritiva .....	126
5.1.4.2.	Análise de conteúdo .....	126
5.2.	Levantamento bibliográfico de heurísticas .....	130
5.3.	A proposição do conjunto de heurísticas .....	130
5.4.	A ordem de precedência dos softwares.....	132
5.5.	Avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas .....	140
5.5.1.	Resultados e Análises .....	140
5.5.1.1.	Análise descritiva do grupo focal.....	140
5.5.1.2.	Análise de conteúdo do grupo focal.....	141
5.5.2.	Conclusão da avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas .....	150
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>152</b>
6.1.	Identificação da percepção do usuário quanto à usabilidade .....	152
6.2.	Verificação da prática de uso de softwares em pesquisa .....	155
6.3.	Elaboração do conjunto de heurísticas.....	158
6.4.	Limitações da pesquisa .....	159
6.5.	Trabalhos futuros .....	160
6.6.	Considerações finais .....	160

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>162</b>
APÊNDICE A – Questionário sobre a usabilidade de software.....	176
APÊNDICE B – Formulário para a avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas.....	181
APÊNDICE C – Quadro para a aplicação do conjunto de heurísticas .....	185
APÊNDICE D – Respostas do grupo focal .....	186

## 1. INTRODUÇÃO

O uso da luz natural no ambiente construído proporciona benefícios que vão desde a economia em energia elétrica até a promoção de saúde e de bem-estar aos ocupantes (REINHART *et al.*, 2006; ANTUNES; MARCELO, 2018). Entretanto, para que o acesso à iluminação natural seja adequado, do ponto de vista do conforto térmico e visual, faz-se necessário adotar formas de controle dos níveis de radiação incidentes (ALMEIDA *et al.*, 2012).

A definição de referências para a quantidade de luz natural no interior dos ambientes está para além das características físicas. Devem ser considerados aspectos como: a orientação da construção, o plano de trabalho e sua posição, o ocupante do espaço, o tipo de atividade realizada, além de fatores fisiológicos. Desse modo, os aspectos envolvidos conferem complexidade à definição de padrões de iluminação natural que atendam à relação entre percepção e estímulos (HOPKINSON, 1963).

O desenvolvimento de metodologias para modelar a luz natural nas construções favorece os profissionais da área nas decisões em diferentes fases de projeto (TREGENZA; MARDALJEVIC, 2018). Para isso, o estabelecimento de métricas de desempenho tem incorporado parâmetros de cálculo para a avaliação da luz natural. A evolução da abrangência das métricas resulta em um volume de dados que demanda análises apoiadas por computador.

Nesse sentido, a simulação computacional se projeta por meio de softwares que visam prever a iluminação disponível em uma edificação. Realiza-se a análise quantitativa e qualitativa da utilização da luz natural para a avaliação do seu desempenho (ROY, 2000; DONN *et al.*, 2009; REINHART; WIENOLD, 2011; ANDERSEN *et al.*, 2013).

A simulação computacional tem se destacado na arquitetura, tanto no âmbito da pesquisa quanto no da realização de projetos. No entanto, por, pelo menos, duas décadas, na área de conforto ambiental, especificamente do conforto luminoso, os softwares especializados em simulação não foram comumente usados pelos profissionais, acadêmicos ou em escritórios. Isso se deve à complexidade das ferramentas e aos custos computacionais que uma escolha poderia gerar (BAKER; STEEMERS, 2002).

A relativa baixa adesão ao uso dos softwares de simulação também pode ser explicada pela falta de legislação específica para a aplicação dos conceitos de eficiência energética em novos edifícios e pela ausência de confiança na aplicabilidade desses softwares à realidade local, em termos de clima e tipologia das edificações (MENDES *et al.*, 2001).

Com a inclusão dessas ferramentas nos normativos de desempenho nacionais, como a NBR 15.575-1 (2013), e internacionais de certificação ambiental das edificações, espera-se um estímulo para que os profissionais da área passem a utilizá-las com frequência no exercício das suas atividades como projetistas. Além disso, a partir daí, pode-se ter um respaldo para incluir o tema da simulação computacional nas disciplinas curriculares de cursos acadêmicos, possibilitando, assim, a criação de uma cultura de uso dessas tecnologias.

Os softwares de simulação da iluminação natural disponíveis atualmente possuem características diversas, como o modelo matemático empregado para a implementação dos algoritmos, a forma de inserção de dados de entrada, os parâmetros de processamento, as métricas que podem ser utilizadas para a extração de dados de saída e a apresentação dos resultados.

A intersecção entre as formas de implementação desses softwares está na busca pela precisão dos resultados, o que se confirma nos processos de validação aos quais são submetidos. Embora essa seja uma qualidade indispensável, não é única no que diz respeito aos fatores que influenciam a escolha do usuário.

Para isso, as possibilidades vão da facilidade de uso até razões econômicas e sociais, passando por funcionalidade, utilidade, confiabilidade dos dados e eficiência. Essa gama de aspectos que influencia na tomada de decisão tem gerado a necessidade de critérios para que o usuário consiga decidir sobre o software adequado para situações específicas.

A diversidade de características, quando aplicada em conjunto, confere robustez aos softwares, tornando-os artefatos estratégicos e críticos (BOURQUE; FAIRLEY, 2014). Diante disso, a avaliação da qualidade de software desponta como um artifício desenvolvido pela engenharia de software para classificar essas ferramentas de acordo com as suas habilidades (SILVA *et al.*, 2015).

Em geral, esse tipo de avaliação atua sobre os requisitos funcionais e de desempenho, envolvendo características explícitas e implícitas (PRESSMAN, 2001; KABIR *et al.*, 2016); DERAMAN; SALMAN, 2019). Entretanto, os requisitos não funcionais, como os que tratam da qualidade da interação entre o usuário e o sistema, também devem ser considerados para a composição de um software com qualidade (ALVES *et al.*, 2015; BLACKWELL, 2015; REEVES, 2015).

Essa abordagem se justifica pela constatação de que, na perspectiva do usuário, a interface é o próprio software (AGNER, 2009). As demais camadas necessárias para fazer o software funcionar são invisíveis para quem usa sistemas computacionais. Assim sendo, a usabilidade é o aspecto que assegura, para o usuário, a utilização de softwares de forma fácil, eficiente e satisfatória (PREECE *et al.*, 2012; LACERDA; WANGENHEIM, 2018).

Nesse contexto, diante da escassez de estudos sobre a usabilidade de softwares de simulação da iluminação natural, a proposta da tese se estrutura.

### **1.1. Objetivos**

O objetivo geral da pesquisa é avaliar a usabilidade de softwares de simulação da iluminação natural.

Os objetivos específicos são:

- 1) Identificar a percepção do usuário quanto à usabilidade de softwares de simulação da iluminação natural.
- 2) Verificar a prática de uso de softwares de simulação da iluminação natural na avaliação de desempenho do ambiente construído, em pesquisa científica.
- 3) Propor um conjunto de heurísticas para auxiliar o usuário na tomada de decisão sobre softwares de simulação da iluminação natural, sob a perspectiva da usabilidade.

### **1.2. Estrutura da Tese**

A tese está estruturada em capítulos, como segue. Na Figura 1, apresenta-se o fluxograma contendo as fases que compõem a pesquisa.

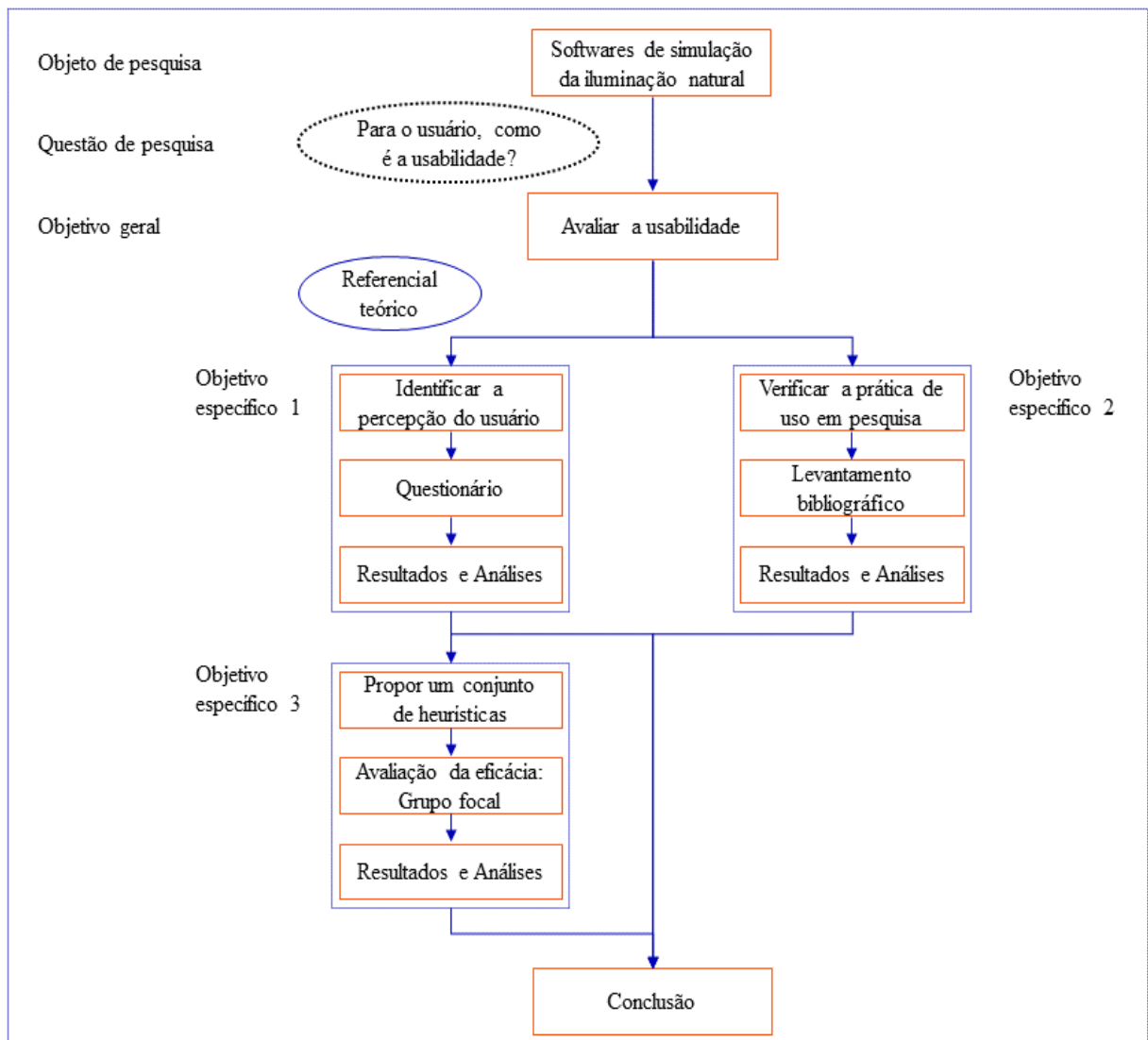
No primeiro capítulo, foram apresentadas a introdução, contendo a contextualização, os objetivos gerais e os específicos. No segundo capítulo, está o referencial teórico, que versa sobre a simulação computacional da iluminação natural e a usabilidade de software. A respeito de simulação, são apresentados os conceitos, a contextualização histórica, os modelos de cálculo de simulação, os softwares de simulação da iluminação natural e os métodos de validação. Sobre a usabilidade, trata-se da Interação Humano-Computador, dos princípios clássicos de usabilidade e da avaliação da qualidade de software.

O terceiro, quarto e quinto capítulos correspondem às etapas de desenvolvimento dos estudos relativos aos objetivos específicos. Define-se o método de pesquisa, em que, para cada etapa, são relatados: as ações realizadas, os instrumentos aplicados e os métodos para a análise dos resultados. Na primeira etapa, são realizadas as análises descritiva e estatística da aplicação

do questionário, seguidas da apresentação da síntese dos resultados obtidos. Na segunda etapa, realiza-se o levantamento bibliográfico, seguido das análises descritiva e estatística e dos resultados inferenciais. Na terceira parte, apresenta-se o conjunto de heurísticas proposto, a avaliação da sua eficácia por meio do grupo focal, as análises descritiva e de conteúdo, seguidas dos resultados.

Por fim, no sexto capítulo, são apresentadas as conclusões, que seguem as etapas estabelecidas para os objetivos. São expostas as limitações da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros. Nos apêndices, estão os instrumentos de coleta de dados adotados nos métodos de pesquisa dos objetivos específicos: o questionário, o formulário, as respostas do grupo focal e o modelo de aplicação das heurísticas.

Figura 1: Fluxograma das fases da pesquisa.



Fonte: Elaborada pela autora.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

No referencial teórico foram abordados os conceitos relativos à simulação computacional da iluminação natural, especificando: modelos de cálculo, softwares de simulação e métodos de validação. Em seguida, discorreu-se acerca da usabilidade de software e seus princípios, da Interação Humano-Computador e da avaliação da qualidade de software.

### **2.1. Simulação computacional em iluminação natural**

Segundo Reinhart *et al.* (2006), os benefícios do uso da iluminação natural abrangem a redução no consumo de energia elétrica e, subsequente, carga de resfriamento para a promoção de conforto e saúde dos ocupantes, visualização do exterior e melhoria estética de projeto. Ao mesmo tempo, existem riscos associados à admissão excessiva da luz natural no interior do edifício, tais como: sobreaquecimento, ofuscamento e falta de privacidade, o que requer decisões projetuais para equilibrar esses efeitos.

Antunes e Marcelo (2018) reiteram que a utilização da iluminação natural no ambiente construído tem sido justificada pelo seu potencial para a economia de energia, que pode ocorrer em função da redução do consumo de energia elétrica com a iluminação artificial e da redução dos recursos para resfriamento do ambiente, devida ao calor gerado pelas luminárias.

Apesar das vantagens observadas, o uso da iluminação natural, até pouco mais de uma década, não era uma característica predominante na maioria dos edifícios, como percebeu Boubekri (2008), o que conduziu à ampliação dos argumentos favoráveis à sua aplicação no sentido dos benefícios, também, para a saúde e o bem-estar.

Atualmente, a iluminação natural é considerada um conceito essencial pela comunidade de projetistas de edifícios. Segundo Tregenza e Mardaljevic (2018), os profissionais da área são favorecidos com o desenvolvimento de diferentes metodologias para modelar a luz natural dentro e no entorno das construções, sendo úteis para apoiar suas decisões nos diversos estágios de projeto.

A utilização de ferramentas para avaliação da luz natural tem origem na revolução industrial, quando ocorreram os primeiros estudos sobre fotometria. De acordo com Geebelen (2003), o contexto tecnológico e social que marcaram o período proporcionaram mudanças nas aplicações, requisitos e sistemas desenvolvidos para a área da iluminação natural. Foram criadas ferramentas para tratar da análise da luz solar direta e, a partir da década de 1970, para a análise da luz refletida, com o intuito de atender às novas regulamentações daquele período.

Segundo Baker e Steemers (2002), os instrumentos para projeto de iluminação natural são divididos em três categorias: modelos em escala, ferramentas de projeto simplificadas e ferramentas computacionais. Os modelos em escala, usados para apresentar as propostas projetuais, nem sempre são aplicados para o estudo e análise do projeto de iluminação. As ferramentas de projeto simplificadas são caracterizadas pela utilização de diagramas, tabelas e formulações matemáticas, permitindo aos profissionais avaliar as ideias preliminares do projeto, porém possuem limitações para sistemas arquitetônicos mais complexos.

Para Andersen *et al.* (2013), as ferramentas computacionais ganharam projeção com o uso de softwares de simulação que visam analisar os aspectos quantitativos e qualitativos da utilização da luz natural, avaliando o seu desempenho. De acordo com Donn *et al.* (2009), os aspectos quantitativos estão relacionados ao nível de iluminação necessário para a execução das atividades a que o espaço se propõe; enquanto os qualitativos, referem-se a uma melhor apreensão do espaço do ponto de vista do conforto visual.

Nesse sentido, a importância da simulação é destacada por Fonseca (2015) que constata que o desempenho da luz natural em edificações pode ser avaliado por diferentes métodos, com destaque para a simulação computacional, que se diferencia por gerar medidas dinâmicas e por produzir informações preditivas. Adicionalmente a essa visão, Hensen e Lamberts (2011) e Yan *et al.* (2015) afirmam que o método de simulação computacional favorece não apenas a verificação do comportamento luminoso, como também do térmico e do energético durante a fase de projeto.

Roy (2000) reitera a função da simulação da iluminação natural, afirmando que essa técnica deve assemelhar a visualização do ambiente à realidade, predizendo tal fenômeno de maneira eficaz e estimulando a propagação da luz através de modelos que possam caracterizar sua intensidade e representar o comportamento da distribuição da iluminação das zonas de ofuscamento e da incidência direta do sol.

De acordo com Reinhart e Wienold (2011), a simulação da luz natural é um cálculo computacional que visa prever a quantidade de luz disponível em um edifício, seja, de forma estática, sob condições do céu selecionadas, ou dinâmica, durante todo o ano. As simulações da iluminação natural calculam as quantidades físicas, como iluminâncias ou luminâncias em locais selecionados do ambiente construído.



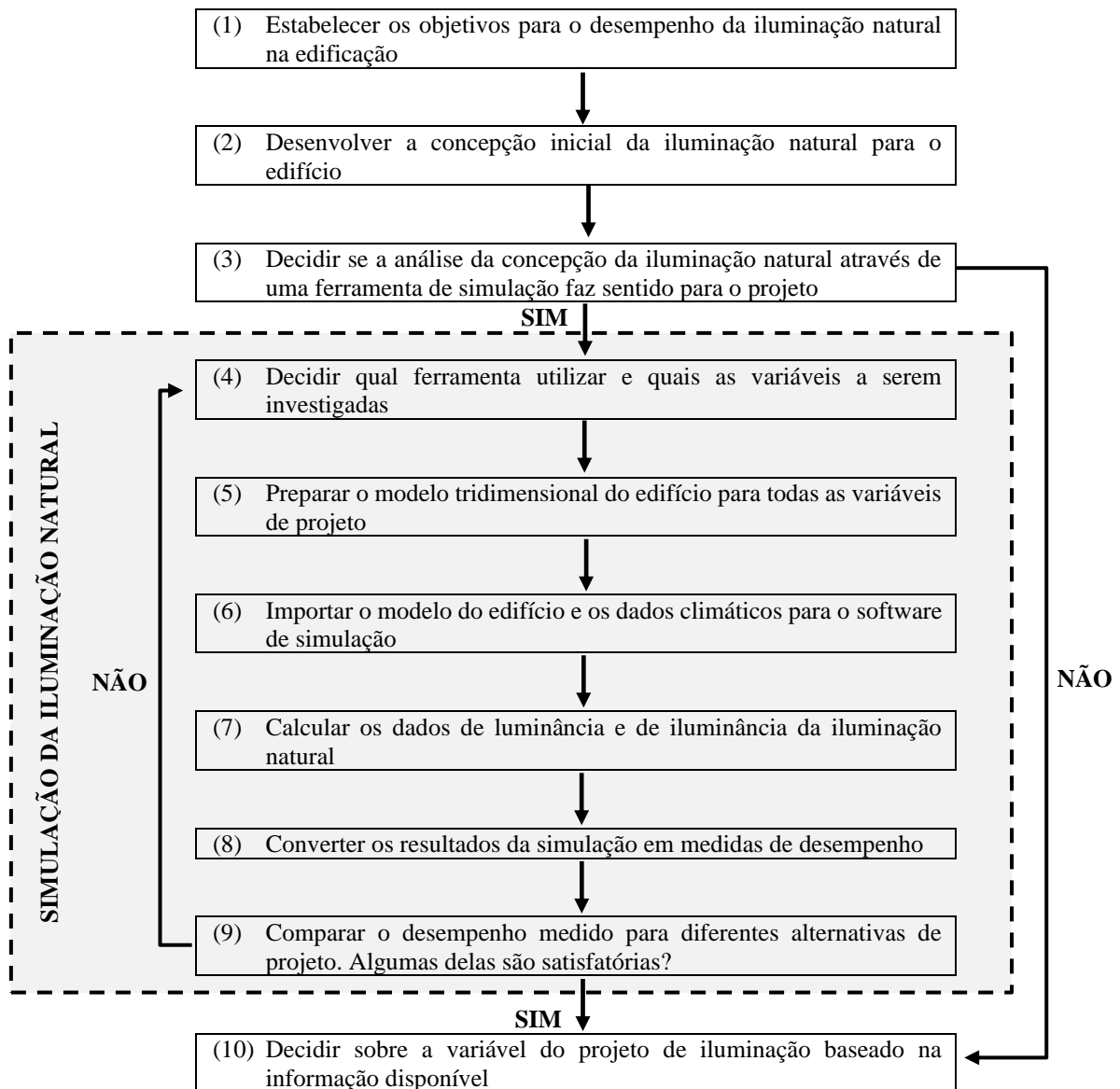
Os modelos de simulação estáticos avaliam situações pontuais em uma determinada data, hora do dia e condição de céu específico, tais como: o céu claro, o céu parcialmente encoberto e o céu encoberto (FONSECA, 2015). Os principais dados de entrada em softwares de simulação estática são: a geometria do ambiente, a área, a latitude do local, a posição e a orientação das aberturas, a transmissão luminosa dos elementos translúcidos e as propriedades de refletância das superfícies. Os principais dados de saída são: iluminâncias e luminâncias, imagens renderizadas, curvas de isoiluminâncias, imagens em falsa cor e fator de luz do dia.

Para Reinhart *et al.* (2006), as pesquisas de iluminação natural nas edificações mais atualizadas utilizam os modelos de simulação computacional dinâmicos, que são baseados em valores de dados climáticos anuais e servem para indicar o comportamento da luz ao longo do ano. Segundo IESNA (2011), nas simulações dinâmicas, além dos dados de entrada citados para as simulações estáticas, é necessário importar o arquivo climático do ano de referência da localidade onde se realiza o estudo.

Com relação à fase de projeto apropriada para implementar estudos sobre a iluminação natural, Brigitte e Ruschel (2013) consideram que a análise da luz natural no ambiente construído pode ser realizada em todas as etapas do projeto, porém a fase de concepção mostra-se como a mais adequada para essa tarefa, pois é quando são definidas as variáveis relacionadas ao aproveitamento da luz natural nos ambientes, tais como: a orientação do edifício, o posicionamento e a orientação das aberturas.

Os projetistas que pesquisam sobre a incidência da luz natural em interiores necessitam de informações que auxiliem na tomada de decisão. Reinhart (2010) sugere um fluxograma para a inserção dos softwares de simulação durante a fase de projeto. Uma versão adaptada do esquema pode ser vista na Figura 2. Para realizar a análise da iluminação natural no ambiente construído, o projetista pode seguir essa sequência encadeada de dez etapas para auxiliar na tomada de decisão.

Figura 2: Fluxograma do processo de decisão para o uso de software de simulação da luz natural durante a fase de projeto.



Fonte: Reinhart (2010). Tradução da autora.

O intuito desse modelo é estabelecer critérios para a performance da luz natural, que é classificada como: suficiente, adequada ou insuficiente. Esses critérios devem ser objetivos e quantificáveis, tais como as medidas de desempenho: Fator de Luz do Dia e Autonomia da Luz Natural, assim como a vista para o exterior, para o caso de haver tratamento para ofuscamento e controle da condição térmica.

A simulação computacional tem se mostrado uma ferramenta eficiente para estudar o desempenho ambiental dos edifícios, mesmo para a execução de tarefas complexas como a interação entre os aspectos de projeto. De acordo com Andersen e Guillemain (2013), pode-se ter benefícios para o projeto de arquitetura, pois, com o avanço da elaboração dos algoritmos,

é possível gerar imagens e dados numéricos preditivos de espaços que ainda não foram, efetivamente, construídos, possibilitando que sejam feitos os devidos ajustes nas condições de conforto visual.

É possível apontar as potencialidades, mas também as limitações da simulação computacional. Segundo Andersen *et al.* (2013), o uso desse método no estudo da luz natural possui vantagens, como:

- condições controladas para a análise do desempenho de sistemas;
- possibilidade de visualização e comparação entre alternativas de projetos;
- autonomia para estudar os sistemas por um período mais longo.

E desvantagens, como:

- modelos de simulação costumam ser caros para implementar e consomem tempo para o seu desenvolvedor;
- modelos que envolvem fatores humanos ou evolutivos demandam mais recursos computacionais para serem implementados e os resultados podem ser imprecisos.

Apesar do avanço que tem sido observado na pesquisa e na implementação de ferramentas computacionais para avaliação da iluminação natural, para Mendes *et al.* (2001), a simulação computacional ainda não é considerada uma ferramenta vastamente utilizada pelos projetistas e profissionais da área de arquitetura, o que motivou pesquisas que vêm sendo realizadas para investigar esse contexto.

Em 2003, na Áustria, mostrou-se, em um estudo com 198 participantes, que 91% responderam que incluem aspectos da luz natural nos projetos de edifícios, dos quais 79% utilizam a simulação computacional, demonstrando uma tendência de crescimento da aplicação dessa técnica como apoio ao processo de projeto (MAHDAVI *et al.*, 2003).

Em pesquisa desenvolvida por Reinhart e Fitz (2006) em 27 países, predominantemente, Canadá (20%), Estados Unidos (20%) e Alemanha (12%), relevou-se que, do total de 185 participantes, 91% trabalham com ferramentas de simulação da iluminação natural. Os 9% que não usufruem desse recurso alegam a falta de informação e a negligência dos clientes em não pagar pelo custo adicional do uso dos simuladores. As profissões dos

participantes informadas variaram entre consultores de energia, engenheiros, arquitetos, desenhistas e pesquisadores.

Esse estudo indicou que os profissionais acreditam que as ferramentas apresentam resultados precisos e as utilizam com maior frequência em relação aos modelos físicos e aos demais recursos para a avaliação da iluminação natural. Reinhart e Fitz (2006) concluíram que o motivo para essas afirmações está no fato de que a simulação computacional, normalmente, apresenta modelagens complexas e facilidades na mudança de parâmetros construtivos ao longo das etapas dos projetos, além de qualidade visual e facilidade de análises através de gráficos e relatórios.

A realidade brasileira sobre a aplicação de simulação computacional na área de iluminação natural carece de investigações mais recentes. Pode-se afirmar que ainda se encontra distante de outros países, segundo estudos como o de Mendes *et al.* (2001) e o de Lamberts *et al.* (2014), que verificam a baixa aceitação do uso das ferramentas de simulação.

De acordo com Mendes *et al.* (2001), isso se deve à falta de legislação específica para a aplicação dos conceitos de eficiência energética em novos edifícios e à ausência de confiança na aplicabilidade desses softwares à realidade brasileira, em termos de clima e tipologia das edificações locais. Além disso, os pesquisadores manifestaram que uma de suas maiores dificuldades está relacionada à carência de dados meteorológicos confiáveis para diferentes partes do país.

A simulação do desempenho da construção se tornou um recurso para auxiliar as decisões de projeto, apoiando-se na evolução de ferramentas de simulação computacional mais precisas. Isso, no entanto, suscitou algumas preocupações justificadas, especialmente quando a Agência de Financiamento da Educação – *Education Funding Agency* (EFA, 2014) tornou a modelagem da luz natural baseada no clima uma necessidade de projeto.

Para Mardaljevic (2015), essa mudança de paradigma levou os projetistas novatos, e até os veteranos, a buscarem atualizações para as suas práticas, após décadas de utilização de métodos simples para estimar a iluminação natural.

Além disso, alguns profissionais, embora familiarizados com ferramentas de simulação de projeto, podem não ter fluência para lidar com os conceitos fundamentais da luz natural, incluindo modelos de céu, dados meteorológicos, cálculos de iluminação e métricas de

desempenho. Para Ibarra e Reinhart (2009), estar ciente desses conhecimentos, previamente, poderia minimizar os erros de simulação.

Recentemente, Ayoub (2020) apresentou uma revisão sobre as direções fundamentais para prever a quantidade de luz natural dentro dos edifícios, colocando foco nos modelos de céu, no conjunto de dados climáticos, na geometria da construção e nos métodos de cálculo da iluminação natural. O estudo mostrou uma avaliação de ferramentas de simulação computacional em termos de interoperabilidade e de precisão na simulação.

Ochoa *et al.* (2012) discutiram a respeito das ferramentas de simulação, mostrando a importância dos algoritmos de transporte de luz, da validação dos dados de entrada e de saída e da integração com o processo de projeto. Foram apontados, ainda, alguns aspectos relevantes para serem considerados em um software dessa área, tais como: a precisão, o número de parâmetros a considerar, o esforço computacional e o tempo de execução.

Ayoub (2020) afirma que a simulação da luz natural é uma área de pesquisa ativa que oferece estimativas precisas, porém ainda requer um conjunto complexo de dados de entrada. Mesmo com os computadores atuais, as simulações são, computacionalmente, caras e demandam tempo, dificultando a aquisição de aproximações preliminares em prazos aceitáveis, especialmente para os projetos iterativos.

Alternativamente, Liu *et al.* (2018) apontam, como possibilidade de avanço para a área, os modelos preditivos baseados em algoritmos de aprendizado de máquina, pois, devido à sua capacidade de lidar com problemas não lineares complexos, esses modelos têm suscitado o interesse da comunidade de projeto de construção.

Usualmente, os métodos de cálculo encontrados nos softwares de iluminação natural e, por vezes, artificial são a radiosidade e o raio traçado. Esses métodos calculam a iluminância e a luminância dos ambientes, sendo possível utilizá-los individualmente ou de forma combinada na implementação dos algoritmos.

### **2.1.1. Modelos de cálculo de simulação da iluminação natural**

De acordo com Navada *et al.* (2016), a modelagem matemática por computador, como método de análise de projetos de iluminação, permite extensas avaliações paramétricas, podendo ser desenvolvida, simultaneamente, com avaliações térmicas e de consumo de energia.

Nesse contexto, Ahmad *et al.* (2017) apontam que essa modelagem, além de requerer equipamento computacional adequado, pode exigir uma entrada extensiva de dados, sendo também limitada por suposições teóricas assumidas em algoritmos de problemas complexos.

Segundo Reinhart (2010), a tarefa de um algoritmo na simulação da iluminação natural é a de predição das condições de luminância e de iluminância em um ponto do ambiente, baseado no modelo tridimensional e na condição de céu, para um determinado momento.

Andersen (2013) observa que, através de técnicas e de algoritmos matemáticos, os modelos computacionais auxiliam o projetista a compreender o comportamento do ambiente de estudo. Os dois principais modelos matemáticos utilizados para o cálculo da iluminação global são: radiossidade e raio traçado. O processo das simulações fisicamente fundamentadas pode ser dividido em três partes: transporte da luz, reflexão da luz e resultado visual.

#### **2.1.1.1. Método da Radiossidade**

O método de radiossidade ou *Radiosity* foi descrito por Goral *et al.* (1984) e utiliza a distribuição da energia na cena, isto é, busca o equilíbrio da troca de energia luminosa entre as superfícies. Essa distribuição de energia simula a maneira como a natureza, de fato, distribui a luz.

De acordo com Carvalho (2009), o algoritmo baseia-se no cálculo da intensidade de pequenos *patches* (pedaços) no ambiente. Isso é realizado através da divisão da superfície original em uma malha de superfícies conhecidas como elementos. Esses elementos iniciais podem ser subdivididos em outros menores, em que uma diferença significativa de intensidade pode ser detectada entre elementos adjacentes à malha.

Dependendo da característica da superfície, parte da energia que alcança um elemento qualquer da malha é absorvida e o restante, refletida. Na metodologia desse algoritmo, todas as superfícies são consideradas difusas, ou seja, refletem a luz em todas as direções. A troca energética é convertida em troca luminosa entre superfícies perfeitamente difusas, em que a distribuição de luz é igual em todas as direções e costuma-se tratar com métodos de elementos finitos (CLARO, 1998).

O conceito de fator de forma é utilizado para a realização do cálculo da radiossidade que, segundo Tregenza (1983), é a fração de radiação que deixa um elemento de superfície

finita e atinge outro diferente, podendo ser aplicado a modelos simplificados. Para os modelos com maior complexidade, os custos computacionais da utilização do método são maiores.

Assim sendo, Ochoa *et al.* (2012) pontua que o processamento do cálculo que utiliza o algoritmo da radiosidade é composto por duas etapas: a primeira consiste na divisão das superfícies originais do modelo em uma malha de pequenas superfícies a serem analisadas; a segunda ocorre quando se inicia o processamento da simulação em que a quantidade de luz refletida em cada segmento da malha para outro segmento é calculada de forma a balancear a luz que emana da fonte.

De acordo com Reinhart (2010), o fator de forma será identificado para cada par de elemento e é caracterizado como a quantidade de energia que deixa uma superfície e atinge a segunda superfície diretamente. Segundo Claro (1998), no método da radiosidade, o fator de forma é obtido apenas com o cálculo inicial. O valor final é para cada segmento, tornando possível obter a renderização de diversos pontos de vista.

Para Carvalho (2009), a vantagem do algoritmo é tratar as características geométricas como um todo, independentemente do observador da cena. A desvantagem decorre da necessidade de se estudar a relação de visibilidade entre todas as superfícies luminosas, o que demanda tempo e memória de processamento.

### **2.1.1.2. Método do Raio Traçado**

O método do raio traçado ou *ray tracing* foi introduzido no final da década de 60 e usado inicialmente para determinar o ocultamento de superfícies em sistemas gerais de reconstituição de imagens tridimensionais (GLASSNER, 2019). Nessa primeira abordagem, o método parava após a interseção do raio com a primeira superfície. Em 1979, o raio traçado passou a ser utilizado além da interseção do raio com a superfície inicial, através da incorporação da reflexão, refração e sombras (CLARO, 1998).

Para Claro (1998), o método pode ser resumido como a perseguição ao traçado deixado por um determinado raio luminoso. Dessa forma, de acordo com Carvalho (2009), apenas as informações necessárias para construir a imagem são computadas. No entanto, quando necessária uma mudança de campo visual, a simulação da cena precisa ser refeita. Esse algoritmo possui um grande número de efeitos de luz, podendo captar características de iluminação direta, sombras, reflexões de superfícies especulares e refração.

Segundo Glassner (2019), para a formação da imagem, são necessários os seguintes elementos: um ponto de vista do observador ou ponto de origem, um plano de visão entre o observador e o objeto, que servirá como um filme de luz, e o objeto ao qual os raios são direcionados.

Devido à infinidade de raios partindo de cada fonte de luz, a simulação seria inviável computacionalmente. Considerando que somente uma parcela desses raios contribui para a formação da imagem, através do raio traçado, serão simulados apenas os raios que, refletidos por objetos, atingem o ponto de interesse (CARVALHO, 2009).

A partir daí, surgiu a abordagem do raio traçado reverso (*backward ray tracing*), em que a simulação dos raios é realizada no sentido inverso, partindo do ponto de interesse em direção à cena (REINHART, 2010). Quando isso acontece, com exceção das fontes luminosas, a luminância do objeto poderá ser calculada pelos raios secundários que são emitidos (GEEBELEN, 2003). Esse conceito resulta em uma vantagem para a implementação do método, que é a economia de processamento da imagem sem influenciar no resultado, de acordo com as leis da óptica.

A distribuição angular na qual os raios são dispersos depende das propriedades ópticas da superfície atingida. As partículas carregam um peso proporcional à intensidade do raio. Esse é reduzido a cada reflexão e pode ser considerado eliminado da cena quando atinge um certo número de reflexões ou quando o peso da partícula cai abaixo de um valor arbitrário pequeno, sendo considerada absorvida (REINHART, 2010).

De acordo com Cabús (2005), o método apresenta pontos positivos, como a facilidade em lidar com geometrias complexas e com o fenômeno da colisão especular. Entretanto, isso depende de um ponto de observação, fazendo com que cada nova visualização exija a determinação dos percursos dos raios luminosos, o que se apresenta como uma desvantagem da sua implementação. Outro limitador, dessa vez, por demandar muito processamento computacional, é quando são tratados materiais difusos.

Essa questão pode ser resolvida com a colaboração de outros métodos, como o Monte Carlo aplicado à iluminação natural (TREGENZA, 1983). Esse método trata da abordagem estatística para solucionar integrais múltiplas e obtém soluções aproximadas ao utilizar números randômicos para converter um problema determinístico em estocástico, baseado na premissa de



que se a probabilidade de ocorrência de cada evento separado é conhecida, então é possível determinar a probabilidade com que a sequência completa de eventos irá ocorrer.

Os dois métodos, radiosidade e raio traçado, podem ser usados simultaneamente. De acordo com Schmid (2004), a radiosidade compensa a imprecisão da luz ambiente, levando a uma imagem realística; enquanto o raio traçado reduz o tempo de renderização da imagem, por criar apenas os raios refletidos e os transmitidos. Dessa forma, o método da radiosidade tem a vantagem das renderizações difusas de interreflexões; e o do raio traçado, as renderizações especulares de reflexão.

### **2.1.2. Softwares de simulação da iluminação natural**

Os softwares de simulação da iluminação natural são ferramentas para estimar a disponibilidade de luz na edificação e converter os resultados em medidas de desempenho (REINHART, 2010).

Segundo Donn *et al.* (2009), esses softwares podem desenvolver simulações quantitativas ou qualitativas. As quantitativas permitem que o projetista tenha acesso às quantidades de iluminação, isto é, iluminâncias e luminâncias, através dos resultados gerados pelos cálculos executados pelo software. Já as simulações qualitativas, possibilitam que o projetista tenha acesso aos aspectos da iluminação do espaço por meio da geração de imagens que simulam o ambiente real, ou seja, imagens fotorealísticas.

Os softwares de simulação da iluminação natural possuem algoritmos com características variadas para o cálculo da iluminação, porém os mais avançados adotam a abordagem híbrida. Nesse caso, estocástico e determinístico. Sendo esse um modelo matemático de simulação que não permite variáveis aleatórias e cujas características operacionais devem ser exatas; e, aquele, um modelo matemático que incorpora variáveis aleatórias no processo. O método de Monte Carlo é um procedimento numérico para resolver problemas utilizando amostragem estocástica (TREGENZA, 1983).

Os primeiros softwares de iluminação no ambiente construído datam da década de 1980. Com o propósito específico de simulação da iluminação natural, um marco histórico foi o desenvolvimento do Radiance (DEFULLER, 2019). Em geral, o uso desses softwares era restrito a pesquisadores e a consultores especializados, fato justificado porque essas ferramentas eram disponíveis somente para computadores de estação de trabalho e *mainframe*.

Na década de 90, ocorreram duas frentes de desenvolvimento: por um lado, houve a evolução dos algoritmos de simulação em relação às suas potencialidades e à precisão das predições; por outro, essas ferramentas se tornaram mais acessíveis aos usuários e se expandiram em larga escala, alcançando arquitetos e projetistas de áreas afins (PAPAMICHAEL, 2002).

Existem softwares para simulação na iluminação natural com atributos diversos, desde os que executam a renderização para gerar imagens que traduzem a forma e a estética do projeto até os que produzem resultados fisicamente precisos, considerando as propriedades dos materiais e das fontes luminosas (DONN *et al.*, 2009).

Segundo Andersen *et al.* (2013), os softwares de simulação podem ser classificados de duas formas em relação ao seu funcionamento: *stand alone*, que são os que funcionam de maneira independente, requerendo apenas o sistema operacional para ser executado; e *plug in*, que são módulos de trabalho usados para otimizar ou estender os recursos de um software, tendo a desvantagem de demandar outro secundário para funcionar.

Para Kota *et al.* (2014), a preparação de modelos de simulação, ou seja, a inserção dos dados de entrada pode ser um processo muito demorado, trabalhoso e que consome recursos, pois consiste, principalmente, na tradução manual das informações do modelo arquitetônico para dados de simulação, o que pode resultar em erros de codificação. Para facilitar a criação dos arquivos de entrada, interfaces gráficas que definem a geometria do modelo foram implementadas nos softwares de simulação. Além disso, ferramentas de modelagem da geometria, CAD, foram vinculadas às de simulação da iluminação natural.

Nesse sentido, de acordo com Eastman *et al.* (2011), o *Building Information Modeling* - BIM<sup>1</sup> vem sendo usado no projeto de construção por profissionais da área. A pesquisa sobre a integração dessa metodologia com ferramentas de desempenho de construção tem sido foco tanto dos desenvolvedores dos softwares quanto da comunidade de simulação.

Para Bazjanac (2008), as ferramentas BIM auxiliam não apenas no projeto de uma construção usando gráficos 3D, como também contêm informações não gráficas do edifício,

---

<sup>1</sup> BIM - *Building Information Modeling* – Modelagem das Informações da Construção. O termo BIM refere-se, simultaneamente, a duas expressões: produto final e processo para sua obtenção (EASTMAN *et al.*, 2011).

que podem ser recuperadas para realizar análise da eficiência energética, da iluminação natural, da estrutural e da estimativa de custo.

Santos *et al.* (2017) afirmam que essa modelagem é reconhecida como uma metodologia colaborativa e de troca de informações que gera modelos computacionais integrados, fornecendo embasamento para a tomada de decisões em projetos, construção e manutenção de edificações.

No Brasil, a implementação de tecnologias integradas passou por um momento de transição do CAD<sup>2</sup> para o BIM (ASBEA, 2015). Devido à representatividade e à posição de liderança no mercado brasileiro, entre as plataformas BIM disponíveis, o Revit<sup>3</sup> tem sido visto como um software de destaque para a aplicação dessa forma de modelagem. De acordo com Eastman *et al.* (2011), o Revit é também a plataforma que oferece um conjunto relevante de aplicações e soluções BIM para a indústria de AEC<sup>4</sup> a ela associada.

Kota *et al.* (2014) contribuíram para o aprimoramento dessa interoperabilidade, tornando o processo de troca de dados entre softwares, como o Revit e o Radiance, mais ágil e amigável para os projetistas. Entretanto, apesar dessa tendência no processo de realização e execução de projeto, os softwares de simulação da iluminação natural ainda não estão, em sua maioria, adaptados à utilização em plataforma integrada (ASBEA, 2015).

Outro fator, a respeito da evolução dos softwares de simulação da iluminação natural, está, diretamente, vinculado ao incremento na capacidade de processamento dos computadores percebido a partir do início da segunda década do século 21. De acordo com Andersen *et al.* (2013), isso contribuiu para os avanços na implementação de algoritmos para o cálculo de métricas anualizadas. Segundo o IESNA (2011), o número e a utilidade dessas métricas eram limitados, devido ao esforço computacional necessário para avaliar um grande número de horas de luz natural ao longo de um ano.

As métricas anualizadas abordam as condições dinâmicas encontradas no ambiente, por meio dos dados meteorológicos de arquivos climáticos (REINHART, 2010). Para modelar as condições reais do ambiente, essas métricas devem considerar, também, os dispositivos de controle de luz natural e, de acordo com o IESNA (2011), o controle de sombreamento adiciona

---

<sup>2</sup> CAD – *Computer Aided Design* – Projeto auxiliado por computador.

<sup>3</sup> Revit – Software BIM multidisciplinar para projetos coordenados. Desenvolvido pela empresa norte americana Autodesk, proprietária do AutoCAD – CAD (AUTODESK, 2020).

<sup>4</sup> AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção.

um nível de complexidade às análises. Os resultados dessas simulações podem incluir informações sobre o desempenho dos sistemas ao longo do ano, tais como: Autonomia de Luz Natural (ALN) e Iluminância Útil de Luz Natural (IULN).

A seguir são apresentados softwares que realizam cálculo da luz natural em ambiente construído. O critério para a exposição desses softwares foi que tenham sido escolhidos pelos usuários em, pelo menos, uma das duas pesquisas exploratórias realizadas no percurso metodológico desta tese.

### **2.1.2.1. Apolux**

O Apolux foi desenvolvido no Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pelo professor Anderson Claro, na sua tese de doutorado, em 1998. É um software que simula a iluminação natural através do algoritmo da radiosidade.

De acordo com Claro (1998), o Apolux permite simular materiais distintos com características variadas, tais como: materiais opacos difusos, opacos especulares, transmissores difusos e transmissores especulares. Além disso, possui recursos para produção de modelagens complexas e geração de imagens baseadas em diferentes tipos de dados, para avaliar variáveis de forma quantitativa, como a luminância e iluminância.

O processo de simulação do software é realizado por meio do cálculo do fator de forma e da radiosidade, separadamente. Com isso, pode-se processar a simulação de um modelo com condições de abóbada distintas, pois a simulação é baseada na geometria da cena, reduzindo o tempo de simulação (CLARO, 1998).

Conforme Claro *et al.* (2005), como saída, o software produz dados através de imagens gráficas e tabelas, permitindo gerar máscaras de obstrução solar para qualquer ponto do ambiente (interno ou externo), no qual todas as superfícies opacas são projetadas na abóbada celeste e as direções sem obstruções são obtidas. Através da produção dessas máscaras, pode-se obter para um ponto: a iluminância inicial do céu, a luz solar, a componente direta do Fator de Luz do Dia, a fração visível da abóbada e as trajetórias solares anuais obstruídas ou não.

Após calcular-se a solução, é possível visualizar imagens da distribuição de iluminância e luminância das superfícies através do mapa em falsa cor e de gráficos, que também são produzidos para o Fator de Luz do Dia. Permite-se gerar uma grade de dados com

visualização dos valores calculados para essas métricas na imagem corrente, através de uma malha definida pelo usuário.

Além dos gráficos para a avaliação qualitativa, o software apresenta registros de resultados para cada solução de radiosidade, em que é possível obter o relatório com o cálculo de ofuscamento, avaliando, quantitativamente, o modelo em análise. Outra característica diz respeito à forma de criação de projetos, em que se utiliza um tipo de extensão de arquivo que carrega somente dados geométricos e, por isso, a interoperabilidade com o modelo BIM fica reduzida.

### **2.1.2.2. Daysim**

O Daysim foi desenvolvido pelo *National Research Council Canada* (NRCC) e o *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems* na Alemanha. O software foi descontinuado, tendo como sucessor o DIVA. Inicialmente, foi elaborado com o intuito de calcular as iluminâncias para o período de um ano, independentemente do tipo de céu.

Esse software simula a iluminação natural através dos coeficientes de luz natural, baseando-se no Radiance, que utiliza o método do raio traçado e o modelo de céu de Perez para, dessa forma, possibilitar a simulação das iluminâncias sob qualquer condição de céu (REINHART; WALKENHORST, 2001).

O uso desse conceito pelo Daysim viabiliza o tempo de simulação para todas as horas do ano, evitando a necessidade de simular todas as condições de céu para se traçar o perfil anual de iluminação (REINHART, 2010). O software trabalha com dados anuais através de arquivos climáticos, os mesmos utilizados no EnergyPlus, que contém uma série horária de dados de radiação solar convertendo-as em sub-horárias.

A simulação é realizada a partir de um modelo tridimensional do ambiente que será analisado. No modelo, são definidas as propriedades ópticas das superfícies e do arquivo climático de onde são retirados dados como latitude, longitude e radiação. O modelo é

importado de softwares como o Ecotect<sup>5</sup> e o Sketchup<sup>6</sup>. Além do cálculo das iluminâncias, o software permite o cálculo do Fator de Luz do Dia e da Iluminância Útil de Luz Natural para cada ponto de referência.

Outra possibilidade é a verificação do consumo da iluminação artificial de acordo com os diferentes padrões de uso, tais como: o número de pessoas no local e horas de permanência, a iluminância de projeto, a potência e o sistema de controle da iluminação artificial.

### 2.1.2.3. DIVA

O Diva foi desenvolvido, inicialmente, por *Graduate School of Design*, na Universidade de Harvard, nos Estados Unidos. Atualmente, é distribuído e desenvolvido por *Solemma LLC*. O termo DIVA é um acrônimo de “*Design, Iterate, Validate, Adapt*”, que revela a intenção do software de funcionar como uma ferramenta de auxílio às decisões de projeto em relação aos fenômenos da iluminação natural.

De acordo com Solemma (2016), esse software permite ao usuário realizar uma série de avaliações ambientais de edifícios individuais e paisagens urbanas, tendo sido concebido para contemplar a análise da disponibilidade da luz natural, do conforto do usuário e da eficiência energética.

O DIVA-for-Rhino é um *plug-in* desenvolvido para o software de modelagem Rhinoceros, destinado à análise de iluminação e suas consequências para o desempenho energético, através da integração de um modelo arquitetônico pré-existente com os algoritmos do Radiance e do Daysim (JAKUBIEC; REINHART, 2011).

São utilizados os motores de cálculo do Radiance e os algoritmos do Daysim, que são softwares para cálculo de iluminação e simulações dinâmicas. Por esta razão, os resultados

---

<sup>5</sup> Ecotect – Vendido para a Autodesk como uma ferramenta de análise para a tomada de decisão de arquitetura, o software passou a ser desenvolvido por essa empresa, mas foi descontinuado em 2015. Possui funções para a análise de luz solar; estudos de sol e sombra, que permite visualizar o percurso do sol para estudar o impacto da luz natural e das sombras sobre exteriores e interiores do projeto para qualquer localização; análise da iluminação natural e artificial; cálculo do desempenho térmico, com um recurso de carga de aquecimento e resfriamento; análise de energia de toda a construção e visualização de dados climáticos (AUTODESK, 2016).

<sup>6</sup> Sketchup – É um software de modelagem tridimensional que possibilita realizar ensaios com a radiação solar para qualquer horário do dia e do ano e em todas as posições geográficas. O software executa a modelagem de topografias complexas, possuindo uma biblioteca ampla para a aplicação de objetos e materiais na cena. Ele permite a instalação de diversos *plug-ins*, o que torna possível adaptá-lo às necessidades do projeto de iluminação (WIX.COM, 2015).

obtidos por meio desse software são considerados como referência para efeito das análises comparativas de resultados estáticos e dinâmicos (REINHART *et al.*, 2006).

Como descrito em Solemma (2016), o software realiza avaliações de desempenho ambiental, incluindo: mapas de radiação, renderizações fotorrealistas, métricas de iluminação natural com base no clima, análise de brilho anual, conformidade com iluminação natural LEED e CHPS e cálculos de energia e de zonas térmicas.

As simulações e as análises podem ser realizadas através de ferramentas que calculam a Iluminância, a Iluminância Útil de Luz Natural, o Ofuscamento, o Fator de Luz do Dia, a Autonomia de Luz do Dia, a Autonomia de Luz do Dia Espacial e a Exposição Solar Anual.

#### **2.1.2.4. EnergyPlus**

O EnergyPlus foi desenvolvido em conjunto com *Army Construction Engineering Research Laboratories*, na Universidade de Illinois, Estados Unidos, *Lawrence Berkeley National Laboratory*, Universidade do Estado de Oklahoma, Estados Unidos, *GARD Analytics* e *Department of Energy*.

O software foi criado a partir da junção entre as características do BLAST e do DOE-2. De acordo com Crawley *et al.* (2001), o EnergyPlus trabalha com o balanço de calor, o modelo de ar condicionado genérico e o fluxo de ar entre zonas do BLAST, enquanto o cálculo da iluminação natural deriva do DOE-2.

Para o cálculo das iluminâncias internas, durante a modelagem, são especificados de um a dois pontos de referência localizados na superfície de trabalho definida pelo usuário do software. A partir desses pontos, são calculados os fatores de luz diurna e da luz do sol, um para cada uma das parcelas de distribuição da luz. Além disso, o software estima o consumo de energia, considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior, baseado no clima e na caracterização do edifício ou da sala a ser estudada, desde a geometria até componentes construtivos, cargas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso e ocupação (CRAWLEY *et al.*, 2001).

O EnergyPlus apresenta uma deficiência para cálculo da iluminância interna, observada na análise do Fator de Luz do Dia, constatada por Ramos e Ghisi (2010). Em salas profundas, essa métrica é mostrada com valor constante a partir do meio da sala, provocando uma falha na resolução da refletância interna.

Essa deficiência influencia as análises realizadas quanto ao consumo de energia pelo uso da iluminação natural, referente à parcela da sala mais afastada da abertura, uma vez que os resultados da iluminância para essa parte da sala são majorados pelo software. Percebeu-se que, tanto para a iluminação difusa quanto para a iluminância direta, as distorções de cálculo ocorrem para as condições de céu encoberto (RAMOS; GHISI, 2010).

#### **2.1.2.5. Lumen Micro**

O Lumen Micro foi produzido pela *Light Technologies Inc*, no Colorado, Estados Unidos. É um software de simulação da iluminação natural e artificial que teve como sucessor do Lumen II. O Lumen Micro foi descontinuado e substituído pelo Lumen Designer 2006.

Segundo Bittencourt e Ferreira (2000), o software utiliza o método da radiosidade para os cálculos da iluminação global. Para fins de visualização, são consideradas as superfícies especulares, através do método do raio traçado.

Os materiais podem ser definidos por meio da cor ou da refletância, assim como por suas propriedades espectrais. São fornecidos, como produto das simulações, imagens renderizadas, tabelas numéricas com níveis de iluminação, diagramas isolux e visualização em perspectiva no ambiente construído. Entretanto, para céu parcialmente nublado, é simulado apenas a condição na qual o sol está sem a obstrução das nuvens (BITTENCOURT; FERREIRA, 2000).

De acordo com Bittencourt *et al.* (1999), é possível estudar o desempenho luminoso da edificação analisada para qualquer condição de céu, latitude e longitude, levando-se em consideração a orientação do ambiente em todas as horas, dias e meses do ano. Além disso, o software utiliza o padrão de céu da CIE e permite a importação de modelos do AutoCAD.

O software possui limitações para a construção de modelo 3D, permitindo apenas modelagem de superfícies ortogonais, utilizadas também para o desenho de curvas, além de não gerar imagens fotorealísticas.

#### **2.1.2.6. Radiance**

O Radiance é considerado um conjunto de ferramentas originalmente escrito por Greg Ward. O software foi lançado em 1985, no *Lawrence Berkeley Laboratory*, em Berkeley, nos Estados Unidos, e teve continuidade no *Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du*



*Bâtiment*, em Lausanne, na Suíça, em 1990, quando iniciou um projeto de ferramentas de simulação de luz natural.

Esse software utiliza o método do raio traçado e possui algoritmos que propiciam o cálculo de iluminação, análises de imagens renderizadas<sup>7</sup> e simula geometrias complexas. Com base no método do raio traçado recursivo e em técnicas estatísticas para definição dos raios relevantes para cálculo de uma cena, permite simular fisicamente a distribuição de luminâncias e iluminâncias em ambientes internos, considerando superfícies difusas, especulares ou sem especulares (REINHART; WALKEHORST, 2001).

O Radiance foi incluído no software Adeline (CBS, 2020) e, desde então, o software está disponível em duas versões: o original, para plataforma UNIX<sup>8</sup>, e uma versão mais leve em MS-DOS<sup>9</sup>. Atualmente, existe a versão para Windows, denominada Desktop Radiance (DEFULLER, 2019).

Os motores de cálculo do Radiance são utilizados por vários softwares, que desenvolveram interfaces gráficas para a criação dos dados de entrada para simulação em formatos compatíveis, tais como: OpenStudio, DIVA for RHINO e Daysim.

### **2.1.2.7. TropLux**

O TropLux foi desenvolvido por Cabús (2002), durante o seu doutorado, e atualizado pelo Grupo de Pesquisa em Iluminação – Grilu, da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Teve o seu desenvolvimento baseado na linguagem MatLab, utilizando-se da interface gráfica do próprio software no ambiente de trabalho do usuário (CABÚS, 2005). O software foi concebido a partir de três conceitos fundamentais: o método Monte Carlo, o método do raio traçado e o conceito de coeficientes de luz natural.

O método Monte Carlo utiliza a abordagem estatística para solucionar integrais múltiplas. A técnica do raio traçado segue o caminho de um raio entre superfícies, cuja principal vantagem consiste na possibilidade em dar soluções teóricas simples para geometrias complexas (TREGENZA, 1983). Os coeficientes de luz natural relacionam a iluminância em

---

<sup>7</sup> Renderização é o processo pelo qual se obtém o produto final de um processamento digital qualquer. Este processo aplica-se essencialmente em softwares de modelagem 2D e 3D, bem como áudio e vídeo.

<sup>8</sup> UNIX é um sistema operativo portátil, multitarefa e multiutilizador originalmente criado por Ken Thompson e Dennis Ritchie, que trabalhavam nos Laboratórios Bell da AT&T. A marca UNIX é uma propriedade do The Open Group, uma companhia formada por empresas de informática.

<sup>9</sup> MS-DOS é um sistema operacional comprado pela Microsoft para ser usado na linha de computadores IBM PC.

uma determinada superfície, a partir de uma dada subdivisão do céu, e a iluminância normal em um plano desobstruído, a partir desta mesma subdivisão.

Segundo Cabús (2005), o TropLux adota dois tipos de subdivisões do céu. Para o cálculo da componente refletida, é usada a subdivisão proposta pela CIE, em 145 partes. Para o cálculo da componente direta, utiliza-se uma subdivisão com 5.221 partes, a fim de melhorar a precisão dos resultados em função do tamanho angular do sol.

Para a realização da simulação da distribuição da luz natural em um ambiente, são necessários alguns dados de entrada, como a geometria da sala e as características dos materiais, além da localização geográfica. O software ainda permite o processamento de superfícies difusas, especulares e mistas; bem como, opacas, transparentes e translúcidas (CABÚS, 2005).

Atualmente, o TropLux está na versão 8, em que é possível realizar o cálculo de métricas e grandezas, como: Fator de Luz do Dia, Iluminância, Uniformidade da Luz Natural, Autonomia de Luz Natural, Autonomia de Luz Natural Espacial, Iluminância Útil da Luz Natural, Exposição Solar Anual, Luminância e Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural Simplificada.

### **2.1.3. Validação de softwares de simulação da iluminação natural**

A validação dos softwares de simulação da iluminação natural tem sido pré-requisito para a garantia da precisão dos seus resultados, bem como para a sua confiabilidade (MAAMARI *et al.*, 2005). As pesquisas nesse sentido têm realizado análise das características e dos recursos disponíveis para a avaliação quantitativa e qualitativa da luz, que podem auxiliar o projetista na aplicação desses recursos, na elaboração e na execução dos projetos em arquitetura.

Segundo Pereira *et al.* (2008), as discrepâncias encontradas nos resultados das simulações computacionais, comparadas ao comportamento da iluminação em ambientes reais, ficam evidenciadas pela imprecisão na construção dos cenários, na caracterização das propriedades ópticas dos materiais e nas limitações dos algoritmos matemáticos empregados. Sendo, o principal aspecto, a dificuldade da descrição da fonte de luz natural, caracterizada pela abóbada celeste e pelo entorno natural ou edificado.

Com o objetivo de avaliar a precisão dos resultados das ferramentas computacionais de iluminação natural, em 2006, a *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) divulgou o

relatório CIE 171 (2006). As verificações desse relatório são úteis tanto para os desenvolvedores, que podem melhorar os requisitos implementados de usabilidade e de funcionalidade, quanto para os usuários, que almejam compreender, tecnicamente, o funcionamento dos softwares.

Esse relatório técnico enumera testes com o objetivo de estabelecer um conjunto de situações de referência para estudos comparativos entre softwares de simulação. Os testes são referentes tanto à iluminação natural quanto à artificial.

Também são descritos parâmetros para a avaliação de softwares e apresentados modelos e características que têm como finalidade analisar os possíveis erros no processo de simulação dos softwares. O relatório sugere que os cenários utilizados para validar um software sejam projetados com um número limitado de parâmetros para identificar com maior facilidade as qualidades e as limitações do software. Os parâmetros são especificados e divididos da seguinte maneira:

- Transferência da iluminação por aberturas, como: vidros e dispositivos de proteção solar;
- Descrição da fonte luminosa e cálculos para sua propagação;
- Interreflexões entre diferentes tipos de materiais.

Pereira *et al.* (2008) apontam que, para verificar se o fenômeno físico que descreve a emissão e a propagação da iluminação no ambiente construído está sendo adequadamente simulado por um software, torna-se necessário validar seu desempenho. Esse método caracteriza-se por demonstrar a ocorrência ou não de compatibilidade entre a simulação e o comportamento real da iluminação.

Kota e Haberl (2009) resumiram os desenvolvimentos de métodos e de ferramentas de cálculo da iluminação natural, além de tentativas de incorporar simulações térmicas e de energia. As ferramentas revisadas mostraram limites para calcular a iluminação natural, implicando na necessidade de progressos adicionais das técnicas.

Nessa direção, Ochoa *et al.* (2012) apresentaram uma revisão da validação de ferramentas de simulação de projeto, atentando para a entrada de dados, a interpretação dos resultados e a integração com o projeto. Diferentes critérios foram discutidos, entre eles: precisão, esforço e tempo, complexidade do modelo 3D e conexão com a simulação de

performance do projeto. A revisão enfatizou a importância dos dados de entrada, uma vez que afetam, significativamente, a qualidade dos dados de saída.

Segundo Maamari *et al.* (2005), os procedimentos utilizados para a validação de softwares são identificados pelas validações analítica, comparativa e experimental. A validação analítica é, geralmente, aplicada em casos simplificados para avaliar uma suposição teórica de uma etapa do projeto, por possuir um alcance de domínios limitados da propagação da luz. A validação comparativa consiste na comparação direta de resultados de simulações computacionais realizadas por softwares. A validação experimental, por sua vez, caracteriza-se por ter os resultados das iluminâncias simuladas comparados aos medidos em modelos físicos ou em ambientes reais.

Dentre esses procedimentos, o de validação por comparação das ferramentas de simulação computacional vem sendo vastamente utilizado. Segundo Pereira *et al.* (2008), esse método identifica se determinado software apresenta uma maior ou menor precisão na caracterização do fenômeno físico que descreve a propagação da luz. E complementa dizendo que, para minimizar os erros devidos à propagação indireta da luz dentro do ambiente, é necessário utilizar modelos com refletâncias conhecidas.

A fotometria imposta para esse tipo de validação deve caracterizar a geometria do cenário, a fonte e a propagação da iluminação natural. As recomendações da CIE 171 (2006), em relação aos aspectos geométricos, baseiam-se em configurações simples, como salas retangulares, por exemplo. Para realizar o cálculo do Fator de Luz do Dia, utiliza-se uma só abertura.

O relatório ainda postula que, para as aberturas de luz natural envidraçadas, deve-se realizar medidas com e sem o vidro. Isso serve para separar o erro devido à transmissão direcional desse meio relacionada à iluminância direta e às interreflexões de superfície. É relevante observar as variações da distribuição de luminâncias externas e internas, incluindo a influência do entorno. Para as simulações, indica-se superfícies com reflexão perfeitamente difusa.

Quando, numa simulação, assume-se que as reflexões de superfícies são idealmente difusoras, essa suposição deve ser verificada e justificada com medidas de luminância em cima de uma amostra do material da superfície (PEREIRA *et al.*, 2008). Em cenários nos quais a

simulação é comparada com ambientes reais, é preferível evitar distribuições de luminâncias complexas, tais como: vegetação, sombras irregulares e prédios vizinhos.

No sentido da validação de softwares, tendo como requisito a percepção do usuário, Attia *et al.* (2011) analisaram as tendências e os critérios de seleção e de avaliação de ferramentas de simulação de performance do projeto. A revisão apontou medidas a serem abordadas pelos desenvolvedores, com base nas necessidades dos usuários, tais como: usabilidade, interface, interoperabilidade, precisão e integração com o processo de projeto.

## 2.2. Usabilidade de software

O termo usabilidade tem sido empregado, comumente, referindo-se à qualidade que um software possui em termos da sua facilidade de uso ou a um conjunto de propriedades que deve ser avaliado em determinada interface. O termo surgiu da expressão, em inglês, “*userfriendly*”, que pode ser entendido como “amigável para o usuário”. Nos estudos em que se encontram definições para a usabilidade de software, são destacados diferentes aspectos da interação usuário-sistema.

Tecnicamente, segundo a norma de qualidade de software ISO<sup>10</sup>/IEC<sup>11</sup> 25010 (2011), a usabilidade é definida como um subconjunto de qualidade em uso que consiste em eficácia, eficiência e satisfação, para manter a consistência com o objetivo estabelecido. Essa norma é mais específica quando afirma sobre a capacidade do software ser compreendido, aprendido, usado e apreciado pelo usuário, em condições específicas.

Essa conceituação é reiterada na norma NBR ISO 9241-11 (2011), que trata de orientações sobre usabilidade. Seguindo uma perspectiva similar, Preece *et al.* (2012) argumentam que a usabilidade é um fator que assegura, na perspectiva do usuário, a utilização dos sistemas de forma fácil, eficiente e agradável.

Apesar dessas conceituações serem abrangentes, para a implementação de aspectos como: efetividade, eficiência e satisfação, tornam-se necessárias especificações semânticas que se relacionem com os objetivos da usabilidade de software. Nesse sentido, Lacerda e Wangenheim (2018) afirmam que a qualidade se refere a métodos para melhorar a facilidade

---

<sup>10</sup> ISO - *International Organization for Standardization*. Organização Internacional para Padronização.

<sup>11</sup> IEC - *International Electrotechnical Commission*. Comissão Eletrotécnica Internacional.

de uso durante o processo de projeto, o que representa a maneira como um usuário pode aprender a operar, fornecer os dados de entrada e interpretar as saídas de um software.

Assim como os aspectos citados, a facilidade de uso é uma característica subjetiva. Para Raza *et al.* (2011), a usabilidade é um conceito abstrato e, portanto, não pode ser medido diretamente, em particular, porque os usuários, supostamente, têm dificuldade de relatar erros de usabilidade, e, de forma geral, por esse requisito ainda não ser considerado um dos objetivos principais em projetos de software.

Indo de encontro a essa constatação, Silva *et al.* (2016) e Alves *et al.*, (2015) consideram que a usabilidade é uma das qualidades mais importantes de uma interface, podendo, inclusive, fazer com que usuários se frustrem e desistam de utilizar o software ao se depararem com dificuldades na interação com uma interface mal planejada.

De acordo com Abrahão *et al.* (2010), apesar de o desenvolvimento de software vir passando por avanços, vários projetos falham produzindo softwares com limitações que, comumente, envolvem a usabilidade. Isso pode resultar em efeitos indesejados nos sistemas de software, como a falta de utilidade, pelo fato do sistema não apoiar as tarefas do usuário, e o déficit de produtividade, apesar dos investimentos em tecnologia da informação.

Verifica-se que nenhuma das definições à usabilidade provê indicações do que é necessário para se conduzir uma avaliação desse requisito. Diante disso, Carvajal *et al.* (2013) e Nacheva (2015) especificaram um conjunto de métricas que podem ser aferidas, do ponto de vista prático, para viabilizar o quanto dos objetivos de eficiência e de satisfação, no contexto de usabilidade de software, foram atingidos. O tempo de aprendizado, o desempenho do usuário, a taxa de erros cometidos pelo usuário, a sedimentação do conhecimento capturado por experiência e a satisfação subjetiva foram fatores elencados.

Para auxiliar na implementação dos aspectos atribuídos aos requisitos de usabilidade, recomendações para o desenvolvimento de interfaces são encontradas em pesquisas como as de Kitchenham e Charters (2007), Gonçalves *et al.* (2011), Moraveji e Soesanto (2012) e Wale-Kolade (2015).

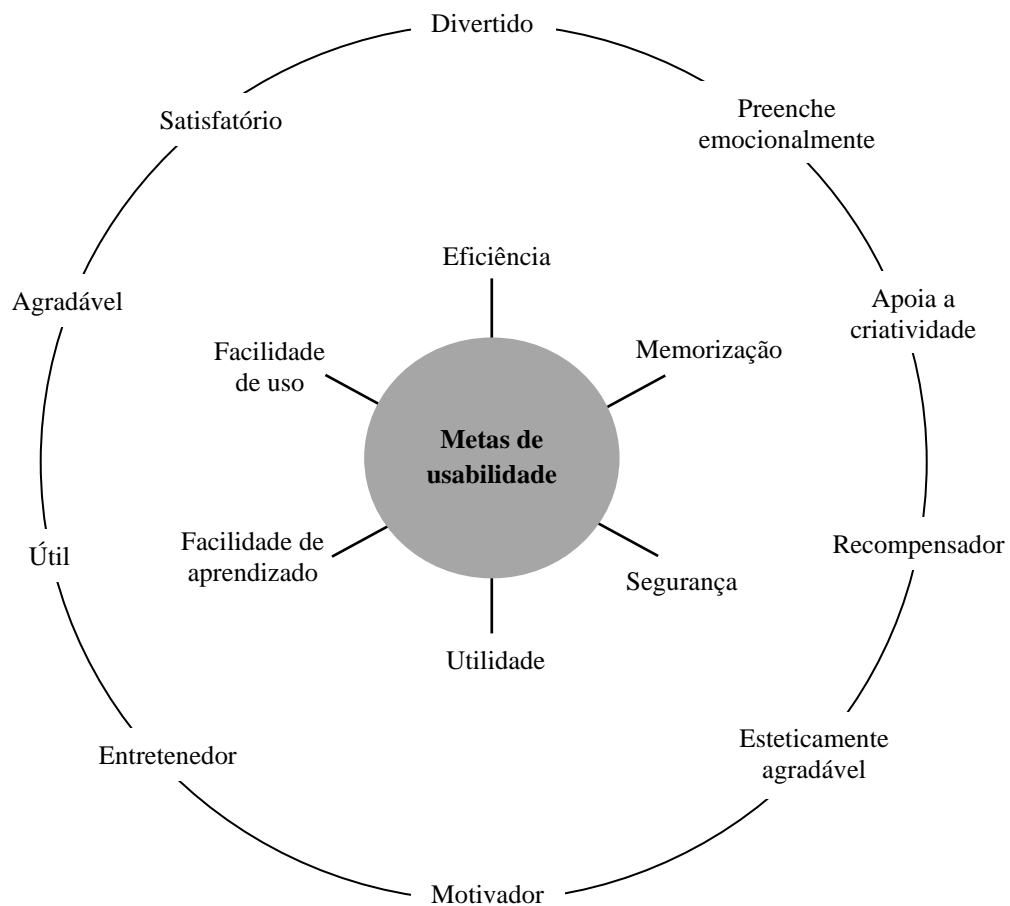
Esses critérios, além da usabilidade, também abordam a “experiência de uso”, expressão idealizada por Donald Norman, desenvolvedor da Apple, na década de 1990, e, frequentemente, utilizada no desenvolvimento de sistemas, com o objetivo de tornar o software

desenvolvido cada vez mais intuitivo e atraente para o usuário final (SILVEIRA; SCHNEIDER, 2015).

Expandindo esse conceito, Calil e Oliveira (2017) afirmam que toda interação com o software, desde a primeira impressão até a sua instalação, pode ser definida como experiência de uso ou de usuário, não se limitando apenas ao software e às interações com ele.

Com o intuito de evidenciar a importância do usuário na interação com as interfaces computadorizadas, Preece *et al.* (2012) elaboraram um conjunto de metas de usabilidade e de experiência de uso, como pode ser visto na Figura 3. Na parte interna do círculo, são mostradas as metas de usabilidade e, sobre a circunferência, as metas de experiência.

Figura 3: Metas de usabilidade (dentro do círculo) e metas de experiência de uso (sobre a circunferência).



Fonte: Adaptado de Preece *et al.* (2012). Traduzido pela autora.

A experiência de uso está relacionada à maneira como o indivíduo se sente enquanto utiliza um produto, um sistema ou um serviço, além da satisfação evocada no contato com este artefato (PREECE *et al.*, 2012). Seguindo esse ponto de vista, Nascimento *et al.* (2016) afirmam

que a usabilidade é considerada parte da experiência de uso na interação humano-computador, pois essa, além da satisfação ao realizar uma tarefa, aborda fatores físicos, ambientais e emocionais ligados ao uso do sistema.

Para Pargman *et al.* (2019), esse tipo de experiência inclui aspectos subjetivos atribuídos à interação humano-computador, mas também pode envolver a percepção do usuário sobre os aspectos de usabilidade e facilidade de uso, para alcançar seus objetivos numa determinada interação.

Apesar da usabilidade não ser o único aspecto requerido quando se pretende escolher um software para uma situação específica, já que requisitos como: razões econômicas e sociais, funcionalidade e acessibilidade também podem influenciar nessa decisão, esse é um tópico essencial para que um sistema cumpra os seus objetivos primordiais. Segundo Moura *et al.* (2019), a carência desse requisito desvia recursos cognitivos do usuário, que seriam utilizados na construção de um projeto, para a aprendizagem da ferramenta.

Para se obter um processo de avaliação da interação bem sucedido, Preece *et al.* (2012), sintetizam, em três estágios, as tarefas que devem reger o trabalho no percurso do desenvolvimento de sistemas: (i) identificar o que avaliar, (ii) especificar por que avaliar e (iii) definir quando avaliar.

Métodos para a avaliação da usabilidade de software foram elaborados por Nielsen (1994), por Shackel (2009) e por Raza *et al.* (2011), que propuseram critérios que contemplam aspectos observáveis e mensuráveis desse requisito, como: facilidade de aprendizado, eficiência, memorização e satisfação.

De acordo com Nielsen (1994), existem técnicas de avaliação que podem envolver ou não usuários em sua realização. Kitchenham e Charters (2007) exemplificam, citando a aplicação de questionário como uma técnica em que a presença do usuário se faz necessária. Ao contrário da avaliação heurística, em que pode ser requerida a assistência de especialistas, mas não a do usuário final do software.

Ainda segundo Nielsen (1993), a denominação “heurística” ressalta que são regras gerais, diferentemente do que ocorre com as recomendações ou diretrizes, também chamadas de *guidelines*, que são regras específicas.



Em uma revisão sistêmica, Sagar e Saha (2017) identificaram 150 estudos relacionados à usabilidade de software do período de 1990 a 2016. Na pesquisa, relatou-se o teste de usabilidade, a avaliação heurística e a aplicação de questionário como os métodos de avaliação de usabilidade comumente usados. Concluíram, ainda, que satisfação e eficácia foram os atributos mais recorrentes nas averiguações, porém aprendizagem e eficiência foram os atributos identificados como os mais problemáticos para a execução.

De forma geral, Lacerda e Wangenheim (2018) entendem que as técnicas de avaliação de interface podem ser aplicadas em diferentes estágios, tais como: protótipos da tela do sistema em papel, protótipos funcionais, interface incorporada ao sistema e softwares finalizados e disponibilizados para uso.

### **2.2.1. Interação Humano-Computador**

De acordo com Oliveira e Oliveira (2015), a Interação Humano-Computador (IHC) é a área da computação que se ocupa com o *design*, a avaliação e o desenvolvimento de interfaces para que usuários finais possam interagir com sistemas computacionais de uma forma eficiente e intuitiva. Pargman *et al.* (2019) a descrevem como um campo de investigação que estuda a interação entre humanos e computadores em todas as formas, estando, particularmente, envolvido com a compreensão da relação entre os humanos e as tecnologias emergentes.

Nessa perspectiva, as ideias de Blackwell (2015) e Reeves (2015) convergem por considerarem a IHC uma área interdisciplinar originada no trabalho a respeito de fatores humanos nos sistemas de computador que, hoje, utilizam métodos e práticas da ciência da computação, da psicologia, da sociologia, do design e das artes.

Oulasvirta e Hornbaek (2016) caracterizam essa forma de interação como uma área de solução de problemas que coloca ênfase em questões construtivas, em que as contribuições são, frequentemente, avaliadas com base em como as soluções propostas abordam os desafios criados por diferentes tipos de sistemas de computador, de interações e de contextos.

De maneira geral, essas conceituações versam sobre como pessoas podem interagir com dispositivos computacionais, para que as suas necessidades, usando essas tecnologias, sejam, efetivamente, contempladas. Uma das tarefas atribuídas aos pesquisadores da IHC é acompanhar a evolução tecnológica e, paralelamente, atender aos variados perfis dos grupos de usuários, uma vez que as habilidades para dominar as funcionalidades de um sistema são subjetivas (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2015).

Nesse sentido, o conceito de usabilidade está relacionado à IHC. Segundo Winckler e Pimenta (2002), quando vários usuários encontram dificuldades para realizar qualquer tarefa através da interação com um sistema, é possível afirmar que a interface do software apresenta problemas de usabilidade, o que pode acarretar a perda de dados, a diminuição da produtividade e a desistência do uso do software.

De acordo com Gloria (2015), para garantir que a usabilidade esteja presente em um sistema computacional, são realizadas avaliações através de métodos que podem ser classificados como: indiretos e diretos. Nos métodos indiretos, os avaliadores analisam a usabilidade do sistema aplicando técnicas de coleta de dados sem a necessidade de envolver usuários finais, cujo principal objetivo é encontrar problemas de usabilidade.

Os métodos diretos, por sua vez, utilizam ferramentas e instruções por meio de simulações, executadas pelo próprio usuário, com o intuito de observar o seu comportamento e ouvir a sua opinião (GLORIA, 2015). Para isso, questionários são empregados para obter as impressões do usuário e investigar a experiência de uso do software (ALVES *et al.*, 2015).

Essa classificação é reiterada por Alves *et al.* (2015), que cita a avaliação heurística como um exemplo de método indireto, a qual permite identificar problemas em interfaces de sistemas, através de um conjunto de regras gerais em que são descritas propriedades derivadas do conhecimento sobre aspectos psicológicos, computacionais e sociológicos.

De acordo com Machado *et al.* (2014), o teste de usabilidade é um método direto em que são medidos e determinados os impactos da interação. Além disso, são identificados problemas na interface, responsáveis por gerar desconfortos aos usuários.

### **2.2.2. Princípios de usabilidade**

Os princípios de usabilidade, também chamados de Heurísticas, são orientações a respeito de boas práticas no projeto de interfaces com o usuário. Eles advêm da avaliação heurística e servem para dois propósitos: facilitar a escolha entre diferentes alternativas de projeto durante a criação de um software e identificar problemas durante a avaliação do software (GOMES; PADOVANI, 2005).

De acordo com Hansen (1971), o processo de desenvolvimento de um sistema deve iniciar com os usuários e suas necessidades, antes de qualquer questão tecnológica. Ou seja, o

foco, durante o projeto, deve ser mantido nos desejos e nas limitações dos usuários, características que, atualmente, podem ser estabelecidas pelo perfil do grupo de usuários.

Seguindo esse preceito, Nielsen (1993) apresentou um conjunto de heurísticas, de uso geral, para o projeto de interfaces em softwares, que são mostradas a seguir, juntamente com a sugestão de soluções para viabilizar a implementação pelos desenvolvedores.

- Visibilidade do sistema: mantenha os usuários informados sobre o que acontece no sistema, por meio de feedback apropriado. Recursos que podem ser utilizados para isso incluem alterações no cursor do mouse, realce de seleções e barra de informações;
- Correspondência entre o sistema e o mundo real: forneça informações utilizando palavras, frases e conceitos que são familiares ao usuário, evitando o uso de termos técnicos ou, até mesmo, metáforas que podem ser confusas;
- Controle e liberdade para o usuário: forneça opções para que os usuários facilmente escapem de condições inesperadas, usando “saídas de emergência” claramente indicadas. Para alcançar isso, forneça a opção de desfazer ações e permita que operações longas sejam canceladas;
- Consistência e padrões: evite fazer com que os usuários precisem pensar a respeito de diferentes palavras, situações ou ações que possam ter o mesmo significado. A ideia é manter a mesma aparência e o mesmo comportamento em todo o sistema, para que ocorrências similares sejam reconhecidas;
- Diagnóstico e recuperação de erros: use linguagem simples, construtiva e polida para descrever a natureza de um problema e sugerir uma forma de solucioná-lo;
- Prevenção de erros: sempre que possível, previna a ocorrência de erros antes de tudo. Isso pode ser feito desabilitando-se comandos temporariamente inacessíveis ou ilegais e usando caixas de seleção ao invés de caixas de texto, pois elas são menos propensas a erros, já que o usuário não tem como errar na grafia do conteúdo;
- Reconhecimento ao invés de recordação: faça objetos, ações e opções serem visíveis. Isso significa que os componentes gráficos devem ser usados de forma convencional, através da seleção por combos e listas e não por caixas de

texto, por exemplo. Deve-se evitar solicitar que o usuário mantenha muita informação em memória;

- Flexibilidade e eficiência no uso: forneça aceleradores que são invisíveis para usuários novatos, mas que permitem que os usuários experientes executem suas tarefas mais rapidamente;
- *Design* e estética minimalistas: evite usar informação que é irrelevante ou raramente utilizada. Adicionalmente, use cores e fontes simples e fáceis de serem compreendidas e organize os elementos para ocuparem espaços condizentes com suas funções, isto é, não apresente informação desconectada em uma mesma janela;
- Ajuda e documentação: forneça meios para que a informação possa ser facilmente buscada e forneça ajuda em passos consistentes, que possam ser facilmente seguidos.

Colaborando com essas recomendações, Kitchenham e Charters (2007), Oulasvirta e Hornbaek (2016) e Murillo et al. (2017) salientam que, para otimizar a experiência de uso e proporcionar satisfação para o usuário, deve-se reduzir a necessidade de memorização, otimizar as funções por meio da execução de operações comuns e da consistência da interface e gerar mensagens de erro, possibilitando desfazer ações realizadas.

De acordo com Machado *et al.* (2014), a escolha de um conjunto de heurísticas é passível de discussão e até da combinação entre os exemplares encontrados na literatura, principalmente porque sua aplicabilidade depende do escopo a que o software se destina.

Apesar dos avanços no desenvolvimento de métodos que auxiliem no projeto de interfaces em softwares, atualmente, ainda são utilizados, como referências, os princípios clássicos propostos por Mayhew (1992), Nielsen (1993), Bastien e Scapin (1993), Marcus (1997) e Shneiderman (1998). Essas pesquisas foram citadas por Nacheva (2015), Wale-Kolade (2015), Murillo *et al.* (2017) e Obisat *et al.* (2018).

Para orientar o projeto de sistemas computadorizados interativos, Gomes e Padovani (2005) sintetizaram, em um esquema comparativo, os principais princípios de usabilidade. Apresenta-se essa síntese, no Quadro 1.

Quadro 1: Comparação de princípios clássicos de usabilidade.

PRINCÍPIOS	AUTORES QUE PROMOVEM O PRINCÍPIO				
	Mayhew (1992)	Nielsen (1993)	Bastien e Scapin (1993)	Marcus (1997)	Shneiderman (1998)
Simplicidade					
Clareza no código					
Compatibilidade com o usuário					
Compatibilidade entre produtos					
Compatibilidade com a tarefa					
Compatibilidade com o contexto					
Consistência					
<i>Feedback</i>					
Minimização da carga da memória de curta duração					
Mensagens de erro claras					
Prevenção, proteção e fácil correção de erros					
Providenciar <i>help online</i> e documentação sobre o sistema					
Familiaridade					
Controle do usuário sobre o sistema					
Flexibilidade/personalização					
Tecnologia invisível					
Robustez técnica					
Grupamento funcional explícito					
Legibilidade e leitura das informações apresentadas					
Informação contextual para a tomada de decisões					
Códigos significativos					

Fonte: Gomes e Padovani, 2005.

As expressões utilizadas para identificar os princípios do requisito usabilidade de software nesse comparativo representam, de maneira geral, heurísticas observadas para o desenvolvimento de software.

Essa lista não esgota as possibilidades existentes, porém contempla aspectos relevantes desse requisito, tais como: simplicidade, compatibilidade com o usuário, com a tarefa e com o contexto, consistência, *feedback*, memorização, mensagens de erros claras, *help online* e documentação sobre o sistema, flexibilidade, grupamento funcional explícito e legibilidade das informações apresentadas.

A avaliação heurística pode ser aplicada em qualquer fase do ciclo de desenvolvimento do software, sendo aconselhável nas fases iniciais, nas quais a interface se restringe a um esboço (OULASVIRTA; HORNBAEK, 2016).

Segundo Nielsen (1993), para a realização desse tipo de avaliação da usabilidade, recomenda-se o apoio de 3 a 5 avaliadores. Chegou-se nesse número por meio de um estudo que levou em consideração o número de avaliadores, o número de erros encontrados e o valor gasto com a pesquisa. Concluiu-se que a eficácia do método para 3 avaliadores fica em torno de 60%; para 4, 70% e para 5, em torno de 75%. Acima de 10 avaliadores, o acréscimo de percentual não foi significativo.

Por se tratar de um método de alcance geral para auxiliar os avaliadores na inspeção de interfaces durante a avaliação do sistema, Obisat *et al.* (2018) apontam que a avaliação heurística tem atraído a atenção de outras áreas que demandam interação com os usuários, tais como: jogos digitais, realidade aumentada, sistemas educativos, aplicativos *touchscreen*, computação pervasiva, televisores interativos e visualização de informação.

Entretanto, Nielsen (1994) alertou para o fato de que sistemas de domínios diferentes demandam adaptações nessas regras gerais. Reafirmando essa ideia, Pargman *et al.* (2019) salientam que o conjunto de heurísticas empregado para a avaliação da usabilidade cobre somente os conceitos desse requisito de software. Por isso, ao utilizar esse método em outras áreas, a avaliação da usabilidade pode não ser suficiente para englobar as particularidades dessas tecnologias interativas.

### **2.2.3. Avaliação da qualidade de software**

Em um software, antes mesmo de o produto existir, pode-se determinar, durante a análise de requisitos, como ele deverá funcionar (MACHADO *et al.*, 2014). É possível estabelecer qual o tempo máximo que deverá executar até fornecer uma resposta e, com base nessa informação, os projetistas e desenvolvedores poderão definir, dentre outros fatores que influenciam o resultado, os algoritmos mais adequados, a forma de acesso, a indexação de arquivos e os requisitos de hardware (DERAMAN; SALMAN, 2019).

De acordo com Bourque e Fairley (2014), a melhoria na qualidade de software sempre foi um objetivo considerado relevante por pesquisadores e projetistas da área. Com o aumento na robustez e da complexidade, os softwares estão se tornando artefatos estratégicos e críticos. Diante disso, uma atenção especial tem sido voltada ao desenvolvimento e à manutenção de produtos com qualidade, atendendo às restrições de recursos e de tempo estabelecidos nos projetos.

Segundo Pressman (2001), qualidade de software é a conformidade a requisitos funcionais e de desempenho explicitamente declarados, a padrões de desenvolvimento documentados e a características implícitas que são esperadas de todo software, profissionalmente, desenvolvido.

Nessa perspectiva, Silva *et al.* (2015) afirmam que, quando se desenvolve um software, deve-se assegurar que cada uma de suas partes constituintes possua qualidade. Portanto, os resultados intermediários, no processo de produção, devem ser examinados, imediatamente, após a sua conclusão, procurando garantir que erros e inadequações no software sejam detectados o mais cedo possível, pois a qualidade final é uma função de todas as fases anteriores de seu ciclo de desenvolvimento.

Para Kabir *et al.* (2016), qualidade significa o padrão de algo medido em comparação com outros semelhantes, isto é, um grau de excelência. Sequencialmente, a qualidade de software implica em atender aos requisitos do usuário, sendo esses requisitos os primeiros parâmetros para medição.

Pesquisadores têm desenvolvido modelos de qualidade para medir e garantir essa característica nos softwares. De acordo com Silva *et al.* (2015), os modelos constituem fatores como: usabilidade, capacidade de aprendizado e eficiência. Para Carvalho *et al.* (2016), entre esses, o primeiro tem se destacado como requisito de análise, porque representa grande impacto na aceitação do software.

Seffah *et al.* (2006) propuseram um modelo denominado “Qualidade em medição integrada de uso”, que definiu dez fatores para a usabilidade de software: produtividade, eficiência, eficácia, segurança, capacidade de aprendizagem, acessibilidade, satisfação, confiabilidade, universabilidade e utilidade. No mesmo contexto, Masood *et al.* (2014) criaram cinco aspectos para a usabilidade em um modelo de metodologias, que são: compreensibilidade, capacidade de aprendizado, aplicabilidade, eficácia, utilidade e satisfação do usuário.

Para Roy *et al.* (2016), a qualidade, do ponto de vista de processo, está associada com as atividades, os métodos, as práticas e as tecnologias utilizadas para desenvolver e manter o software. Atualmente, instituições têm se preocupado em criar normas para viabilizar uma correta avaliação da qualidade, tanto dos produtos de software quanto dos processos de desenvolvimento.

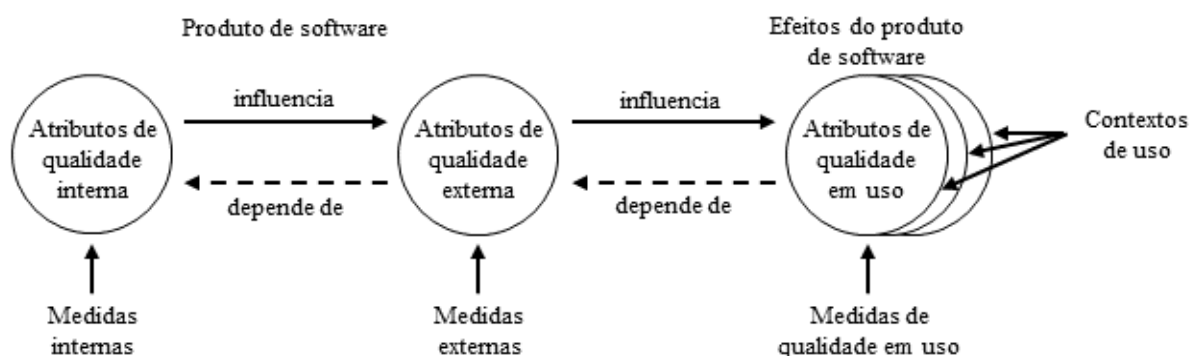
Na norma ISO/IEC 25010 (2011), é apresentada uma estrutura para apoiar a avaliação de produtos de software. A qualidade é definida como a totalidade das características de um software, que lhe confere a capacidade de satisfazer às necessidades explícitas e implícitas do usuário.

Entende-se, por necessidades explícitas, aquelas expressas na especificação de requisitos propostos pelo projetista, tais como: os objetivos, as funções e o desempenho. As necessidades implícitas são aquelas que não estão expressas nos documentos do projetista, mas que são essenciais para o usuário, por exemplo: facilidade de aprendizagem, facilidade de uso e satisfação ISO/IEC 25010 (2011). O conjunto das necessidades explícitas e implícitas expressam, em termos quantitativos e qualitativos, as características de um software (ROY *et al.* 2016).

Existem três níveis diferentes de métricas de qualidade: as externas, as internas e as de qualidade em uso. De acordo com Balthazar (2017), as características de qualidade externas são observadas quando os produtos de software são executados, resultando em uma visão dinâmica do software. A avaliação das características internas é realizada através da verificação do projeto e de códigos fonte, decorrendo em uma visão estática do software. A qualidade em uso é a capacidade do software de permitir que os usuários atinjam metas especificadas com eficácia, produtividade, segurança e satisfação em contextos de uso determinados.

A maneira como essas três medidas estão inter-relacionadas pode ser observada na Figura 4. Os atributos de qualidade interna do software são pré-requisitos para atingir o comportamento requerido nos atributos de qualidade externa e esse, por sua vez, é pré-requisito para se obter os atributos de qualidade em uso. Essa característica é dependente da obtenção da qualidade externa, a qual, por sua vez, é dependente da obtenção da qualidade interna.

Figura 4: Os três níveis de métricas de qualidade de software.



Fonte: Adaptado de ISO/IEC 25010 (2011).



Esse modelo especifica características para qualidade interna e externa que são: funcionalidade, confiabilidade, usabilidade, eficiência, manutenibilidade e portabilidade. Para o modelo de qualidade em uso, as características são: eficácia, produtividade, segurança e satisfação (ISO/IEC 25010, 2011).

Segundo Salman *et al.* (2017), o emprego da norma permite que a qualidade do produto de software seja especificada e avaliada por projetistas e desenvolvedores de softwares, sendo útil para identificar requisitos de software, validar a completude de uma definição de requisitos, identificar objetivos do projeto de software, identificar objetivos para teste de software e definir critérios para garantia de qualidade.

Essas ações podem ser realizadas aplicando as características estabelecidas pela norma ISO/IEC 25010 (2011), em conjunto ou individualmente, a depender do requisito que se deseja atingir e da atividade fundamental do software analisado.

García-Mireles *et al.* (2013) defendem que a qualidade de software depende, em grande medida, dos processos utilizados para o seu desenvolvimento e/ou manutenção e do grau de usabilidade conferida à interação. No entanto, apesar dessa crença sobre a influência do processo e da usabilidade na qualidade do produto, a relação específica projeto-usabilidade-usuário ainda carece de mais aprimoramentos.

Isso porque, segundo Kabir *et al.* (2016), a influência que os processos podem ter na usabilidade, que é uma das características de qualidade mais importantes, pode ser determinante para a maneira como o usuário entende e usa o software num contexto amplo.

Para Deraman e Salman (2019), a avaliação da usabilidade é uma atividade que minimiza os riscos de falhas e melhora a qualidade do software. Negligenciar essa avaliação no estágio de desenvolvimento e de execução afeta, negativamente, o uso de um software.

Salman *et al.* (2017) explicam que um design ineficiente do produto final é um problema comum em softwares com falha, podendo ser evitado incorporando ações de avaliação de usabilidade na etapa de projeto e desenvolvimento de sistemas. Para Balthazar (2017), a avaliação da usabilidade é aplicada durante o processo de desenvolvimento para minimizar os riscos de falhas, diminuir custos e aumentar a qualidade geral do software.

### 3. A PERCEPÇÃO DO USUÁRIO QUANTO À USABILIDADE

A primeira etapa da pesquisa é a identificação da percepção do usuário quanto à usabilidade de softwares de simulação da iluminação natural.

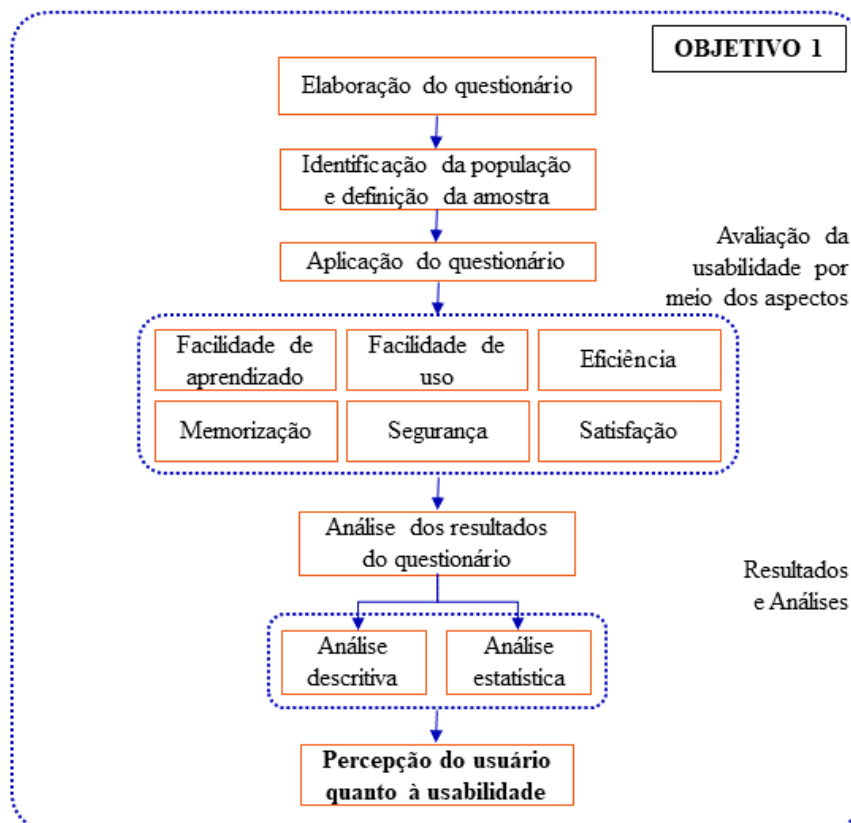
#### 3.1. Método de pesquisa

As fases designadas para a realização da pesquisa exploratória (YIN, 2005) foram:

- Elaboração do questionário;
- Identificação da população e definição da amostra;
- Realização do estudo preliminar;
- Aplicação do questionário;
- Tabulação dos dados;
- Análise descritiva;
- Análise estatística.

Essas fases são mostradas, de forma esquemática, no fluxograma visto na Figura 5.

Figura 5: Fluxograma das fases do método de pesquisa do objetivo 1.



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.1.1. Elaboração do questionário

Adotou-se, como instrumento de coleta de dados, o questionário, em que as questões são respondidas sem a presença do entrevistador. A aplicação do formato *on-line*, via *e-mail*, permite maior facilidade de acesso ao entrevistado, já que as barreiras geográfica e temporal são superadas.

A escolha do questionário deve-se aos seguintes aspectos relevantes para esta pesquisa:

- Atinge maior número de pessoas simultaneamente;
- Abrange ampla área geográfica;
- Obtém respostas mais rápidas e mais precisas;
- Em razão do anonimato, há maior liberdade nas respostas e segurança para o entrevistado;
- Há menos risco de distorção, pela não influência do pesquisador;
- Há mais tempo para responder e em hora favorável;
- Há mais uniformidade na avaliação, em virtude da natureza impessoal do instrumento.

Reconhece-se que essa técnica também apresenta limitações, tais como: a possibilidade de desmotivação para responder, a falta de respostas conscienciosas, as diferenças de entendimento e interpretação, os sentimentos e significados podem não ser transmitidos, o impedimento de auxílio ao entrevistado, o desconhecimento das circunstâncias em que o questionário foi respondido e a falta de garantia de que as pessoas retornem o instrumento preenchido.

Para minimizar a ocorrência dessas limitações, foram utilizados recursos como: a elaboração de questões assertivas com respostas em escala; as questões de múltipla escolha, em que o entrevistado é livre para marcar as alternativas que julgar adequadas; o número mínimo de questões abertas; a confecção de um questionário curto; a utilização de barra de progresso para orientar o entrevistado sobre o estágio em que se encontra e o fornecimento de informação acerca do anonimato na pesquisa e do tempo estimado para o preenchimento. Além disso, foi realizado um estudo preliminar para, dessa forma, aperfeiçoar o instrumento e minimizar equívocos estruturais ou de conteúdo.

O modelo do questionário foi concebido baseando-se nos preceitos de Andrade (2009), Kitchenham e Pfleeger (2002) e Neves *et al.* (2020), nos estudos de caso encontrados em Coelho *et al.* (2020), na pesquisa aplicada de Moyses e Moori (2007) e nas estratégias de aplicação de Faleiros *et al.* (2016). As questões que versam sobre a usabilidade estão de acordo com a norma de qualidade de software ISO/IEC 25010 (2011) e com os princípios clássicos propostos por Mayhew (1992), Nielsen (1993), Bastien e Scapin (1993), Marcus (1997) e Shneiderman (1998).

O questionário foi confeccionado utilizando a ferramenta *Google Forms*. As questões são expostas em três formatos: perguntas abertas, em que a resposta pode ser dada textualmente; múltipla escolha, em que são fornecidas alternativas e o usuário pode escolher quantas respostas julgar apropriadas; escala de Likert (LIKERT, 1932). As questões em que se utilizou escala foram compostas por uma assertiva e por alternativas com gradação de 1 a 5, em que: 1 – Discordo Totalmente (DT); 2 – Discordo Parcialmente (DP); 3 – Neutro (NT); 4 – Concordo Parcialmente (CP) e 5 – Concordo Totalmente (CT).

Um esboço de trechos do questionário pode ser visto de maneira segmentada no texto a seguir. A versão completa encontra-se no APÊNDICE A – Questionário sobre a usabilidade de software.

Iniciou-se o questionário com uma seção de instruções em que foram expostas as informações sobre o instrumento. Em seguida, com o intuito de despertar o interesse do entrevistado para o preenchimento de forma coerente e a devolução dentro do prazo, apresenta-se uma nota explicando a natureza da pesquisa, sua importância e a necessidade da obtenção das respostas.

Como garantia da integridade do entrevistado, da pesquisadora e da ética na pesquisa, apresentou-se o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE, que deveria ser assinalado confirmando a intenção do indivíduo em participar do estudo. Essa foi a única seção em que a resposta do entrevistado era obrigatória. Para todas as demais perguntas, era optativo responder.

Para a validação da resposta, na primeira pergunta foi implementada uma condicional em que o entrevistado deveria declarar se é/foi usuário de software de simulação da iluminação natural. O preenchimento do questionário poderia continuar se a resposta fosse positiva. Em caso negativo, finalizava-se a pesquisa. Para a identificação do perfil do respondente, verificou-

se a formação, a atividade que exerce, a instituição à qual está vinculado e a faixa etária. A seção do questionário destinada à avaliação da usabilidade foi composta por 19 questões.

Buscou-se descobrir a experiência do usuário por meio de duas questões: a primeira questão (Q1) que versa sobre o tempo que o usuário usa ou usou software(s) de iluminação natural; a segunda questão (Q2), sobre a quantidade de softwares já utilizados. Como pode ser visto no Quadro 2.

Quadro 2: Esboço do trecho do questionário: Q1 – sobre o tempo que usa ou usou software e Q2 – sobre a quantidade de softwares utilizados.

<p>1. Quanto tempo você usa ou usou software de simulação da iluminação natural?</p> <p><input type="checkbox"/> Até 1 ano.</p> <p><input type="checkbox"/> Entre 1 e 5 anos.</p> <p><input type="checkbox"/> Entre 5 e 10 anos.</p> <p><input type="checkbox"/> Acima de 10 anos.</p>
<p>2. Quantos softwares de simulação da iluminação natural você usa ou usou?</p> <p><input type="checkbox"/> 1</p> <p><input type="checkbox"/> 2</p> <p><input type="checkbox"/> 3</p> <p><input type="checkbox"/> 4</p> <p><input type="checkbox"/> 5</p> <p><input type="checkbox"/> Acima de 5</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

Sequencialmente, indagou-se, na questão 3 (Q3), sobre o software que o usuário utiliza(ou) e a versão. As respostas ao questionário podiam ser editadas e o usuário estava livre para preencher quantas vezes desejasse, caso usasse mais de um software. Isso justifica a questão 4 (Q4) a respeito, especificamente, do software que ensejava as respostas. Essas perguntas podem ser vistas no Quadro 3.

Quadro 3: Esboço do trecho do questionário: Q3 – o(s) software(s) que já usou e as suas versões e Q4 – o software a respeito do qual vai preencher o questionário.

<p>3. Cite o(s) software(s) de simulação da iluminação natural e a(s) versão(ões) que você está usando ou que usou.</p>
<p>4. Sobre qual software você irá responder agora? (Este questionário é para apenas um software por vez. Ao finalizar as suas respostas, será dada a opção de responder novamente, caso seja usuário de mais de um software).</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

Para avaliar o conhecimento dos usuários acerca da capacidade dos softwares de realizar cálculos referentes à iluminação natural, questionou-se sobre as informações possíveis de serem extraídas. Segue esboço no Quadro 4.

Quadro 4: Esboço do trecho do questionário: Q5 – as métricas que podem ser extraídas do software.

5. Dos itens que seguem, qual(is) informação(ões) você consegue extrair desse software para analisar a iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).
- Fator de Luz do Dia (FLD)
  - Iluminância (E)
  - Uniformidade da Luz Natural (U)
  - Autonomia da Luz Natural (ALN)
  - Autonomia da Luz Natural Espacial (ALNe)
  - Iluminância Útil da Luz Natural (IULN)
  - Exposição Solar Anual (ESA)
  - Luminância (L)
  - Ofuscamento (DGI/DGP)
  - Outro

Fonte: Elaborado pela autora.

Faz-se a ressalva de que, embora na lista dos itens que podem ser extraídos dos softwares constem métricas e grandezas, convencionou-se categorizar com o termo “métricas” nas análises das pesquisas exploratórias realizadas ao longo deste estudo.

Para a investigação da percepção dos usuários sobre usabilidade, foram avaliados os aspectos que compõem esse requisito: facilidade de aprendizado, facilidade de uso, eficiência, memorização, segurança e satisfação. Nessa parte, cada aspecto é investigado por meio de duas perguntas. Na primeira, o conceito relacionado ao aspecto é tratado de forma geral, através de questões de múltipla escolha. Na segunda, investiga-se a existência do aspecto no software escolhido pelo usuário, por meio de questões em escala.

O aspecto “Facilidade de Aprendizado” é avaliado a partir das questões Q6 e Q7. O esboço desse trecho do questionário pode ser visto no Quadro 5.

Quadro 5: Esboço do trecho do questionário: Q6 – o conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Facilidade de Aprendizado” e Q7 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido.

6. Para você, o que é facilidade de aprendizado em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).
- O tempo para aprender um conjunto básico de operações.
  - O software é intuitivo.
  - Explicar com facilidade como usar o software.
  - Não haver necessidade do apoio de um especialista para usar o software.
7. Foi fácil aprender a usar esse software.
- | Discordo totalmente      | Discordo parcialmente    | Neutro                   | Concordo parcialmente    | Concordo totalmente      |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Fonte: Elaborado pela autora.

O aspecto “Facilidade de Uso” é avaliado a partir das questões Q8 e Q9. O esboço desse trecho do questionário pode ser visto no Quadro 6.

Quadro 6: Esboço do trecho do questionário: Q8 – o conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Facilidade de Uso” e Q9 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido.

8. Para você, o que é facilidade de uso em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).				
<input type="checkbox"/> Encontrar as informações e as funções que preciso no software.				
<input type="checkbox"/> As informações fornecidas pelo software são compreensíveis.				
<input type="checkbox"/> A disposição das telas do software é compreensível.				
<input type="checkbox"/> É simples criar um projeto usando o software.				
<input type="checkbox"/> Os dados de entrada são inseridos no software com facilidade.				
9. Eu considero esse software simples de ser usado.				
Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fonte: Elaborado pela autora.

O aspecto “Eficiência” é avaliado a partir das questões Q10 e Q11. O esboço desse trecho do questionário pode ser visto no Quadro 7.

Quadro 7: Esboço do trecho do questionário: Q10 – o conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Eficiência” e Q11 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido.

10. Para você, o que é eficiência em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).				
<input type="checkbox"/> Executar uma tarefa de forma ágil.				
<input type="checkbox"/> Maior produtividade no/na trabalho/pesquisa usando o software.				
<input type="checkbox"/> Os objetivos são atingidos com os resultados obtidos.				
<input type="checkbox"/> As informações fornecidas pelo software são eficazes para concluir o/a trabalho/pesquisa.				
11. Eu considero esse software eficiente.				
Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fonte: Elaborado pela autora.

O aspecto “Memorização” é avaliado a partir das questões Q12 e Q13. O esboço desse trecho do questionário pode ser visto no Quadro 8.

Quadro 8: Esboço do trecho do questionário: Q12 – o conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Memorização” e Q13 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido.

12. Para você, o que é facilidade de memorização em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).				
<input type="checkbox"/> Reconhecer os comandos para executar as funções quando usar uma próxima vez.				
<input type="checkbox"/> O tempo para assimilar as funções.				
<input type="checkbox"/> Replicar as tarefas para realização de projetos.				
<input type="checkbox"/> Não precisar aprender vários conceitos antes de usar o software.				

13. Eu considero esse software de fácil memorização.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
( )	( )	( )	( )	( )

Fonte: Elaborado pela autora.

O aspecto “Segurança” é avaliado a partir das questões Q14 e Q15. O esboço desse trecho do questionário pode ser visto no Quadro 9.

Quadro 9: Esboço do trecho do questionário: Q14 – conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Segurança” e Q15 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido.

14. Para você, o que é segurança em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).

- Os dados gerados pelo software são confiáveis.
- O software auxilia na correção de erros.
- Quando se comete um erro usando o software, consegue-se corrigir facilmente.
- Os projetos são salvos com facilidade.

15. Eu considero esse software seguro.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
( )	( )	( )	( )	( )

Fonte: Elaborado pela autora.

O aspecto “Satisfação” é avaliado a partir das questões Q16 e Q17. O esboço desse trecho do questionário pode ser visto no Quadro 10.

Quadro 10: Esboço do trecho do questionário: Q16 – o conhecimento do usuário a respeito do aspecto “Satisfação” e Q17 – a percepção do usuário sobre esse aspecto no software escolhido.

16. Para você, o que é satisfação em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).

- A interface do software é amigável.
- O software possui os recursos suficientes para fazer o/a trabalho/pesquisa.
- Aprender a usar com facilidade.
- Confiar nos dados de saída fornecidos.

17. Eu estou satisfeito(a) usando esse software.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
( )	( )	( )	( )	( )

Fonte: Elaborado pela autora.

As questões Q18 e Q19 foram elaboradas para abordar o requisito “Usabilidade” diretamente. O esboço desse trecho do questionário pode ser visto no Quadro 11.



Quadro 11: Esboço do trecho do questionário: Q18 – o conhecimento do usuário a respeito do requisito “Usabilidade” e Q19 – a percepção do usuário sobre esse requisito no software escolhido.

<p>18. Dos aspectos de usabilidade abordados, qual(is) você considera que está(ão) presente(s) nesse software? (Marque os itens que julgar necessário).</p> <p>( ) Facilidade de aprendizado</p> <p>( ) Facilidade de uso</p> <p>( ) Eficiência</p> <p>( ) Memorização</p> <p>( ) Segurança</p> <p>( ) Satisfação</p>														
<p>19. Eu considero que esse software possui bom nível de usabilidade.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Discordo totalmente</th> <th>Discordo parcialmente</th> <th>Neutro</th> <th>Concordo parcialmente</th> <th>Concordo totalmente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>( )</td> <td>( )</td> <td>( )</td> <td>( )</td> <td>( )</td> </tr> </tbody> </table>					Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente	( )	( )	( )	( )	( )
Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente										
( )	( )	( )	( )	( )										

Fonte: Elaborado pela autora.

Para preservar as respostas dos entrevistados e confirmar o preenchimento ao final, o questionário deveria ser enviado para a plataforma da base de dados. Antes de finalizar o procedimento, uma condicional foi exibida para o usuário decidir se desejava registrar a sua opinião sobre outro software.

### 3.1.2. Identificação da população e definição da amostra

A população, ou universo de pesquisa, foi composta por indivíduos da área de conforto luminoso, especificamente os usuários de software de simulação da iluminação natural. O público-alvo da investigação está sediado em âmbito nacional. Integram, esse conjunto, os estudantes, os professores/pesquisadores e os prestadores de serviço, com formação em arquitetura, engenharia e áreas afins.

A amostragem está classificada como probabilística, pois todos os indivíduos da população tinham chance igual de responder à pesquisa, ou seja, probabilidade fixa e maior que zero. O método adotado foi o de amostra aleatória simples, em que a seleção de elementos é randômica. Além disso, as possíveis amostras tinham a mesma probabilidade de ocorrer, sendo os elementos pesquisados significativos para população (CORRAR; THEÓPHILO, 2009).

Para o cálculo da margem de erro amostral, utilizou-se as equações 1 e 2 (MONTGOMERY; RUNGER, 2009), em que o tamanho da amostra é dado por:

$$n = \frac{N \cdot n_0}{N + n_0} \quad [\text{Equação 1}]$$

E o ponto de partida da amostra, calculado a partir da margem de erro, é dado por:

$$n_0 = \frac{1}{\varepsilon_0^2} \quad \text{[Equação 2]}$$

Em que,

$n$  = tamanho da amostra.

$N$  = número da população.

$n_0$  = ponto de partida da amostra.

$\varepsilon_0$  = margem de erro amostral.

Aplicando-se às equações apresentadas o valor absoluto da população e da amostra alcançada para a pesquisa, obteve-se a margem de erro amostral de 6%. Esses dados são encontrados na Tabela 1. Assim sendo, o índice de variação do resultado da pesquisa é de seis pontos percentuais para mais ou para menos.

Tabela 1: Valor do erro amostral a partir da população e da amostra obtidas na pesquisa.

POPULAÇÃO	AMOSTRA	ERRO AMOSTRAL
2080	213	6%

Fonte: Elaborada pela autora.

A variável resposta ou dependente (MARTINS, 2009), sobre a qual se pretende obter respostas com o questionário, foi definida como sendo a “Software”. Considerando que essa variável é classificada como nominal e que a distribuição de probabilidades é uma função matemática usada, somente, para descrever o padrão de variação de uma variável contínua, a variável “Software” não satisfaz a suposição de normalidade devido a sua natureza. Dessa forma, a distribuição normal não pôde ser assumida, tornando-se inviável o cálculo do intervalo de confiança.

### 3.1.3. Realização do estudo preliminar

A versão preliminar, também chamada de estudo piloto (YIN, 2005), foi elaborada para testar o instrumento de coleta de dados e dirimir eventuais falhas durante a aplicação definitiva. Selecionou-se um conjunto de indivíduos com as mesmas características da população da pesquisa, no qual havia estudantes, professores, pesquisadores e prestadores de serviço no âmbito da iluminação natural, com formação em arquitetura, nas engenharias e em áreas afins.

Nessa perspectiva, o questionário foi enviado, através de *e-mail*, para 21 membros egressos do Grupo de Pesquisa em Iluminação – Grilu, da Universidade Federal de Alagoas. Estipulou-se o prazo de 7 dias para o retorno das respostas. O tempo de 15 minutos foi estimado para o preenchimento. Nesse período, averiguou-se a quantidade diária de respostas, para que a estratégia de adesão pudesse ser aprimorada. No quarto dia após a data inicial, fez-se o reenvio do *e-mail*, além do contato direto via telefone e mensagem de texto.

Foi realizada a avaliação do estudo preliminar do questionário. Pôde-se averiguar a clareza das questões e das instruções iniciais, os quesitos gramaticais, conceituais e semânticos, a carência ou o excesso de texto e a sequência lógica das perguntas. Como consequência, ocorreram ajustes para a versão definitiva, tais como: acréscimo, retirada e modificação de questões, mudança nas alternativas de respostas e alteração na ordem de exposição das perguntas. Além disso, foi possível confirmar o tempo médio demandado para a conclusão do preenchimento.

A partir do estudo preliminar, constatou-se a eficácia do questionário para atender ao objetivo específico, por meio da análise inicial dos dados obtidos e do teste da adequação dos métodos estatísticos aplicados para extrair informações inferenciais.

#### **3.1.4. Aplicação do questionário**

A aplicação do questionário foi composta das seguintes etapas: a confecção da versão definitiva do instrumento, a elaboração de estratégias para ampliar o alcance e a adesão do público-alvo e o monitoramento periódico da taxa de retorno.

Para a versão definitiva do questionário, foi acrescentada a questão 4, como continuidade da 3, para que o usuário especificasse o software sobre o qual iria preencher o questionário. A redação das alternativas da questão 8 foi corrigida. Como complementos da avaliação dos aspectos que compõem a usabilidade, foram adicionadas as questões 18 e 19, acerca da visão do usuário, diretamente, sobre esse requisito.

O questionário esteve disponível para ser respondido pelo prazo de 15 dias e confirmou-se a estimativa de 15 minutos para o preenchimento. Durante o período de disponibilidade, houve o acompanhamento diário do quantitativo de respostas e a reiteração das mensagens aos destinatários no sexto e no décimo terceiro dia, contados a partir da primeira interação.

Utilizou-se como artifícios para alcançar a população: a busca por grupos de pesquisa na área de iluminação natural; o contato com líderes desses núcleos e com desenvolvedores de software; a seleção de autores que publicaram artigos sobre o tema no Encontro de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC e no Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC; a triagem dos que escolheram a iluminação natural como temática na lista dos pareceristas da Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído – ANTAC<sup>12</sup> e a divulgação no grupo de Conforto Ambiental do *Google Groups*.

Com o intuito de maximizar a adesão, abordou-se a população com técnicas de reforço positivo (KROSNICK *et al.*, 2015). Os contatos aconteceram por meio de reenvio de *e-mail*, de mensagem de texto e de ligações telefônicas, além do pedido direto aos responsáveis pelos grupos de pesquisa para que indicassem o questionário aos seus orientandos e da recomendação explícita no texto dos *e-mails* para que confirmassem o recebimento e encaminhassem para os colegas da mesma área.

### 3.1.5. Tabulação dos dados

Inicialmente, foi realizada a triagem das respostas obtidas com a aplicação do questionário, excluindo registros vazios e respostas inadequadas ao contexto da pesquisa. O critério para validação da resposta foi que o entrevistado se declarasse como usuário de software de simulação da iluminação natural.

Adotou-se o item “Software” como variável dependente ou resposta, isto é, aquela que representa o objeto de estudo da pesquisa. As informações para essa variável foram geradas a partir da questão 4 do questionário (Q4 – Sobre qual software você irá responder agora? (Este questionário é para apenas um software por vez. Ao finalizar as suas respostas, será dada a opção de responder novamente, caso seja usuário de mais de um software).

Os softwares foram separados em dois grupos: grupo 1 – os softwares que realizam simulação da iluminação natural e grupo 2 – os softwares que não realizam análise quantitativa da luz natural. Ambos os grupos foram subdivididos por nome do software citado. Nessa triagem, atentou-se para o nome principal, sendo reunidos, no mesmo subgrupo, os que tinham versões distintas e os citados com o acréscimo de um *plug-in*.

---

<sup>12</sup> ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. <<https://www.antac.org.br>>.

Com os dados separados em planilhas distintas, as questões foram nomeadas nas tabelas a partir das variáveis que as representam. De acordo com as suas características, as variáveis foram classificadas como: qualitativas e quantitativas (MARTINS, 2009). No Quadro 12, é mostrada a lista das variáveis, a representação no questionário, a classificação quanto a natureza e a especificação do tipo.

Quadro 12: Variáveis do questionário, classificação e especificação.

	Variável	Representação no questionário	Classificação quanto à natureza	Especificação do tipo
Validação	Usuário	Setor de validação	Qualitativa	Dicotômica
Identificação	Formação	Setor de identificação	Qualitativa	Nominal
	Atividade	Setor de identificação	Qualitativa	Nominal
	Instituição	Setor de identificação	Qualitativa	Nominal
	Faixa Etária	Setor de identificação	Qualitativa	Ordinal
Perfil	Tempo	Q1	Qualitativa	Ordinal
	Quantidade	Q2	Quantitativa	Discreta
Software	Software	Q4	Qualitativa	Nominal
Métricas	Métricas	Q5	Qualitativa	Nominal
Aspectos de usabilidade	Facilidade de Aprendizado	Q6	Qualitativa	Nominal
		Q7	Qualitativa	Ordinal
	Facilidade de Uso	Q8	Qualitativa	Nominal
		Q9	Qualitativa	Ordinal
	Eficiência	Q10	Qualitativa	Nominal
		Q11	Qualitativa	Ordinal
	Memorização	Q12	Qualitativa	Nominal
		Q13	Qualitativa	Ordinal
	Segurança	Q14	Qualitativa	Nominal
		Q15	Qualitativa	Ordinal
Satisfação	Q16	Qualitativa	Nominal	
	Q17	Qualitativa	Ordinal	
Usabilidade	Usabilidade	Q18	Qualitativa	Nominal
		Q19	Qualitativa	Ordinal

Fonte: Elaborado pela autora.

As variáveis nominais, ordinais e dicotômicas foram categorizadas e quantificadas. No entanto, as que se referem à avaliação da usabilidade, representadas pela sequência de questões

que vai de Q6 a Q19, foram padronizadas como dicotômicas. Esse artifício foi utilizado para tornar possível a aferição quantitativa. Essas questões têm o modelo de múltipla escolha e de escala. Assim sendo, cada alternativa de resposta foi codificada como: “Sim”, se o usuário a escolheu; ou “Não”, caso o usuário não a tenha escolhido.

Em seguida, as respostas obtidas foram contabilizadas. A partir daí, foi viabilizada a geração de gráficos e o cruzamento de variáveis para a realização das análises descritiva e estatística.

### **3.1.6. Análise descritiva**

Inicialmente, na análise descritiva, relatou-se informações sobre a aplicação do questionário, contendo o número da população, o cálculo da taxa de retorno e o total de respostas validadas.

Os dados foram apresentados, quantitativamente, por meio de valores absolutos e relativos. Explicitou-se o número total de softwares identificados e o percentual calculado para os grupos 1 e 2. Além disso, foram listados os nomes dos softwares e exibida a distribuição dos grupos e subgrupos em um esquema gráfico. Optou-se por descrever as informações obtidas para ambos os grupos.

Foi traçado o perfil geral dos usuários, explicitando a atividade, a formação, a instituição à qual estão vinculados e a faixa etária. Também foram exibidos os dados sobre a experiência do usuário relativa ao tempo e à quantidade de softwares usados.

Todos os itens expostos na análise descritiva foram apresentados seguindo dois modelos: no primeiro modelo foram mostrados os dados de forma global, ou seja, relatados os valores absolutos e percentuais referentes à amostra; no segundo, especificou-se esses valores por grupo (grupo 1 e 2). Utilizou-se o gráfico de colunas como recurso gráfico para exibir os resultados dessas variáveis.

### **3.1.7. Análise estatística**

A análise estatística foi realizada para o grupo 1 dos softwares de simulação da iluminação natural. Foram verificados os pressupostos de parametria<sup>13</sup> das variáveis. Aplicou-

---

<sup>13</sup> Parametria – É uma avaliação que pressupõe a distribuição normal das médias amostrais. A média e o desvio padrão são os parâmetros que definem as populações que apresentam distribuição normal. Os testes paramétricos avaliam dados contínuos. Os testes não paramétricos podem avaliar dados ordinais e nominais. Esse tipo de teste não é afetado por *outliers* (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

se o teste de Lilliefors<sup>14</sup>, para avaliar a normalidade<sup>15</sup> da variável dependente “Software”, e o teste de Levene<sup>16</sup>, para verificar a homocedasticidade<sup>17</sup>.

Averiguou-se que, por ser do tipo nominal, essa variável não atende ao pressuposto de parametria. Ressalta-se que, mesmo categorizando e quantificando os dados, a média obtida não possui a distribuição normal. As demais variáveis são do tipo nominal, ordinal e dicotômica, que também não atendem à pressuposição de parametria.

Adotou-se, como métodos estatísticos, a relação e a comparação entre proporções (CORRAR; THEÓPHILO, 2009), devido à natureza das variáveis envolvidas e aos cruzamentos realizados entre elas. Para aplicar esses métodos, foram utilizadas as medidas: porcentagem<sup>18</sup> (%), média<sup>19</sup>, desvio padrão<sup>20</sup> (DP) e ranks<sup>21</sup>.

Para verificar a relação entre as variáveis ordinais e nominais, utilizou-se o teste de Kruskal Wallis e Dunn’s<sup>22</sup> e o teste do Qui-quadrado<sup>23</sup>. Esse último também foi aplicado para o método da comparação das proporções. Foi assumido, como nível de significância<sup>24</sup> (p-valor), o valor de 5% ou  $\alpha = 0,05$ .

Com isso, estabeleceu-se o critério para definir a relação entre variáveis. Se o p-valor for menor ou igual a 0,05, indica que houve diferença significativa ou discrepância entre as proporções. Em caso contrário, a hipótese pode ser desconsiderada por não ter relevância

---

<sup>14</sup> Teste de Lilliefors – Teste usado para verificação de normalidade de um conjunto de dados (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

<sup>15</sup> Normalidade – É a distribuição normal dos dados a partir da média e do desvio padrão calculados (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

<sup>16</sup> Teste de Levene – Teste usado para verificar a homocedasticidade na variável dependente (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

<sup>17</sup> Homocedasticidade – Homogeneidade das variâncias (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

<sup>18</sup> Porcentagem – A razão centesimal utilizada para expressar valores comparativos. Também chamada de percentual (MARTINS, 2009).

<sup>19</sup> Média – É uma medida de centralidade calculada a partir do resultado da soma de todos os valores de um conjunto de dados dividido pelo número de elementos desse conjunto (MARTINS, 2009).

<sup>20</sup> Desvio padrão – É uma medida que indica a dispersão dos dados dentro de uma amostra com relação à média. Quanto menor o desvio padrão, mais homogênea é a amostra (MARTINS, 2009).

<sup>21</sup> Ranks – Somatório das variáveis ordinais. Utilizado para a ordenação dos dados em testes não paramétricos (MORENO; MORCILLO, 2019).

<sup>22</sup> Teste de Kruskal Wallis e Dunn’s – Teste não paramétrico utilizado para a análise de variância (MORENO; MORCILLO, 2019).

<sup>23</sup> Teste do Qui-quadrado – Teste que avalia, quantitativamente, a relação entre o resultado de um experimento e a distribuição esperada para o fenômeno (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

<sup>24</sup> Nível de significância – É uma probabilidade que mede a evidência contra a hipótese nula, ou seja, verifica a existência de associação entre variáveis. As probabilidades inferiores fornecem evidências mais fortes contra a hipótese nula (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).





Não	
Sim	
<b>B (n)</b>	
Não	
Sim	
<b>C (n)</b>	
Não	
Sim	
<b>D (n)</b>	
Não	
Sim	

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse esquema, a questão nominal aparece na primeira coluna e as alternativas dessa questão foram codificadas com as letras sequenciais “A”, “B”, “C” e “D”, seguidas do valor absoluto (n) do total de dados obtidos. As respostas a essas alternativas foram categorizadas como “Não”, se a opção não foi escolhida pelo usuário, e “Sim”, se foi marcada como resposta.

Nas colunas seguintes, são expostos o valor absoluto (n) e o percentual (%), registrados para cada opção. Para a análise, somente o “Sim” é representativo, pois indica que a alternativa atende ao conceito do aspecto, no ponto de vista do usuário.

A questão ordinal foi exibida na primeira linha através das alternativas em escala (DT- Discordo totalmente, DP- Discordo parcialmente, NT- Neutro, CP- Concordo parcialmente e CT- Concordo totalmente). Na última coluna, são mostrados: o valor crítico “ $x^2_{\text{calculado}}$ ” e o p-valor, para cada cruzamento de dados.

Por fim, foi apresentada a análise da questão ordinal com valores calculados por software. Para isso, elaborou-se uma tabela que segue o modelo do Quadro 14.

Quadro 14: Modelo da tabela utilizada para expor as medidas alcançadas por software para os aspectos de usabilidade.

	MEDIDAS					H <sub>calculado</sub>
	SOFTWARES	n	Média	DP	Ranks	p-valor
QUESTÃO ORDINAL						

Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados obtidos para a questão ordinal foram exibidos nas colunas “Software”, em que foram listados os nomes dos softwares avaliados, seguidos do valor absoluto (n) registrado por software, da média calculada a partir das respostas (Média), do desvio padrão (DP) e do somatório “Ranks”. Para o cálculo da média, foram atribuídos números de 1 a 5 para cada nível da escala, sendo: 1 – Discordo Totalmente, 2- Discordo Parcialmente, 3 – Neutro, 4 – Concordo Parcialmente e 5 – Concordo Totalmente.

A medida “Ranks” é exibida por meio de um valor numérico e de um padrão estatístico codificado por letras (a, ab, b, c, d), em que: a – significa a avaliação mais alta; ab – indica que o comportamento é similar ao de “a” e de “b”, estando em um nível intermediário; c – é o nível que vem na sequência desses; d – é o nível mais baixo. Na última coluna, são mostrados: o valor crítico “ $H_{calculado}$ ” e o p-valor, para os dados da questão.

## **3.2. Resultados e Análises**

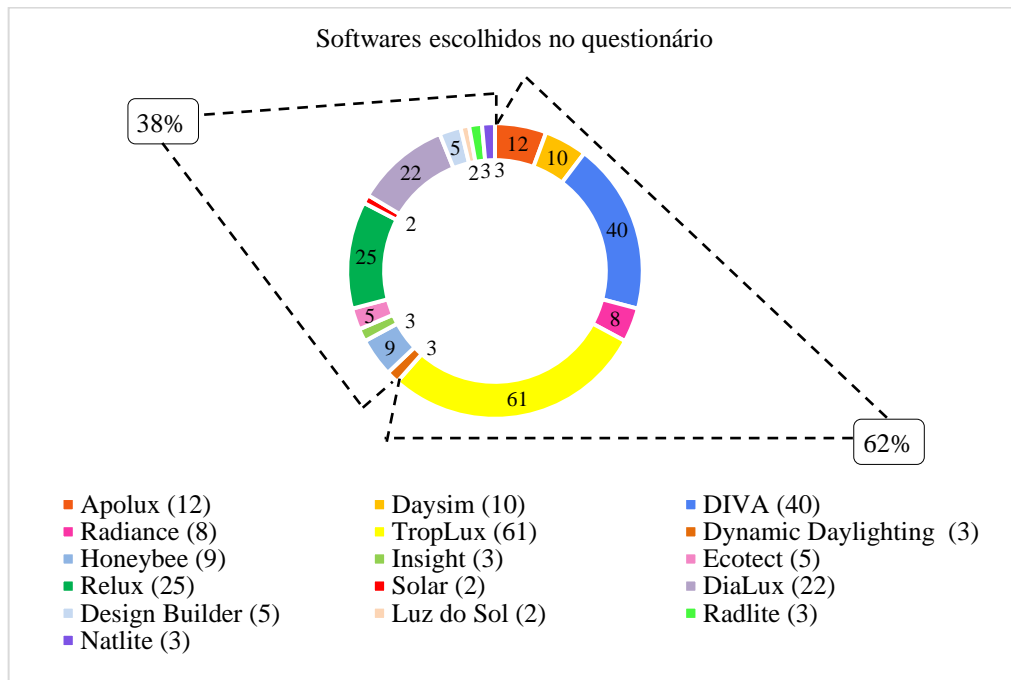
São apresentadas as análises descritiva e estatística dos dados obtidos a partir da aplicação do questionário para identificar a percepção do usuário quanto à usabilidade de softwares de simulação da iluminação natural. Em seguida, expõe-se a conclusão desta etapa.

### **3.2.1. Análise descritiva do questionário**

O questionário foi enviado, para 2080 indivíduos da população, no mês de dezembro de 2020. O público-alvo é composto por estudantes, professores/pesquisadores e prestadores de serviço, no âmbito nacional, com formação em arquitetura, em engenharia ou em áreas afins. A taxa de retorno da pesquisa foi de 12%, isto é, 241 questionários preenchidos. A partir daí, foram contabilizados 213 registros válidos para o estudo, de acordo com o critério estabelecido. Os demais declararam não usar software de simulação da iluminação natural.

Identificou-se 16 softwares nas respostas, dos quais: 5 pertencem ao grupo 1; e 11, ao grupo 2. A distribuição desses softwares entre os usuários foi contabilizada como: 131 respostas para softwares de iluminação natural, que equivale a 62% do total; e 82 respostas para os demais softwares, que corresponde a 38%. Essa distribuição pode ser vista no Gráfico 1.

Gráfico 1: Distribuição dos softwares escolhidos pelos usuários em resposta ao questionário.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os softwares escolhidos pelos usuários, seguidos do quantitativo em valor absoluto, foram:

- Para o grupo 1: Apolux (12), Daysim (10), DIVA (40), Radiance (8) e TropLux (61);
- Para o grupo 2: Dynamic Daylighting (3), Honeybee (9), Insight (3), Ecotect (5), Relux (25), Solar (2), Dialux (22), Design Builder (5), Luz do sol (2), Radlite (3) e Natlite (3).

Registra-se que, apesar do Daysim ter sido descontinuado, ainda foi citado pelos usuários e, por isso, mantido para as análises.

No que se refere à formação dos usuários, identificou-se 193 arquitetos e 20 engenheiros, que correspondem a 91% e 9% do total, respectivamente. A distribuição do resultado aproximado, por grupo, encontra-se no Gráfico 2.

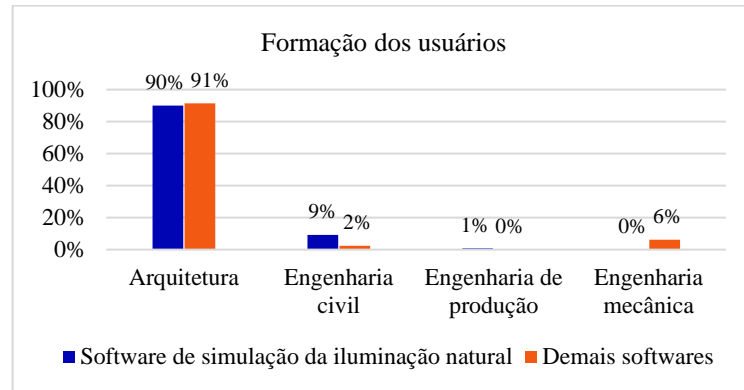
No grupo 1 (131):

- Arquitetura (118) – 90%;
- Engenharia civil (12) – 9%;
- Engenharia de produção (1) – 1%.

No grupo 2 (82):

- Arquitetura (75) – 91%;
- Engenharia civil (2) – 2%;
- Engenharia mecânica (5) – 6%.

Gráfico 2: Distribuição do resultado da variável “Formação” para ambos os grupos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com relação à atividade realizada pelos usuários, identificou-se: 82 estudantes, 114 professores/pesquisadores e 17 prestadores de serviço, que correspondem a 38%, 54% e 8% do total, respectivamente. No Gráfico 3, está exposto o quantitativo percentual dessas atividades, por grupo.

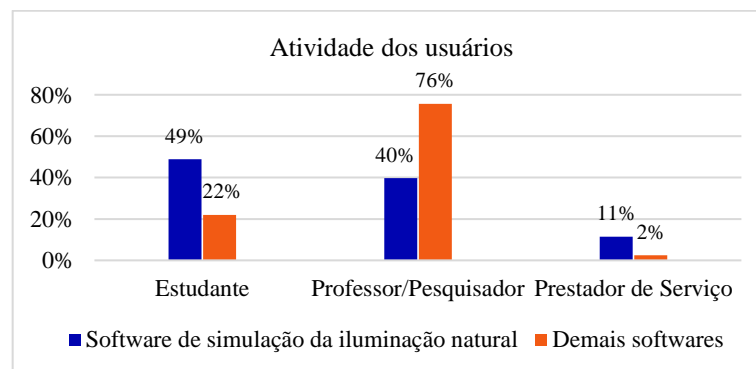
No grupo 1 (131):

- Estudante (64) – 49%;
- Professor/pesquisador (52) – 40%;
- Prestador de serviço (15) – 11%.

No grupo 2 (82):

- Estudante (18) – 22%;
- Professor/pesquisador (62) – 76%;
- Prestador de serviço (2) – 2%.

Gráfico 3: Distribuição do resultado da variável “Atividade” para os grupos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com relação à instituição à qual os usuários estão vinculados, foram registrados 145 integrantes de universidades federais, 13 de universidades estaduais, 3 de institutos federais e 52 de instituições privadas. Esses números equivalem a 68%, 6%, 1% e 25% do total, respectivamente. A distribuição aproximada, por grupo, pode ser vista no Gráfico 4.

No grupo 1 (131):

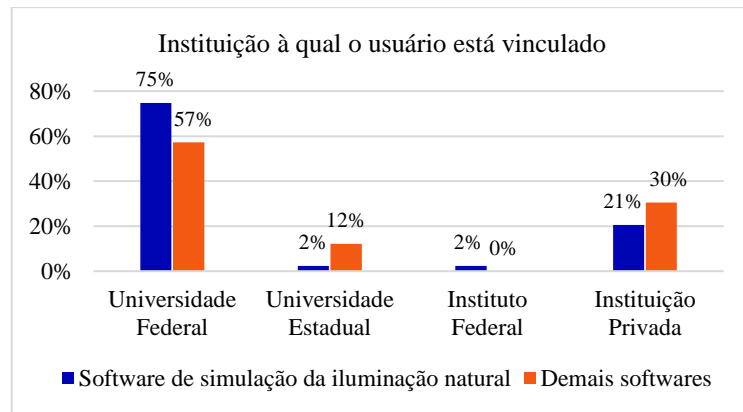
- Universidade Federal (98) – 75%;

No grupo 2 (82):

- Universidade Federal (47) – 57%;

- Universidade Estadual (3) – 2%;
- Instituto Federal (3) – 2%;
- Instituição Privada (27) – 21%.
- Universidade Estadual (10) – 12%;
- Instituto Federal (0) – 0%;
- Instituição Privada (25) – 30%.

Gráfico 4: Distribuição do resultado da variável “Instituição” para ambos os grupos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Sobre o tempo de experiência declarado pelos usuários, foram registrados: 32 – até 1 ano; 95 – entre 1 e 5 anos; 40 – entre 5 e 10 anos; e 46 – acima de 10 anos. Isso corresponde a 15%, 45%, 18% e 22% do total, respectivamente. A distribuição dos resultados, por grupo, pode ser vista no Gráfico 5.

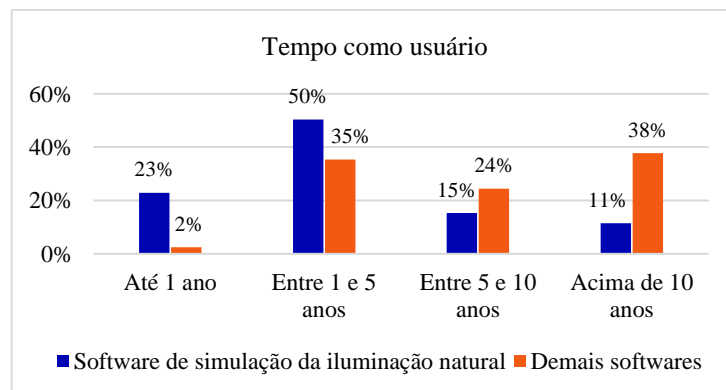
No grupo 1 (131):

- Até 1 ano (30) – 23%;
- Entre 1 e 5 anos (66) – 50%;
- Entre 5 e 10 anos (20) – 15%;
- Acima de 10 anos (15) – 11%.

No grupo 2 (82):

- Até 1 ano (2) – 2%;
- Entre 1 e 5 anos (29) – 35%;
- Entre 5 e 10 anos (20) – 24%;
- Acima de 10 anos (31) – 38%.

Gráfico 5: Distribuição do resultado da variável “Tempo” para ambos os grupos.



Fonte: Elaborado pela autora.

A respeito da quantidade de softwares usados, a distribuição dos resultados percentuais aproximados pode ser vista no Gráfico 6.

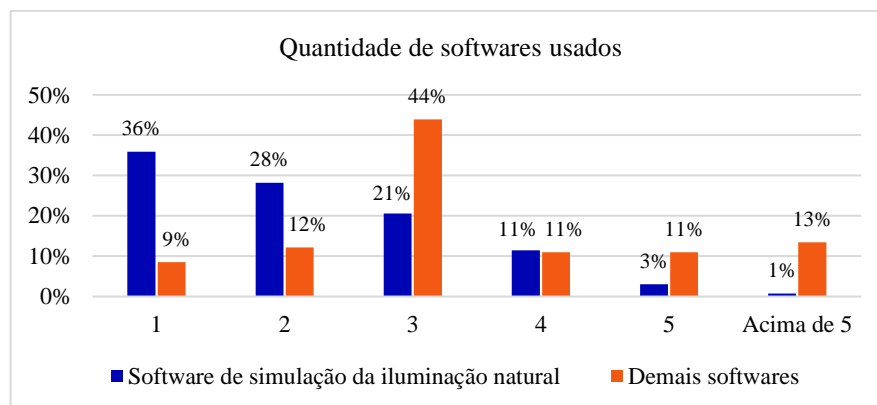
No grupo 1 (131):

- 1 software (47) – 36%;
- 2 softwares (37) – 28%;
- 3 softwares (27) – 21%;
- 4 softwares (15) – 11%;
- 5 softwares (4) – 3%;
- Acima de 5 softwares (1) – 1%.

No grupo 2 (82):

- 1 software (7) – 9%;
- 2 softwares (10) – 12%;
- 3 softwares (36) – 44%;
- 4 softwares (9) – 11%;
- 5 softwares (9) – 11%;
- Acima de 5 softwares (11) – 13%.

Gráfico 6: Distribuição do resultado da variável “Quantidade” para ambos os grupos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Como informação adicional, foi indagada a faixa etária dos usuários. Os resultados percentuais aproximados podem ser encontrados no Gráfico 7.

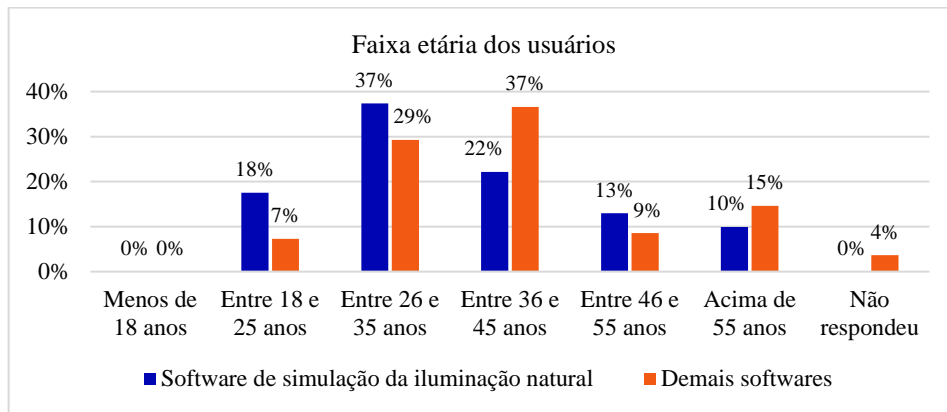
No grupo 1 (131):

- Menos de 18 anos (0) – 0%;
- Entre 18 e 25 anos (23) – 18%;
- Entre 26 e 35 anos (49) – 37%;
- Entre 36 e 45 anos (29) – 22%;
- Entre 46 e 55 anos (17) – 13%;
- Acima de 55 anos (13) – 10%;
- Não responderam (0) – 0%.

No grupo 2 (82):

- Menos de 18 anos (0) – 0%;
- Entre 18 e 25 anos (6) – 7%;
- Entre 26 e 35 anos (24) – 29%;
- Entre 36 e 45 anos (30) – 37%;
- Entre 46 e 55 anos (7) – 9%;
- Acima de 55 anos (12) – 15%;
- Não responderam (3) – 4%.

Gráfico 7: Distribuição do resultado da variável “Faixa Etária” para ambos os grupos.



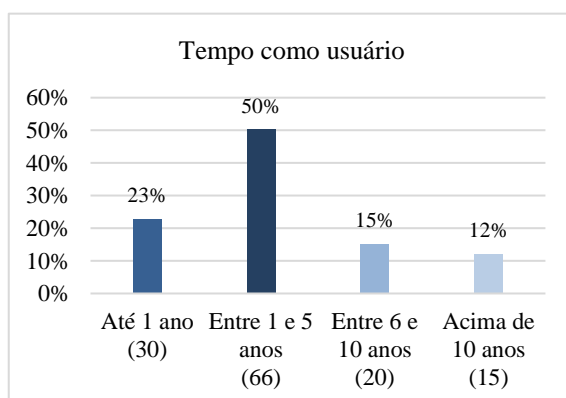
Fonte: Elaborado pela autora.

As variáveis que representam os aspectos de usabilidade: Facilidade de Aprendizado, Facilidade de Uso, Eficiência, Memorização, Segurança, Satisfação e Usabilidade são apresentadas, quantitativamente, na análise estatística, na qual fez-se o cruzamento das informações e as inferências.

### 3.2.2. Análise estatística do questionário

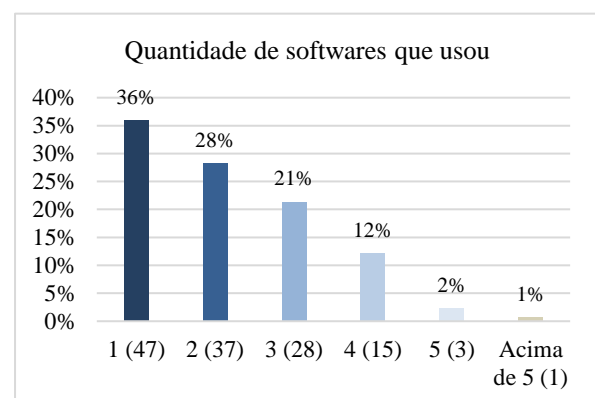
Inicialmente, foi averiguada a experiência do usuário. Com relação ao tempo como usuário, 50% dos entrevistados declararam ter entre 1 e 5 anos implementando projetos com o auxílio de softwares de simulação, como pode ser observado no Gráfico 8, em que são mostradas as proporções de cada período. No Gráfico 9, está exposta a quantidade de softwares que os usuários já usaram. Percebe-se que a maioria, 36% do total, teve contato com apenas um software. No outro extremo, os que usaram cinco ou mais softwares, somam 3%.

Gráfico 8: Tempo como usuário.



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 9: Quantidade de softwares usados.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 2, são mostradas as proporções por software. A maioria dos usuários do Apolux e do TropLux tem até 5 anos de experiência. Os usuários do Daysim estão concentrados

no período entre 1 e 10 anos. A maior parte dos usuários do DIVA, 37,5%, possui de 1 a 5 anos de uso de softwares e 35,0% relatou ter mais de 10 anos de experiência. A maioria dos usuários do Radiance, 50,0%, possui entre 6 e 10 anos de uso.

Quanto ao número de softwares usados, a maior parte dos usuários do TropLux, 62,3%, teve contato com um software. Os usuários do Daysim, em sua maioria, usaram dois softwares e os do Apolux, três, o que corresponde a 70,0% e 58,3%, respectivamente. A maioria dos usuários do DIVA se distribuiu entre dois e quatro softwares. Dos que usaram o Radiance, 37,5% tiveram contato com cinco softwares e 25,0%, com um ou com dois. Registrou-se a ocorrência de um usuário do DIVA que experienciou mais de cinco softwares.

Tabela 2: Experiência do usuário quanto ao tempo e à quantidade de softwares que já usou.

	SOFTWARE										X <sup>2</sup> calculado p-valor
	Apolux (n=12)		Daysim (n=10)		DIVA (n=40)		Radiance (n=8)		TropLux (n=61)		
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
<b>Q1 (n=131)</b>											
Até 1 ano (30)	5	41,7	0	0,0	0	0,0	2	25,0	23	37,7	68,845 < <b>0,0001</b>
Entre 1 e 5 anos (66)	6	50,0	8	80,0	15	37,5	2	25,0	35	57,4	
Entre 6 e 10 anos (20)	0	0,0	2	20,0	11	27,5	4	50,0	3	4,9	
Acima de 10 anos (15)	1	8,3	0	0,0	14	35,0	0	0,0	0	0,0	
<b>Q2 (n=131)</b>											
1 (47)	4	33,3	0	0,0	3	7,5	2	25,0	38	62,3	107,666 < <b>0,0001</b>
2 (37)	0	0,0	7	70,0	13	32,5	2	25,0	15	24,6	
3 (28)	7	58,3	0	0,0	11	27,5	1	12,5	8	13,1	
4 (15)	0	0,0	3	30,0	12	30,0	0	0,0	0	0,0	
5 (3)	1	8,3	0	0,0	0	0,0	3	37,5	0	0,0	
Acima de 5 (1)	0	0,0	0	0,0	1	2,5	0	0,0	0	0,0	

Fonte: Elaborada pela autora.

Foram investigados os dados que podem ser extraídos dos softwares. Na Tabela 3, é apresentada a ocorrência das métricas e grandezas sob o ponto de vista do usuário.

Tabela 3: Quantitativo das métricas e grandezas das respostas dos usuários dos softwares.

MÉTRICAS	SOFTWARE									
	Apolux (n=12)		Daysim (n=10)		DIVA (n=40)		Radiance (n=8)		TropLux (n=61)	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Fator de Luz do Dia (n = 85)	12	100	7	70	26	65	8	100	32	52
Iluminância (n = 131)	12	100	10	100	40	100	8	100	61	100
Uniformidade da Luz Natural (n = 81)	3	25	7	70	20	50	7	87	44	72
Autonomia de Luz Natural (n = 100)	1	8	10	100	40	100	5	62	44	72
Autonomia de Luz Natural Espacial (n = 87)	3	25	7	70	37	92	5	62	35	57



Iluminância Útil da Luz Natural (n = 89)	3	25	7	70	26	65	5	62	48	78
Exposição Solar Anual (n = 92)	4	33	10	100	40	100	2	25	36	59
Luminância (n = 100)	9	75	4	40	30	75	8	100	49	80
Ofuscamento (n = 74)	7	58	4	40	31	77	8	100	24	39

Fonte: Elaborada pela autora.

A Iluminância foi citada como dado de saída por 100% dos usuários dos softwares. Essa informação vai ao encontro dos resultados da análise realizada em paralelo, a partir da averiguação, na literatura, dos dados de saída dos softwares. Isso pode ser constatado no Quadro 15, em que são mostradas as capacidades de cada software.

Quadro 15: Métricas e grandezas de iluminação natural extraídas dos softwares segundo a literatura.

MÉTRICAS	SOFTWARE				
	Apolux	Daysim	DIVA	Radiance	TropLux
Fator de Luz do Dia					
Iluminância					
Uniformidade da Luz Natural					
Autonomia de Luz Natural					
Autonomia de Luz Natural Espacial					
Iluminância Útil da Luz Natural					
Exposição Solar Anual					
Luminância					
Ofuscamento					

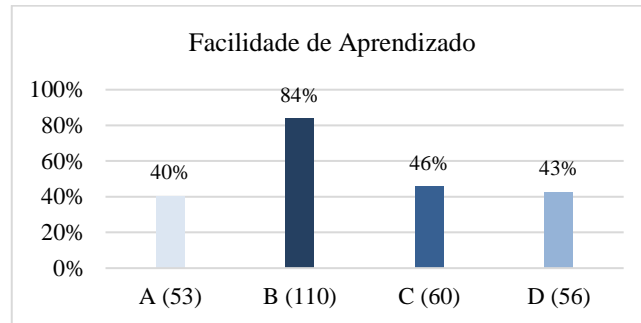
Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda comparando os resultados dessa análise com os do questionário, constata-se que, para os demais indicadores de desempenho, obteve-se percentual maior que zero por todos os softwares nas respostas do questionário, ainda que não integrem o conjunto de dados de saída do software. Isso pode ser exemplificado com a Uniformidade que não integra as funções do Apolux, do Daysim, do DIVA e do Radiance, mas houve registro de citação pelos usuários de todos esses softwares.

Os aspectos relativos ao requisito usabilidade foram averiguados separadamente. A variável “Facilidade de Aprendizado” é representada pelas questões Q6 (Para você, o que é facilidade de aprendizado em um software de iluminação natural? A – O tempo para aprender um conjunto básico de operações; B – O software é intuitivo; C – Explicar com facilidade como usar o software; D – Não haver necessidade do apoio de um especialista para usar o software) e Q7 (Foi fácil aprender a usar esse software).

No Gráfico 10, são mostradas as proporções da opinião dos usuários sobre a facilidade de aprendizado. Para 84% dos usuários, é um conceito relacionado à intuitividade do uso do software. Nos itens em que foram abordados o tempo para aprender, a capacidade de explicar como usar a ferramenta e a necessidade de apoio de um especialista, o percentual ficou entre 40% e 46%.

Gráfico 10: Aspecto “Facilidade de Aprendizado”.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 4, é apresentada a relação entre as questões Q6 e Q7 sobre facilidade de aprendizado. Verificou-se que houve diferença significativa entre as proporções obtidas em Q7 em relação à Q6-B ( $p < 0,0001$ ) e à Q6-D ( $p = 0,0001$ ). Com isso, para os usuários, a facilidade de aprendizado significa que o software é intuitivo e que o apoio de um especialista não se faz necessário.

Tabela 4: Relação entre as questões Q6 e Q7 sobre a facilidade de aprendizado.

Q6	Q7										x <sup>2</sup> calculado p-valor
	DT		DP		NT		CP		CT		
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
<b>A (n=131)</b>											
Não	4	44,4	4	66,7	35	62,5	26	55,3	9	69,2	2,036
Sim	5	55,6	2	33,3	21	37,5	21	44,7	4	30,8	0,7291
<b>B (n=131)</b>											
Não	3	33,3	1	16,7	5	8,9	3	6,4	9	69,2	34,686
Sim	6	66,7	5	83,3	51	91,1	44	93,6	4	30,8	< 0,0001
<b>C (n=131)</b>											
Não	5	55,6	1	16,7	28	50,0	30	63,8	7	53,8	5,566
Sim	4	44,4	5	83,3	28	50,0	17	36,2	6	46,2	0,2339
<b>D (n=131)</b>											
Não	4	44,4	2	33,3	38	67,9	31	66,0	0	0,0	23,445
Sim	5	55,6	4	66,7	18	32,1	16	34,0	13	100,0	0,0001

Fonte: Elaborada pela autora.

Por meio da Tabela 5, pode-se averiguar a percepção dos usuários sobre esse aspecto, com os dados agrupados por software. Para o Apolux (3,67), o Daysim (4,40), o DIVA (3,03)

e o TropLux (3,62), a média foi superior a 3,0, o que significa que os usuários concordam total ou parcialmente que a facilidade de aprendizado é uma característica contida nos softwares. O resultado para o Radiance (1,50), indica que, para a mesma avaliação, os usuários discordam total ou parcialmente.

Tabela 5: Medidas calculadas para a variável “Facilidade de Aprendizado”.

MEDIDAS						H <sub>calculado</sub>
	Softwares	n	Média	DP	Ranks	p-valor
<b>Q7</b>	Apolux	12	3,67	0,49	77,83 ab	38,034
	Daysim	10	4,40	0,97	100,55 a	<b>&lt;0,0001</b>
	DIVA	40	3,03	0,80	51,16 c	
	Radiance	8	1,50	0,93	14,63 d	
	TropLux	61	3,62	0,73	74,48 b	

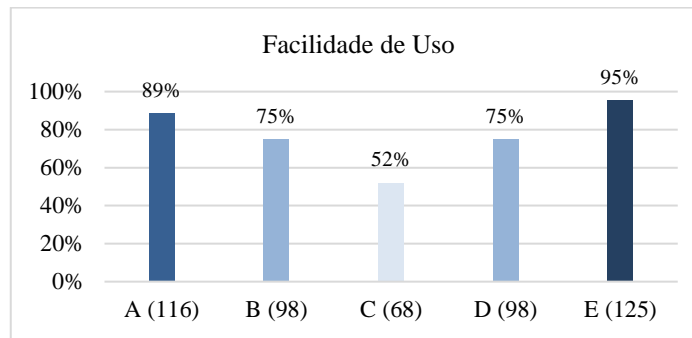
Fonte: Elaborada pela autora.

Analisando a medida “Ranks”, constata-se que o Daysim (a) possui a avaliação estatística mais alta para a facilidade de aprendizado, seguido do Apolux (ab), do TropLux (b), do DIVA (c) e do Radiance (d).

A variável “Facilidade de Uso” é representada pelas questões Q8 (Para você, o que é facilidade de uso em um software de iluminação natural? A – Encontrar as informações e as funções que preciso no software; B – As informações fornecidas pelo software são compreensíveis; C – A disposição das telas do software é compreensível; D – É simples criar um projeto usando o software; E – Os dados de entrada são inseridos no software com facilidade) e Q9 (Eu considero esse software simples de ser usado).

No Gráfico 11, são apresentadas as proporções da opinião dos usuários sobre a facilidade de uso. Todos os itens averiguados foram escolhidos por mais de 50% dos entrevistados. Para 95%, o aspecto está relacionado à forma de inserir os dados de entrada, e, para 89%, ao modo como encontram informações e funções no software. A clareza das informações fornecidas pelo software e o grau de complexidade para criar um projeto são itens relevantes para 75% dos usuários. Já a disposição das telas importa para 52% do grupo.

Gráfico 11: Aspecto “Facilidade de Uso”.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 6, é apresentada a relação entre as questões Q8 e Q9 sobre facilidade de uso. Verificou-se que houve diferença significativa entre as proporções obtidas em Q7 em relação à Q8-B ( $p = 0,0022$ ) e à Q8-D ( $p = 0,0065$ ). Dessa forma, para os usuários, a facilidade de uso significa que as informações fornecidas são compreensíveis e que é simples criar projeto usando o software.

Tabela 6: Relação entre as questões Q8 e Q9 sobre a facilidade de uso.

Q8	Q9										X <sup>2</sup> calculado p-valor
	DT		DP		NT		CP		CT		
A (n=131)	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Não	0	0,0	10	19,6	2	6,9	3	9,4	0	0,0	6,533
Sim	6	100,0	41	80,4	27	93,1	29	90,6	13	100,0	0,1627
B (n=131)											
Não	2	33,3	12	23,5	6	20,7	4	12,5	9	69,2	16,712
Sim	4	66,7	39	76,5	23	79,3	28	87,5	4	30,8	<b>0,0022</b>
C (n=131)											
Não	5	83,3	21	41,2	13	44,8	18	56,3	6	46,2	4,959
Sim	1	16,7	30	58,8	16	55,2	14	43,8	7	53,8	0,2915
D (n=131)											
Não	2	33,3	20	39,2	8	27,6	3	9,4	0	0,0	14,248
Sim	4	66,7	31	60,8	21	72,4	29	90,6	13	100,0	<b>0,0065</b>
E (n=131)											
Não	0	0,0	5	9,8	1	3,4	0	0,0	0	0,0	5,717
Sim	6	100,0	46	90,2	28	96,6	32	100,0	13	100,0	0,2213

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir da média calculada por software, exibida na Tabela 7, pode-se afirmar que os usuários do Apolux (3,58), do Daysim (4,10) e do TropLux (3,08) concordam total ou parcialmente que a facilidade de uso é uma característica contida nesses softwares. O resultado para o DIVA (2,60) e para o Radiance (1,50) indica que os usuários discordam total ou parcialmente.

Tabela 7: Medidas calculadas para a variável “Facilidade de Uso”.

	MEDIDAS					Hcalculado p-valor
	Softwares	n	Média	DP	Ranks	
Q9	Apolux	12	3,58	0,51	89,79 ab	29,795 <0,0001
	Daysim	10	4,10	1,45	97,10 a	
	DIVA	40	2,60	0,78	54,34 c	
	Radiance	8	1,50	0,93	20,63 d	
	TropLux	61	3,08	1,05	69,82 b	

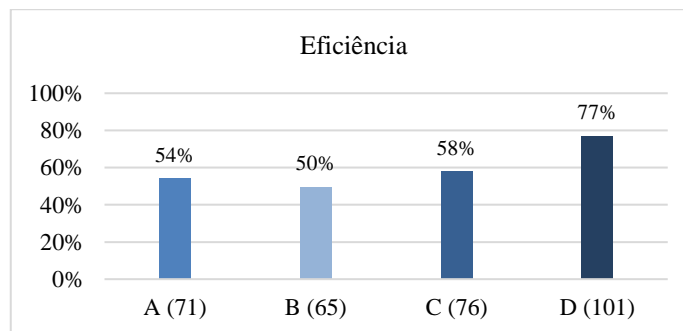
Fonte: Elaborada pela autora.

Analisando o Ranks, percebe-se que o Daysim (a) possui a avaliação estatística mais alta para a facilidade de uso, seguido do Apolux (ab), do TropLux (b), do DIVA (c) e do Radiance (d).

A variável “Eficiência” é representada pelas questões Q10 (Para você, o que é eficiência em um software de iluminação natural? A – Executar uma tarefa de forma ágil; B – Maior produtividade no/na trabalho/pesquisa usando o software; C – Os objetivos são atingidos com os resultados obtidos; D – As informações fornecidas pelo software são eficazes para concluir o/a trabalho/pesquisa) e Q11 (Eu considero esse software eficiente).

No Gráfico 12, são expostas as proporções da opinião dos usuários sobre a eficiência. Para 77%, o aspecto está relacionado à eficácia das informações fornecidas pelo software. Os itens que versam sobre a execução de tarefas de forma ágil, o incremento na produtividade e os resultados obtidos atingirem o objetivo da simulação, corresponderam a uma variação de 50% a 58% das escolhas dos usuários.

Gráfico 12: Aspecto “Eficiência”.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 8, é apresentada a relação entre as questões Q10 e Q11 sobre eficiência. Verificou-se que houve diferença significativa entre as proporções obtidas em Q11 em relação à Q10-A ( $p < 0,0001$ ), à Q10-B ( $p = 0,0362$ ) e à Q10-D ( $0,0104$ ). Com isso, para os usuários,

a eficiência significa que as tarefas são executadas de forma ágil, que há maior produtividade no/trabalho/pesquisa e que as informações fornecidas pelo software são eficazes.

Tabela 8: Relação entre as questões Q10 e Q11 sobre a eficiência.

Q10	Q11										x <sup>2</sup> calculado p-valor
	DT		DP		NT		CP		CT		
A (n=131)	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Não	-	-	-	-	3	10,7	28	50,0	29	61,7	19,071
Sim	-	-	-	-	25	89,3	28	50,0	18	38,3	< 0,0001
B (n=131)											
Não	-	-	-	-	16	57,1	21	37,5	29	61,7	6,639
Sim	-	-	-	-	12	42,9	35	62,5	18	38,3	0,0362
C (n=130)											
Não	-	-	-	-	8	28,6	25	45,5	21	44,7	2,477
Sim	-	-	-	-	20	71,4	30	54,5	26	55,3	0,2898
D (n=131)											
Não	-	-	-	-	10	35,7	16	28,6	4	8,5	9,136
Sim	-	-	-	-	18	64,3	40	71,4	43	91,5	0,0104

Fonte: Elaborada pela autora.

É possível afirmar, a partir da média calculada por software, que os usuários do Apolux (4,33), do Daysim (4,40), do DIVA (3,58) do Radiance (3,75) e do TropLux (4,49) concordam total ou parcialmente que a eficiência é uma característica contida nesses softwares. As medidas podem ser vistas na Tabela 9.

Tabela 9: Medidas calculadas para a variável “Eficiência”.

	MEDIDAS					H <sub>calculado</sub> p-valor
	Softwares	n	Média	DP	Ranks	
Q11	Apolux	12	4,33	0,89	76,04 a	38,311 <0,0001
	Daysim	10	4,40	0,52	77,10 a	
	DIVA	40	3,58	0,75	40,08 b	
	Radiance	8	3,75	0,46	46,00 b	
	TropLux	61	4,49	0,50	81,83 a	

Fonte: Elaborada pela autora.

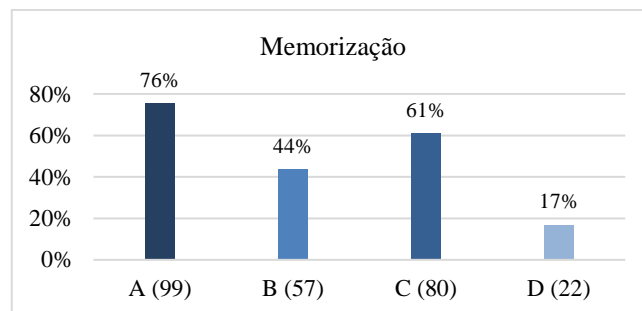
Observando-se o Ranks, pode-se posicionar o Apolux (a), o Daysim (a) e o TropLux (a) como os softwares que possuem a avaliação estatística mais alta para a eficiência, seguidos do DIVA (b) e do Radiance (b).

A variável “Memorização” é representada pelas questões Q12 (Para você, o que é facilidade de memorização em um software de iluminação natural? A – Reconhecer os comandos para executar as funções quando usar uma próxima vez; B – O tempo para assimilar

as funções; C – Replicar as tarefas para realização de projetos; D – Não precisar aprender conceitos antes de usar o software) e Q13 (Eu considero esse software de fácil memorização).

No Gráfico 13, estão as proporções da opinião dos usuários sobre a memorização. Para 76%, o aspecto está relacionado com ao reconhecimento dos comandos. Outros 61% vinculam com a capacidade de replicar as tarefas. O tempo para assimilar as funções foi a escolha de 44% dos usuários e a necessidade de aprender conceitos previamente, a de 17%.

Gráfico 13: Aspecto “Memorização”.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 10, é mostrada a relação entre as questões Q12 e Q13 sobre memorização. Verificou-se que houve diferença significativa entre as proporções obtidas em Q13 em relação à Q12-C ( $p = 0,0060$ ). Dessa forma, para os usuários, a memorização representa a possibilidade de replicar as tarefas para realização de projetos.

Tabela 10: Relação entre as questões Q12 e Q13 sobre a memorização.

		Q13										X <sup>2</sup> calculado p-valor
Q12		DT		DP		NT		CP		CT		
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
<b>A (n=131)</b>												
Não		-	-	3	50,0	7	28,0	19	26,0	3	11,1	4,993
Sim		-	-	3	50,0	18	72,0	54	74,0	24	88,9	0,1723
<b>B (n=131)</b>												
Não		-	-	3	50,0	16	64,0	45	61,6	10	37,0	5,622
Sim		-	-	3	50,0	9	36,0	28	38,4	17	63,0	0,1315
<b>C (n=131)</b>												
Não		-	-	0	0,0	5	20,0	30	41,1	16	59,3	12,430
Sim		-	-	6	100,0	20	80,0	43	58,9	11	40,7	<b>0,0060</b>
<b>D (n=131)</b>												
Não		-	-	3	50,0	19	76,0	64	87,7	23	85,2	6,781
Sim		-	-	3	50,0	6	24,0	9	12,3	4	14,8	0,0792

Fonte: Elaborada pela autora.

É possível afirmar, a partir da média calculada por software, que os usuários do Apolux (4,42), do Daysim (4,40), do DIVA (3,63) do Radiance (4,25) e do TropLux (3,90) concordam

total ou parcialmente que a memorização é uma característica contida nesses softwares. As medidas podem ser vistas na Tabela 11.

Tabela 11: Medidas calculadas para a variável “Memorização”.

MEDIDAS						H <sub>calculado</sub>
	Softwares	n	Média	DP	Ranks	p-valor
Q13	Apolux	12	4,42	0,51	88,83 a	17,603
	Daysim	10	4,40	0,97	88,30 a	<b>0,0010</b>
	DIVA	40	3,63	0,74	52,21 b	
	Radiance	8	4,25	0,46	80,50 a	
	TropLux	61	3,90	0,72	64,99 b	

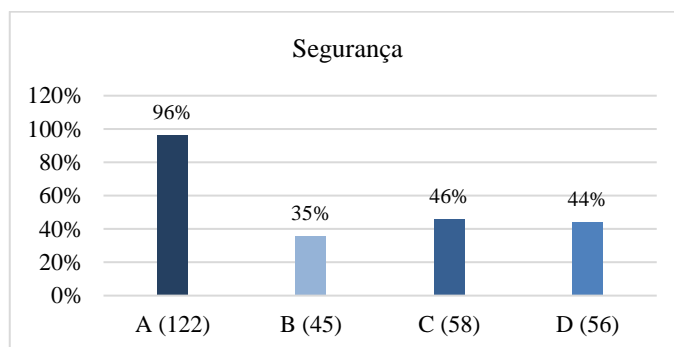
Fonte: Elaborada pela autora.

A análise do Ranks permite aferir que o Apolux (a), o Daysim (a) e o Radiance (a) obtiveram a avaliação estatística mais alta para a memorização, seguidos do DIVA (b) e do TropLux (b).

A variável “Segurança” é representada pelas questões Q14 (Para você, o que é segurança em um software de iluminação natural? A – Os dados gerados pelo software são confiáveis; B – O software auxilia na correção de erros; C – Quando se comete um erro usando o software, consegue-se corrigir facilmente; D – Os projetos são salvos com facilidade) e Q15 (Eu considero esse software seguro).

No Gráfico 14, são apresentadas as proporções da opinião dos usuários sobre a segurança. Para 96%, o aspecto se relaciona com a confiabilidade dos dados gerados pelo software. Os itens que versam sobre a facilidade para salvar projetos e a forma de correção de erro pelo usuário e pelo próprio software foram a escolha de 35% e 46% dos respondentes.

Gráfico 14: Aspecto “Segurança”.



Fonte: Elaborado pela autora.



Na Tabela 12, é exposta a relação entre as questões Q14 e Q15 sobre segurança. Verificou-se que houve diferença significativa entre as proporções obtidas em Q15 em relação à Q14-B ( $p = 0,0057$ ), à Q14-C ( $p < 0,0001$ ) e à Q14-D ( $p < 0,0001$ ). Com isso, para os usuários, a segurança representa a capacidade de corrigir erros autonomamente ou com o auxílio do software e salvar os projetos com facilidade.

Tabela 12: Relação entre as questões Q14 e Q15 sobre a segurança.

Q14	Q15										$\chi^2$ calculado p-valor
	DT		DP		NT		CP		CT		
A (n=127)	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Não	-	-	0	0,0	0	0,0	2	5,1	3	4,3	0,956
Sim	-	-	3	100,0	16	100,0	37	94,9	66	95,7	0,8119
B (n=127)											
Não	-	-	0	0,0	7	43,8	23	59,0	52	75,4	12,545
Sim	-	-	3	100,0	9	56,3	16	41,0	17	24,6	<b>0,0057</b>
C (n=127)											
Não	-	-	0	0,0	0	0,0	15	38,5	54	78,3	42,486
Sim	-	-	3	100,0	16	100,0	24	61,5	15	21,7	<b>&lt; 0,0001</b>
D (n=127)											
Não	-	-	0	0,0	0	0,0	21	53,8	50	72,5	31,831
Sim	-	-	3	100,0	16	100,0	18	46,2	19	27,5	<b>&lt; 0,0001</b>

Fonte: Elaborada pela autora.

Pode-se afirmar, a partir da média calculada por software, que os usuários do Apolux (4,92), do Daysim (4,10), do DIVA (4,25) do Radiance (4,63) e do TropLux (4,39) concordam total ou parcialmente que a segurança é uma característica contida nesses softwares. As medidas podem ser vistas na Tabela 13.

Observando o Ranks, é possível afirmar que o Apolux (a), o Daysim (a), o DIVA (a), o Radiance (a) e o TropLux (a) obtiveram avaliação estatística semelhante para a segurança.

Tabela 13: Medidas calculadas para a variável "Segurança".

	MEDIDAS					$H$ calculado p-valor
	Softwares	n	Média	DP	Ranks	
Q15	Apolux	12	4,92	0,29	90,33 a	8,076
	Daysim	10	4,10	1,45	67,10 a	0,0890
	DIVA	40	4,25	0,84	60,13 a	
	Radiance	8	4,63	0,52	74,00 a	
	TropLux	61	4,39	0,67	63,84 a	

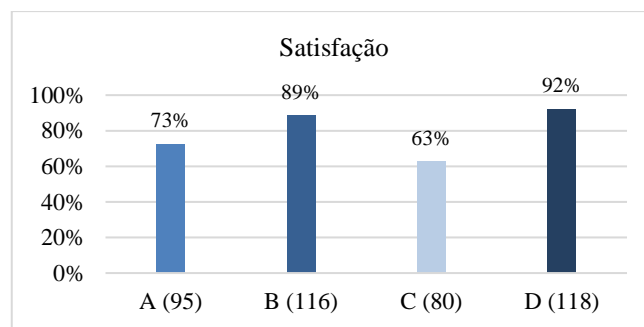
Fonte: Elaborada pela autora.

A variável "Satisfação" é representada pelas questões Q16 (Para você, o que é satisfação em um software de iluminação natural? A – A interface do software é amigável; B

– O software possui os recursos suficientes para fazer o/a trabalho/pesquisa; C – Aprender a usar com facilidade; D – Confiar nos dados de saída fornecidos) e Q17 (Eu estou satisfeito(a) usando esse software).

No Gráfico 15, são expostas as proporções da opinião dos usuários sobre a satisfação. Para 92%, o aspecto está relacionado à confiança nos dados de saída. Para 89%, aos recursos contidos no software. A interface amigável foi a opção de 73% dos usuários e a facilidade para aprender a usar, a de 63% dos entrevistados.

Gráfico 15: Aspecto “Satisfação”.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 14, é apresentada a relação entre as questões Q16 e Q17 sobre satisfação. Verificou-se que houve diferença significativa entre as proporções obtidas em Q17 em relação à Q16-B ( $p = 0,0040$ ) e à Q16-C ( $p = 0,0321$ ). Com isso, para os usuários, a satisfação representa a facilidade para aprender a usar e que o software possui os recursos para realizar o/a trabalho/pesquisa.

Tabela 14: Relação entre as questões Q16 e Q17 sobre a satisfação.

Q16	Q17										x <sup>2</sup> calculado p-valor
	DT		DP		NT		CP		CT		
A (n=131)	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Não	-	-	0	0,0	5	41,7	14	22,6	17	32,1	4,036
Sim	-	-	4	100,0	7	58,3	48	77,4	36	67,9	0,2576
B (n=131)											
Não	-	-	0	0,0	2	16,7	1	1,6	12	22,6	13,304
Sim	-	-	4	100,0	10	83,3	61	98,4	41	77,4	<b>0,0040</b>
C (n=128)											
Não	-	-	0	0,0	0	0,0	25	40,3	23	43,4	8,797
Sim	-	-	4	100,0	9	100,0	37	59,7	30	56,6	<b>0,0321</b>
D (n=128)											
Não	-	-	0	0,0	2	22,2	3	4,8	5	9,4	3,888
Sim	-	-	4	100,0	7	77,8	59	95,2	48	90,6	0,2737

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir da média calculada por software, pode-se afirmar que os usuários do Apolux (4,17), do Daysim (3,80), do DIVA (4,38) do Radiance (4,75) e do TropLux (4,20) concordam total ou parcialmente que a satisfação é uma característica contida nesses softwares. As medidas podem ser vistas na Tabela 15. Observando o Ranks, é possível constatar que todos os softwares obtiveram avaliação estatística semelhante para a satisfação.

Tabela 15: Medidas calculadas para a variável "Satisfação".

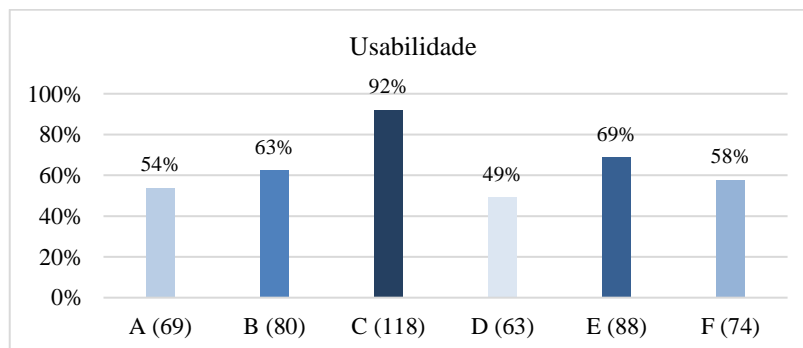
	MEDIDAS					H <sub>calculado</sub>
	Softwares	n	Média	DP	Ranks	p-valor
Q17	Apolux	12	4,17	0,39	57,08 a	7,538
	Daysim	10	3,80	1,55	64,00 a	0,1100
	DIVA	40	4,38	0,74	72,14 a	
	Radiance	8	4,75	0,46	90,63 a	
	TropLux	61	4,20	0,60	60,83 a	

Fonte: Elaborada pela autora.

O requisito Usabilidade é representado pelas questões Q18 (Dos aspectos de usabilidade abordados, qual(is) você considera que está(ão) presente(s) nesse software? A – Facilidade de Aprendizado; B – Facilidade de Uso; C – Eficiência; D – Memorização; E – Segurança; F – Satisfação) e Q19 (Eu considero que esse software possui bom nível de usabilidade).

No Gráfico 16, estão as proporções da opinião dos usuários sobre a usabilidade. Para 92%, o requisito está diretamente relacionado com a eficiência. Para 69%, com a segurança. A facilidade de uso foi a escolha de 63% dos usuários. A satisfação, a de 58%. A facilidade de aprendizado é relevante para 54% dos entrevistados e a memorização, para 49%.

Gráfico 16: Usabilidade de software.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 16, é apresentada a relação entre as questões Q18 e Q19 sobre usabilidade. Verificou-se que houve diferença significativa entre as proporções obtidas em Q19 em relação

a Q18-A ( $p < 0,0001$ ), Q18-B ( $p < 0,0001$ ), Q18-C ( $p = 0,0145$ ), Q18-D ( $p = 0,0132$ ), Q18-E ( $p < 0,0001$ ) e Q18-F ( $p = 0,0142$ ). Dessa forma, para os usuários, o conceito de usabilidade é representado por todos os aspectos avaliados.

Tabela 16: Relação entre as questões Q18 e Q19 sobre a usabilidade.

Q18	Q19										$\chi^2$ calculado p-valor
	DT		DP		NT		CP		CT		
A (n=128)	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Não	-	-	8	100,0	16	76,2	24	43,6	10	22,7	26,855
Sim	-	-	0	0,0	5	23,8	31	56,4	34	77,3	< 0,0001
B (n=128)											
Não	-	-	8	100,0	18	85,7	16	29,1	6	13,6	46,512
Sim	-	-	0	0,0	3	14,3	39	70,9	38	86,4	< 0,0001
C (n=128)											
Não	-	-	3	37,5	1	4,8	3	5,5	3	6,8	10,546
Sim	-	-	5	62,5	20	95,2	52	94,5	41	93,2	0,0145
D (n=128)											
Não	-	-	3	37,5	9	42,9	37	67,3	16	36,4	10,736
Sim	-	-	5	62,5	12	57,1	18	32,7	28	63,6	0,0132
E (n=128)											
Não	-	-	6	75,0	10	47,6	21	38,2	3	6,8	23,201
Sim	-	-	2	25,0	11	52,4	34	61,8	41	93,2	< 0,0001
F (n=128)											
Não	-	-	6	75,0	9	42,9	28	50,9	11	25,0	10,580
Sim	-	-	2	25,0	12	57,1	27	49,1	33	75,0	0,0142

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir da média calculada por software, pode-se afirmar que os usuários do Apolux (4,50), do Daysim (3,20), do DIVA (4,10) do Radiance (4,38) e do TropLux (3,98) concordam total ou parcialmente que a usabilidade é um requisito contido nesses softwares. As medidas podem ser vistas na Tabela 17.

Tabela 17: Medidas calculadas para a variável “Usabilidade”.

	MEDIDAS					$H$ calculado p-valor
	Softwares	n	Média	DP	Ranks	
Q19	Apolux	12	4,50	0,90	87,25 a	9,077 0,0590
	Daysim	10	3,20	1,55	46,50 a	
	DIVA	40	4,10	0,74	67,88 a	
	Radiance	8	4,38	0,52	78,56 a	
	TropLux	61	3,98	0,76	62,14 a	

Fonte: Elaborada pela autora.

Observando o Ranks, é possível constatar que todos os softwares obtiveram avaliação estatística semelhante para a usabilidade.

### **3.3. Conclusão da aplicação do questionário**

As informações sobre o perfil dos entrevistados revelaram que, entre os softwares analisados, os usuários do DIVA e do Radiance são os mais experientes quanto ao tempo em atividade e à variedade de softwares usados, sendo o Apolux, o Daysim e o TropLux, estatisticamente, equivalentes para essas características.

Partindo dos dados a respeito da atividade exercida pelo usuário atualmente e da instituição à qual está vinculado, em que a maioria é de estudantes em universidades federais ou estaduais, é possível fazer uma relação entre a experiência dos usuários e as questões culturais presentes nos grupos de pesquisa acadêmica, em que os integrantes costumam seguir o legado já estabelecido da escolha do software.

Com relação às métricas e grandezas que podem ser extraídas, a Iluminância é apontada, como dado de saída, pelos usuários de todos os softwares. Essa informação vai ao encontro dos resultados da análise realizada em paralelo, a partir da averiguação das funcionalidades dos softwares na literatura. No entanto, houve resultados que divergiram entre as duas fontes, como é o caso da Uniformidade, da Autonomia de Luz Natural Espacial e da Exposição Solar Anual.

Isso pode ser justificado pelo modo de acesso às funções, pois, mesmo quando o software não retorna uma medida diretamente, a partir de um elemento de interface, o seu cálculo pode ser viabilizado por meio de outros dados fornecidos. Exemplo disso é o Daysim, em que a Iluminância que pode ser calculada a partir do Fator de Luz do Dia e, consequentemente, a Autonomia de Luz Natural Espacial, a partir da Iluminância no ponto.

As divergências entre as fontes, também, podem ser explicadas pela escolha de versões distintas dos softwares que serviram como referência para os usuários responderem o questionário. Isso pode ser comprovado quando se observa o TropLux, que na versão atual fornece todas as métricas e grandezas listadas, mas não obteve a proporção total das respostas dos usuários.

Foi possível constatar o significado de cada aspecto de usabilidade no ponto de vista dos usuários e, dessa forma, inferir os itens relevantes para a prática de uso de softwares. A facilidade de aprendizado é caracterizada pela intuitividade dos softwares e pela possibilidade

de aprender a usá-los sem o apoio de um especialista. Já a facilidade de uso indica que as informações fornecidas pelo software são compreensíveis e que é simples criar um projeto.

A eficiência denota que as tarefas são executadas de forma ágil, que há maior produtividade no/na trabalho/pesquisa usando o software e que as informações fornecidas por essa ferramenta são eficazes. A memorização representa a possibilidade de replicação das tarefas para realização de projetos por meio do reconhecimento dos comandos. A satisfação, para os usuários, indica a facilidade para aprender a usar e, também, representa que o software possui recursos suficientes para realizar o/a trabalho/pesquisa.

A segurança indica a capacidade de corrigir erros, cometidos pelos usuários, autonomamente ou com o auxílio do software, além da possibilidade de preservar os dados, salvando os projetos com facilidade. Chama a atenção o fato de que um elevado percentual de usuários citou a confiabilidade dos dados gerados na análise geral desse aspecto (96%), entretanto, quando avaliada a relação dos dados gerais com os específicos por software, essa alternativa não obteve significância estatística.

Para esse caso, a análise dos dados brutos levou ao entendimento de que a contradição observada ocorreu devido à homogeneidade dos valores obtidos para a alternativa que trata de confiabilidade, o que elevou o seu p-valor. Apesar disso, e diante da média percentual atingida pelo item, constata-se que a confiabilidade dos dados é a definição do aspecto de segurança que possui maior relevância proporcional do ponto de vista dos usuários.

A partir da análise dos aspectos da usabilidade, foi possível ter uma visão geral da percepção dos usuários sobre a presença dessas características nos softwares. Uma síntese dos resultados é apresentada no Quadro 16.

Quadro 16: Relação entre softwares de iluminação natural e os aspectos de usabilidade.

ASPECTO DE USABILIDADE	SOFTWARE				
	Apolux	Daysim	DIVA	Radiance	TropLux
Facilidade de Aprendizado					
Facilidade de Uso					
Eficiência					
Memorização					
Segurança					
Satisfação					

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que a facilidade de aprendizado, a facilidade de uso, a eficiência, a memorização, a segurança e a satisfação foram aspectos identificados pelos usuários do Apolux, do Daysim e do TropLux. No entanto, os usuários do DIVA não identificaram a facilidade de uso, bem como os do Radiance, que também não apontaram a facilidade de aprendizado no software. Além disso, é possível perceber que para os outros softwares mantidos, o Apolux e o TropLux, esses dois aspectos, embora identificados, tiveram as médias mais baixas.

Com a análise das informações obtidas na pesquisa exploratória, tornou-se possível deduzir que, na percepção dos usuários, a usabilidade é o conjunto de todos esses aspectos, o que vai ao encontro dos conceitos encontrados na literatura. Porém, evidenciou-se que, para os usuários, existe uma ordem de prioridade desses aspectos, em que, do mais relevante para o menos, tem-se: eficiência, segurança, facilidade de uso, satisfação, facilidade de aprendizado e, por último, memorização.

A identificação dessa ordem representa a importância que os usuários conferem aos aspectos de forma subjetiva. Essa constatação pode ser justificativa para os resultados que apontam que os usuários consideraram que todos os softwares avaliados possuem usabilidade, mesmo que tenham revelado a carência de algum dos aspectos.

## 4. A PRÁTICA DE USO DE SOFTWARES EM PESQUISA

A segunda etapa da pesquisa é a verificação da prática de uso de softwares de simulação da iluminação natural na avaliação de desempenho do ambiente construído, em pesquisa científica.

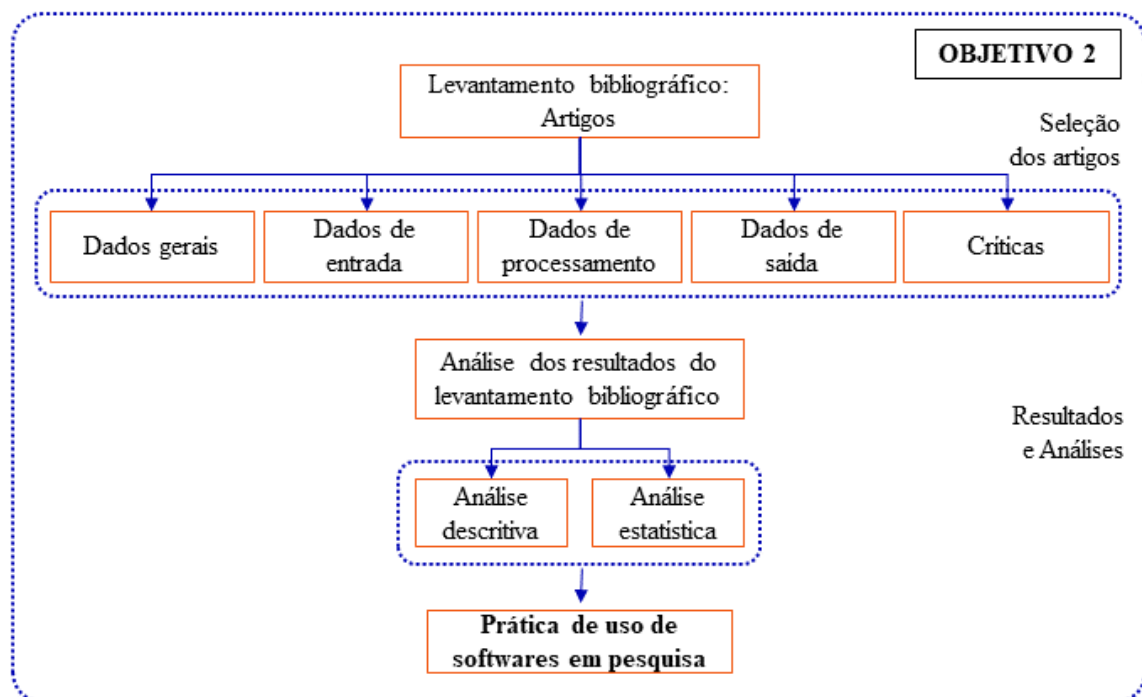
### 4.1. Método de pesquisa

Para a realização da pesquisa exploratória bibliográfica (YIN, 2005), as seguintes fases foram executadas:

- Levantamento de dados bibliográficos;
- Tabulação dos dados;
- Análise descritiva;
- Análise estatística.

Essas fases são mostradas, de forma esquemática, no fluxograma visto na Figura 6.

Figura 6: Fluxograma das fases do método de pesquisa do objetivo 2.



Fonte: Elaborada pela autora.



#### 4.1.1. Levantamento de dados bibliográficos

Foi realizado o levantamento de dados bibliográficos que iniciou com a definição do objeto de estudo e do recorte temporal. Foram escolhidos os anais de dois eventos nacionais: o ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído e o ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Decidiu-se por explorar todas as edições desses eventos até 2020. A primeira edição do ENTAC aconteceu em 1986 e do ENCAC, em 1990. Ambos ocorrem de forma bienal.

A opção por esses eventos se deve ao fato de serem os dois principais da área de conforto ambiental do Brasil. A busca pelos anais e a seleção dos artigos ocorreram no período de dezembro de 2020 a março de 2021. Os anais do ENTAC foram conseguidos na plataforma InfoHAB<sup>25</sup> e os do ENCAC, no *site* da ANTAC e em páginas das edições do evento.

Definiu-se, como critério de seleção, os artigos que versam sobre iluminação natural e que a metodologia utiliza a simulação computacional. O mecanismo utilizado para a admissão dos artigos, de acordo com esse critério, foi a leitura do título, dos objetivos e da metodologia. Em seguida, para efetivar o levantamento dos dados, foi elaborada uma planilha para ser preenchida a partir da leitura completa dos artigos.

Esse esquema continha 54 itens relacionados à prática de uso de softwares. Foram verificados aspectos referentes às informações gerais da publicação, à simulação (dados de entrada, dados de processamento e dados de saída), à exibição dos dados de saída e às conclusões sobre a usabilidade dos softwares. No Quadro 17, é apresentado, de maneira esquemática, o modelo que foi utilizado.

Quadro 17: Modelo esquemático da planilha para coleta de dados.

Informações gerais	Evento	Nome
		Ano
	Autores	Quantidade
		Primeiro autor
		Estado
		Instituição
	Metodologia	Simulação computacional
		Medição <i>In Loco</i>
		Revisão de literatura
		Outro

<sup>25</sup> InfoHAB - Centro de Referência e Informação em Habitação. É um projeto liderado pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC. <<https://www.infohab.org.br/acervos/advanced-search>>.

Simulação computacional	Software	Nome(s)	
		Versão	
		Integração com BIM	
	Dados de entrada	Modelo	Real
			Fictício
		Entorno	
		Variação de parâmetros	Geométrico
			Simulação
		Processamento da simulação	Ponto
	Malha		
	Anualizado		
	Métricas e grandezas (Dados de saída)	Fator de Luz do Dia (FLD)	
		Iluminância (E)	
Uniformidade da Luz Natural (U)			
Autonomia de Luz Natural (ALN)			
Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe)			
Iluminância Útil de Luz Natural (IULN)			
Exposição Solar Anual (ESA)			
Luminância (L)			
Ofuscamento (DGI/DGP)			
Outro			
Exibição dos dados de saída	Renderização		
	Isocurva/Falsa cor		
	Gráfico	Coluna	
		Linha	
		Pontos	
		Linhas de tendência	
	Tabela numérica		
Outro			
Conclusões sobre o software	Comentário		
	Crítica		
	Limitação		
	Outro		

Fonte: Elaborado pela autora.

Devido à natureza das respostas atribuídas, os itens da planilha relativos ao evento, aos autores, ao(s) software(s) usado(s) e às conclusões são classificados como nominais. Os demais itens são dicotômicos. Para esses, foram atribuídos os valores: 0 (zero), que significa “Não”, ou 1 (um), que significa “Sim”.

#### 4.1.2. Tabulação dos dados

A estrutura da planilha foi organizada separando-se os artigos pelo ano da edição do evento. Para viabilizar as análises dos dados, além dessa organização inicial, utilizou-se as informações contidas no item “Software” para dividir os registros em uma segunda planilha, dessa vez, classificando os artigos por software. A partir daí, formaram-se dois grupos: grupo 1 – os softwares que realizam simulação da iluminação natural e grupo 2 – os softwares que não realizam análise quantitativa da luz natural.

Em seguida, foram confeccionadas tabelas para cada item verificado. As respostas foram contabilizadas registrando-se os valores absolutos e percentuais. Esses registros ocorreram tanto por edição dos eventos quanto por software do grupo 1. Posteriormente, foram gerados gráficos a partir dessas tabelas e as informações foram cruzadas para a realização das análises descritiva e estatística.

### **4.1.3. Análise descritiva**

Inicialmente, relatou-se as informações gerais sobre o quantitativo de edições dos eventos e de artigos válidos para a pesquisa. Foi discriminado o percentual de publicações por região e por instituição, destacando as mais produtivas.

Descreveu-se os softwares usados para simulação computacional nos artigos, especificando o grupo ao qual pertencem (grupo 1 ou 2), os nomes e a quantidade de ocorrências de cada um nas publicações. Os dados coletados no levantamento bibliográfico foram descritos e apresentados esquematicamente, utilizando tabelas numéricas e gráficos de linha e de colunas.

### **4.1.4. Análise estatística**

A análise estatística foi realizada seguindo duas formas de organização dos dados: por edição dos eventos e por software do grupo 1. Optou-se por incluir os softwares desse grupo que foram descontinuados, Daysim e Lumen Micro. Embora, na análise das métricas, tenha sido feita a ressalva de que os resultados diziam respeito aos mantidos atualmente.

Adotou-se, como método estatístico, a média e a comparação entre proporções (MONTGOMERY; RUNGER, 2009). Estabeleceu-se que os artigos selecionados são as amostras de dados da pesquisa. Pela sua natureza, essas amostras são do tipo independentes<sup>26</sup>, isto é, os elementos provêm de indivíduos distintos. Nesse caso, artigos distintos.

Para a aplicação dos métodos, levou-se em consideração as características dos itens da planilha, que são nominais ou dicotômicos. Calculou-se a proporção de cada item dos artigos por edição e por software. A demonstração da relação entre o valor absoluto do item e o seu quantitativo total pode ser vista nas equações 3 e 4, adaptadas de Montgomery e Runger (2009), em que a proporção é dada por:

---

<sup>26</sup> Amostra independente – É a amostra em que as medições são feitas em conjuntos de itens diferentes, ou seja, os dados de uma coleta não afetam os da seguinte. (CORRAR; THEÓPHILO, 2009).

$$P = \frac{n_S}{n_T} \quad \text{[Equação 3]}$$

E o somatório dos valores absolutos é dado por:

$$n_T = n_S + n_N \quad \text{[Equação 4]}$$

Em que,

$P$  – Proporção entre valor absoluto e valor total.

$n_S$  – Valor absoluto para “Sim”.

$n_N$  – Valor absoluto para “Não”.

$n_T$  – Somatório dos valores absolutos.

Apesar da representatividade das proporções para todos os valores, entendeu-se que a significância do percentual, quando o valor absoluto é baixo, torna-se limitada. Optou-se, então, por apresentar os dados da distribuição do número de artigos em valores absolutos, além dos percentuais. O mesmo foi feito para a exibição do cruzamento entre os demais aspectos verificados, em que o número de artigos foi considerado o valor de referência para as comparações das proporções. Para esses casos, a interpretação dos resultados ocorreu utilizando os dois padrões numéricos.

As proporções obtidas para as métricas e grandezas foram calculadas tomando o ano de surgimento de cada item como referência. Dessa forma, são anteriores ao período investigado: o Fator de Luz do Dia, a Iluminância, a Uniformidade da Luz Natural, a Autonomia de Luz Natural, o Índice de Ofuscamento em Iluminação Natural e a Luminância. A Iluminância Útil de Luz Natural, a Autonomia de Luz Natural Espacial e a Exposição Solar Anual, foram introduzidas após o ano 2000.

Foi feita uma ressalva durante o levantamento bibliográfico com relação ao dado de saída “Ofuscamento”. Considerando que, para o seu cálculo, podem ser utilizados índices como o Índice de Ofuscamento em Iluminação Natural (DGI) e a Probabilidade de Ofuscamento em Iluminação Natural (DGP), o registro do estudo de Ofuscamento nos artigos ocorreu independentemente do método adotado para a sua obtenção.

Dado que o intuito com a realização do levantamento bibliográfico foi verificar a prática de uso de softwares e que a diferença do período de surgimento dos índices não iria

influenciar nos resultados, foi considerada para as análises, a data de introdução do DGI, que é anterior a do DGP.

Os resultados dos itens que versam sobre a metodologia (simulação computacional, medição *in loco* e revisão de literatura), o tipo de modelo de projeto (real e fictício), a variação de parâmetros (geométricos e de simulação), o entorno, o tipo de simulação (ponto e malha), o processamento anualizado, as métricas e os esquemas empregados para a exibição dos dados de saída foram comparados com o valor de referência, utilizando, como recurso visual, os gráficos combinados de linha e de colunas. Nesses esquemas, a linha representa o número de artigos (valor de referência) e as colunas representam os itens verificados.

Para a apresentação dos dados, especificamente, por software, utilizou-se gráficos de colunas para representar o tipo de modelo de projeto e os recursos de exibição dos dados de saída. As tabelas numéricas foram empregadas para mostrar a integração com o BIM, o uso dos softwares individualmente ou combinados, a variação de parâmetro, o entorno, o tipo de simulação, o processamento anualizado e as métricas.

## 4.2. Resultados e Análises

São apresentadas as análises descritiva e estatística dos dados obtidos a partir do levantamento bibliográfico para verificar a prática de uso de softwares de simulação da iluminação natural na avaliação de desempenho do ambiente construído, em pesquisa científica. Em seguida, expõe-se a conclusão desta etapa.

### 4.2.1. Análise descritiva do levantamento bibliográfico

A partir da seleção dos artigos, foram obtidas as informações gerais que podem ser vistas na Tabela 18. As buscas realizadas foram do período de 1986 a 2020 para o ENTAC e de 1990 a 2019 para o ENCAC, totalizando 33 edições. Registrou-se 194 artigos contabilizados como válidos para a pesquisa.

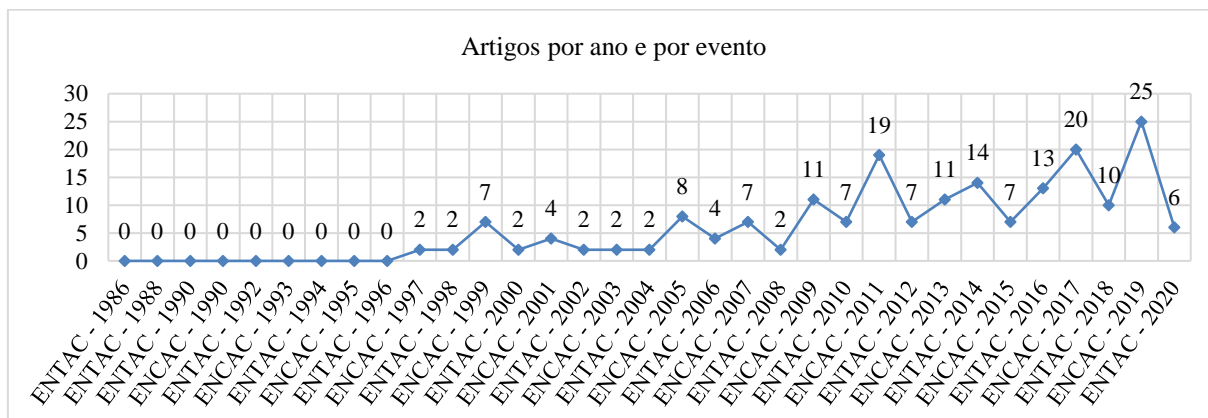
Tabela 18: Informações gerais dos eventos: ENTAC e ENCAC.

Evento	Período	Edições	Artigos
ENTAC	1986-2020	18	71
ENCAC	1990-2019	15	123
TOTAL		33	194

Fonte: Elaborada pela autora.

No percurso temporal, percebe-se o incremento gradual do número de publicações que aplicaram a simulação computacional como método de análise da iluminação natural. O primeiro registro dessa metodologia foi encontrado em 1997, e, a partir daí, tornou-se frequente nas edições seguintes, até 2020. A distribuição do quantitativo de artigos, em valores absolutos, pode ser vista no Gráfico 17, em que é discriminada por evento e por ano.

Gráfico 17: Distribuição do número de artigos por ano e por evento.

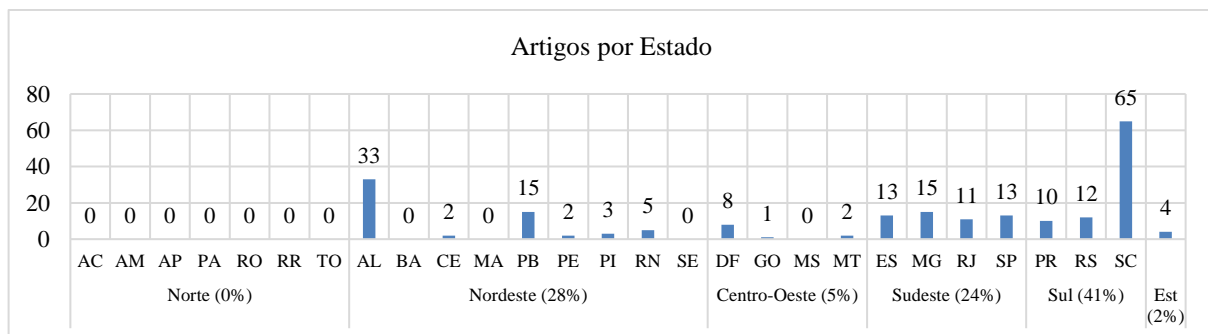


Fonte: Elaborado pela autora.

Fazendo-se um recorte temporal, é possível constatar que, comparando a primeira e a segunda décadas após 2000, houve um incremento no número de artigos de 170%, passando de 49 para 132 publicações.

Geograficamente, a maior parte das publicações encontra-se na região sul, que representa 41% do total; seguida do nordeste, com 28%; do sudeste, 24% e do centro-oeste, 5%. Na região norte, não houve publicações e os artigos estrangeiros correspondem a 2% do montante. Os dados podem ser encontrados, em valores absolutos, no Gráfico 18, em que se destaca: 65 artigos de Santa Catarina e 33, de Alagoas.

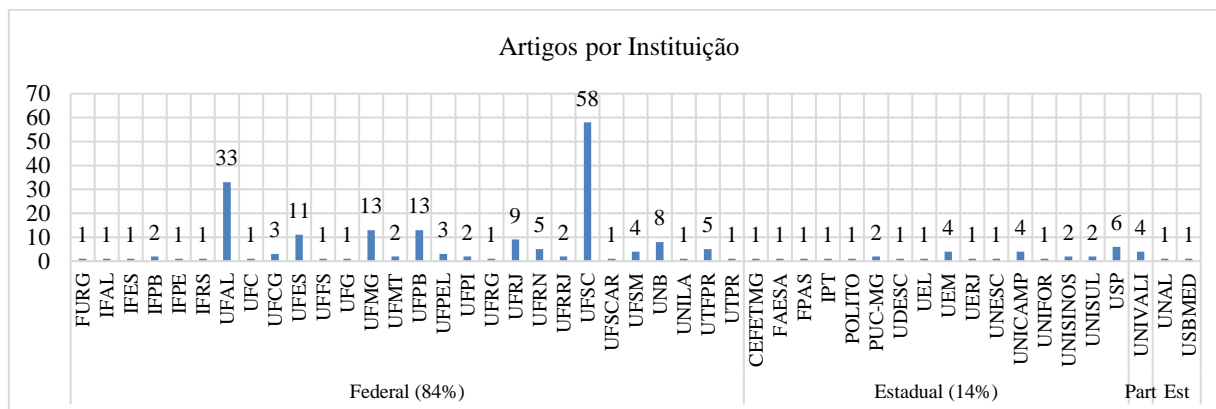
Gráfico 18: Distribuição de artigos por estados e regiões.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com relação às instituições de origem dos artigos, a maior parte foi de universidades e institutos federais, totalizando 84%. As instituições estaduais tiveram 14%, seguidas por 2% de particulares e 1% de estrangeiras. Destaca-se o quantitativo de 58 publicações da UFSC e de 33 da UFAL, que correspondem a 26% e 15% do total, respectivamente. Essas informações encontram-se no Gráfico 19.

Gráfico 19: Distribuição de artigos por instituições.



Fonte: Elaborado pela autora.

Foi registrado o total de 54 softwares nos artigos. Desses, 7 pertencem ao primeiro grupo e 47, ao segundo. Essa divisão é vista na Tabela 19. Em valores absolutos, os softwares do grupo 1 somaram 165 ocorrências e os do grupo 2, 138. Isso corresponde a 54% e 46% do total, respectivamente. Salienta-se que os softwares foram usados individualmente ou de forma combinada com outros, a depender do objetivo da pesquisa.

Tabela 19: Quantitativo de softwares obtidos nos artigos.

Grupo	Softwares	Ocorrências	% de ocorrências
Grupo 1	7	165	54%
Grupo 2	47	138	46%
Total	54	303	

Fonte: Elaborada pela autora.

Registrou-se 7 (sete) softwares para o primeiro grupo. Os softwares e o número de ocorrências nos eventos, em valores absolutos, são: Apolux (20), Daysim (37), DIVA (29), EnergyPlus (10), Lumen Micro (11), Radiance (20) e TropLux (38).

Os demais softwares, que somam 47 para o segundo grupo, estão distribuídos da seguinte forma: Arqui 3D (1), AGI-32 (2), Atlantis (1), AutoCAD (7), Cityzoom (2), Daylight (2), DesignBuilder (3), DiaLux (10), DLN (1), DOE-2 (1), ECOTECH (6), Evalglare (1), GenSky (1), Grasshopper (9), Honeybee (2), IlumiRAD2 (1), Insight 360 (1), Insight Lighting

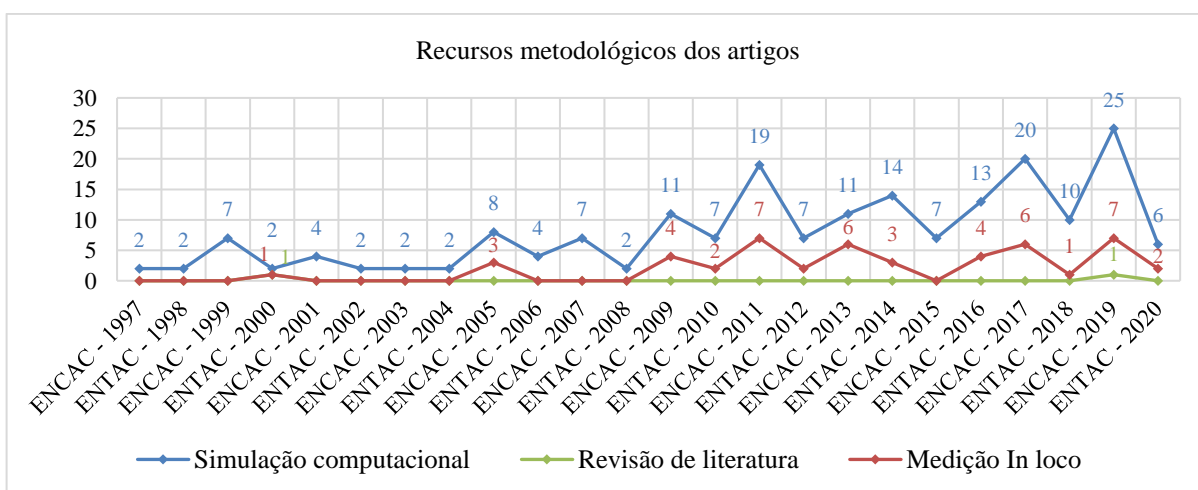
Analysis (1), LadyBug (2), Licaso (2), Lightscape (8), LightStanza (2), LightTool (3), LUX (1), Luz do Sol (3), Octopus (1), Openstudio (1), Picturenaut (1), Prescritivo (1), R14 (1), RadDisplay (1), Radiação (1), Radiasol (1), Radiocity (1), Radlite (2), Rayfront (1), Relux (10), Revit (4), Rhinoceros (19), RT-32 (1), SketchUp (11), SoftLux (1), SolarTool (1), SunTools (1), Surfer (1), V-Ray (1) e Winsurf (3).

Além dos dados já descritos, na planilha consta um conjunto de itens destinado a registrar conclusões dos autores dos artigos acerca do(s) software(s) usado(s). Nesses tópicos, foram averiguados: comentários sobre o uso, críticas às funções e limitações, na perspectiva da usabilidade. Das publicações estudadas, apenas uma continha críticas sobre a usabilidade na conclusão. Isso corresponde a 0,5% do total de artigos, sendo, portanto, um dado inexpressivo para a aplicação de métodos estatísticos.

#### 4.2.2. Análise estatística do levantamento bibliográfico

Nos 194 artigos selecionados para a análise, foi realizada simulação computacional da iluminação natural. Como pode ser visto no Gráfico 20, também foram observadas, como recurso metodológico empregado concomitantemente à simulação computacional, a medição *in loco* e a revisão de literatura.

Gráfico 20: Metodologias de pesquisa encontradas nos artigos: simulação computacional, medição *in loco* e revisão de literatura.



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir de 2000, percebe-se que, em paralelo à simulação computacional, a medição *in loco* foi aplicada, passando a ocorrer com maior frequência a partir de 2009. Essa técnica foi identificada em 25% do total de publicações. Nesses estudos, a revisão de literatura ocorreu em 1% do total.



A utilização de software integrado com a plataforma BIM foi verificada e obteve-se os dados expostos na Tabela 20, em que constam os anos e os softwares nos quais houve registro nos artigos.

Tabela 20: Integração com a plataforma BIM apresentada por ano e software.

Ano	Artigos	BIM	% de BIM
2015	7	2	29%
2016	13	1	8%
2017	20	6	30%
2019	25	14	56%
2020	6	1	17%
Software			
DIVA	29	19	66%
Radiance	20	5	25%

Fonte: Elaborada pela autora.

A primeira vez que a integração com a plataforma BIM foi citada ocorreu em 2015. Em 2017 e 2019 a representatividade aumentou, proporcionalmente. Em relação ao total de artigos estudados, a plataforma BIM foi empregada em 12% das publicações. Fazendo-se um recorte temporal das últimas dez edições, são 18%.

Identificou-se os softwares vinculados ao uso do BIM nos artigos. Foram assinalados o DIVA com 19 ocorrências e o Radiance com 5. Comparado ao total de vezes que esses softwares foram utilizados, representa 66% e 25%, respectivamente. Observou-se que ambos foram usados como *plug in* do Rhinoceros.

De forma geral, os softwares foram usados individualmente ou combinados com outros nos artigos. No segundo caso, para modelar projetos ou para realizar cálculos do desempenho da luz natural fazendo uso de um *plug in*. Outra possibilidade encontrada, foi para a realização de comparações dos dados de saída e, também, porque a proposta do artigo contemplava extrair métricas que eram retornadas por softwares distintos.

A respeito disso, é mostrado um panorama na Tabela 21, que em 53% do total de artigos os softwares foram usados individualmente, e em 47%, combinados.

Tabela 21: Publicações com o uso do software individualmente ou combinado com outros.

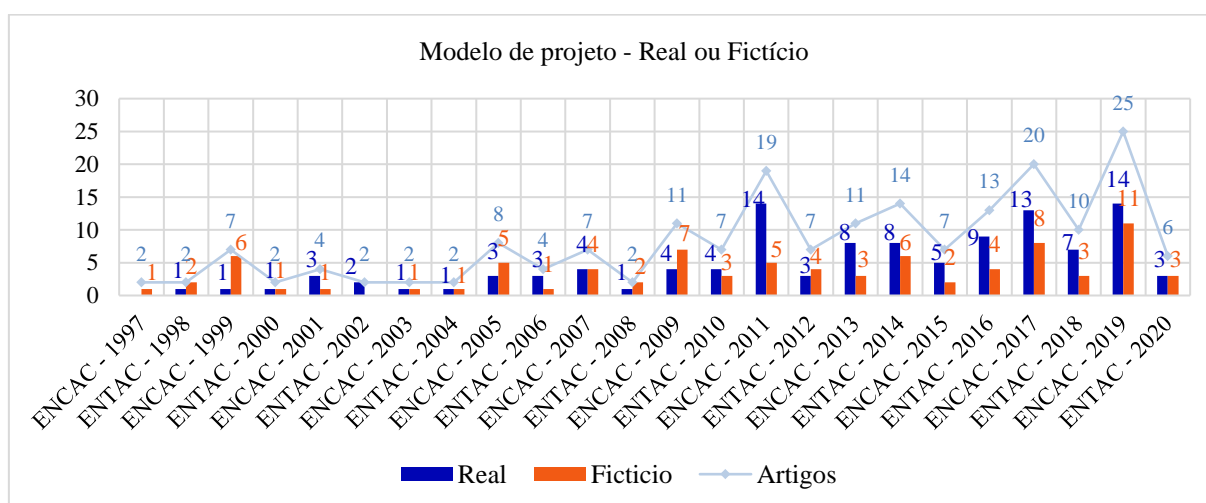
Software	Artigos	Individualmente		Combinado	
		Absoluto	Percentual	Absoluto	Percentual
Apolux	20	15	75%	5	25%
Daysim	37	18	49%	19	51%
DIVA	29	7	24%	22	76%
EnergyPlus	10	0	0%	10	100%
Lumen Micro	11	10	91%	1	9%
Radiance	20	4	20%	16	80%
TropLux	38	33	87%	5	13%

Fonte: Elaborada pela autora.

Constata-se que o Apolux, o Lumen Micro e o TropLux foram usados, isoladamente, na maior parte das pesquisas, sendo 75%, 91% e 87% das publicações, respectivamente. Já o uso combinado é observado em 51% das publicações com o Daysim, em 76% com o DIVA, em 100% com o EnergyPlus e em 80% com o Radiance.

Os modelos criados para simulação podem ser reais ou fictícios. Ao longo das edições dos eventos, percebe-se uma alternância na abordagem, totalizando em 58% de modelos reais e 43%, fictícios. Porém, na última década, os modelos reais têm sido implementados com maior frequência, chegando a 64% das publicações contra 37% de modelos fictícios. A contabilização dos valores absolutos é mostrada no Gráfico 21. A linha no gráfico representa o número de artigos, que serve como referência para os demais dados apresentados.

Gráfico 21: Modelo de projeto para a simulação computacional: real ou fictício.

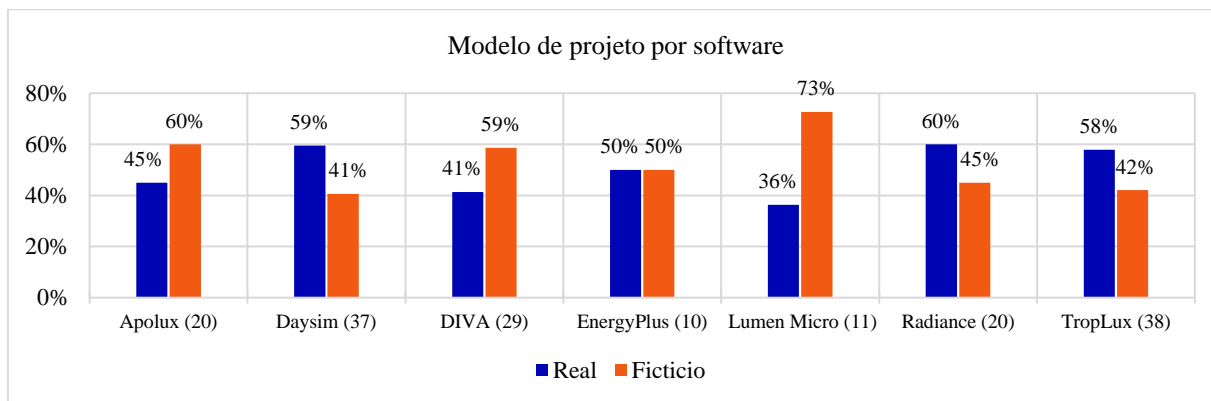


Fonte: Elaborado pela autora.

A verificação dos modelos adotados por software é vista no Gráfico 22. Nos projetos implementados usando o Apolux, o DIVA e o Lumen Micro, o modelo fictício é empregado

com maior frequência, sendo 60%, 59% e 73% respectivamente. O modelo real é mais usado nos projetos criados com o Daysim, em 59% dos casos, com o Radiance, 60%, e com o TropLux, em 58%. Para o EnergyPlus encontrou-se a mesma proporção para ambos os tipos.

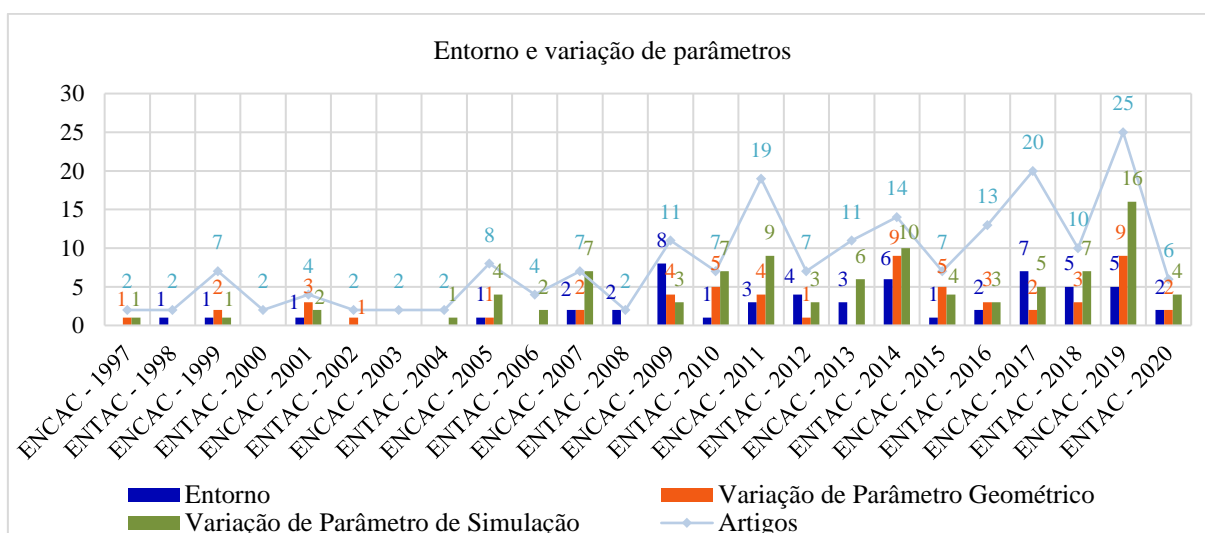
Gráfico 22: Tipo de modelo de projeto adotado para simulação computacional por software.



Fonte: Elaborado pela autora.

Verificou-se, nos modelos criados, a presença de entorno e a variação de parâmetros geométricos e de simulação. Esses dados são apresentados no Gráfico 23. Todos os itens tiveram oscilações ao longo das edições, porém é possível perceber que, a partir de 2007, o entorno vem sendo estudado com maior frequência, passando de 11% dos artigos do período anterior, para 32% a partir de 2007.

Gráfico 23: Presença de entorno e variação de parâmetros geométricos e de simulação.



Fonte: Elaborado pela autora.

Análise semelhante foi feita para a variação de parâmetros geométricos e de simulação. No primeiro, aponta-se que, a partir de 2009, houve um incremento desse item, que passou de 23% no período anterior, para 31% a partir de 2009. No segundo, por sua vez, destaca-se as

edições a partir de 2005, quando os dados de entrada relativos à simulação variaram numa percentagem de 53% nos artigos, mostrando um acréscimo se comparado com a taxa de 22% dos anos anteriores.

O conjunto de itens relacionados com a variação dos dados de entrada foram averiguados para os softwares, isoladamente. A partir do total de ocorrências, na Tabela 22, são mostradas as informações obtidas.

Tabela 22: Variação dos parâmetros geométricos e de simulação e presença de entorno por software.

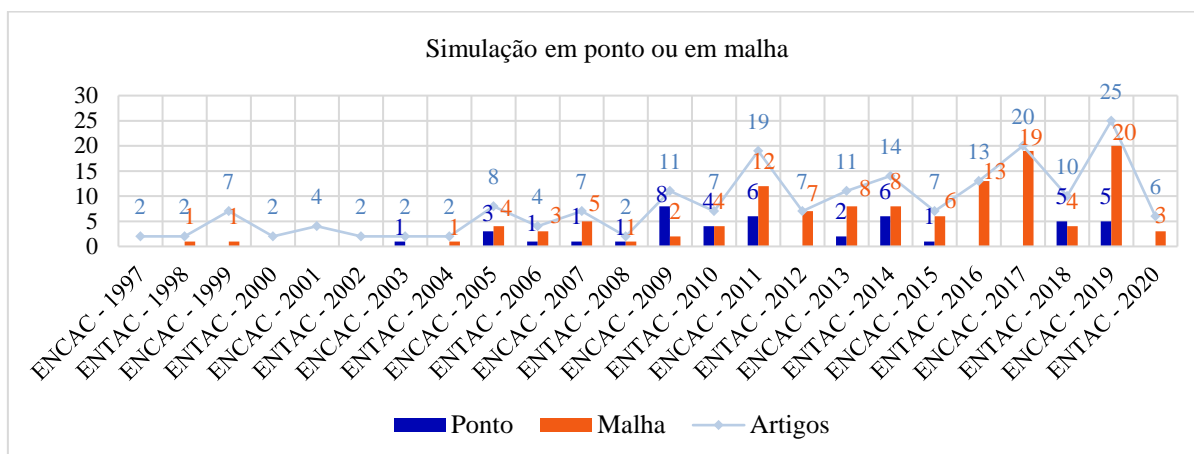
Software	Artigos	Entorno		Variação de Parâmetro Geométrico		Variação de Parâmetro de Simulação	
		Absoluto	Percentual	Absoluto	Percentual	Absoluto	Percentual
Apolux	20	4	20%	7	35%	12	60%
Daysim	37	13	35%	11	30%	19	51%
DIVA	29	9	31%	8	28%	16	55%
EnergyPlus	10	2	20%	5	50%	6	60%
Lumen Micro	11	2	18%	3	27%	2	18%
Radiance	20	6	30%	8	40%	10	50%
TropLux	38	10	26%	12	32%	21	55%

Fonte: Elaborada pela autora.

Com exceção do Lumen Micro, o entorno é parte integrante em mais de 20% dos projetos implementados pelos softwares. Pode-se apontar que, a respeito dos parâmetros, para a maioria dos softwares desse grupo, houve percentual maior de variação dos dados de simulação do que dos geométricos. Com exceção, mais uma vez, do Lumen Micro, em que as variações geométricas ocorreram em maior número.

As simulações podem ser processadas em ponto ou em malha, a depender do algoritmo implementado para o software, podendo ambos serem realizados nos estudos. No Gráfico 24, está exposto o quantitativo obtido nos artigos por edição. Observa-se que, nas publicações em que foi possível identificar esse aspecto, a maior parte dos processamentos foi realizada em malha, cenário que se acentua a partir de 2005, quando 70% das publicações apontam para a escolha desse parâmetro em detrimento de 25% de simulações no ponto. Salienta-se que alguns pesquisadores utilizaram ambos; e outros, não relataram no texto.

Gráfico 24: Distribuição do quantitativo de simulações em ponto ou em malha.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na averiguação por software, percebe-se que há uma diferença percentual entre as opções, em que se aponta que a maioria das simulações foi realizada em malha para todos os softwares, como pode ser conferido na Tabela 23.

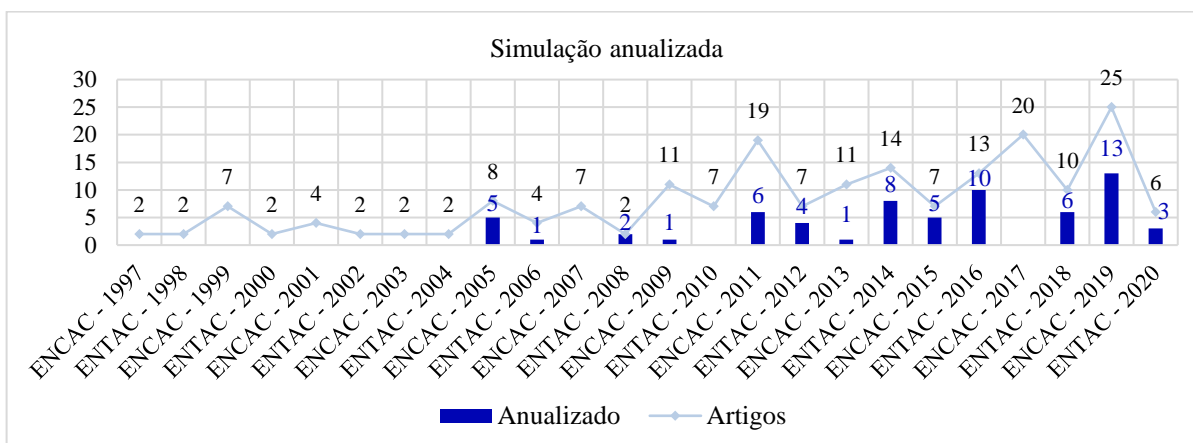
Tabela 23: Distribuição do quantitativo de simulações em ponto ou em malha por software.

Software	Artigos	Ponto		Malha	
		Absoluto	Percentual	Absoluto	Percentual
Apolux	20	9	45%	12	60%
Daysim	37	7	19%	30	81%
DIVA	29	6	21%	21	72%
EnergyPlus	10	2	20%	8	80%
Lumen Micro	11	1	9%	4	36%
Radiance	20	6	30%	13	65%
TropLux	38	7	18%	31	82%

Fonte: Elaborada pela autora.

Averiguou-se o período temporal adotado para os processamentos. Como pode ser visto no Gráfico 25, é possível aferir que, apenas a partir de 2005, houve registro de processamentos anualizados, tornando-se recorrente nos anos seguintes. Embora tenha havido edições que em nenhuma das publicações esse item foi computado, como em 2007, 2010 e 2017, nas demais, verificou-se um incremento proporcional ao número de artigos. Na última década, registrou-se 42% dos artigos em que se utilizou a simulação anualizada.

Gráfico 25: Distribuição quantitativa de simulações anualizadas.



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise desse aspecto, por software, revelou que em 50%, ou mais, dos casos de uso do Daysim, do DIVA, do EnergyPlus, do Radiance e do TropLux, o processamento das simulações foi anualizado. Já o Apolux e o Lumen Micro obtiveram porcentagens mais baixas, 15% e 18% respectivamente. Esses dados podem ser encontrados, em detalhes, na Tabela 24.

Tabela 24: Distribuição quantitativa de simulações anualizadas, por software.

Software	Artigos	Anualizado	
		Absoluto	Percentual
Apolux	20	3	15%
Daysim	37	19	51%
DIVA	29	15	52%
EnergyPlus	10	7	70%
Lumen Micro	11	2	18%
Radiance	20	10	50%
TropLux	38	24	63%

Fonte: Elaborada pela autora.

Vale a ressalva de que o autor do artigo tem a opção de definir se na metodologia da pesquisa devem ser aferidos os dados de todo o ano ou, somente, de ocasiões pontuais, como equinócios e solstícios, ainda que a ferramenta computacional disponibilize o recurso de simulação anualizada.

Verificou-se o uso de métricas e grandezas para a avaliação quantitativa da luz natural. No Gráfico 26, seccionado em 3 partes, estão exibidos os valores obtidos. Observa-se que a Iluminância vem sendo alvo de investigação em todas as edições dos eventos a partir de 1998, aparecendo em 79% dos artigos publicados.

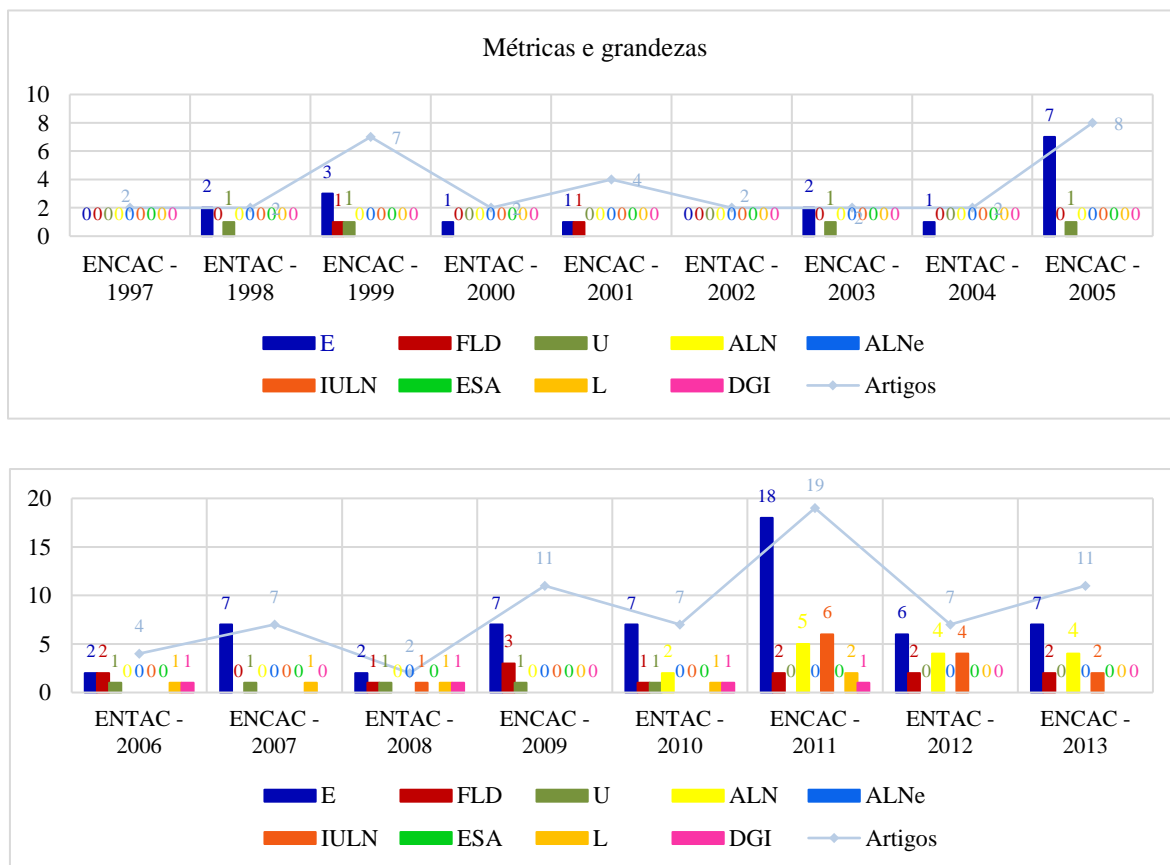
A utilização do FLD e da Uniformidade é oscilante. A ocorrência foi de 13% e 11% dos artigos, respectivamente. Nota-se que o interesse por ambos tem reduzido ao longo das edições.

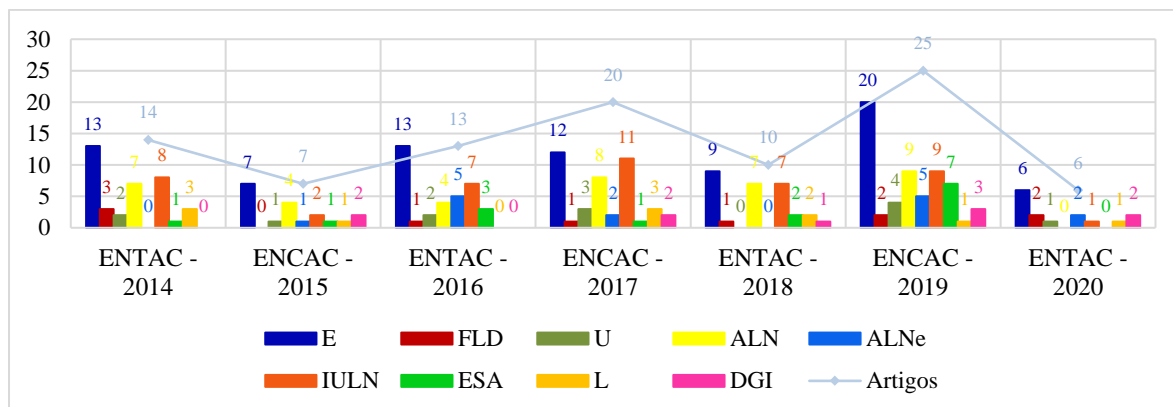
A ALN apareceu nas publicações, pela primeira vez, em 2010 e totalizou 28% de ocorrências. A ALNe surgiu em 2011, mas apareceu nos artigos em 2015. Tomando como base o seu surgimento, o percentual de vezes que foi utilizada é de 11%.

A IULN surgiu em 2005 e foi registrada nos artigos, inicialmente, em 2008, mas somente a partir de 2010 tornou-se uma constante, atingindo 34% desde o seu surgimento. Mais recentemente, em 2012, a ESA surgiu, figurando nas publicações em 2014. As suas ocorrências correspondem a 13% dos artigos.

A Luminância e o Ofuscamento foram assinalados a partir de 2006 e, desde então, as suas aplicações nas pesquisas vêm oscilando. O percentual de ocorrências foi de 9% e 7%, respectivamente.

Gráfico 26: Distribuição quantitativa das métricas e grandezas.



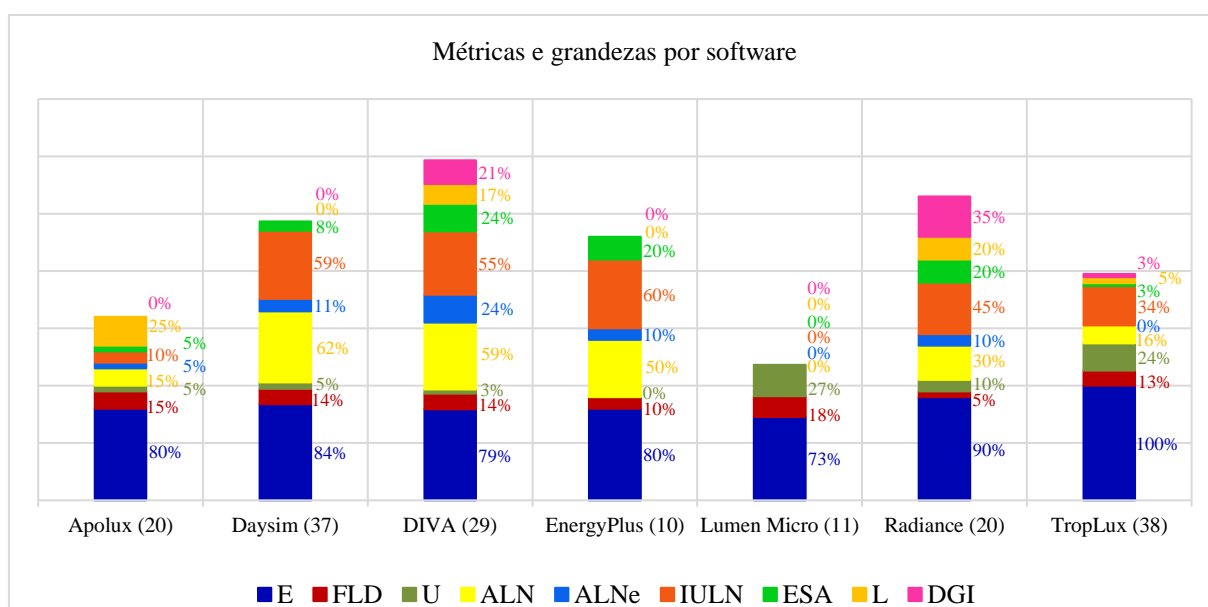


Fonte: Elaborado pela autora.

A verificação da aplicação das métricas, por software, pode ser encontrada no Gráfico 27. As publicações que investigam a iluminância são superiores a 73% das pesquisas desenvolvidas usando cada software deste grupo. Destaca-se o TropLux, que atingiu o percentual de 100% de aplicações dessa métrica nos artigos em que foi usado.

A utilização do FLD variou entre 5% no Radiance e 18% no Lumen Micro. Entre os softwares mantidos, a maior proporção foi do Apolux, 15%. A Uniformidade não foi explorada em artigos que usaram o EnergyPlus e, nos demais softwares, o percentual mínimo foi de 3% para o DIVA e o máximo foi de 27% para Lumen Micro. Entre os softwares mantidos, a maior proporção foi de 24%, atingida pelo TropLux. Observou-se que as outras métricas verificadas não foram abordadas nas publicações em que se usou o Lumen Micro.

Gráfico 27: Distribuição quantitativa das métricas e grandezas por software.



Fonte: Elaborado pela autora.

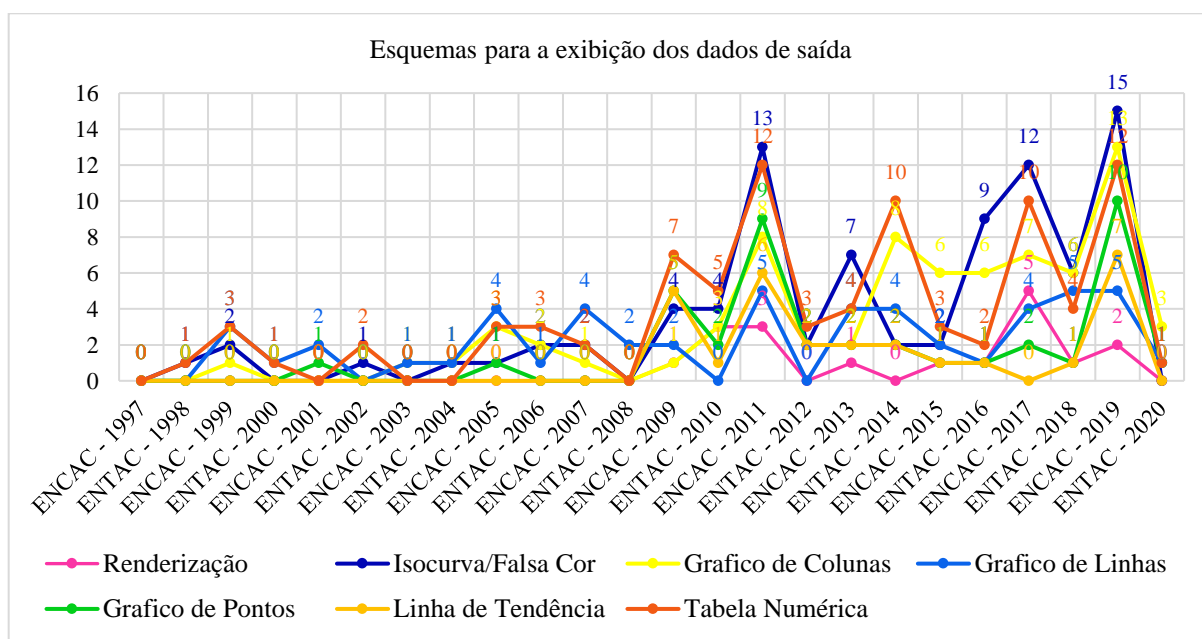


A ALN e a IULN foram estudadas em uma proporção igual ou superior a, respectivamente, 50% e 55% dos artigos que usaram o Daysim, o DIVA e o EnergyPlus. Para a ALNe, o percentual máximo foi atingido pelo DIVA, 24% dos artigos. A ESA foi explorada em um percentual igual ou acima de 20% das publicações que simularam com o DIVA, com o EnergyPlus e com o Radiance, sendo menos abordada nos artigos que usaram o Daysim, o Apolux e o TropLux, 8%, 5% e 3%, respectivamente.

A Luminância foi utilizada em 25%, 20%, 17% e 5% dos estudos que se usou o Apolux, o Radiance, o DIVA e o TropLux, respectivamente. Não houve registro para os demais softwares. O Ofuscamento foi calculado em 35% dos artigos em que se usou o Radiance, 21%, o DIVA e 3% o TropLux. Não foram registradas ocorrências do Ofuscamento nos demais softwares.

Foram verificados os esquemas adotados para a exibição dos dados de saída. No Gráfico 28, estão os valores absolutos obtidos. Proporcionalmente a tabela numérica e a isocurva com imagem em falsa cor são os mais utilizados, atingindo 46% e 45% do total, respectivamente. O gráfico de colunas vem em seguida com 38%. O gráfico de linhas, o gráfico de pontos e a linha de tendência aparecem com 27%, 21% e 15%, respectivamente. Por fim, a renderização com 9%.

Gráfico 28: Esquemas utilizados para a exibição dos dados de saída por edição dos eventos.



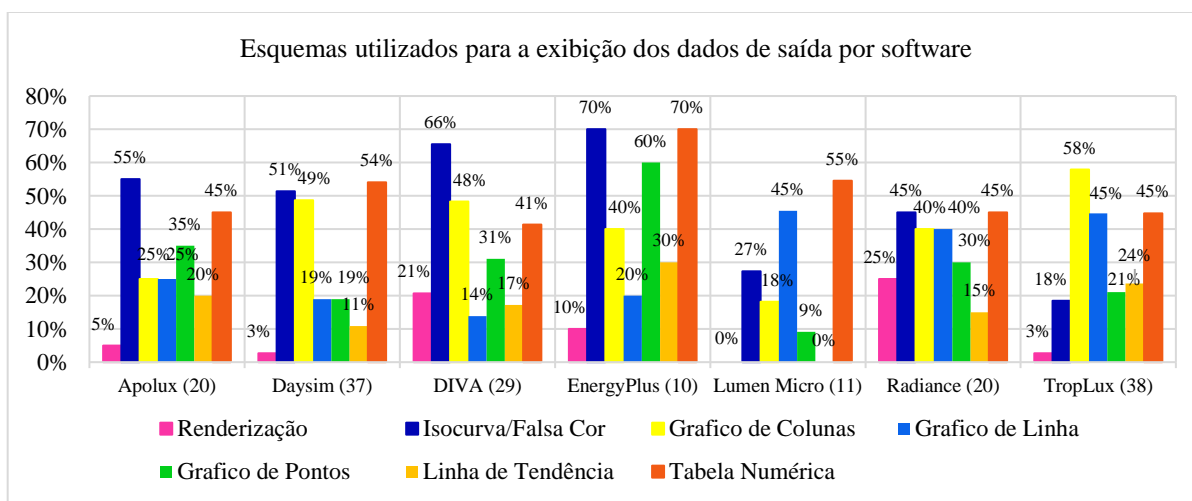
Fonte: Elaborado pela autora.

Comparando-se a primeira e a segunda décadas após 2000, percebe-se que os maiores incrementos da representatividade desses recursos ocorreram para o gráfico de colunas e para a isocurva com imagem em falsa cor. A tabela numérica manteve o percentual ao longo das edições, apesar das oscilações. O gráfico de pontos e a linha de tendência também apresentaram um crescimento proporcional, porém menos expressivo.

A representatividade mais reduzida foi da renderização, apesar de ainda ter sido superior na última década, quando comparada com a anterior. O gráfico de linhas, embora ainda seja um esquema empregado nos artigos, apresentou uma redução na sua utilização na comparação entre os recortes temporais das duas últimas décadas.

Os resultados da verificação dos esquemas empregados para a apresentação dos dados de saída, por software, podem ser vistos no Gráfico 29.

Gráfico 29: Esquemas utilizados para a exibição dos dados de saída por software.



Fonte: Elaborado pela autora.

A renderização é o recurso apontado em 25% dos artigos em que a simulação foi realizada com o Radiance, 21% com o DIVA e 10% com o EnergyPlus. Não houve registro desse recurso para o Lumen Micro. Para os demais softwares, o percentual foi de 5% ou menos.

A isocurva/falsa cor foi identificada em proporções iguais ou superiores a 45% das publicações com o Apolux, o Daysim, o DIVA, o EnergyPlus e o Radiance. O gráfico de colunas foi a opção encontrada 40% ou mais dos artigos com o Daysim, o DIVA, o EnergyPlus, o Radiance e o TropLux. O gráfico de linha foi observado em proporções a partir de 40% para o Lumen Micro, o Radiance e o TropLux. O Gráfico de pontos foi registrado em 60% das

publicações com o EnergyPlus. Para os demais softwares, a ocorrência desse recurso variou entre 9% e 35%.

A opção pela linha de tendência variou entre o mínimo de 11%, nos artigos em que se usou o Daysim, e 30%, o EnergyPlus. Para o Lumen Micro, não se observou registro desse item. A tabela numérica apareceu como o recurso mais utilizado, atingindo 70% das publicações com o EnergyPlus; 55% e 54%, com o Lumen Micro e o Daysim, respectivamente; 45%, com o Apolux, com o Radiance e com o TropLux; 41%, com o DIVA.

### **4.3. Conclusão do levantamento bibliográfico**

Verificou-se que, na última década, quando comparada com a anterior, houve um incremento de 169% no número de artigos em que foi utilizada a simulação computacional da luz natural. Paralelamente, a medição *in loco* ainda vem sendo empregada como método de pesquisa nas publicações.

Isso mostra o crescimento de pesquisas em que se busca verificar a precisão dos dados de saída dos softwares, através da comparação dos resultados dos diferentes métodos de aferição e de avaliação quantitativa.

Apesar do atual momento, em que se tem evidenciado a integração dos softwares à plataforma BIM e do seu surgimento ser contemporâneo do período em que se iniciaram os registros do uso de simulação computacional nos artigos investigados, a abordagem integrada foi aplicada em 18% das publicações das dez últimas edições dos eventos. Nessas ocorrências, os softwares usados foram o DIVA e o Radiance, ambos como *plug in* do Rhinoceros.

Foi percebida uma tendência para o desenvolvimento de projetos a partir de modelos reais, em detrimento dos fictícios, o que retrata o crescimento do interesse por investigar cenários cotidianos do ambiente construído. O Daysim, o Radiance e o TropLux são os softwares em que os modelos reais são mais implementados proporcionalmente.

Observou-se que a maior parte dos projetos desenvolvidos usando os softwares mantidos apresentou variação de parâmetros de simulação. Um percentual menor foi calculado para a variação de parâmetros geométricos, ainda assim, é um item recorrente nos estudos.

Com relação ao emprego de entorno nos projetos, percebeu-se um crescimento proporcional ao longo das edições. Na averiguação, especificamente, por software, entre os

mantidos, mais de 20% das publicações envolveram o entorno, edificado ou natural, do ambiente.

As simulações podem ser realizadas no ponto ou em malha. No entanto, nos últimos anos, o processamento ocorreu em malha na maior parte das pesquisas. Na avaliação por software, verificou-se uma proporção igual ou superior a 60% por essa opção. Pode ser constatada, a partir disso, uma tendência das simulações em malha.

Deve-se considerar que, embora mais recursos computacionais sejam demandados, a definição da malha pode conferir maior precisão dos resultados das métricas e, conseqüentemente, da representação do desempenho nos projetos para otimizar o aproveitamento da luz natural.

Considerando a evolução na capacidade de processamento dos computadores e os avanços dos algoritmos, há, atualmente, maior viabilidade para a obtenção de dados anuais, que vêm se tornando mais frequentes na última década. Isso reflete, seguindo o caminho oposto, na redução do número de simulações realizadas somente para períodos como equinócios e solstícios.

O processamento anualizado é uma característica que depende do algoritmo implementado. Notou-se que os softwares que obtiveram as porcentagens mais elevadas para esse item, iguais ou superiores a 50%, foram desenvolvidos utilizando o método do raio traçado. São eles: Daysim, DIVA, EnergyPlus, Radiance e TropLux. Entretanto, quando implementados utilizando o método da radiosidade, como é o caso do Apolux e do Lumen Micro, as porcentagens foram de até 18%.

Entre as métricas verificadas, a Iluminância foi a mais recorrente nos artigos, aparecendo em 79% do total de publicações. Entre os softwares mantidos, a média do percentual de utilização dessa métrica atingiu 86%, destacando-se o TropLux, com o qual se calculou a Iluminância todas as vezes que esse software foi usado.

Um dos fatores que faz da Iluminância a grandeza fotométrica mais apontada é a possibilidade de viabilizar, a partir dela, o cálculo de outras medidas, como o FLD, a IULN, a ALN e a ESA. Além disso, nas normas brasileiras relacionadas à iluminação, a Iluminância é citada como parâmetro de referência para a avaliação da disponibilidade de luz natural e artificial em ambientes internos.

O interesse sobre o FLD e a Uniformidade vem diminuindo ao longo dos anos. A Uniformidade, entre os softwares mantidos, teve o máximo de 10% de utilização nas publicações usando o Apolux, o DIVA, o EnergyPlus e o Radiance. Em oposição a esse baixo percentual, aparece o TropLux com 24%.

Na última década, o interesse em estudar a ALN e a IULN teve um incremento. O mesmo aconteceu com relação à ALNe, porém, somente nos últimos cinco anos. A ALN foi calculada em um percentual igual ou maior que 50% dos artigos em que as simulações foram realizadas usando o DIVA e o EnergyPlus. A ALNe atingiu 24% das publicações usando o DIVA. O resultado obtido para a IULN foi igual ou superior a 55%, usando o DIVA e o EnergyPlus.

A ESA foi utilizada em uma proporção igual ou acima de 20% nas publicações que usaram o DIVA, o EnergyPlus e o Radiance. Essa métrica vem recebendo mais atenção nos estudos relacionado à avaliação do desconforto visual. Observa-se que o emprego da ESA, bem como o da ALNe, segue parâmetros específicos quanto às variáveis de cálculo, como malha de pontos e período de tempo.

A Luminância e o Ofuscamento não apareceram de forma recorrente nas publicações. Ainda assim, nos artigos em que se usou o Apolux e o Radiance, a Luminância foi registrada em mais de 20% dos estudos; o Ofuscamento, em 35% das pesquisas em que se usou o Radiance.

Como esquema para a apresentação dos dados de saída, a tabela numérica foi a mais utilizada nos artigos, seguida da isocurva/falsa cor e do gráfico de colunas. O gráfico de pontos e a linha de tendência apresentaram crescimento, porém menos expressivo. A representatividade da renderização e do gráfico de linhas reduziu nos últimos anos.

Pôde-se notar que, de maneira geral, não constam, nos artigos, comentários sobre a usabilidade dos softwares relatando informações como: críticas, limitações de uso e capacidade de atendimento aos objetivos. Por isso, não foi possível avaliar os softwares a partir desses itens.

## 5. O CONJUNTO DE HEURÍSTICAS

A terceira etapa da pesquisa diz respeito à proposição de um conjunto de heurísticas para auxiliar o usuário na tomada de decisão sobre softwares de simulação da iluminação natural, sob a perspectiva da usabilidade.

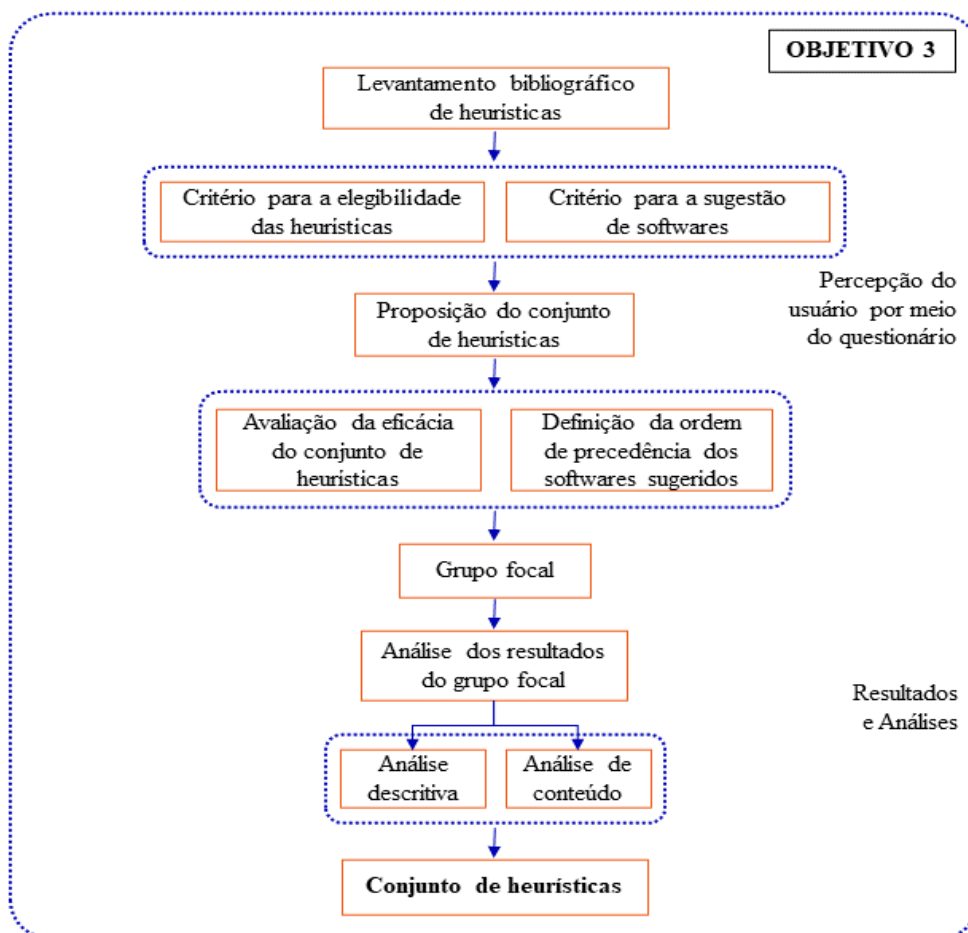
### 5.1. Método de pesquisa

Para a elaboração das heurísticas, as seguintes fases foram realizadas:

- Levantamento bibliográfico de heurísticas;
- Proposição das heurísticas e sugestão dos softwares;
- Definição da ordem de precedência dos softwares;
- Avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas.

Essas fases são mostradas, de forma esquemática, no fluxograma visto na Figura 7.

Figura 7: Fluxograma das fases do método de pesquisa do objetivo 3.



Fonte: Elaborada pela autora.

### **5.1.1. Levantamento bibliográfico de heurísticas**

Realizou-se a busca por heurísticas no contexto da usabilidade. Para isso, identificou-se os princípios clássicos propostos na literatura, bem como as recomendações gerais publicadas recentemente. Foi registrado o fim a que se destinam os conjuntos observados e o que os fundamenta.

Buscou-se registrar os métodos empregados para a elaboração e para a validação das heurísticas. Além disso, observou-se o alcance dessas recomendações para a área em que foram aplicadas.

### **5.1.2. Proposição das heurísticas e sugestão dos softwares**

A proposição do conjunto de heurísticas foi baseada nos aspectos de usabilidade de software: facilidade de aprendizado, facilidade de uso, eficiência, memorização, segurança e satisfação. A partir desses aspectos, identificou-se a percepção do usuário sobre a usabilidade, aplicando-se, para isso, um questionário.

Para a associação entre a demanda dos usuários e o conjunto de heurísticas, recorreu-se aos dados percentuais apresentados na análise estatística, que podem ser encontrados na Seção 3.2.2.

Na averiguação dos aspectos, foram utilizadas duas formas de análise: a global do grupo, que foi utilizada para a elaboração do conjunto de heurísticas; e a específica por software, que serviu para elencar os softwares sugeridos aos usuários que aplicarem essas heurísticas. Entretanto, apenas os softwares mantidos atualmente integram a lista de possibilidades, que são: Apolux, DIVA, Radiance e TropLux. Dessa forma, o Daysim foi excluído desta etapa.

A análise global, que envolveu todo o grupo de usuários de softwares de iluminação natural, foi realizada através das questões de múltipla escolha, em que as alternativas de resposta contêm definições sobre os aspectos.

O critério adotado, para a composição do conjunto de heurísticas, foi que seria elegível a definição que tivesse atingido um percentual igual ou superior a 50% das escolhas dos usuários e que, concomitantemente, versasse sobre o software. Isso porque, nessa etapa da análise estatística, foi considerada a proporção das escolhas do grupo amostral, o que significa que a maioria dos usuários avaliou a alternativa como pertinente para o aspecto.

A análise específica foi realizada através das questões em escala, o que tornou possível definir os softwares que contemplam a heurística. Utilizou-se, como critério para a sugestão do software, o valor da média alcançada por ele na avaliação de cada aspecto de usabilidade. Assim sendo, a média deveria ser igual ou superior a 3,0, o que implica que, para a maioria dos usuários, o aspecto está contido no software.

No Quadro 18, são mostradas as referências das proporções e das médias que foram utilizadas para a aplicação dos critérios. Na primeira parte, constam os aspectos de usabilidade, seguidos das referências dos gráficos que contêm as proporções calculadas para as alternativas das questões nominais, e das tabelas, que contêm as médias atingidas por cada software.

Quadro 18: Referências para as proporções e as médias.

ASPECTOS	PROPORÇÕES	MÉDIAS
Facilidade de aprendizado	Gráfico 10	Tabela 5
Facilidade de uso	Gráfico 11	Tabela 7
Eficiência	Gráfico 12	Tabela 9
Memorização	Gráfico 13	Tabela 11
Segurança	Gráfico 14	Tabela 13
Satisfação	Gráfico 15	Tabela 15

Fonte: Elaborado pela autora.

O modelo, a seguir, foi utilizado para a estruturação das heurísticas.

- Heurística – Apresenta-se a heurística.
- Aspecto – Apresenta-se o aspecto de usabilidade que fundamenta a heurística.
- Descrição – Apresenta-se uma descrição da heurística.

Para a aplicação de cada uma dessas regras gerais, anexou-se a lista de softwares sugeridos, em ordem de precedência.

### 5.1.3. Definição da ordem de precedência dos softwares

Inicialmente, calculou-se, por grupo de software, as proporções das respostas dos usuários para as questões que versavam sobre as definições gerais dos aspectos de usabilidade. O modelo do esquema utilizado para mostrar esses cálculos pode ser visto no Quadro 19. As proporções obtidas pelas alternativas que deram origem às heurísticas foram expostas por meio de gráfico de colunas.



Quadro 19: Modelo da tabela utilizada para expor as proporções calculadas, por software, para cada alternativa.

SOFTWARE								
QUESTÃO NOMINAL	Software		Software		Software		Software	
A (n)	n	%	n	%	n	%	n	%
Não								
Sim								
B (n)								
Não								
Sim								
C (n)								
Não								
Sim								
D (n)								
Não								
Sim								

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse esquema, a questão nominal aparece na primeira coluna. As alternativas de resposta foram codificadas com as letras sequenciais “A”, “B”, “C” e “D”, seguidas do valor absoluto (n) do total de dados obtidos. As respostas a essas alternativas foram categorizadas como “Não”, se a opção não foi escolhida pelo usuário, e “Sim”, se foi marcada como resposta.

Nas colunas, em que aparecem os softwares, estão expostos o valor absoluto (n) e o percentual (%), registrados. Para a análise, somente as proporções do “Sim” são representativas, pois indicam que a alternativa atende ao conceito do aspecto, no ponto de vista do usuário.

Embora os valores numéricos atribuídos ao Daysim tenham sido excluídos desta etapa, optou-se por manter o valor de n para as alternativas de resposta, para preservar a consistência das informações apresentadas em partes distintas da tese.

A partir daí, a ordem de precedência dos softwares sugeridos foi estabelecida seguindo o modelo de faixas de percentuais, que está no Quadro 20. Com essa opção, foi possível definir o mesmo nível para os softwares que obtiveram valores próximos para as proporções.

Quadro 20: Ordem de precedência estabelecida por faixa de percentual.

ORDEM DE PRECEDÊNCIA	
Nível	Faixa de percentual (%)
1	[0 – 25]
2	]25 – 50]
3	]50 – 75]
4	]75 – 100]

Fonte: Elaborado pela autora.

As faixas de percentuais foram limitadas atendendo à concepção de intervalos da teoria dos conjuntos (MARQUES, 2017). Assim sendo, no primeiro nível, o intervalo percentual é de zero a 25%, incluindo os extremos; no segundo, o intervalo é superior a 25% e até 50%; no terceiro, superior a 50% e até 75% e, por fim, no quarto, o intervalo percentual é de 75% e até 100%, incluindo os extremos.

Para apresentar a ordem de precedência dos softwares, utilizou-se tabelas numéricas que seguem o modelo do Quadro 21.

Quadro 21: Modelo da tabela utilizado para apresentar a ordem de precedência dos softwares para as heurísticas.

ORDEM DE PRECEDÊNCIA					
Alternativa	Heurística	Software	Software	Software	Software
QUESTÃO – ALTERNATIVA	Hn	Nível	Nível	Nível	Nível

Fonte: Elaborado pela autora.

Na primeira coluna, que tem a alternativa, é mostrada a questão e a alternativa que deu origem à heurística, seguida do número. Nas demais colunas, são expostos os softwares sugeridos e o nível na ordem de precedência.

#### 5.1.4. Avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas

Utilizou-se, como instrumento de coleta de dados, o grupo focal (BOMFIM, 2009; SCHVINGEL *et al.*, 2017). O critério, para a inserção de avaliadores no grupo, foi que o participante fosse usuário de software de simulação da iluminação natural.

A seleção foi não aleatória (CORRAR; THEÓPHILO, 2009), isto é, os participantes foram convidados, diretamente, pela pesquisadora. Devido à representatividade com relação à população de usuários, a área de atuação dos avaliadores selecionados é em arquitetura ou em engenharia.

A reunião do grupo focal ocorreu à distância, *on-line* e de forma síncrona, em uma sala virtual. O grupo foi composto por membros do Grupo de Iluminação da UFAL, dos quais 6 eram avaliadores, 1 observador e 1 mediador. Os avaliadores tiveram função de testar e avaliar o conjunto de heurísticas; o observador acompanhou o processo, fazendo ponderações pontuais; o mediador conduziu a reunião, orientando sobre as atividades, dirimindo dúvidas e controlando o tempo estipulado para cada etapa. A avaliação das heurísticas e o preenchimento do formulário foram feitos individualmente.

Para registrar os dados coletados, utilizou-se o formulário (ANDRADE, 2009), confeccionado através da ferramenta *Google Forms*. Esse instrumento foi dividido em seções: identificação do perfil do avaliador (formação, nível acadêmico, atividade que exerce atualmente, instituição a qual está vinculado), experiência como usuário (tempo como usuário, quantidade de softwares que usa ou usou, nome e versão do(s) software(s), critério para a escolha de um software, conhecimento sobre usabilidade) e avaliação (estrutura, conteúdo, eficácia).

Foram elaboradas perguntas de múltipla escolha para a identificação do perfil e da experiência. Para as demais perguntas, adotou-se o modelo de questões abertas, com o intuito de que o avaliador expressasse o seu ponto de vista livremente. O formulário completo pode ser visto no APÊNDICE B – Formulário para a avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas. As respostas dos avaliadores são encontradas no APÊNDICE D – Respostas do grupo focal.

Como garantia da integridade dos participantes do grupo focal e da ética na pesquisa, apresentou-se o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), que deveria ser assinalado confirmando a intenção de participar da pesquisa. O TCLE foi a única parte do instrumento em que a resposta do participante foi obrigatória. Para todas as demais, foi optativo responder. Além disso, a identidade dos participantes foi preservada anonimamente no formulário.

Foram atribuídos pesos para os níveis da ordem de precedência dos softwares. Considerando que existem até quatro níveis possíveis, estabeleceu-se os pesos de 1 a 4, sendo 1 para o menor nível e 4 para o mais elevado. Para os casos em que o número de níveis foram menores que 4, iniciou-se a distribuição dos pesos pelo nível mais elevado e seguiu-se até o último existente.

O modelo desse esquema de avaliação pode ser visto no Quadro 22, em que, na primeira coluna, é mostrada a heurística e seu número; na segunda, os nomes dos softwares sugeridos em ordem de precedência, do maior para o menor nível, e, por fim, na última coluna, o peso atribuído. O quadro completo encontra-se no APÊNDICE C – Quadro para a aplicação do conjunto de heurísticas.

Quadro 22: Modelo do esquema utilizado para mostrar os softwares sugeridos em ordem de precedência.

ASPECTO DE USABILIDADE	HEURÍSTICA	SOFTWARE EM ORDEM DE PRECEDÊNCIA	PESO
Aspecto	Hn - Título da heurística.	Software	4
		Software	3
		Software	2
		Software	1

Fonte: Elaborado pela autora.

Para manter a transparência do método e a imparcialidade dos resultados da avaliação, optou-se por realizar a aplicação das heurísticas em duas rodadas. Primeiramente, a avaliação simples-cega (VARELLA, 2020), em que os softwares foram codificados para que os avaliadores não tivessem acesso aos seus nomes. A codificação foi: A – Apolux, B – DIVA, C – Radiance, D – TropLux.

No segundo momento, a aplicação ocorreu com os nomes dos softwares expostos. Dessa forma, os avaliadores puderam vivenciar uma experiência similar a dos usuários que aplicarem as heurísticas.

Para ambas as rodadas, o avaliador deve verificar a relevância de cada heurística para o próprio perfil e, a partir disso, escolher as que atendem às suas necessidades subjetivas. Dessa forma, a escolha da heurística está, diretamente, relacionada à percepção do usuário sobre usabilidade, não havendo a obrigatoriedade de utilizar todo o conjunto proposto.

A partir disso, os avaliadores foram orientados, na primeira rodada, a escolher o software com o nível mais alto na ordem de precedência, já que não sabiam de qual se tratava. Entretanto, na segunda rodada, tendo os nomes dos softwares revelados, os avaliadores puderam escolher entre acatar a sugestão de um software com o nível mais elevado na ordenação ou escolher outro da lista. Atentou-se que, para quaisquer das opções, o peso atribuído ao software foi o contabilizado para o resultado da avaliação.

Seguindo esse direcionamento, no final da aplicação, contabilizou-se, por meio de somatório simples dos pesos, o valor obtido por cada software. Em seguida, após comparar os valores e ordenar de forma decrescente, obteve-se uma nova ordem de precedência dos softwares, em que, no nível mais elevado, estava o software recomendado para o avaliador.

Com o intuito de que os avaliadores tivessem a possibilidade de amadurecer a percepção sobre as heurísticas e as suas definições, um arquivo contendo esse conteúdo foi enviado, por *e-mail*, quatro dias antes da data da reunião do grupo focal.

Para a efetivação da avaliação, foram disponibilizados para os avaliadores: o *link* do formulário e o quadro para a aplicação das heurísticas. Nesse quadro, constavam os aspectos de usabilidade, as heurísticas, os softwares sugeridos em ordem de precedência e os pesos atribuídos.

A reunião com o grupo focal foi organizada em quatro etapas.

- Abertura da reunião
  - Apresentação dos participantes.
  - Contextualização da temática da pesquisa.
  - Exposição do objetivo da avaliação.
- Instruções
  - Leitura das instruções.
  - Declaração do TCLE.
  - Orientações gerais sobre o processo.
- Avaliação
  - Preenchimento da seção de identificação do perfil do usuário.
  - Aplicação das heurísticas.
  - Contabilização dos pesos atribuídos aos softwares.
  - Preenchimento da seção de avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas.
- Encerramento da reunião
  - Envio dos formulários pelos avaliadores.
  - Exposição oral de comentários adicionais.

Para promover o engajamento dos participantes e evitar a desorientação durante o processo de avaliação, adotou-se a abordagem de ciclos curtos de interação para o preenchimento do formulário, que ocorreu de forma coordenada. Em cada etapa, foram transmitidas, pontualmente, as orientações necessárias. Recomendou-se que os avaliadores fossem o mais específicos possível nas respostas e que expressassem, verbalmente, as possíveis dúvidas em qualquer momento do processo.

#### **5.1.4.1. Análise descritiva**

Inicialmente, relatou-se as informações gerais sobre a reunião do grupo focal, tais como: a data da reunião, o número de avaliadores e de observadores e a duração. Além disso, foram apresentados os dados quantitativos das perguntas de múltipla escolha. As perguntas elaboradas seguindo o modelo de questão aberta foram estudadas por meio da análise de conteúdo.

O perfil dos avaliadores foi descrito explorando as respostas à primeira seção do formulário, referentes à formação, ao nível acadêmico, à atividade que exercem atualmente e à instituição a qual estão vinculados. Em seguida, o perfil como usuário de software de simulação da iluminação natural foi relatado, a partir das respostas dos avaliadores sobre o tempo que usam e a quantidade de softwares que já usaram.

Registrou-se o nome dos softwares que os avaliadores citaram. Os dados coletados no grupo focal foram descritos e apresentados através de valores absolutos. Esquemáticamente, utilizou-se a tabela numérica.

#### **5.1.4.2. Análise de conteúdo**

Adotou-se, para a generalização analítica<sup>27</sup> dos resultados da avaliação da eficácia das heurísticas, o método qualitativo de análise de conteúdo (BARDIN, 1977; SANTOS, 2012; CÂMARA, 2013). Estabeleceu-se quatro etapas para o tratamento dos dados: organização, codificação, categorização e inferência.

Iniciou-se a organização dos dados por meio da leitura das respostas dos avaliadores contidas no formulário. A partir disso, verificou-se as respostas pertinentes para a pesquisa, excluindo os campos vazios ou fora do contexto.

Para a codificação dos dados, delimitou-se três fases que foram executadas para cada questão aberta do formulário:

- Escolha das unidades de registro, em que foram identificados palavras, expressões e trechos de frases relevantes.

---

<sup>27</sup> Generalização analítica – Método que utiliza uma teoria previamente desenvolvida como modelo. A partir de um conjunto particular de resultados, o método pode gerar proposições teóricas aplicáveis a outros contextos. Esse conjunto não é, necessariamente, a amostra, mas possui características semelhantes às do universo de pesquisa (YIN, 2005).

- Escolha das unidades de contexto, em que foram identificados os contextos aos quais as unidades de registro pertencem.
- Enumeração das unidades de registro. Adotou-se como regras de enumeração: a frequência, que emprega a representação quantitativa, e a direção, que tem caráter qualitativo.

Para categorização dos dados, adotou-se a abordagem semântica, em virtude da natureza da questão de pesquisa que versa sobre a eficácia do conjunto de heurísticas. As unidades de registro foram, então, agrupadas seguindo as classificações das unidades de contexto. Para isso, aderiu-se às técnicas de exclusão mútua, de homogeneidade e de pertinência.

A partir da categorização dos dados foi possível quantificar os registros para realizar a análise de conteúdo. Seguiu-se dois métodos para essa análise: o cálculo das proporções (MONTGOMERY; RUNGER, 2009) e a regra da direção (BARDIN, 1977).

Para explorar os resultados referentes à identificação do perfil como usuário, obtidos por meio do critério de escolha de software (4. Qual(is) critério(s) você adota para escolher um software de simulação da iluminação natural?) e da definição de usabilidade (5. Para você, o que é usabilidade de software?), optou-se pelo cálculo das proporções devido à natureza desses itens, que não requerem hipótese de resposta.

Foi realizado o somatório da frequência das unidades de registro contidas em cada unidade de contexto. Entende-se por frequência, o número de vezes que o registro foi identificado nas respostas. Em seguida, foram calculadas as proporções das unidades de contexto, através da relação entre esse somatório e o valor total das frequências de todos os registros.

Os dados desses dois itens foram exibidos por meio de um esquema que segue o modelo do Quadro 23, em que na primeira coluna estão as unidades de registro seguidas da frequência. Por fim, na última coluna estão as unidades de contexto. As proporções dos contextos, que representaram o ponto de vista dos avaliadores sobre o item, foram mostradas em gráficos de colunas.

Quadro 23: Modelo do quadro utilizado para expor as informações categorizadas das perguntas sobre o perfil como usuário.

ITEM AVERIGUADO		
Unidade de registro	Frequência	Unidade de contexto

Fonte: Elaborado pela autora.

Para explorar os resultados referentes à eficácia das heurísticas (perguntas de 1 a 10 da seção de avaliação da eficácia), utilizou-se a regra da direção, que foi aplicada em relação à frequência. A opção por esse método se deve à natureza dos itens estudados, que possibilita a atribuição de hipótese para ser verificada a partir das respostas dos avaliadores. No Quadro 24, são mostrados os itens e as perguntas do formulário correspondentes.

Quadro 24: Itens averiguados e perguntas do formulário correspondentes.

ITEM	PERGUNTA DO FORMULÁRIO
Estrutura	1. A estrutura utilizada para apresentar as heurísticas está adequada?
Clareza	2. As heurísticas estão apresentadas com clareza gramatical e semântica?
Coerência com os aspectos	3. As heurísticas estão coerentes com os aspectos de usabilidade que as fundamentam?
Coerência com as definições	4. As definições estão coerentes com as heurísticas?
Número	5. O número de heurísticas do conjunto proposto é adequado?
Modelo para aplicação	6. O esquema utilizado para a aplicação do conjunto de heurísticas é didático para o usuário?
Flexibilidade	7. A flexibilidade para escolher, dentro do conjunto proposto, as heurísticas que o usuário julgar adequadas ao seu perfil é relevante?
Coerência da sugestão de software	8. O software sugerido, no resultado da avaliação, está coerente com as suas necessidades?
Eficácia	9. O conjunto de heurísticas é eficaz para o objetivo que foi proposto?
Apontamentos adicionais	10. Neste espaço, sinta-se à vontade para registrar comentários, sugestões e/ou críticas adicionais.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados desses itens foram exibidos por meio de um esquema que segue o modelo do Quadro 25, em que constam as unidades de registro, o elemento, a frequência, a direção, a representação e as unidades de contexto. A direção foi apresentada através dos símbolos: “+” (positivo) e “-” (negativo), para o registro favorável e desfavorável à hipótese, respectivamente. Para o caso de o registro ter caráter neutro, utilizou-se o “0” (zero) e, para ambivalente, o “±” (mais ou menos).

Os campos do quadro chamados de “elemento” e de “representação” foram caracterizados como notações simbólicas da unidade de registro. Entretanto, a representação é composta pelo elemento, pela direção e pela frequência.



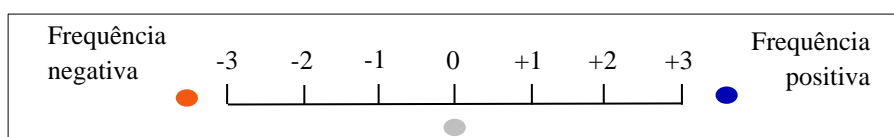
Quadro 25: Modelo do quadro utilizado para expor as informações categorizadas da seção de avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas.

ITEM AVERIGUADO					
Unidade de registro	Elemento	Frequência	Direção	Representação	Unidade de contexto
Registro	a	n	+	a+n	Contexto

Fonte: Elaborado pela autora.

Para viabilizar a aplicação da regra da direção, recorreu-se às escalas bipolares, em que a frequência das unidades de registro foi posicionada na escala de acordo com a direção. Um modelo da escala bipolar de sete graus (-3 a +3) pode ser visto na Figura 8, em que o ponto de vista dos avaliadores é assinalado. Como recurso visual, os registros favoráveis foram posicionados com um ponto azul; os desfavoráveis, com um ponto laranja; os neutros, cinza.

Figura 8: Modelo de escala bipolar para a aplicação da regra da direção em relação à frequência.



Fonte: Adaptado de BARDIN (1977).

Para a obtenção dos resultados dos itens averiguados, calculou-se o somatório dos valores das unidades de registro assinaladas nas escalas bipolares, contabilizando a frequência e a direção.

Para a etapa da inferência, considerando a natureza dos itens por meio dos quais foi realizada a verificação da hipótese de eficácia das heurísticas, adotou-se a análise de avaliação, fundamentada no modelo representacional (BARDIN, 1977).

Os itens foram categorizados e dispostos em um esquema que segue o modelo do Quadro 26. Esse modelo é similar ao esquema utilizado para mostrar a categorização das unidades de registro (Quadro 25), porém, sem o campo da unidade de contexto, pois esses itens são o próprio contexto.

Quadro 26: Modelo do quadro utilizado para expor a categorização dos itens averiguados.

INFERÊNCIA				
Item	Elemento	Frequência	Direção	Representação

Fonte: Elaborado pela autora.

Dessa forma, os resultados obtidos para cada item foram posicionados em uma nova escala bipolar. A partir daí, foi possível inferir, de forma quantitativa e qualitativa, o ponto de vista do grupo focal.

As sugestões e as críticas dos avaliadores com relação à estrutura, ao conteúdo e à eficácia das heurísticas foram utilizadas para o aperfeiçoamento e a produção da versão atualizada do conjunto de heurísticas.

## 5.2. Levantamento bibliográfico de heurísticas

Os princípios clássicos propostos por Mayhew (1992), Nielsen (1993), Bastien e Scapin (1993), Marcus (1997) e Shneiderman (1998), bem como os mais atuais estabelecidos por Kitchenham e Charters (2007), Gonçalves *et al.* (2011), Preece *et al.* (2012), Moraveji e Soesanto (2012) e Wale-Kolade (2015), são as heurísticas que têm mais proximidade com o contexto das que foram elaboradas nesta pesquisa. No entanto, o único ponto de aderência entre essas regras gerais é a temática que as precede, a usabilidade de software.

Assim sendo, as citações observadas na literatura foram utilizadas como referências na definição do método para a concepção de heurísticas, voltadas a um objetivo específico, e para a validação do conjunto de heurísticas por meio da avaliação da sua eficácia.

## 5.3. A proposição do conjunto de heurísticas

Heurística 1 (H1): Intuitividade da interface do software.

- Aspecto: Facilidade de aprendizado.
- Definição: A interface possui padrões compreensíveis e a logística de funcionamento do software atende à curva de aprendizado do usuário, isto é, o usuário percebe a evolução do seu aprendizado, comparando o conhecimento inicial e o adquirido. Essas perspectivas estão relacionadas com a utilização de recursos cognitivos do usuário e com a frequência de uso do software.

Heurística 2 (H2): Acessibilidade às funções e informações.

- Aspecto: Facilidade de uso.
- Definição: As funções e as informações são acessíveis ao usuário, ou seja, a interface do software não possui entraves para que esses itens sejam localizados e usados, autonomamente, pelo usuário.

Heurística 3 (H3): Compreensibilidade das informações fornecidas.

- Aspecto: Facilidade de uso.
- Definição: As informações fornecidas pelo software possuem clareza semântica e precisão gramatical. Isso significa que as informações estão

adequadas ao contexto especificado, preservam a acurácia do vocabulário e evitam excesso ou carência de dados.

Heurística 4 (H4): Compreensibilidade da disposição das telas.

- Aspecto: Facilidade de uso.
- Definição: A disposição das telas e a distribuição das funcionalidades do software, nessas telas, são compreensíveis para o usuário. Isso inclui a organização das informações, o agrupamento das funções em setores e o emprego de recursos que ofereçam conforto visual para o usuário.

Heurística 5 (H5): Simplicidade na criação de projeto.

- Aspecto: Facilidade de uso.
- Definição: O mecanismo para a criação de projetos demanda pouco recurso cognitivo do usuário.

Heurística 6 (H6): Facilidade na inserção de dados de entrada.

- Aspecto: Facilidade de uso.
- Definição: A interface apresenta uma sequência lógica para a inserção dos dados de entrada, mantendo o usuário orientado do processo.

Heurística 7 (H7): Agilidade na execução de tarefas.

- Aspecto: Eficiência.
- Definição: O software possui capacidade de resposta às ações do usuário, atentando para o nível de proficiência, desde o usuário iniciante até o avançado. Isso significa dinamismo e estabilidade no retorno dos dados de saída.

Heurística 8 (H8): Efetivação dos objetivos por meio dos resultados.

- Aspecto: Eficiência.
- Definição: Os objetivos do usuário, com o uso do software, são atingidos por meio dos resultados fornecidos.

Heurística 9 (H9): Eficácia das informações.

- Aspecto: Eficiência.
- Definição: As informações fornecidas pelo software são eficazes para orientar e auxiliar o usuário nas suas ações.

Heurística 10 (H10): Reconhecimento dos comandos.

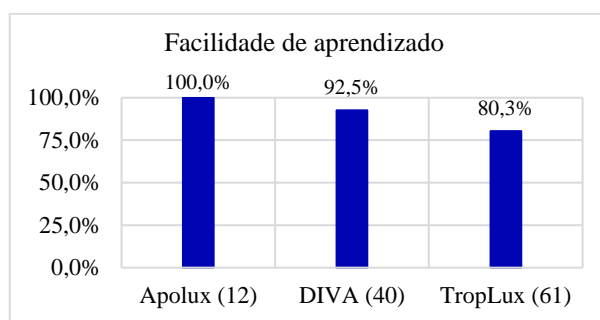


Não	12	100,0	17	42,5	4	50,0	31	50,8
Sim	0	0,0	23	57,5	4	50,0	30	49,2
<b>D (n=131)</b>								
Não	5	41,7	28	70,0	2	25,0	37	60,7
Sim	7	58,3	12	30,0	6	75,0	24	39,3

Fonte: Elaborada pela autora.

Para esse aspecto, os softwares sugeridos são: Apolux, DIVA e TropLux. A alternativa B (Q6-B) foi admitida no critério de elegibilidade para a elaboração de heurísticas. Os usuários do Apolux apontaram essa resposta como relevante para a facilidade de aprendizado em 100% das respostas. Na sequência, o DIVA e o TropLux atingiram 92,5% e 80,3%, respectivamente. A síntese dos resultados, referentes à heurística 1 (H1), pode ser vista no Gráfico 30.

Gráfico 30: Proporções para a facilidade de aprendizado.



Fonte: Elaborado pela autora.

A ordem de precedência dos softwares, para a heurística elaborada com base em B, possui um nível. De acordo com as faixas de percentuais, os três softwares estão no nível 4, como pode ser visto na Tabela 26.

Tabela 26: Ordem de precedência dos softwares para a heurística baseada em Q6-B.

<b>ORDEM DE PRECEDÊNCIA</b>				
Alternativa	Heurística	Apolux	DIVA	TropLux
Q6-B	H1	4	4	4

Fonte: Elaborada pela autora.

A variável “Facilidade de Uso” é representada pela questão Q8 (Para você, o que é facilidade de uso em um software de iluminação natural? A – Encontrar as informações e as funções que preciso no software; B – As informações fornecidas pelo software são compreensíveis; C – A disposição das telas do software é compreensível; D – É simples criar um projeto usando o software; E – Os dados de entrada são inseridos no software com facilidade). Os resultados obtidos para esse aspecto podem ser vistos na Tabela 27.

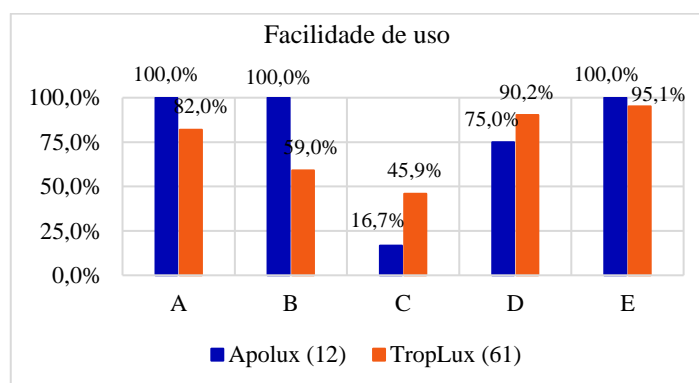
Tabela 27: Proporções obtidas pelos softwares para a facilidade de uso.

SOFTWARE									
Q8	Apolux (n = 12)		DIVA (n = 40)		Radiance (n = 8)		TropLux (n = 61)		
	n	%	n	%	n	%	n	%	
<b>A (n=131)</b>									
Não	0	0,0	4	10,0	0	0,0	11	18,0	
Sim	12	100,0	36	90,0	8	100,0	50	82,0	
<b>B (n=131)</b>									
Não	0	0,0	3	7,5	2	25,0	25	41,0	
Sim	12	100,0	37	92,5	6	75,0	36	59,0	
<b>C (n=131)</b>									
Não	10	83,3	15	37,5	5	62,5	33	54,1	
Sim	2	16,7	25	62,5	3	37,5	28	45,9	
<b>D (n=131)</b>									
Não	3	25,0	19	47,5	2	25,0	6	9,8	
Sim	9	75,0	21	52,5	6	75,0	55	90,2	
<b>E (n=131)</b>									
Não	0	0,0	3	7,5	0	0,0	3	4,9	
Sim	12	100,0	37	92,5	8	100,0	58	95,1	

Fonte: Elaborada pela autora.

Todas as alternativas e os softwares Apolux e TropLux atenderam aos critérios para a composição das heurísticas. A síntese dos resultados, referentes às heurísticas 2 (H2), 3 (H3), 4 (H4), 5 (H5) e 6 (H6), pode ser vista no Gráfico 31.

Gráfico 31: Proporções para a facilidade de uso.



Fonte: Elaborado pela autora.

A ordem de precedência dos softwares para as heurísticas baseadas nas alternativas A (Q8-A) e E (Q8-E) possui um nível. Para as heurísticas baseadas nas alternativas B (Q8-B), C (Q8-C) e D (Q8-D), a ordem de precedência possui dois níveis, sendo o mais elevado para o Apolux em B e para o TropLux em C e D. Como pode ser visto na Tabela 28.

Tabela 28: Ordem de precedência dos softwares para as heurísticas baseadas em Q8-A, Q8-B, Q8-C, Q8-D e Q8-E.

<b>ORDEM DE PRECEDÊNCIA</b>			
Alternativa	Heurística	Apolux	TropLux
Q8-A	H2	4	4
Q8-B	H3	4	3
Q8-C	H4	1	2
Q8-D	H5	3	4
Q8-E	H6	4	4

Fonte: Elaborada pela autora.

A variável “Eficiência” é representada pela questão Q10 (Para você, o que é eficiência em um software de iluminação natural? A – Executar uma tarefa de forma ágil; B – Maior produtividade no/na trabalho/pesquisa usando o software; C – Os objetivos são atingidos com os resultados obtidos; D – As informações fornecidas pelo software são eficazes para concluir o/a trabalho/pesquisa). Os resultados obtidos para esse aspecto podem ser vistos na Tabela 29.

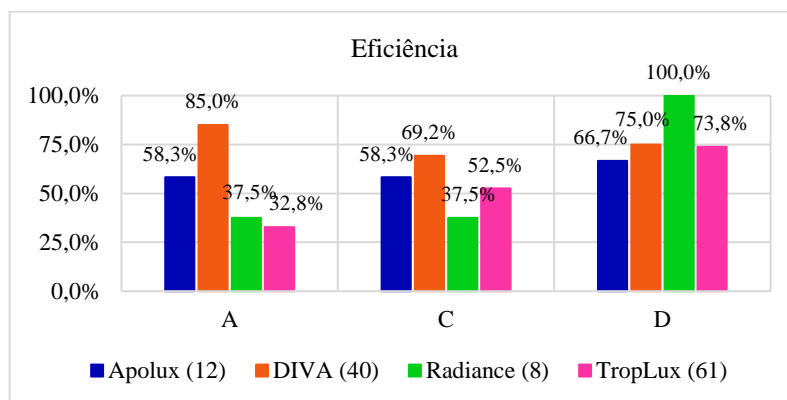
Tabela 29: Proporções obtidas pelos softwares para a eficiência.

Q10	<b>SOFTWARE</b>							
	Apolux (n = 12)		DIVA (n = 40)		Radiance (n = 8)		TropLux (n = 61)	
	n	%	n	%	n	%	n	%
<b>A (n=131)</b>								
Não	5	41,7	6	15,0	5	62,5	41	67,2
Sim	7	58,3	34	85,0	3	37,5	20	32,8
<b>B (n=131)</b>								
Não	2	16,7	23	57,5	2	25,0	36	59,0
Sim	10	83,3	17	42,5	6	75,0	25	41,0
<b>C (n=131)</b>								
Não	5	41,7	12	30,8	5	62,5	29	47,5
Sim	7	58,3	27	69,2	3	37,5	32	52,5
<b>D (n=131)</b>								
Não	4	33,3	10	25,0	0	0,0	16	26,2
Sim	8	66,7	30	75,0	8	100,0	45	73,8

Fonte: Elaborada pela autora.

As alternativas A(Q10-A), C (Q10-C) e D (Q10-D), bem como todos os softwares, atenderam aos critérios de admissão. A síntese dos resultados, referentes às heurísticas 7 (H7), 8 (H8) e 9 (H9), pode ser vista no Gráfico 32.

Gráfico 32: Proporções para a eficiência.



Fonte: Elaborado pela autora.

A ordem de precedência dos softwares, para a heurística baseada em A, possui três níveis, para as heurísticas baseadas em C e D, possui dois níveis. Como pode ser visto na Tabela 30, em que são mostrados os níveis definidos a partir das faixas de percentuais.

Tabela 30: Ordem de precedência dos softwares para as heurísticas baseadas em Q10-A, Q10-C e Q10-D.

ORDEM DE PRECEDÊNCIA					
Alternativa	Heurística	Apolux	DIVA	Radiance	TropLux
Q10-A	H7	3	4	2	2
Q10-C	H8	3	3	2	3
Q10-D	H9	3	3	4	3

Fonte: Elaborada pela autora.

A variável “Memorização” é representada pela questão Q12 (Para você, o que é facilidade de memorização em um software de iluminação natural? A – Reconhecer os comandos para executar as funções quando usar uma próxima vez; B – O tempo para assimilar as funções; C – Replicar as tarefas para realização de projetos; D – Não precisar aprender conceitos antes de usar o software). Os resultados obtidos para esse aspecto podem ser vistos na Tabela 31.

Tabela 31: Proporções obtidas pelos softwares para a memorização.

Q12	SOFTWARE							
	Apolux (n = 12)		DIVA (n = 40)		Radiance (n = 8)		TropLux (n = 61)	
	n	%	n	%	n	%	n	%
<b>A (n=131)</b>								
Não	0	0,0	17	42,5	3	37,5	12	19,7
Sim	12	100,0	23	57,5	5	62,5	49	80,3
<b>B (n=131)</b>								
Não	5	41,7	16	40,0	5	62,5	42	68,9
Sim	7	58,3	24	60,0	3	37,5	19	31,1
<b>C (n=131)</b>								
Não	5	41,7	13	32,5	2	25,0	31	50,8

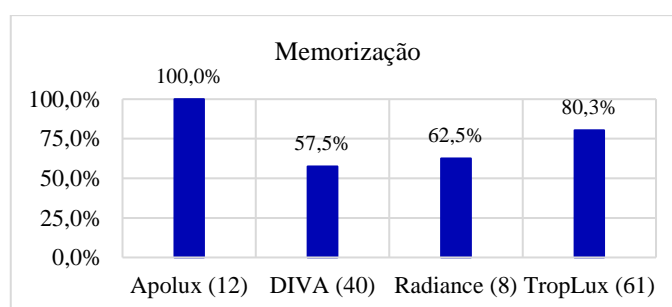


Sim	7	58,3	27	67,5	6	75,0	30	49,2
<b>D (n=131)</b>								
Não	9	75,0	31	77,5	5	62,5	58	95,1
Sim	3	25,0	9	22,5	3	37,5	3	4,9

Fonte: Elaborada pela autora.

A alternativa A (Q12-A) atende aos critérios, bem como todos os softwares. A síntese dos resultados, referentes à heurística 10 (H10), pode ser vista no Gráfico 33. Com relação a alternativa A, o Apolux atingiu o maior percentual, 100,0%, seguido do TropLux, com 80,3%, do Radiance, com 62,5%, e do DIVA, com 57,5%.

Gráfico 33: Proporções para a memorização.



Fonte: Elaborado pela autora.

A ordem de precedência dos softwares, para a heurística baseada em A, possui dois níveis, como pode ser visto na Tabela 32.

Tabela 32: Ordem de precedência dos softwares para a heurística baseada em Q12-A.

ORDEM DE PRECEDÊNCIA					
Alternativa	Heurística	Apolux	DIVA	Radiance	TropLux
Q12-A	H10	4	3	3	4

Fonte: Elaborada pela autora.

A variável “Segurança” é representada pela questão Q14 (Para você, o que é segurança em um software de iluminação natural? A – Os dados gerados pelo software são confiáveis; B – O software auxilia na correção de erros; C – Quando se comete um erro usando o software, consegue-se corrigir facilmente; D – Os projetos são salvos com facilidade). Os resultados obtidos para esse aspecto podem ser vistos na Tabela 33.

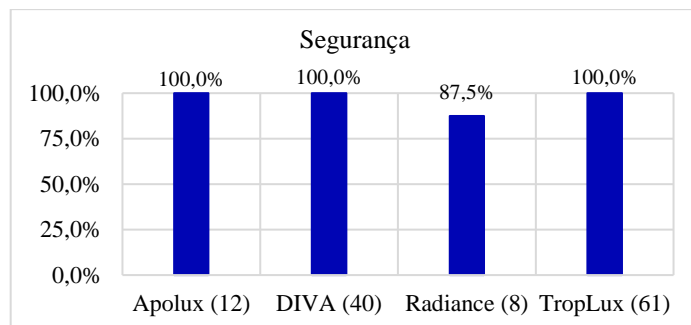
Tabela 33: Proporções obtidas pelos softwares para a segurança.

SOFTWARE								
Q14	Apolux (n = 12)		DIVA (n = 40)		Radiance (n = 8)		TropLux (n = 61)	
A (n=127)	n	%	n	%	n	%	n	%
Não	0	0,0	0	0,0	1	12,5	0	0,0
Sim	12	100,0	40	100,0	7	87,5	61	100,0
B (n=127)								
Não	9	75,0	34	85,0	2	25,0	34	55,7
Sim	3	25,0	6	15,0	6	75,0	27	44,3
C (n=127)								
Não	8	66,7	25	62,5	0	0,0	36	59,0
Sim	4	33,3	15	37,5	8	100,0	25	41,0
D (n=127)								
Não	5	41,7	25	62,5	3	37,5	35	57,4
Sim	7	58,3	15	37,5	5	62,5	26	42,6

Fonte: Elaborada pela autora.

A alternativa A (Q14-A) e os quatro softwares atenderam aos critérios. A síntese dos resultados, referentes à heurística 11 (H11), pode ser vista no Gráfico 34. Para o aspecto da segurança, a alternativa A foi a escolha de 100,0% dos usuários do Apolux, do DIVA e do TropLux, seguidos do Radiance, com 87,5%.

Gráfico 34: Proporções para a segurança.



Fonte: Elaborado pela autora.

A ordem de precedência dos softwares, para a heurística baseada em A, possui um nível, como pode ser visto na Tabela 34, em que todos os softwares se encontram no nível 4.

Tabela 34: Ordem de precedência dos softwares para a heurística baseada em Q14-A.

ORDEM DE PRECEDÊNCIA					
Alternativa	Heurística	Apolux	DIVA	Radiance	TropLux
Q14-A	H11	4	4	4	4

Fonte: Elaborada pela autora.

A variável “Satisfação” é representada pela questão Q16 (Para você, o que é satisfação em um software de iluminação natural? A – A interface do software é amigável; B – O software possui os recursos suficientes para fazer o/a trabalho/pesquisa; C – Aprender a usar com

facilidade; D – Confiar nos dados de saída fornecidos). Os resultados obtidos para esse aspecto podem ser vistos na Tabela 35.

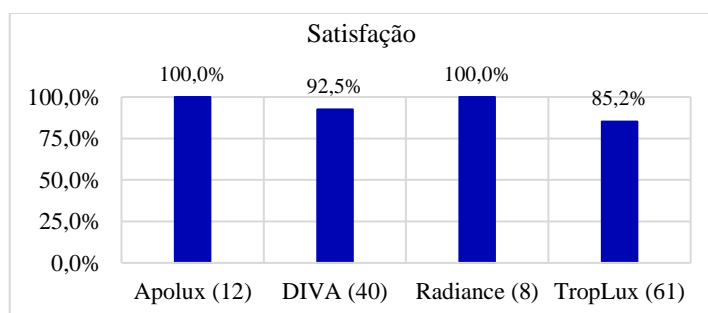
Tabela 35: Proporções obtidas pelos softwares para a satisfação.

SOFTWARE									
Q16	Apolux (n = 12)		DIVA (n = 40)		Radiance (n = 8)		TropLux (n = 61)		
A (n=131)	n	%	n	%	n	%	n	%	
Não	4	33,3	6	15,0	5	62,5	21	34,4	
Sim	8	66,7	34	85,0	3	37,5	40	65,6	
B (n=131)									
Não	0	0,0	3	7,5	0	0,0	9	14,8	
Sim	12	100,0	37	92,5	8	100,0	52	85,2	
C (n=128)									
Não	8	66,7	9	24,3	5	62,5	23	37,7	
Sim	4	33,3	28	75,7	3	37,5	38	62,3	
D (n=128)									
Não	1	8,3	0	0,0	0	0,0	9	14,8	
Sim	11	91,7	37	100,0	8	100,0	52	85,2	

Fonte: Elaborada pela autora.

A alternativa B (Q16-B) atendeu aos critérios, bem como todos os softwares. A síntese dos resultados referentes à heurística 12 (H12) pode ser vista no Gráfico 35. Para a alternativa B, os percentuais atingidos pelos softwares foram superiores a 85%, sendo 100,0% para o Apolux e para o Radiance.

Gráfico 35: Proporções para a satisfação.



Fonte: Elaborado pela autora.

A ordem de precedência dos softwares para a heurística baseada em B possui um nível, como pode ser visto na Tabela 36.

Tabela 36: Ordem de precedência dos softwares para a heurística baseada em Q16-B.

ORDEM DE PRECEDÊNCIA					
Alternativa	Heurística	Apolux	DIVA	Radiance	TropLux
Q16-B	H12	4	4	4	4

Fonte: Elaborada pela autora.

Saliente-se que, embora tenha sido estabelecido o critério para definição da ordem de precedência, todos os softwares sugeridos possuem significância estatística para a heurística que estão vinculados, ou seja, todos são escolhas válidas, dentro do escopo da heurística.

## 5.5. Avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas

A avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas proposto para auxiliar o usuário na tomada de decisão sobre softwares de simulação da iluminação natural é apresentada por meio da análise dos resultados. Em seguida, expõe-se a conclusão desta etapa.

### 5.5.1. Resultados e Análises

São apresentadas as análises descritiva e de conteúdo dos dados obtidos a partir do grupo focal e do formulário preenchido pelos avaliadores. Na descritiva, são mostradas as informações gerais e, na análise de conteúdo, as respostas são examinadas por meio de métodos qualitativos.

#### 5.5.1.1. Análise descritiva do grupo focal

A reunião do grupo focal aconteceu em maio de 2021, com a participação de 6 (seis) avaliadores, 1 (um) observador e 1 (um) moderador. A síntese das informações sobre o perfil dos avaliadores e sobre a experiência como usuário de software de simulação da iluminação natural pode ser vista no Quadro 27.

Quadro 27: Informações gerais sobre os avaliadores do grupo focal.

AVALIADOR	PERFIL DO AVALIADOR				EXPERIÊNCIA COMO USUÁRIO		
	Formação	Nível acadêmico	Atividade	Instituição	Tempo	Quantidade	Software
Avaliador 1	Arquitetura	Doutorando	Professor, Pesquisador	Instituição privada	Entre 1 e 5 anos	1	TropLux
Avaliador 2	Eng. civil	Doutor	Professor	Universidade federal	Entre 5 e 10 anos	2	TropLux, Apolux
Avaliador 3	Arquitetura	Mestrando	Estudante, Pesquisador	Universidade federal	Entre 1 e 5 anos	2	TropLux, Daysim
Avaliador 4	Arquitetura	Graduando	Estudante, Pesquisador	Universidade federal	Entre 1 e 5 anos	2	TropLux, DiaLux
Avaliador 5	Arquitetura	Mestrando	Estudante	Universidade federal	Até 1 ano	1	TropLux
Avaliador 6	Arquitetura	Especialista	Prestador de serviço	Universidade federal	Entre 1 e 5 anos	1	TropLux

Fonte: Elaborado pela autora.

Entre os avaliadores, cinco têm formação em arquitetura (1 especialista, 1 graduando, 2 mestrando, 1 doutorando) e um em engenharia civil (doutor em arquitetura). Das atividades que os avaliadores exercem atualmente, considerando que mais de uma opção poderia ser

assinhalada no formulário, dois são professores universitários, três estudantes, três pesquisadores e um prestador de serviço. Um dos avaliadores está vinculado à instituição privada e os demais, à universidade federal.

A respeito da experiência como usuário, um avaliador tem até 1 ano como usuário, 4 têm entre 1 e 5 anos e 1 é usuário entre 5 e 10 anos. Ao longo desses períodos, metade dos avaliadores usou 1 software e os demais, 2 softwares. Dentre os quais estão o Apolux, o Daysim e o TropLux. Houve uma citação do DiaLux.

### 5.5.1.2. Análise de conteúdo do grupo focal

Para os critérios de escolha de um software, as unidades de registro mais citadas foram: facilidade de uso e segurança dos resultados; seguidas de: grupo de pesquisa e consolidado; as demais unidades de registro foram: funcionalidades, intuitividade, evento científico, artigos, disponibilidade e mais usado. As unidades de contexto identificadas foram: usabilidade, cultura, indicação e tendência. A síntese dos dados pode ser vista no Quadro 28.

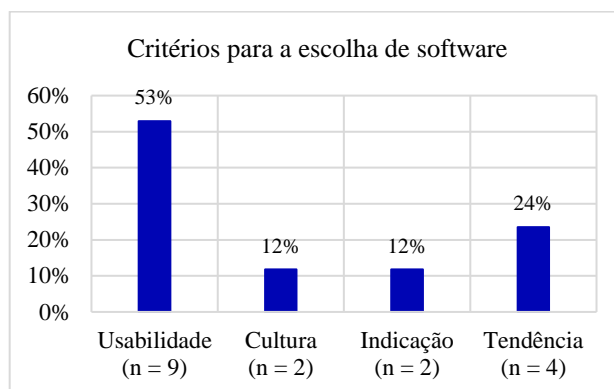
Quadro 28: Critérios para a escolha de um software de simulação da iluminação natural.

CRITÉRIOS PARA A ESCOLHA DE UM SOFTWARE		
Unidade de registro	Frequência	Unidade de contexto
Segurança dos resultados	3	Usabilidade
Facilidade de uso	4	
Funcionalidades	1	
Intuitividade	1	
Grupo de pesquisa	2	Cultura
Evento científico	1	Indicação
Artigos	1	
Disponibilidade	1	Tendência
Mais usado	1	
Consolidado	2	

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que a usabilidade é o contexto mais utilizado como critério de escolha de software, com 53% das citações do grupo focal. Em seguida, aparecem a tendência com 24%, a cultura e a indicação com 12% para cada contexto. Os percentuais da distribuição das unidades de registro por contexto estão dispostos no Gráfico 36.

Gráfico 36: Distribuição das unidades de registro por contexto para os critérios de escolha de software.



Fonte: Elaborado pela autora.

Sobre a definição de usabilidade, identificou-se as unidades de registro: facilidade de uso, forma que é manuseado e segurança, como as mais recorrentes. Em seguida estão: inserção dos dados, intuitivo, interativo, instruções claras, forma que é compreendido, eficiência, capacidade de resposta e útil. As unidades de contexto foram: facilidade de uso, facilidade de aprendizado, eficiência, segurança e utilidade. No Quadro 29, está a categorização desse item.

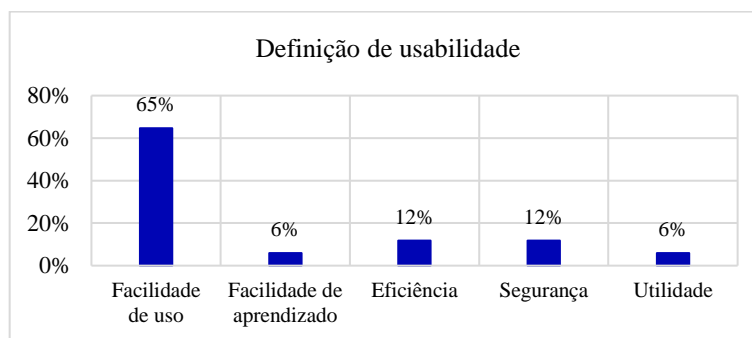
Quadro 29: Definição de usabilidade de software.

DEFINIÇÃO DE USABILIDADE		
Unidade de registro	Frequência	Unidade de contexto
Facilidade de uso	4	Facilidade de uso
Inserção dos dados	1	
Intuitivo	1	
Interativo	1	
Forma que é manuseado	3	
Instruções claras	1	
Forma como é compreendido	1	Facilidade de aprendizado
Eficiência	1	Eficiência
Capacidade de resposta	1	
Segurança	2	Segurança
Útil	1	Utilidade

Fonte: Elaborado pela autora.

Proporcionalmente, a facilidade de uso é o contexto mais recorrente nas respostas sobre a definição de usabilidade, correspondendo a 65% do total de citações dos avaliadores. Eficiência e segurança atingiram 12% cada. A facilidade de aprendizado e a utilidade representam, isoladamente, 6% das unidades de registro. As proporções podem ser vistas no Gráfico 37.

Gráfico 37: Distribuição das unidades de registro por contexto para a definição de usabilidade de software.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na averiguação da estrutura utilizada para apresentar o conjunto de heurísticas, as unidades de registro identificadas foram: sim, adequada, coerente, exemplo da decisão e arquivo único. As unidades de contexto foram: adequação da estrutura, sugestão e alteração da estrutura. No Quadro 30, é mostrada a categorização obtida.

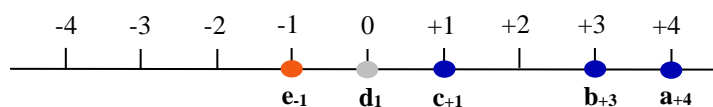
Quadro 30: Estrutura utilizada para apresentar o conjunto de heurísticas.

ESTRUTURA					
Unidade de registro	Elemento	Frequência	Direção	Representação	Unidade de contexto
Sim	a	4	+	a <sub>+4</sub>	Adequação da estrutura
Adequada	b	3	+	b <sub>+3</sub>	
Coerente	c	1	+	c <sub>+1</sub>	
Exemplo da decisão	d	1	0	d <sub>1</sub>	Sugestão
Arquivo único	e	1	-	e <sub>-1</sub>	Alteração da estrutura

Fonte: Elaborado pela autora.

Posicionando-se os elementos na escala bipolar, obteve-se o resultado mostrado na Figura 9, em que o valor gerado para o item “estrutura” foi +7, ou seja, favorável à hipótese de que a estrutura está adequada.

Figura 9: Escala bipolar para a avaliação da estrutura do conjunto de heurísticas.



Fonte: Elaborada pela autora.

Com relação à clareza gramatical e semântica, as unidades de registro foram: sim, fácil de entender, não entendi tópico e significado de algumas palavras. As unidades de contexto foram: clareza do texto e necessidade de ajuste. No Quadro 31, é mostrada a categorização obtida.

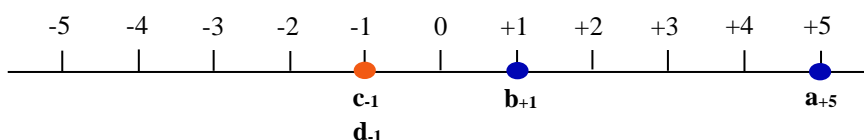
Quadro 31: Clareza gramatical e semântica das heurísticas e das suas descrições.

CLAREZA					
Unidade de registro	Elemento	Frequência	Direção	Representação	Unidade de contexto
Sim	a	5	+	$a_{+5}$	Clareza do texto
Fácil de entender	b	1	+	$b_{+1}$	
Não entendi tópico	c	1	-	$c_{-1}$	Necessidade de ajuste
Significado de algumas palavras	d	1	-	$d_{-1}$	

Fonte: Elaborado pela autora.

Obteve-se o resultado exposto na Figura 10, em que o somatório foi +4, favorável à hipótese de que o texto das heurísticas e das suas descrições possuem clareza gramatical e semântica.

Figura 10: Escala bipolar para a avaliação da clareza gramatical e semântica do conjunto de heurísticas.



Fonte: Elaborada pela autora.

Averiguou-se a coerência entre as heurísticas e os aspectos de usabilidade que as fundamentam. As unidades de registro foram: sim e pode confundir. As unidades de contexto identificadas foram: coerência com os aspectos e dúvidas. Como pode ser visto no Quadro 32, em que consta a categorização das respostas para esse item.

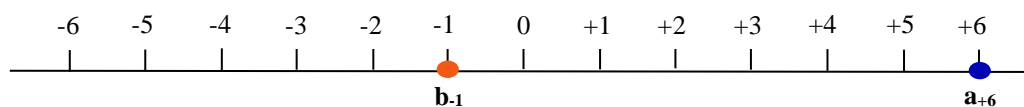
Quadro 32: Coerência entre as heurísticas e os aspectos de usabilidade que as fundamentam.

COERÊNCIA COM OS ASPECTOS					
Unidade de registro	Elemento	Frequência	Direção	Representação	Unidade de contexto
Sim	a	6	+	$a_{+6}$	Coerência com os aspectos
Pode confundir	b	1	-	$b_{-1}$	Dúvidas

Fonte: Elaborado pela autora.

Obteve-se o resultado exposto na Figura 11, em que o somatório foi +5, favorável à hipótese de que há coerência entre as heurísticas e os aspectos de usabilidade.

Figura 11: Escala bipolar para a avaliação da coerência entre as heurísticas e os aspectos de usabilidade.



Fonte: Elaborada pela autora.



Com relação à coerência entre as heurísticas e suas descrições, foram apontados como unidades de registro: sim, confuso, parecem coisas distintas; como unidades de contexto: coerência com as descrições e requer alteração. A síntese da organização desses dados pode ser vista no Quadro 33.

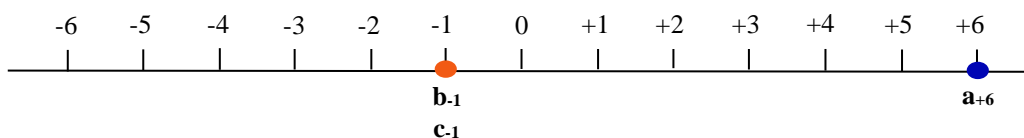
Quadro 33: Coerência entre as heurísticas e as suas descrições.

COERÊNCIA COM AS DESCRIÇÕES					
Unidade de registro	Elemento	Frequência	Direção	Representação	Unidade de contexto
Sim	a	6	+	a <sub>+6</sub>	Coerência com as descrições
Confuso	b	1	-	b <sub>-1</sub>	Requer alteração
Parecem coisas distintas	c	1	-	c <sub>-1</sub>	

Fonte: Elaborado pela autora.

Obteve-se o resultado exposto na Figura 12, em que o somatório foi +4, favorável à hipótese de que há coerência entre as heurísticas e as suas descrições.

Figura 12: Escala bipolar para a avaliação da coerência entre as heurísticas e as suas descrições.



Fonte: Elaborada pela autora.

A adequação do número de heurísticas para que o conjunto seja aplicado pelo usuário foi verificada. Foram observadas as unidades de registro: sim, ordem não fica clara, proporcionalidade, não sei se era pra ser assim e acrescentaria. As unidades de contexto foram: adequação, modelo de interação e carência. A distribuição dos dados está no Quadro 34.

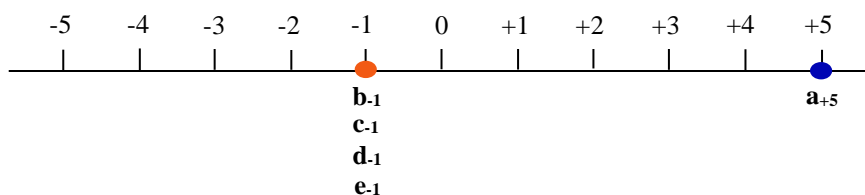
Quadro 34: Adequação do número de heurísticas do conjunto.

NÚMERO					
Unidade de registro	Elemento	Frequência	Direção	Representação	Unidade de contexto
Sim	a	5	+	a <sub>+5</sub>	Adequação
Ordem não fica clara	b	1	-	b <sub>-1</sub>	Modelo de interação
Proporcionalidade	c	1	-	c <sub>-1</sub>	
Não sei se era pra ser assim	d	1	-	d <sub>-1</sub>	
Acrescentaria	e	1	-	e <sub>-1</sub>	Carência

Fonte: Elaborado pela autora.

Obteve-se o resultado exposto na Figura 13, em que o somatório foi +1, favorável à hipótese de adequação do número de heurísticas do conjunto.

Figura 13: Escala bipolar para a avaliação da adequação do número de heurísticas do conjunto.



Fonte: Elaborada pela autora.

A respeito do esquema utilizado como modelo para a aplicação do conjunto de heurísticas, as unidades de registro foram: sim, didático, adequado, fácil conforme se aplica, bastante legível e confunde no início. As unidades de contexto foram: didático, adequação para a aplicação, primeira impressão. A distribuição dos valores obtidos está no Quadro 35.

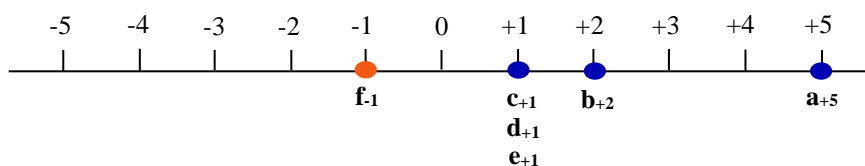
Quadro 35: Esquema utilizado como modelo para aplicação do conjunto de heurísticas.

MODELO PARA APLICAÇÃO					
Unidade de registro	Elemento	Frequência	Direção	Representação	Unidade de contexto
Sim	a	5	+	a <sub>+5</sub>	Didático
Didático	b	2	+	b <sub>+2</sub>	
Adequado	c	1	+	c <sub>+1</sub>	Adequação para a aplicação
Fácil conforme se aplica	d	1	+	d <sub>+1</sub>	
Bastante legível	e	1	+	e <sub>+1</sub>	
Confunde no início	f	1	-	f <sub>-1</sub>	Primeira impressão

Fonte: Elaborado pela autora.

Obteve-se o resultado exposto na Figura 14, em que o somatório foi +9, favorável à hipótese de que o modelo utilizado para a aplicação do conjunto de heurísticas é didático para o usuário.

Figura 14: Escala bipolar para a avaliação do modelo para a aplicação do conjunto de heurísticas.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para a relevância da flexibilidade para o usuário escolher, dentro do conjunto proposto, as heurísticas que julgar adequadas ao seu perfil, obteve-se como unidades de registro: sim, coisas podem não ser tão relevantes, temos como analisar e bem colocado. Como unidades de contexto, identificou-se: relevância para a escolha, justificativa. A categorização das respostas pode ser vista no Quadro 36.

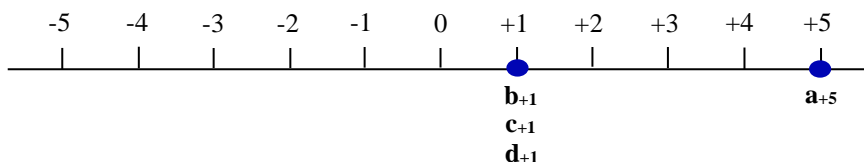
Quadro 36: Flexibilidade para o usuário escolher as heurísticas adequadas ao seu perfil.

FLEXIBILIDADE					
Unidade de registro	Elemento	Frequência	Direção	Representação	Unidade de contexto
Sim	a	5	+	$a_{+5}$	Relevância para a escolha
Coisas podem não ser tão relevantes	b	1	+	$b_{+1}$	Justificativa
Temos como analisar	c	1	+	$c_{+1}$	
Bem colocado	d	1	+	$d_{+1}$	

Fonte: Elaborado pela autora.

Obteve-se o resultado exposto na Figura 15, em que o somatório foi +8, favorável à hipótese de que a flexibilidade de escolha das heurísticas é relevante para a aplicação pelo usuário.

Figura 15: Escala bipolar para a avaliação da flexibilidade de escolha das heurísticas no conjunto.



Fonte: Elaborada pela autora.

Com relação à coerência entre a sugestão de software e o perfil do usuário, identificou-se como unidade de registro: sim; como unidade de contexto: coerência com as necessidades. Os dados podem ser encontrados no Quadro 37.

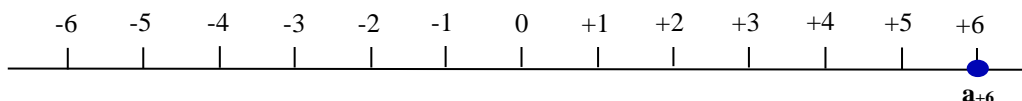
Quadro 37: Coerência entra a sugestão de software e o perfil do usuário.

COERÊNCIA DA SUGESTÃO DE SOFTWARE					
Unidade de registro	Elemento	Frequência	Direção	Representação	Unidade de contexto
Sim	a	6	+	$a_{+6}$	Coerência com as necessidades

Fonte: Elaborado pela autora.

Obteve-se o resultado exposto na Figura 16, em que o somatório foi +6, favorável à hipótese de que há coerência entre a sugestão de software e o perfil do usuário.

Figura 16: Escala bipolar para a avaliação da coerência entre a sugestão de software e o perfil do usuário.



Fonte: Elaborada pela autora.

Foi realizada a averiguação da eficácia do conjunto de heurísticas para auxiliar o usuário na tomada de decisão sobre um software. Obteve-se como unidades de registro: sim,

resultado contém os critérios necessários, eficaz e eficiente. A unidade de contexto identificada foi: confirmação da eficácia. A distribuição dos dados pode ser vista no Quadro 38.

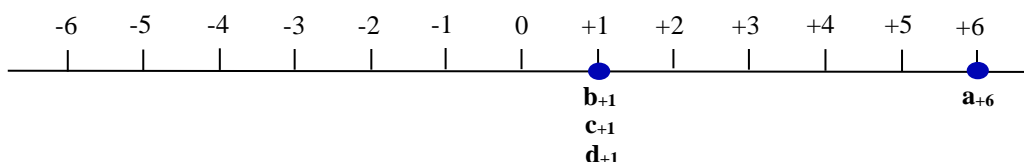
Quadro 38: Eficácia do conjunto de heurísticas.

EFICÁCIA					
Unidade de registro	Elemento	Frequência	Direção	Representação	Unidade de contexto
Sim	a	6	+	$a_{+6}$	Confirmação da eficácia
Resultado contém os critérios necessários	b	1	+	$b_{+1}$	
Eficaz	c	1	+	$c_{+1}$	
Eficiente	d	1	+	$d_{+1}$	

Fonte: Elaborado pela autora.

Obteve-se o resultado exposto na Figura 17, em que o somatório foi +9, favorável à hipótese de eficácia do conjunto de heurísticas para o objetivo proposto.

Figura 17: Escala bipolar para a avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas.



Fonte: Elaborada pela autora.

Por fim, reservou-se um espaço para que os avaliadores expusessem comentários, sugestões e/ou críticas adicionais sobre o conjunto de heurísticas. As unidades de registro foram: consegui aplicar, bem interessante, termo inadequado, no início demorei para entender, aspectos poderiam ter sido mais explorados, pode ser melhorada, não influenciou nas escolhas. As unidades de contexto identificadas foram: validação, correção e sugestão. Os dados podem ser vistos no Quadro 39.

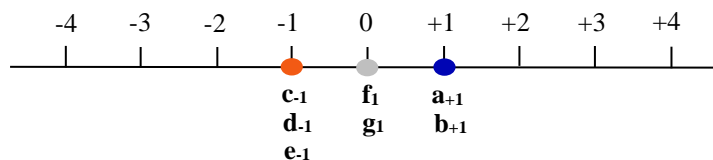
Quadro 39: Comentários, sugestões e/ou críticas adicionais sobre o conjunto de heurísticas.

APONTAMENTOS ADICIONAIS					
Unidade de registro	Elemento	Frequência	Direção	Representação	Unidade de contexto
Conseguir aplicar	a	1	+	$a_{+1}$	Validação
Bem interessante	b	1	+	$b_{+1}$	
Termo inadequado	c	1	-	$c_{-1}$	Correção
No início demorei para entender	d	1	-	$d_{-1}$	Sugestão
Aspectos poderiam ter sido mais explorados	e	1	-	$e_{-1}$	
Pode ser melhorada	f	1	0	$f_1$	
Não influenciou nas escolhas	g	1	0	$g_1$	

Fonte: Elaborado pela autora.

Obteve-se o resultado exposto na Figura 18, em que o somatório foi -1, desfavorável para o item em que se tratou dos apontamentos adicionais.

Figura 18: Escala bipolar para expor os apontamentos adicionais dos avaliadores com relação a eficácia do conjunto de heurísticas.



Fonte: Elaborada pela autora.

A síntese dos resultados das averiguações dos itens estudados para verificar a eficácia do conjunto de heurísticas pode ser vista no Quadro 40.

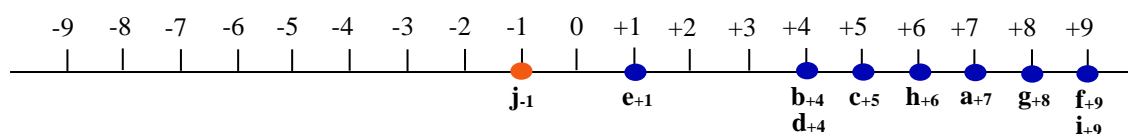
Quadro 40: Síntese dos resultados dos itens averiguados.

INFERÊNCIA				
Item	Elemento	Frequência	Direção	Representação
Estrutura	a	7	+	a+7
Clareza	b	4	+	b+4
Coerência com os aspectos	c	5	+	c+5
Coerência com as definições	d	4	+	d+4
Número	e	1	+	e+1
Modelo para aplicação	f	9	+	f+9
Flexibilidade	g	8	+	g+8
Coerência da sugestão de software	h	6	+	h+6
Eficácia	i	9	+	i+9
Apontamentos adicionais	j	1	-	j-1

Fonte: Elaborado pela autora.

A distribuição dos resultados na escala bipolar, com relação à frequência e à direção desses itens, pode ser observada na Figura 19.

Figura 19: Escala bipolar contendo o resultado da avaliação dos itens estudados para verificar a eficácia das heurísticas.



Fonte: Elaborada pela autora.

O único item que obteve uma avaliação desfavorável foi o de apontamentos adicionais (j-1). Para os demais, a avaliação foi favorável.

### **5.5.2. Conclusão da avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas**

A avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas foi realizada por meio do grupo focal, em que os participantes eram usuários de software de simulação e possuíam representatividade, com relação ao público-alvo, quanto à formação, à atividade exercida e à experiência de uso.

Na verificação dos critérios para a escolha de um software, os registros mais recorrentes estavam contidos no contexto da usabilidade, que foram: facilidade de uso e segurança dos resultados. A cultura e a tendência, também, foram citadas representando as escolhas baseadas no grupo de pesquisa e na consolidação do software, respectivamente. Embora significativa, estatisticamente, o contexto da indicação por meio de eventos científicos e de artigos foi menos relatado.

Para a definição de usabilidade, obteve-se, como registros mais recorrentes, a facilidade de uso, a forma de manuseio e a segurança. A inserção de dados, a intuitividade, a compreensão, a eficiência e a utilidade, também, foram relatadas.

De acordo com o método analítico adotado, os itens relativos à estrutura, ao conteúdo e à eficácia das heurísticas foram avaliados a partir de hipóteses. A estrutura utilizada para apresentar as heurísticas e as suas descrições foi considerada adequada. A clareza gramatical e semântica do texto utilizado foi percebida. A coerência entre as heurísticas e os aspectos de usabilidade que as fundamentam foi confirmada. O número de heurísticas do conjunto foi considerado adequado.

O modelo empregado para a aplicação foi apontado como didático e a flexibilidade para o usuário escolher as heurísticas que atendem às suas necessidades foi tido como pertinente. A sugestão dos softwares, durante o procedimento de aplicação das heurísticas, foi relatada como coerente com o perfil do usuário. Por fim, o resultado da avaliação foi favorável à hipótese de eficácia do conjunto de heurísticas.

As críticas registradas na avaliação possibilitaram aprimorar as descrições das heurísticas que citavam a habilidade para o tratamento de erros, H7 e H9, no sentido de dirimir a dúvida gerada com relação à origem desses erros previstos no texto. Além disso, os comentários dos avaliadores apontaram para a necessidade de maior clareza na abordagem das

heurísticas sobre a usabilidade nas etapas de interação entre o usuário e o software (entrada de dados, processamento e saída de dados).

A sugestão dos avaliadores para acrescentar uma heurística a respeito da interatividade foi considerada viável. Do mesmo modo ocorreu com a “utilidade”, que foi citada como característica relevante nas definições de usabilidade e pode vir a ser incluída nos aspectos avaliados em próximos estudos.

## 6. CONCLUSÃO

Os softwares de simulação da iluminação natural têm alcançado maior precisão dos resultados em decorrência, principalmente, do avanço da capacidade de processamento dos computadores e da evolução dos algoritmos.

As características contidas nos softwares podem ser qualificadas como diversas e, por vezes, peculiares. O ponto em comum está nos aspectos da eficiência e da segurança, que envolvem a agilidade de processamento e a confiabilidade dos dados. Esses aspectos mostram-se consolidados e fornecem benefícios para a execução das atividades dos usuários da área em que as ferramentas estão inseridas.

Apesar disso, a avaliação da qualidade de software está para além da etapa de processamento e geração de dados. Para atingir a percepção do usuário e, conseqüentemente, o efetivo uso das funcionalidades dos softwares, outros aspectos de usabilidade devem compor a interface, tais como: a facilidade na inserção de dados e a compreensibilidade dos dados de saída. Essas características estão nos extremos do processo de elaboração de projetos.

As conclusões da avaliação da usabilidade de softwares de simulação da iluminação natural são apresentadas seguindo as etapas que foram desenvolvidas para atender aos objetivos da tese.

### 6.1. Identificação da percepção do usuário quanto à usabilidade

Os resultados da averiguação da experiência do usuário, com relação ao tempo e à quantidade de softwares, apontam que os usuários do DIVA e do Radiance são os mais experientes. Os que usaram o Apolux, o Daysim e o TropLux estão equivalentes entre si, estatisticamente.

Alguns fatores podem influenciar nesses dados, tais como: o histórico dos softwares, em que o Radiance representou, em meados dos anos 80, um marco inicial do desenvolvimento de ferramentas para a simulação da iluminação natural; o alcance geográfico do software, que se concretiza por meio de publicações internacionais e, nesse caso, o DIVA tem se projetado na área de iluminação; as atualizações fornecidas pelos desenvolvedores que refletem no interesse dos usuários.

Somado a isso, considerando que a maior parte dos usuários é de estudantes de instituições de ensino e pesquisa, o legado encontrado nos grupos de pesquisa acadêmica, bem



como, a rotatividade e a diversidade da formação dos membros dos grupos, também podem colaborar para a configuração do cenário exposto.

Apesar da importância de conhecer a experiência dos usuários, não foi possível, somente a partir do tempo de uso e da quantidade de softwares, estabelecer uma relação com a percepção do usuário quanto à usabilidade. Isso porque são necessárias informações mais precisas, como o período de uso, especificamente, do software escolhido pelo usuário para responder ao questionário.

Com relação às métricas e grandezas que podem ser obtidas nos dados de saída dos softwares, houve coerência entre os resultados do questionário e os encontrados na literatura no que se refere à Iluminância. Entretanto, foram detectadas divergências, entre as fontes, para os demais indicadores de desempenho averiguados, como é o caso da Uniformidade, da Autonomia de Luz Natural Espacial e da Exposição Solar Anual.

O modo de acesso às funções nos softwares, o fornecimento dos dados de forma direta ou indireta e as versões usadas pelos usuários para embasar as respostas ao questionário podem explicar as diferenças observadas na comparação.

A avaliação dos aspectos de usabilidade apontou que a eficiência, a segurança, a memorização e a satisfação estão presentes nos softwares estudados. No entanto, a facilidade de aprendizado e a facilidade de uso não são comuns a todos.

Essa constatação suscita quesitos a respeito do desenvolvimento de software que demandam atenção, não por serem recentes, mas, contraditoriamente, por ainda serem recorrentes, mesmo com os atuais recursos da engenharia de software e da interação humano-computador.

O avanço de métodos para a implementação de algoritmos voltados à predição do desempenho da luz natural no ambiente construído encontra respaldo na evolução da capacidade de processamento dos computadores, percebida desde o início do século XXI. Isso tem favorecido o emprego de características relativas ao aspecto de eficiência, como a agilidade na execução das tarefas e o fornecimento de informações eficazes, e relativas ao aspecto de segurança, como a confiabilidade dos dados gerados.

Embora a atenção despendida para o avanço da precisão dos dados gerados pelos softwares seja justificada, e até essencial para o contexto em que estão inseridos, isso vai de encontro à carência de elementos da interface com o usuário que atendam à facilidade de aprendizado e à facilidade de uso, tais como: a compreensibilidade das informações fornecidas, a intuitividade e a facilidade na inserção dos dados para a criação de projetos.

O aspecto da memorização foi associado ao reconhecimento dos comandos e, apesar de estar contido nos softwares avaliados, nota-se uma discrepância, pois entende-se que esse aspecto guarda relação com os fundamentos da facilidade de uso, que não foi notada em todos os softwares. A frequência de uso pode causar uma distorção na percepção do usuário acerca do que, de fato, é reconhecível na interface e o que demanda esforço de recordação.

Entre os aspectos, a satisfação é o menos afetado por soluções técnicas. A diversidade de elementos que levam o usuário a perceber essa característica vai de interface amigável até confiabilidade dos dados, passando por facilidade para aprender a usar e por suficiência de recursos. Isso confere um caráter subjetivo à satisfação, o que explica o motivo pelo qual todos os softwares atingiram a média no cálculo desse aspecto.

Para os usuários, a usabilidade é um conjunto de todos os aspectos. No entanto, a subjetividade observada na análise estende-se para a prioridade estabelecida pelos usuários para os aspectos. Essa compreensão pode justificar o motivo pelo qual foi atribuída a todos os softwares a qualificação de “boa” usabilidade, mesmo diante da carência de requisitos assinalada em alguns.

Pontua-se que 38% dos entrevistados escolheram softwares que não são, inerentemente, de simulação da iluminação natural. Apesar disso, esses usuários informaram métricas e grandezas de iluminação que podem ser extraídas, o que revela uma inconsistência conceitual diante da definição que diferencia esse grupo de softwares dos que realizam avaliação quantitativa do desempenho da luz natural.

Os softwares foram usados individualmente ou combinados com outros. É possível que, quando combinados, os usuários tenham as suas interpretações induzidas para a extensão das funcionalidades.

## 6.2. Verificação da prática de uso de softwares em pesquisa

Os resultados do levantamento bibliográfico, sobre a prática de uso de softwares em pesquisa, confirmam o crescimento da utilização de simulação computacional como ferramenta para a avaliação do desempenho quantitativo da luz natural na última década. Esse dado está em conformidade com as pesquisas que têm evidenciado a importância da implementação e do uso de softwares para estudar o desempenho ambiental dos edifícios.

O uso de *plug in* para integração à plataforma BIM foi observado, porém não é possível qualificar como uma tendência devido ao curto período desde o primeiro registro. Notou-se que parte dos softwares de simulação da iluminação natural funciona de modo autônomo para o desenvolvimento de projetos, isto é, a interface para os dados de entrada, de processamento e de saída está contida no próprio software. Essa constatação pode explicar o percentual relativamente reduzido do emprego da plataforma integrada.

Houve crescimento do interesse por investigar cenários cotidianos, a partir de modelos reais do ambiente construído e do emprego de entorno aos desenhos. Isso pode ser explicado pelo empenho para a adequação aos índices de iluminação normatizados e para prever o impacto causado por alterações no ambiente, como o emprego de protetores solares.

Além disso, esses dados retratam o entendimento de que as superfícies do entorno, como as fachadas e os pisos, comportam-se como fontes de luz, o que representa um fator significativo para os projetos de iluminação natural. Isso torna o conhecimento a respeito das características destes materiais relevante para o cálculo do desempenho da luz no ambiente interno.

A busca por maior precisão dos resultados, aliada ao melhoramento da performance dos computadores e dos softwares, viabilizou a recorrente opção por simulações em malha, além do aumento da frequência por processamentos anualizados, em detrimento dos pontuados nos equinócios e nos solstícios.

As características observadas nos métodos matemáticos utilizados para a implementação dos algoritmos evidenciaram-se nos resultados dos softwares com relação às simulações anualizadas. Os que foram desenvolvidos utilizando o método do raio traçado (Daysim, DIVA, EnergyPlus, Radiance e TropLux), obtiveram os percentuais mais elevados

para esse parâmetro. Ao contrário dos softwares baseados no método da radiosidade (Apolux e do Lumen Micro), com os quais o processamento para todo o ano foi menos empregado.

Pode-se inferir que as taxas mais baixas, observadas nos resultados dos softwares implementados a partir da radiosidade, devem-se ao fato de que esses softwares precisam realizar, para cada dia e hora, os cálculos completos dos coeficientes da relação entre os setores de discretização das superfícies, o que onera, computacionalmente, o processamento.

A Iluminância é a métrica mais recorrente nas pesquisas, principalmente o cálculo da sua média espacial, o que se justifica pela versatilidade dessa métrica para viabilizar o cálculo de outras, como o FLD, a IULN, a ALN e a ESA. Outra justificativa associada à contínua utilização da Iluminância é a citação na norma brasileira de iluminação, que a classifica como parâmetro de referência para a avaliação da disponibilidade de luz nos ambientes.

A utilização de métricas segue as tendências do atual cenário. Percebeu-se um incremento da aplicação de outras medidas atualizadas, como a ALN, a ALNe, a IULN e a ESA. A relevância da ALN deve-se, entre outros fatores, à possibilidade de avaliar o percentual de luz natural e o potencial de redução no consumo de energia elétrica, para o caso de estudos que envolvem a avaliação da eficiência energética.

A respeito da ascensão da ALNe, pode-se inferir como justificativa para essa condição a normatização internacional IES LM-83-12 (IESNA, 2012). Adicionalmente, a aplicação dessa métrica tem ocorrido de forma mais ampla em estudos sobre eficiência energética.

Pode-se considerar, para a amplitude da utilização da IULN, a forma como essa métrica é apresentada, através da definição de faixas de iluminação, que podem ser alteradas pelo pesquisador dependendo do uso do ambiente e dos requisitos de iluminação natural desejados. Além disso, normativos internacionais, como o EFA *Daylight Design Guide* (EFA, 2014), utilizam a IULN como métrica de referência.

De forma global, a ESA vem recebendo mais atenção nos estudos, principalmente, para a avaliação do desconforto visual. Essa métrica segue parâmetros específicos quanto às variáveis de cálculo, como a malha de pontos e o período de tempo.

O interesse sobre o FLD e a Uniformidade vem diminuindo ao longo dos anos. No caso do FLD, isso pode ser explicado pela utilização das faixas de iluminação da IULN, um conceito que vem sendo aceito como mais representativo, e pela elaboração de outras métricas substitutas, como a ALNe. A reduzida utilização da Uniformidade vai de encontro ao fato de ela ser apontada como uma componente para a avaliação não só da quantidade, como também da qualidade da luz natural.

A diferença percentual registrada nos resultados da Uniformidade, entre o TropLux e os demais softwares mantidos, pode ser explicada pelo modo de disponibilização da função nas suas interfaces. Isso porque o TropLux possui uma opção de saída de dados, especificamente, para essa métrica. Nos outros, entretanto, os resultados podem ser obtidos de forma indireta, fazendo-se necessária a realização de cálculos pelo usuário.

A Luminância e o Ofuscamento não foram recorrentes nas publicações. Considera-se que outras métricas são utilizadas para a avaliação da probabilidade de ofuscamento, como a ESA e, no caso específico da DGPs, a Iluminância vertical no campo de visão do observador.

Como esquema para a apresentação dos dados de saída, a tabela numérica foi a mais utilizada nos artigos. Sequencialmente, estão a isocurva com imagem em falsa cor e o gráfico de colunas. O gráfico de pontos e a linha de tendência apresentaram crescimento, porém menos expressivo. A representatividade da renderização e do gráfico de linhas reduziu nos últimos anos.

Entende-se que o esquema mais adequado depende da métrica que foi investigada, dos aspectos da geometria da sala e dos parâmetros que foram comparados. Diante disso, apesar da tabela numérica não se mostrar apropriada para representar grandes volumes de informações, parece ser o recurso que melhor se adapta ao tipo de dados expostos e, também, à apresentação nos artigos.

Percebeu-se que, de maneira geral, os autores não expuseram considerações sobre a usabilidade dos softwares usados nas publicações. Sabe-se que a avaliação desse requisito não faz parte dos objetivos da maioria dos estudos. Dessa forma, as críticas observadas versavam sobre as discrepâncias das comparações dos dados de saída com as medições *in loco* ou com os resultados obtidos em outros softwares.

Aponta-se que, do total de 54 softwares registrados nos artigos, 47 não realizam análise quantitativa do desempenho da luz natural, ainda que sejam empregados para a elaboração de projetos lumínicos. Considerando que o uso dos softwares ocorreu de forma combinada com outros em um percentual elevado de vezes, pode-se atribuir à conotação dada a esse grupo, pelos pesquisadores, como sendo uma extensão das capacidades dos softwares que, de fato, realizam a simulação da iluminação natural.

### **6.3. Elaboração do conjunto de heurísticas**

Constatou-se, a partir das buscas por referências, que o foco das heurísticas observadas na literatura tem sido o processo de desenvolvimento de software ou de avaliação da usabilidade. Ou seja, são propostas para nortear o trabalho do desenvolvedor. Percebeu-se, no entanto, a carência de orientações voltadas para a escolha do usuário acerca de softwares que atendam às suas necessidades, inclusive, em termos de usabilidade.

Diante da diversidade de características observadas nos softwares de simulação da iluminação natural, as heurísticas propostas estão embasadas em aspectos de usabilidade e contemplam recomendações direcionadas para a inserção de dados, o processamento e a saída de dados.

Como são recomendações gerais para auxiliar o usuário na tomada de decisão, o método de aplicação confere adaptabilidade ao conjunto, pois, assim como a prioridade entre os aspectos de usabilidade é estabelecida de forma subjetiva, a escolha de subconjuntos das heurísticas segue às necessidades do perfil do usuário.

A ordem de precedência entre os softwares sugeridos na aplicação das heurísticas atendeu aos critérios de validade estatística definidos. Dessa maneira, outros softwares, que venham a atender a esses critérios, poderão compor o grupo dos indicados para os usuários. Sendo, portanto, uma etapa flexível, por comportar o avanço de versões e o surgimento de softwares.

Os resultados da avaliação do conjunto de heurísticas, por meio do grupo focal, mostram que entre os critérios adotados para a escolha de um software estão a facilidade de uso, a segurança, a cultura dos grupos de pesquisa, a tendência retratada pela consolidação do software e a indicação em eventos e artigos científicos.

A respeito da definição de usabilidade, as características mais recorrentes versam sobre a facilidade de uso, a forma de manuseio e a segurança. Também foram apontados: a inserção de dados, a intuitividade, a compreensão, a eficiência e a utilidade.

Embora o perfil dos participantes do grupo focal atenda aos critérios de representatividade com relação ao público-alvo, entende-se que a amostra é insuficiente para a generalização dos resultados. No entanto, pode-se inferir que os dados acerca dos critérios de escolha de software e da definição de usabilidade estão em conformidade com os das pesquisas exploratórias, das etapas 1 e 2.

A análise de conteúdo forneceu, por condensação, a representação simplificada dos dados brutos obtidos para a verificação da eficácia do conjunto de heurísticas. Os aspectos de estrutura e de conteúdo foram considerados adequados para o objetivo proposto. Com isso, a avaliação favorável levou à confirmação da hipótese de eficácia.

A partir da validação do conjunto de heurísticas, pode-se inferir que os usuários passam a estar instrumentalizados com recomendações gerais que auxiliam na tomada de decisão sobre softwares que atendam às suas necessidades.

#### **6.4. Limitações da pesquisa**

A qualidade de software pode ser avaliada por meio de requisitos funcionais, não funcionais e de desempenho. A usabilidade foi o requisito não funcional abordado para a avaliação dos softwares, porém de forma específica para a interface. Outro conceito que pode ser adotado, nesse sentido, é o de experiência de uso, que extrapola o ambiente da interface e corresponde a todo o universo de percepções e reações vivenciadas pelo usuário quando interage com um software.

A experiência de uso está relacionada com o que acontece durante o ciclo de interação que se inicia no primeiro contato do usuário com o software, como uma demonstração em evento ou a indicação de outro usuário, e vai além do momento de uso efetivamente.

Outra questão sobre a experiência diz respeito, especificamente, a do usuário. Na pesquisa, foram verificados o tempo como usuário de forma geral e a quantidade de softwares. No entanto, a relação entre a experiência e a percepção do usuário foi inconclusiva. O estabelecimento dessa relação pode ser viabilizado se forem identificados, por exemplo, o tempo de uso de cada software citado e as suas versões.

Os softwares que constaram na pesquisa, de maneira geral, seguem o modelo *stand alone* de funcionamento, em que são autocontidos com relação às suas funcionalidades. Porém, mostra-se pertinente investigar as ferramentas integradas por meio do uso de *plug in*. Essas não fizeram parte das análises.

## 6.5. Trabalhos futuros

Sugere-se ampliar os requisitos utilizados para a avaliação da qualidade de software, incluindo a experiência de uso nos estudos que seguirem a temática da tese. Dessa forma, outros fatores, como questões subjetivas e técnicas, que estão contidas no processo de interação entre o usuário e o software, poderão ser contemplados.

Além disso, a avaliação da usabilidade de softwares que funcionam como *plug in* é um estudo que vai ao encontro do momento de transição percebido no paradigma da concepção de softwares, que aponta para a integração entre os sistemas.

No mais, considerando-se que a avaliação da usabilidade pode ser baseada tanto em métodos quantitativos quanto qualitativos, a definição de um índice de usabilidade mostra-se relevante para a classificação dos softwares.

## 6.6. Considerações finais

Os resultados das avaliações quantitativas do desempenho da luz natural no ambiente construído, fornecidos pelos softwares, vêm atendendo às expectativas dos usuários quanto ao nível de precisão atingido, à agilidade na execução e à eficácia das informações. Essas características estão centradas na etapa de processamento de dados.

Os aspectos referentes à entrada de dados e à compreensão das informações durante a elaboração do projeto e após o encerramento do processamento ainda carecem de atenção dos desenvolvedores. O modo de disposição dos elementos de interface e a lógica de funcionamento podem conferir melhorias para a intuitividade requerida pelos usuários e, com isso, otimizar o aproveitamento dos dados fornecidos pelos softwares.

O conjunto de aspectos de usabilidade que colaboram para a qualidade da interface torna-se condição necessária diante dos resultados observados nas pesquisas exploratórias. Evidenciou-se a busca por avaliar o desempenho da luz natural em cenários cotidianos, por meio de simulações em malha e para todos os dias e horas do ano. Fato que é reiterado pelo incremento percentual da utilização de métricas anualizadas.



Esses parâmetros de processamento demandam mais recursos computacionais e, também, produzem um volume elevado de dados. O esforço cognitivo do usuário pode ser minimizado com a implementação de interfaces voltadas para facilitar a interação e a obtenção de informações. Podem contribuir para isso, os esquemas gráficos e visuais utilizados para a exibição dos dados gerados. Dessa forma, a atenção do usuário passaria a estar direcionada para a interpretação desses dados.

Diante da diversidade de softwares e suas peculiaridades, a elaboração de recomendações gerais para orientar a escolha do usuário mostrou-se como uma consequência das análises realizadas.

O conjunto de heurísticas proposto está ancorado em um contexto específico, o que significa que a sua utilização em outras áreas requer adaptações. No entanto, o método definido para a elaboração e para a aplicação das heurísticas pode ser utilizado na concepção de recomendações em outros campos.

Por fim, tanto nos resultados da aplicação do questionário como nos do levantamento bibliográfico foi notório o percentual de citações de softwares que não são, inerentemente, voltados para a simulação da iluminação natural, embora realizem projetos lumínicos. É possível considerar uma deficiência teórica dos usuários a respeito das definições que diferenciam os grupos de softwares, bem como sobre os indicadores de desempenho.

Outra possibilidade é que o uso de softwares de forma combinada pode provocar a generalização das funcionalidades, do ponto de vista do usuário. Isso porque percebeu-se que a utilização de *plug in* pode ter conduzido o usuário a avaliar as ferramentas associadas conjuntamente, ao invés de observar a usabilidade do software de simulação da luz natural.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1 – Edificações Habitacionais – Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 9241-11 – Requisitos ergonômicos para trabalho de escritórios com computadores - Parte 11 - orientação sobre usabilidade**. Rio de Janeiro, 2011.

ABRAHÃO, S.; JURISTO, N.; LAW, E. L. C.; STAGE, J. Interplay between usability and software development. **Journal of Systems and Software**, v. 83, p. 2015-2018, 2010.

AGNER, Luiz. **Ergodesign e Arquitetura da Informação: Trabalhando com o usuário**. 2. ed. Rio de Janeiro: Quartet, 2009, 197 p.

AHMAD, Muhammad Waseem; HIPPOLYTE, Jean-Laurent; MOURSHED, Monjur; REZGUI, Yacine. Random Forests and Artificial Neural Network for Predicting Daylight Illuminance and Energy Consumption. In: BUILDING SIMULATION 2017. 15th IBPSA Conference São Francisco, CA, Estados Unidos. **Anais [...]**. 2017. p. 1949-1955.

ALMEIDA, Merielen; RUIZ, Erickson de Oliveira; GRAÇA, Valéria Azzi Collet da. Iluminação natural e saúde em salas de aula-a melhoria do desempenho ambiental através do controle da radiação solar direta no IFSP-SP. **Sinergia**. São Paulo. SP. Brasil, v. 13, n. 1, p. 42-53. 2012.

ALVES, João Marcus; SAVARIS, Alexandre; WANGENHEIM, Christiane Gresse Von; WANGENHEIM, Aldo Von. Criando e validando um checklist de avaliação heurística a para sistemas de laboratórios clínicos. **Computer on the Beach**, p. 318-327, 2015.

ANDERSEN, M.; GAGNE, J. M. L.; KLEINDIENST, S. Interactive expert support for early stage full-year daylighting design: A user’s perspective on Lightsolve. **Automation in Construction**, v. 35, p. 338-352, 2013.

ANDERSEN, Marilyne; GUILLEMIN, Antoine. Daylight dynamics to guide early stage design: A user-driven goal-based approach to “good” lighting. In: 19TH CONFERENCE, SUSTAINABLE ARCHITECTURE FOR A RENEWABLE FUTURE - PLEA2013. **Anais [...]**. 2013.

ANDRADE, Maria Margarida de. **Metodologia do trabalho científico**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

ANTUNES, Franciely Grou; MARCELO, Virgínia Celia Costa. Benefícios da iluminação natural em ambientes escolares. **Revista de Iniciação Científica**, UNESC, v. 16, n. 1, p. 27-40, 2018.

AsBEA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. **Guia AsBEA de Boas Práticas em BIM - Fascículo 2 - Fluxo de Projetos em BIM: Planejamento e Execução**. Brasil, 2015.

ATTIA, S.; HENSEN, J. L.; BELTRÁN, L.; HERDE, A. Selection criteria for building performance simulation tools: Contrasting architects and engineers needs. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 5, n. 3, p. 155-169, 2011.

AYOUB, Mohammed. A review on machine learning algorithms to predict daylighting inside buildings. **Solar Energy**, v. 202, p. 249-275, 2020.

AUTODESK Inc. **Revit**. 2020. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview?plc=RVT&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>>. Acesso em 19 de julho de 2020.

AUTODESK Support. **Ecotect**. 2016. <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/search-result/caas/sfdarticles/sfdarticles/PTB/Ecotect-Analysis-Discontinuation-FAQ.html>. Acesso em 19 de julho de 2020.

BAKER, N.; STEEMERS, Koen. **Daylight Design of Buildings**. 1. ed. Londres: James & James, 2002.

BALTHAZAR, Glauber da Rocha. Visão Geral da Qualidade de Software. **Revista Eletrônica da Faculdade Metodista Granbery**. Faculdade de Sistemas de Informação, n. 3, 2017.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BASTIEN, Christian; SCAPIN, Dominique. L. **Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces**. Rocquencourt: INRIA, 1993.

BAZJANAC, Vladimir. IFC BIM-based methodology for semi-automated building energy performance simulation. In: 25TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION – CIB-W78. **Anais** [...]. Santiago. Chile. 2008.

BITTENCOURT, Leonardo S.; FERREIRA, Dilson B. Simulação da iluminação natural no ambiente construído sob condições de céus parcialmente nublados. In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ANTAC 2000. **Anais** [...]. Salvador: ANTAC, 2000, p. 1400-1406.

BITTENCOURT, Leonardo S.; MELO, M. C.; FERREIRA, Dilson B. A influência dos protetores solares verticais na iluminação natural de edificações escolares no município de Maceió - Alagoas. In: V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E II ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais** [...]. Fortaleza: ANTAC, 1999.

BLACKWELL, A. F. Filling the big hole in HCI research. **Interactions**, v. 22, n. 6, p. 37-41, 2015.

BOMFIM, Leny A. Grupos focais: conceitos, procedimentos e reflexões baseadas em experiências com o uso da técnica em pesquisas de saúde. **Physis: Revista de saúde coletiva**, v. 19, n. 3, p. 777-796, 2009.

BOUBEKRI, Mohamed. **Daylighting, Architecture and Health: Bulding Design Strategies**. Oxford: Elsevier, 2008, 144 p.

BOURQUE, P.; FAIRLEY, R. E. **Guide to the software engineering body of knowledge (swebok (r)): Version 3.0**. IEEE Computer Society Press. 2014.

BRÍGITTE, Giovanna T. N.; RUSCHEL, Regina C. Integrated Model Supporting Environmental Performance Simulations in the Early Stages of Building Design. In: 13th CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION. **Anais** [...]. Chambéry: IBPSA, p. 856-861, 2013.

CABÚS, Ricardo. C. **Tropical daylighting**: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil. Tese (Doutorado). Arquitetura. Universidade de Sheffield, Sheffield, Inglaterra. 2002.

CABÚS, Ricardo C. Validação do programa TropLux. In: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, **Anais** [...]. Maceió: ANTAC, 2005, p. 250-259.

CALIL, V. L.; OLIVEIRA, A. G. A Experiência do Usuário no Desenvolvimento de Software Móvel para Divulgação da Cultura, História e Turismo de Ribeirão Preto. In: XI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO CENTRO UNIVERSITÁRIO BARÃO DE MAUÁ, 2017.

CÂMARA, Rosana Hoffman. Análise de conteúdo: da teoria à prática em pesquisas sociais aplicadas às organizações. **Revista Interinstitucional de Psicologia**, v. 6, n. 2, p. 179-191, 2013.

CARVAJAL, Laura; MORENO, Ana M.; SANCHEZ-SEGURA, Maria-Isabel; SEFFAH, Ahmed. Usability through Software Design. **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. 39, n. 4, p. 1-15, 2013.

CARVALHO, Carolina Rocha. **Avaliação do programa Apolux segundo protocolos do relatório CIE 171:2006 referentes à iluminação natural**. 2009. Dissertação (Mestrado), Florianópolis, 2009.

CARVALHO, Jade Mendes Inácio de; SILVA, Tiago Silva da; SILVEIRA, Milene Selbach. Agile and UCD Integration Based on Pre-development Usability Evaluations: An Experience Report. **Springer International Publishing Switzerland**. Ed. Masaaki Kurosu: HCI 2016. Part I, LNCS 9731, p. 586–597, 2016.

CBS Interactive Inc. **Adeline Software International**. <https://www.giantbomb.com/adeline-software-international/3010-3846/>. Acesso em 18 de julho de 2020.

CIE STANDARD - Commission Internationale de L'eclairage. **Technical Report**. CIE 171 (2006). Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs. França 2006. Disponível em: <<http://cie.co.at/publications/test-cases-assess-accuracy-lighting-computer-programs>>. Acesso em 24 de julho de 2020.

COHEN, M. F.; CHEN, S. E.; WALLACE, J. R.; GREENBERG, D. P. Progressive refinement approach to fast radiosity image generation. In: PROCEEDINGS OF THE 15TH ANNUAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES-SIGGRAPH88. **Anais** [...]. 1988, p.75-85.

CORRAR, Luiz J.; THEÓPHILO, Carlos Renato. **Pesquisa Operacional para decisão em contabilidade e administração**. São Paulo: Atlas, 2009.

CLARO, Anderson. **Modelo vetorial esférico para radiosidade aplicado à iluminação natural. Florianópolis**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

CLARO, Anderson; PEREIRA, Fernando O. R.; LEDO, Rafael Z. APOLUX-An Innovative Computer Code for Daylight Design and Analysis in Architecture and Urbanism. In: BUILDING SIMULATION, Montreal. IBPSA CONFERENCE. **Anais** [...]. 2005, p. 199-206.

COELHO, Jorge A. P. M.; SOUZA, Gustavo H. S.; ALBUQUERQUE, Josmário. **Desenvolvimento de questionários e aplicação na pesquisa em Informática na Educação**. In: JAQUES, Patrícia Augustin; SIQUEIRA, Sean; BITTENCOURT, Ig; PIMENTEL, Mariano. (Org.) Metodologia de Pesquisa Científica em Informática na Educação: Abordagem Quantitativa. Porto Alegre: SBC. Série Metodologia de Pesquisa em Informática na Educação, v. 2, 2020.

CRAWLEY, D. B.; LAWRIE, L.; WINKELMANN, F.; BUHL, W.; HUANG, Y.; PEDERSEN, C.; STRAND, R.; LIESEN, R.; FISHER, D.; WITTE, M.; GLAZER, J. EnergyPlus: a new-generation building energy simulation program. **Energy and Buildings**, 2001.

DEFULLER, AMcneil. **Radsite**. Radiance. <https://www.Radiance-online.org/>. 2019. Acesso em 05 de agosto de 2020.

DERAMAN, Aziz Bin; SALMAN, Fouad Abdulameer. Managing usability evaluation practices in agile development environments. **International Journal of Electrical e Computer Engineering**, v. 9, p. 1288-1297, 2019.

DONN, Michael; SELKOWITZ, Stephen; BORDASS, Bill. Simulation in the Service of Design: Asking the Right Questions. In: 13TH CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION. Glasgow: IBPSA. **Anais** [...]. p. 1314-1321, 2009.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2. Ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

EFA - EDUCATION FUNDING AGENCY. **Daylight Design Guide**, v. 2, 2014.

FALEIROS, Fabiana; KÄPPLER, Christoph; PONTES, Fernando Augusto Ramos; SILVA, Simone Souza da Costa; GOES, Fernanda dos Santos Nogueira de; CUCICK, Cibele Dias. Uso de questionário online e divulgação virtual como estratégia de coleta de dados em estudos científicos. **Texto e Contexto**, v. 25, n. 4, Florianópolis, 2016.

FONSECA, Raphaela Walger da. **Illuminação natural e consumo energético de edificações não residenciais: aplicação de redes neurais artificiais**. 2015. 466 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

GARCÍA-MIRELES, Gabriel Alberto; MORAGA, Maria Ángeles; GARCÍA, Félix; PIATTINI, Mario. The Influence of Process Quality on Product Usability: A Systematic Review. **CLEI Electronic Journal**, v.16, n. 2, Montevideo, 2013.

GLASSNER, A. S. **An introduction to ray tracing**. 3. ed. Estados Unidos: Elsevier, 2019.

GEEBELEN, B. **Daylighting Computation Methods: From Dot Chart to Digital Simulation**. Syllabus Studiedag Daglichttoetreding in Gebouwen, Antwerpen: KVIV, 2003.

GLORIA, Heloisa de Souza. **Avaliação de um conjunto de heurísticas de usabilidade para softwares de smartphones na área da saúde por meio de testes de usabilidade**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

GOMES, A. S.; PADOVANI, S. Usabilidade no ciclo de desenvolvimento de software educativo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO. **Anais [...]**. 2005.

GONÇALVES, Vinícius P.; NERIS, Vânia P. A.; MORANDINI, Marcelo; NAKAGAWA, Elisa Y.; UEYAMA, Jó. Uma revisão sistemática sobre métodos de avaliação de usabilidade aplicados em software. In: PROCEEDINGS OF THE 10TH BRAZILIAN SYMPOSIUM ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS AND THE 5TH LATIN AMERICAN

CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION, Porto de Galinhas. **Anais [...]**. 2011, p. 197-201.

GORAL, C. M.; TORRANCE, K. E.; GREENBERG, D. P.; BATTAILE, B. Modeling the interaction of light between diffuse surfaces. **SIGGRAPH. Anais [...]**, p. 213-222, 1984.

HANSEN, W. User Engineering Principles for Interactive Systems. In: **AFIPS CONFERENCE PROCEEDINGS. Fall Joint Computer Conference. Las Vegas. Anais [...]**. v. 39, p. 523-532, 1971.

HENSEN, Jan L.M.; LAMBERTS, Roberto. **Building performance simulation for design and operation**. New York: Spon Press. Taylor & Francis. 2011.

HOPKINSON, R. G. **Architectural Physics: Lighting**. Londres: Her Majesty's Stationery Office, 1963, 372 p.

IBARRA, D.; REINHART, C.F. Daylight factor simulations-How close do simulation beginners “really” get? In: **PROCEEDINGS OF THE 11TH CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION. IBPSA, 2009**, p. 196-203.

IES – ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **The Lighting Handbook: Reference & Applications**. 10. ed. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2011.

\_\_\_\_\_. **LM-83-12: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York, 2012.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **IEC 25010: Systems and software engineering - Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE) - System and software quality models**, 2011.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. F. DIVA 2.0: Integrating Daylight and Thermal Simulations Using Rhinoceros 3D, DAYSIM and EnergyPlus. In: **CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION. Sydney: IBPSA. Anais [...]**. p. 2202-2209, 2011.

KABIR, M. A.; REHMAN, M. U.; MAJUMDAR, S. I. An analytical and comparative study of software usability quality factors. In: **7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON**



SOFTWARE ENGINEERING AND SERVICE SCIENCE - ICSESS. **Anais** [...]. p. 800-803, 2016.

KITCHENHAM, Barbara A.; PFLEEGER, Sharl Lawrence. Principles of survey research: Part 3: Constructing a Survey Instrument. **ACM SIGSOFT Software Engineering Notes**, v. 27, n. 2, p. 20-24, 2002.

KITCHENHAM, Barbara; CHARTERS, Stuart. Guidelines for performing Systematic literature reviews in software engineering. **EBSE 2007-001**, Keele University and Durham University, Joint Report, 2007.

KOTA, S.; HABERL, J. Historical survey of daylighting calculations methods and their use in energy performance simulations. **Enhanced Building Operations**, Texas, p. 9-18, 2009.

KOTA, S.; HABERL, J.; CLAYTON, M.; YAN, W. Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. **Energy and Buildings**, Texas, p. 391-403, 2014.

KROSNICK, Jon A.; PRESSER, Stanley; FEALING, Kaye H.; RUGGLES, Steven. The Future of Survey Research: challenges and opportunities. **A Report to the National Science Foundation**. The national science foundation advisory committee for the social, behavioral and economic sciences subcommittee on advancing SBE survey, p. 77-84, 2015.

LACERDA, Thaisa C.; WANGENHEIM, Christiane Gresse Von. Systematic literature review of usability capability/maturity models. **Computer Standards & Interfaces**, v. 55, p. 95-105, 2018.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 22, n. 140, p. 44-53, 1932.

LIU, Yue; COLBURN, Alex; INANICI, Mehlika. Computing long-term daylighting simulations from high dynamic range imagery using deep neural networks. In: THE BUILDING PERFORMANCE ANALYSIS CONFERENCE AND SIMBUILD CO-ORGANIZED BY ASHRAE AND IBPSA-USA. **Anais** [...]. Chicago, p. 119-126, 2018.

MAAMARI, F.; FONTOYMONT, M.; TSANGRASSOULIS, A.; MARTY, C.; KOPYLOV, E.; SYTNIK, G. Reliable datasets for lighting programs validation - benchmark results. **Solar Energy**, v. 79, p. 213-215, 2005.

MACHADO, F. A.; RUSCHEL, R. C.; SCHEER S. Análise da produção científica brasileira sobre a modelagem da informação da construção. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, 2017.

MACHADO, Lais; FERREIRA, Evelise Pereira; VERGARA, Lizandra Garcia Lupi. Métodos de avaliação de usabilidade: Características e aplicações. In: 3TH CONEPROSUL. **Anais [...]**. 2014.

MAHDAVI, A.; FEURER, S.; REDLEIN, A.; SUTER, G. An inquiry into the building performance simulation usage by architects in Austria. In: PROCEEDINGS OF THE EIGHTH INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE. **Anais [...]**. Eindhoven: IBPSA, 2003.

MARCUS, Aaron. Graphical user interfaces – rules of thumb. HELANDER et alli, eds. **Handbook of Human-Computer Interaction**, Amsterdam: Elsevier, 1997.

MARDALJEVIC, J. Climate-based daylight modelling and its discontents. Presented at the Simple Buildings Better Buildings? Delivering Performance through Engineered Solutions. In: CIBSE TECHNICAL SYMPOSIUM, Londres, **Anais [...]**. 2015.

MARTINS, Gilberto de Andrade. **Estatística geral e aplicada**. 3. ed. Atlas, 2009, 159 p.

MARQUES, Gil da Costa. **Introdução à teoria dos conjuntos. Fundamentos de matemática I - Módulo 1**, USP/UNIVESP, p.16-30, 2017.

MASOOD, Zafar; XUEQUN, Shang; YOUSAF, Jamal. Usability Evaluation Framework for Software Engineering Methodologies. **Lecture Notes on Software Engineering**, v. 2, n. 3, p. 225-232, 2014.

MAYHEW, D. **Principles and guidelines in software user interface design**. New Jersey: Prentice Hall, 1992.

MENDES, Nathan; LAMBERTS, Roberto; CUNHA NETO, José A. B. Building simulation in Brazil. In: INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION CONFERENCE, 7, 2001. **Anais [...]**. Florianópolis: Organizing Committee of Building Simulation '01, 2001.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 490 p.

MORAVEJI, Neema; SOESANTO, Charlton. Towards stress-less user interfaces: 10 Design Heuristics Based on the Psychophysiology of Stress. In: PROCEEDINGS OF THE 2012 ACM ANNUAL CONFERENCE EXTENDED ABSTRACTS ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS EXTENDED ABSTRACTS - CHIEA'12. **Anais [...]**. Austin, 2012, p. 1643-1648.

MORENO, Luísa Z.; MORCILLO, André M. Comparação de três ou mais grupos independentes Teste de Kruskal-Wallis, **FCM**, Campinas, p. 3-10, 2019.

MOURA, M. P. C.; NUNES, R. P.; MOCBEL, M. A. R.; FARIAS, F. S. Protótipo de software educativo para o ensino de POO: Avaliação da usabilidade e experiência de uso. **Novas Tecnologias na Educação**, v. 17, n. 3, 2019.

MOYSES, G. L. R.; MOORI, R. G. Coleta de dados para a pesquisa acadêmica-um estudo sobre a elaboração, a avaliação e a aplicação eletrônica de questionário. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. 2007.

MURILLO, Braulio; VARGAS, Silvia; MOQUILLAZA, Arturo; FERNÁNDEZ, Luis; PAZ, Freddy. Usability testing as a complement of heuristic evaluation: A Case Study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF DESIGN, USER EXPERIENCE, AND USABILITY, Vancouver. **Anais [...]**. 2017.

NACHEVA, Radka. Principles of user interface design: important rules that every. In: DESIGNER SHOULD FOLLOW SCIENCE IN THE SERVICE OF SOCIETY, University of Economics, Varna. **Anais [...]**. 2015, p. 140-149.

NASCIMENTO, I.; GASPAR, W.; CONTE, T.; GADELHA, B.; OLIVEIRA, E. H. Melhor prevenir do que remediar: Avaliando usabilidade e UX de software antes de leva-lo para a sala de aula. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO – CBIE2016. **Anais [...]**. 2016.

NAVADA, Sandhyalaxmi G.; ADIGA, Chandrashekhara S.; KINI, Savitha G. Prediction of Daylight Availability for Visual Comfort. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 11, n. 7, p. 4711-4717, 2016.

NEVES, Catarina; AUGUSTO, Cláudia; TERRA, Ana Lúcia. Questionários *online*: análise comparativa de ferramentas para a criação e aplicação de e-surveys. **Novas práticas em informação e conhecimento**, v. 9, n. 2, p. 69-78, 2020.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. Mountain View: Academic Press, 1993.

NIELSEN, Jakob. Usability inspection methods. In: CONFERENCE COMPANION ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS – CHI'94. **Anais [...]**. Nova York, ACM, p. 413-414, 1994.

OBISAT, Farhan M.; ALHALHOULI, Zaid T.; ALRAWASHDEH, Tamador I.; ALSHABATAT, Tamara E. Review of literature on software quality. **World of Computer Science and Information Technology Journal – WCSIT**, v. 8, n. 5, p. 32-42, 2018.

OCHOA, C.E.; ARIES, M.B.C.; HENSEN, J.L.M. State of the art in lighting simulation for building science: A literature review. **Journal of Building Performance Simulation**, v.5, p. 209-233, 2012.

OLIVEIRA, Francisco C. de M. B.; OLIVEIRA, Fernando A. de M. B. **Interação Humano Computador**. 2. ed. Fortaleza: UECE, 2015.

OULASVIRTA, A.; HORNBAEK, K. HCI research as problem-solving. In: PROCEEDINGS OF THE 2016 CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS. **Anais [...]**. ACM, p. 4956-4967, 2016.

PAPAMICHAEL, Konstantinos M.; PAL, Vineeta. Barriers in Developing and Using Simulation-Based Decision-Support Software. In: ACEEE SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS. **Anais [...]**. Groove, 2002.

PARGMAN, D. S.; ERIKSSON, E.; BATES, O.; KIRMAN, B.; COMBER, R.; HEDMAN, A.; BROECK, M. The Future of Computing and Wisdom: Insights from Human-Computer Interaction. **Futures**, v. 113, 2019.

PEREIRA, Roberto Carlos; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay; CLARO, Anderson. Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural em edificações. **Ambiente Construído**. Porto Alegre. v. 8. n. 4. p. 103-115. 2008.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Interaction design**. NY: John Wiley & Sons. 2012.

PRESSMAN, R. S. **Software engineering – A practitioner’s approach**, 5. Ed. McGraw- Hill. 2001.

RAMOS, Greici; GHISI, Enedir. Avaliação do cálculo da iluminação natural realizada pelo programa EnergyPlus. **Ambiente Construído**, v 10, n 2, p 157-169, 2010.

RAZA, A.; CAPRETZ, L.F.; AHMED, F. Usability bugs in open-source software and online forums. **IET Software**, v. 6, p. 226-230, 2011.

REEVES, Stuart. Human-computer interaction as science. In: PROCEEDINGS OF THE FIFTH DECENNIAL AARHUS CONFERENCE ON CRITICAL ALTERNATIVES. **Anais [...]**. Aarhus University Press, 2015, p. 73-84.

REINHART, C. F. **Tutorial on the use of Daysim simulations for sustainable design** Cambridge: Harvard University Graduate School of Design, 2010.

REINHART, C. F.; FITZ, A. Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. Elsevier B.V. **Energy and Buildings**, v.38, p. 824- 835, 2006.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. **Leukos**, v. 3, n. 1, 2006.

REINHART, C. F.; WALKENHORST, O. Dynamic Radiance-based daylight simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds. **Energy and Buildings**, p. 683-697, 2001.

REINHART, C. F.; WIENOLD, Jan. The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylit spaces. **Building and environment**, p. 386-396, 2011.

ROY, G. **A comparative study of lighting simulation packages suitable for use in architectural design**. School of Engineering Murdoch University – Austrália, Relatório Técnico, 2000.

ROY, Sharmistha; PATTNAIK, Prasant Kumar; MALL, Rajib. A cognitive approach for evaluating the usability of storage as a service in cloud computing environment. **International Journal of Electrical and Computer Engineering**, v. 6, n. 2, p. 759, 2016.

SAGAR, Kalpha; SAHA, Anju. A systematic review of software usability studies. **International Journal of Information Technology**, 2017.

SALMAN, F.A.; DERAMAN, A.; JALIL, M. A.; FAHMY S. On implementing usability evaluation activities within agile environment: A plan based-process, **Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering – JTEC**, v. 9, p. 95-99, 2017.

SANTOS, Fernanda Marsaro dos. Análise de conteúdo: a visão de Laurence Bardin. **Revista Eletrônica de Educação**, v. 6, n. 1, p. 383-387, 2012.

SANTOS, Ruben; COSTA, Antônio Aguiar; GRILO, Antônio. Bibliometric analysis and review of building information modelling literature published between 2005 and 2015. **Automation in Construction**, p. 118-136, 2017.

SCHMID, Aloísio Leoni. Simulação da luz natural: combinação dos algoritmos de raytracing e radiosidade e aplicações na Arquitetura. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 2, p. 51-59, Porto Alegre: ANTAC, 2004.

SCHVINGEL, Cláudia; GIONGO, Ieda Maria; MUNHOZ, Angélica Vier. Grupo focal: Uma técnica de investigação qualitativa. **Debates em educação**, v. 9, n. 19, p. 92-106, 2017.

SEFFAH, A.; DONYAEE, M.; KLINE, R.; PADDA, H. Usability measurement and metrics: A consolidated model. **Software Quality Journal**, v. 14, p. 159-178, 2006.

SHACKEL, Brian. Usability – context, framework, definition, design and evaluation. **Interacting with Computers-Magazine**, v. 21, p. 339-346, 2009.

SHNEIDERMAN, Ben. **Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction**. Maryland: Addison-Wesley, 1998.

SILVA, Tiago Silva da; SILVEIRA, Milene Selbach; MAURER, Frank. Usability evaluation practices within agile development, In: PROCEEDINGS OF THE 48TH HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES – HICSS. **Anais [...]**. 2015, p. 5133-5142.

SILVA, V. M.; BARBOSA, R. M.; ADAMATTI, D. Princípios de Usabilidade e a Importância do Usuário no Projeto de Interfaces. **Revista Junior de Iniciação Científica em Ciências Exatas e Engenharia**, v. 1, p. 29-38, 2016.

SILVEIRA, D.; SCHNEIDER, H. Utilização do framework UEF-Web no desenvolvimento de uma aplicação web ergonômica. **RENOTE**, v. 13, n. 1, 2015.

SOLEMMA. **DIVA for Rhino**. Disponível em: <<http://www.solemma.net>>. Acesso em 19 de julho de 2020.

TREGENZA, P. The Monte Carlo method in lighting calculations. **Lighting, Research and Technology**, v. 15, p. 163-170, 1983.

TREGENZA, P.; MARDALJEVIC, J. Daylighting buildings: Standards and the needs of the designer. **Lighting, Research and Technology**, v. 50, p. 63–79, 2018.

VARELLA, Flávia Florentino. Anonimato e transparência: qual o futuro da avaliação cega por pares? **Esboços: histórias em contextos globais**, v. 27, n. 44, p. 5-9, 2020.

WALE-KOLADE, Adeola Yetunde. Integrating usability work into a large interorganizational agile development project: Tactics developed by usability designers. **The Journal of Systems and Software**, v. 100, p. 54–66, 2015.

WINCKLER, Marco; PIMENTA, Marcelo Soares. Avaliação de usabilidade de sites web. **Escola de Informática da SBC SUL – ERI 2002**. SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO – SBC, Editora: Porto Alegre, v. 1, 2002.

WIX.COM. **Conforto Lumínico**. 2015. Disponível em: <<https://confortoluminico.wixsite.com/confortoluminico/programas>>. Acesso em 18 de julho de 2020.

YAN, Da; O'BRIEN, William; HONG, Tianzhen; FENG, Xiaohang; GUNAY, H. Burak; TAHMASEBI, Farhang; MAHDAVI, Ardeshir. Occupant behavior modeling for building performance simulation: current state and future challenges. **Energy and Buildings** v. 107, p. 264-278, 2015.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

## APÊNDICE A – Questionário sobre a usabilidade de software

<b>QUESTIONÁRIO SOBRE A USABILIDADE DE SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL</b>
<p><b>Instruções</b></p> <p>Este questionário faz parte de uma pesquisa de doutorado com tema: "A simulação computacional em iluminação natural: uma avaliação da usabilidade de software".</p> <p>Com este instrumento de coleta de dados, oferece-se a oportunidade de você manifestar a sua experiência sobre a usabilidade de softwares que simulam a iluminação natural, contribuindo, assim, com o entendimento dos aspectos de sistema.</p> <p>Você não terá o seu nome identificado em momento algum do estudo. Para responder, serão necessários, em média, 15 minutos. A sua resposta é muito significativa para a pesquisa.</p> <p>As perguntas versam sobre o conhecimento geral e a percepção do usuário de um software específico acerca dos aspectos de usabilidade.</p> <p>Por favor, leia cada afirmação e indique, nas questões de múltipla escolha, a(s) resposta(s) que se adeque(m) e, nas questões em escala, o quanto discorda, é neutro ou concorda, assinalando uma única resposta.</p> <p>Caso a sentença não se aplique, você não saiba ou não queira responder, deixe em branco e siga para a próxima.</p>
<p><b>Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE</b></p> <p>Concordo, de livre e espontânea vontade, em responder ao questionário e colaborar com a pesquisa.</p> <p><input type="checkbox"/> SIM</p> <p><input type="checkbox"/> NÃO</p> <hr/> <p>Se SIM, seguir para o Questionário. Se NÃO, exibir mensagem: "Sua resposta foi registrada. Obrigada."</p>
<p><b>Validação</b></p> <p>Você usa ou usou software de simulação de iluminação natural?</p> <p><input type="checkbox"/> SIM</p> <p><input type="checkbox"/> NÃO</p> <hr/> <p>Se SIM, Seguir para o Questionário. Se NÃO, exibir mensagem: "Sua resposta foi registrada. Obrigada."</p>
<p><b>Identificação do perfil</b></p> <p><b>Qual a sua formação?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Arquitetura</p> <p><input type="checkbox"/> Engenharia</p> <p>Se você escolheu "Engenharia", especifique qual.</p> <p>_____</p> <p><input type="checkbox"/> Outro</p> <p>Se você escolheu "Outro", especifique qual.</p> <p>_____</p>
<p><b>Qual a sua atividade? (Marque os itens que julgar necessário).</b></p>



- Estudante  
 Professor/pesquisador  
 Prestador de serviço

**Instituição:**

- Universidade Federal  
 Instituto Federal  
 Universidade Estadual  
 Instituição Privada  
 Outro

Se você escolheu “Outro”, especifique qual.

**Faixa Etária:**

- Menos de 18 anos  
 Entre 18 e 25 anos  
 Entre 26 e 35 anos  
 Entre 36 e 45 anos  
 Entre 46 e 55 anos  
 Acima de 55 anos

**Questionário para usuário de software de simulação da iluminação natural**

1. Quanto tempo você usa ou usou software de simulação da iluminação natural?

- Até 1 ano.  
 Entre 1 e 5 anos.  
 Entre 5 e 10 anos.  
 Acima de 10 anos.

2. Quantos softwares de simulação da iluminação natural você usa ou usou?

- 1  
 2  
 3  
 4  
 5  
 Acima de 5

3. Cite o(s) software(s) de simulação da iluminação natural e a(s) versão(ões) que você está usando ou que usou.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Sobre qual software você irá responder agora? (Este questionário é para apenas um software por vez. Ao finalizar as suas respostas, será dada a opção de responder novamente, caso seja usuário de mais de um software).

\_\_\_\_\_

5. Dos itens que seguem, qual(is) informação(ões) você consegue extrair desse software para analisar a iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).

- Fator de Luz do Dia (FLD)  
 Iluminância (E)  
 Uniformidade da Luz Natural (U)  
 Autonomia da Luz Natural (ALN)  
 Autonomia da Luz Natural Espacial (ALNe)  
 Iluminância Útil da Luz Natural (IULN)  
 Exposição Solar Anual (ESA)  
 Luminância (L)  
 Ofuscamento (DGI/DGP)  
 Outro

6. Para você, o que é facilidade de aprendizado em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).

- O tempo para aprender um conjunto básico de operações.  
 O software é intuitivo.  
 Explicar com facilidade como usar o software.  
 Não haver necessidade do apoio de um especialista para usar o software.

7. Foi fácil aprender a usar esse software.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. Para você, o que é facilidade de uso em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).

- Encontrar as informações e as funções que preciso no software.  
 As informações fornecidas pelo software são compreensíveis.  
 A disposição das telas do software é compreensível.  
 É simples criar um projeto usando o software.  
 Os dados de entrada são inseridos no software com facilidade.

9. Eu considero esse software simples de ser usado.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. Para você, o que é eficiência em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).

- Executar uma tarefa de forma ágil.  
 Maior produtividade no/na trabalho/pesquisa usando o software.

- Os objetivos são atingidos com os resultados obtidos.  
 As informações fornecidas pelo software são eficazes para concluir o/a trabalho/pesquisa.

11. Eu considero esse software eficiente.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12. Para você, o que é facilidade de memorização em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).

- Reconhecer os comandos para executar as funções quando usar uma próxima vez.  
 O tempo para assimilar as funções.  
 Replicar as tarefas para realização de projetos.  
 Não precisar aprender vários conceitos antes de usar o software.

13. Eu considero esse software de fácil memorização.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

14. Para você, o que é segurança em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).

- Os dados gerados pelo software são confiáveis.  
 O software auxilia na correção de erros.  
 Quando se comete um erro usando o software, consegue-se corrigir facilmente.  
 Os projetos são salvos com facilidade.

15. Eu considero esse software seguro.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16. Para você, o que é satisfação em um software de iluminação natural? (Marque os itens que julgar necessário).

- A interface do software é amigável.  
 O software possui os recursos suficientes para fazer o/a trabalho/pesquisa.  
 Aprender a usar com facilidade.

Confiar nos dados de saída fornecidos.

17. Eu estou satisfeito(a) usando esse software.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

18. Dos aspectos de usabilidade abordados, qual(is) você considera que está(ão) presente(s) nesse software? (Marque os itens que julgar necessário).

- Facilidade de aprendizado  
 Facilidade de uso  
 Eficiência  
 Memorização  
 Segurança  
 Satisfação

19. Eu considero que esse software possui bom nível de usabilidade.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Após ENVIAR.

---

Deseja responder sobre outro software que você usa ou usou?

- SIM  
 NÃO
- 

Se SIM, disponibilizar *link* para o questionário.

Se NÃO, exibir mensagem: “Sua resposta foi registrada. Obrigada.”

## APÊNDICE B – Formulário para a avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas

<b>FORMULÁRIO PARA A AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO CONJUNTO DE HEURÍSTICAS</b>
<p><b>Instruções</b></p> <p>A formação do grupo focal faz parte do percurso metodológico de uma pesquisa de doutorado com tema: "A simulação computacional em iluminação natural: uma avaliação da usabilidade de software".</p> <p>Por meio deste instrumento, você poderá avaliar o conjunto de heurísticas proposto para auxiliar o usuário na tomada de decisão sobre softwares de simulação da iluminação natural sob a perspectiva da usabilidade. Dessa forma, você contribuirá para o aperfeiçoamento do recurso.</p> <p>O seu nome não será identificado em momento algum do estudo. A avaliação das heurísticas, bem como, o preenchimento do formulário, devem ser feitos individualmente. As atividades acontecerão nesta reunião <i>on-line</i>, de forma síncrona e guiada pela pesquisadora.</p> <p>Você será demandado para expressar o seu ponto de vista sobre a estrutura, o conteúdo e a eficácia do conjunto de heurísticas. A avaliação está dividida em três etapas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preenchimento da seção de identificação do perfil e da experiência do usuário;</li> <li>2. Aplicação das heurísticas;</li> <li>3. Preenchimento da seção de avaliação do conjunto de heurísticas.</li> </ol> <p>O tempo estipulado para a reunião é de 60 minutos.</p> <p>Por favor, leia cada parte com atenção. Em caso de dúvida, solicite o esclarecimento para a pesquisadora que irá mediar a interação. Caso a pergunta não se aplique, você não saiba ou não queira responder, deixe em branco e siga para a próxima.</p> <p>A sua resposta é muito significativa para a pesquisa. Desde já, declaro o meu agradecimento pela sua contribuição.</p>
<p><b>Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE</b></p> <p>Concordo, de livre e espontânea vontade, em responder ao formulário e colaborar com a pesquisa.</p> <p><input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO</p> <hr/> <p>Se SIM, seguir para o Formulário. Se NÃO, exibir mensagem: "Sua resposta foi registrada. Obrigada."</p>
<p><b>Validação</b></p> <p>Você usa ou usou software de simulação de iluminação natural?</p> <p><input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO</p> <hr/> <p>Se SIM, Seguir para o Formulário. Se NÃO, exibir mensagem: "Sua resposta foi registrada. Obrigada."</p>
<p><b>Identificação do perfil do usuário</b></p> <p><b>Qual a sua formação?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Arquitetura</p>

Engenharia

Se você escolheu “Engenharia”, especifique qual.

---

Outro

Se você escolheu “Outro”, especifique qual.

---

**Qual o seu nível acadêmico?**

Graduação incompleta

Graduação

Especialização

Mestrado incompleto

Mestrado

Doutorado incompleto

Doutorado

Pós-doutorado

Outro

Se você escolheu “Outro”, especifique qual.

---

**Qual atividade você exerce atualmente? (Marque os itens que julgar necessário).**

Estudante

Professor/pesquisador

Prestador de serviço

**A qual instituição você está vinculado?**

Universidade Federal

Instituto Federal

Universidade Estadual

Instituição Privada

Outro

Se você escolheu “Outro”, especifique qual.

---

**Experiência como usuário**

1. Quanto tempo você usa ou usou software de simulação da iluminação natural?

Até 1 ano.

Entre 1 e 5 anos.

Entre 5 e 10 anos.

Acima de 10 anos.

2. Quantos softwares de simulação da iluminação natural você usa ou usou?

1

2

3

4

5

( ) Acima de 5
3. Cite o(s) software(s) de simulação da iluminação natural e a(s) versão(ões) que você está usando ou que usou. _____ _____
4. Qual(is) critério(s) você adota para escolher um software de simulação da iluminação natural? _____ _____
5. Para você, o que é usabilidade de software? _____ _____
<b>Avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas</b>
1. A estrutura utilizada para apresentar as heurísticas está adequada? (heurística, aspecto de usabilidade, definição) (Apresente sugestões). _____ _____
2. As heurísticas estão apresentadas com clareza gramatical e semântica? (Apresente sugestões). _____ _____
3. As heurísticas estão coerentes com os aspectos de usabilidade que as fundamentam? (Apresente sugestões). _____ _____
4. As descrições estão coerentes com as heurísticas? (Apresente sugestões). _____ _____
5. O número de heurísticas do conjunto proposto é adequado? (Apresente sugestões). _____ _____
6. O esquema utilizado para a aplicação do conjunto de heurísticas é didático para o usuário? (tabela contendo as heurísticas, os softwares sugeridos e os pesos que serão contabilizados). (Apresente sugestões). _____ _____

7. A flexibilidade para escolher, dentro do conjunto proposto, as heurísticas que o usuário julgar adequadas ao seu perfil é relevante? (Apresente sugestões).

---

---

8. O software sugerido, no resultado da avaliação, está coerente com as suas necessidades? (Apresente sugestões).

---

---

9. O conjunto de heurísticas é eficaz para o objetivo que foi proposto? (Apresente sugestões).

---

---

10. Neste espaço, sinta-se à vontade para registrar comentários, sugestões e/ou críticas adicionais sobre as heurísticas.

---

---



## APÊNDICE C – Quadro para a aplicação do conjunto de heurísticas

APLICAÇÃO DO CONJUNTO DE HEURÍSTICAS						
ASPECTO DE USABILIDADE	HEURÍSTICA	SOFTWARE EM ORDEM DE PRECEDÊNCIA			PESO	
Facilidade de aprendizado	H1 - Intuitividade da interface do software	A	B	D	4	
Facilidade de uso	H2 - Acessibilidade às funções e informações	A		D	4	
	H3 - Compreensibilidade das informações fornecidas	A			4	
		D			3	
	H4 - Compreensibilidade da disposição das telas	D			4	
		A			3	
	H5 - Simplicidade na criação de projeto	D			4	
A			3			
H6 - Facilidade na inserção de dados de entrada	A	D		4		
Eficiência	H7 - Agilidade na execução de tarefas	B			4	
		A			3	
		C	D		2	
	H8 - Efetivação dos objetivos por meio dos resultados	A	B	D	4	
		C			3	
	H9 – Eficácia das informações	C			4	
A		B	D	3		
Memorização	H10 - Reconhecimento dos comandos	A		D	4	
		B		C	3	
Segurança	H11 - Confiabilidade dos dados gerados	A	B	C	D	4
Satisfação	H12 - Suficiência de recursos	A	B	C	D	4

## APÊNDICE D – Respostas do grupo focal

FORMULÁRIO PARA A AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO CONJUNTO DE HEURÍSTICAS
<p><b>Perfil do avaliador</b></p> <p><b>Qual a sua formação?</b></p> <p><u>Avaliador 1:</u> Arquitetura</p> <p><u>Avaliador 2:</u> Engenharia civil</p> <p><u>Avaliador 3:</u> Arquitetura</p> <p><u>Avaliador 4:</u> Arquitetura</p> <p><u>Avaliador 5:</u> Arquitetura</p> <p><u>Avaliador 6:</u> Arquitetura</p>
<p><b>Qual o seu nível acadêmico?</b></p> <p><u>Avaliador 1:</u> Doutorado incompleto</p> <p><u>Avaliador 2:</u> Doutorado</p> <p><u>Avaliador 3:</u> Mestrado incompleto</p> <p><u>Avaliador 4:</u> Graduação incompleta</p> <p><u>Avaliador 5:</u> Mestrado incompleto</p> <p><u>Avaliador 6:</u> Especialização</p>
<p><b>Qual atividade você exerce atualmente? (Marque os itens que julgar necessário).</b></p> <p><u>Avaliador 1:</u> Professor, Pesquisador</p> <p><u>Avaliador 2:</u> Professor</p> <p><u>Avaliador 3:</u> Estudante, Pesquisador</p> <p><u>Avaliador 4:</u> Estudante, Pesquisador</p> <p><u>Avaliador 5:</u> Estudante</p> <p><u>Avaliador 6:</u> Prestador de serviço</p>
<p><b>A qual instituição você está vinculado?</b></p> <p><u>Avaliador 1:</u> Instituição privada</p> <p><u>Avaliador 2:</u> Universidade federal</p>

Avaliador 3: Universidade federal

Avaliador 4: Universidade federal

Avaliador 5: Universidade federal

Avaliador 6: Universidade federal

### **Experiência como usuário**

1. Quanto tempo você usa ou usou software de simulação da iluminação natural?

Avaliador 1: Entre 1 e 5 anos

Avaliador 2: Entre 5 e 10 anos

Avaliador 3: Entre 1 e 5 anos

Avaliador 4: Entre 1 e 5 anos

Avaliador 5: Até 1 ano

Avaliador 6: Entre 1 e 5 anos

2. Quantos softwares de simulação da iluminação natural você usa ou usou?

Avaliador 1: 1

Avaliador 2: 2

Avaliador 3: 2

Avaliador 4: 2

Avaliador 5: 1

Avaliador 6: 1

3. Cite o(s) software(s) de simulação da iluminação natural e a(s) versão(ões) que você está usando ou que usou.

Avaliador 1: TropLux

Avaliador 2: TropLux e Apolux

Avaliador 3: TropLux (8) e Daysim (2)

Avaliador 4: TropLux 8, DiaLux 9

Avaliador 5: TropLux

Avaliador 6: TropLux

4. Qual(is) critério(s) você adota para escolher um software de simulação da iluminação natural?

Avaliador 1: Segurança nos resultados e facilidade de uso.

Avaliador 2: Os softwares que eu utilizei foram dois. Um deles é utilizado e desenvolvido no grupo de pesquisa no qual eu faço parte, logo não foi uma escolha em si, mas apenas a aceitação de um software que já vinha sendo usado. O segundo foi em uma oficina em um congresso. Saber que o programa existe é uma questão importante na área, já que são softwares muito específicos e de pouca divulgação. O uso, nesse sentido, termina sendo pelo "melhor do que temos disponível" do que propriamente uma escolha entre amplas possibilidades. Outra questão é a usabilidade pela academia, onde as pessoas terminam usando mais o software que é mais usado mesmo, ou que apresenta alguma funcionalidade a mais, ou que está bem consolidado.

Avaliador 3: Facilidade em usar a interface, segurança com os dados obtidos, reconhecimento pela comunidade acadêmica.

Avaliador 4: intuitividade no uso, facilidade na inserção de dados, possibilidades de resultados.

Avaliador 5: Pela indicação de pessoas de grupo de pesquisa e também pelas referências de sua qualidade através de artigos.

Avaliador 6: Que seja fácil de usar.

5. Para você, o que é usabilidade de software?

Avaliador 1: É um conjunto de requisitos que definem facilidade de uso, segurança e eficiência de um software.

Avaliador 2: Usabilidade é a capacidade do software de, mediante uma necessidade do usuário, ser possível obter respostas com um nível razoável de operações, com relativa facilidade na inserção de dados e segurança nas respostas.

Avaliador 3: É a forma com que o software pode ser manuseado.

Avaliador 4: é o qual fácil é manipular o programa, o quanto ele é intuitivo para o uso de maneira descomplicada.

Avaliador 5: Seria a forma como é utilizado e compreendido o programa na hora de executa-lo.

Avaliador 6: Se trata da questão da facilidade de uso, incluindo layout interativo e instruções claras. Também trata sobre a questão de pra que ele é útil, em que vai ser usado.

### **Avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas**

1. A estrutura utilizada para apresentar as heurísticas está adequada? (heurística, aspecto de usabilidade, definição) (Apresente sugestões).

Avaliador 1: Sim.

Avaliador 2: Sim, é adequada. Para facilitar a aplicação delas poderia acompanhar um exemplo de decisão, mas não acredito que isso seja necessário para todas.

Avaliador 3: Sim. Achei bem coerente.

Avaliador 4: Considero adequada.

Avaliador 5: Sim, mas só consigo de fato avaliar e afirmar adequação das heurísticas do software que conheço, como de fato só tive contato com um deles não tenho como afirmar se os outros estão adequados também.

Avaliador 6: A definição foi apresentada em outro arquivo, no arquivo chamado "Conteúdo para a avaliação da eficácia do conjunto de heurísticas". Esse poderia ter sido disposto em um único arquivo junto com o arquivo "Aplicação do conteúdo de heurísticas".

2. As heurísticas estão apresentadas com clareza gramatical e semântica? (Apresente sugestões).

Avaliador 1: Sim.

Avaliador 2: Sim.

Avaliador 3: Sim.

Avaliador 4: Estão sim.

Avaliador 5: Não entendi muito bem no seguinte quesito: Compreensibilidade das disposição das telas, o que realmente quer se referir esse tópico.

Avaliador 6: Sim, no nível de desenvolvimento para o qual o trabalho requer. Já para eu entender, foi relativamente fácil, mas não saberia dizer o significado de algumas palavras, com "acurácia" por exemplo, que está no conceito da H3.

3. As heurísticas estão coerentes com os aspectos de usabilidade que as fundamentam? (Apresente sugestões).

Avaliador 1: Sim.

Avaliador 2: Sim. Apenas a heurística 9 que o nome é "eficácia..." mas no aspecto está "eficiência". Será que são a mesma coisa? pode confundir.

Avaliador 3: Sim.

Avaliador 4: Sim.

Avaliador 5: Sim.

Avaliador 6: Sim.

4. As descrições estão coerentes com as heurísticas? (Apresente sugestões).

Avaliador 1: Sim.

Avaliador 2: Em sua maioria, sim. Achei confuso a 3 quando fala em "facilidade de uso" e associa na descrição com "Carência de Dados...". Me parecem coisas distintas.

Avaliador 3: Sim.

Avaliador 4: Estão sim.

Avaliador 5: Sim.

Avaliador 6: Sim.

5. O número de heurísticas do conjunto proposto é adequado? (Apresente sugestões).

Avaliador 1: Sim.

Avaliador 2: Sim. Para um usuário de software de simulação é bem claro que todos eles têm três etapas distintas: "Entrada de dados", "processamento" e "Saída de dados". Entretanto essa ordem não fica clara na definição das heurísticas. Também não parece haver uma proporcionalidade, pois até a 6 trata da entrada, enquanto que as demais dos resultados e processamento. Não sei se era pra ser assim, mas foi o que me pareceu.

Avaliador 3: Sim.

Avaliador 4: Sim.

Avaliador 5: Sim.

Avaliador 6: Acrescentaria interatividade nos comandos, não havendo assim a necessidade de memorização, pois conforme fosse usando o software, esse guiaria de forma interativa.

6. O esquema utilizado para a aplicação do conjunto de heurísticas é didático para o usuário? (tabela contendo as heurísticas, os softwares sugeridos e os pesos que serão contabilizados). (Apresente sugestões).

Avaliador 1: Sim.

Avaliador 2: Sim, me parece adequado.

Avaliador 3: Sim.

Avaliador 4: Confunde no início, mas se mostrou fácil conforme se aplica.

Avaliador 5: Sim, achei bastante legível e didático.

Avaliador 6: Sim, didático.

7. A flexibilidade para escolher, dentro do conjunto proposto, as heurísticas que o usuário julgar adequadas ao seu perfil é relevante? (Apresente sugestões).

Avaliador 1: Sim.

Avaliador 2: Sim, há coisas ali que podem não ser tão relevantes. A questão da memorização das funções mesmo não me parece ser uma coisa tão relevante, tanto que nem selecionei essa heurística.

Avaliador 3: Sim.

Avaliador 4: Sim.

Avaliador 5: Sim, pois temos como analisar de fato o que cada um pode oferecer como software.

Avaliador 6: Muito bem colocado.

8. O software sugerido, no resultado da avaliação, está coerente com as suas necessidades? (Apresente sugestões).

Avaliador 1: Sim.

Avaliador 2: Sim.

Avaliador 3: Sim.

Avaliador 4: Está sim.

Avaliador 5: Sim.

Avaliador 6: Sim.

9. O conjunto de heurísticas é eficaz para o objetivo que foi proposto? (Apresente sugestões).

Avaliador 1: Sim.

Avaliador 2: Sim.

Avaliador 3: Sim.

Avaliador 4: Sim, ao fim resultou em um programa que contém a maioria dos critérios que julgo necessário.

Avaliador 5: Sim.

Avaliador 6: Sim, eficaz e eficiente.

10. Neste espaço, sinta-se à vontade para registrar comentários, sugestões e/ou críticas adicionais sobre as heurísticas.

Avaliador 1: (Vazio)

Avaliador 2: O termo "auxiliar na correção de erros" presente nas heurísticas 7 e 9 me parece inadequado. Sobre a 7: Se o usuário precisa corrigir erros em dados de saída o programa não é confiável, e isso já inviabiliza seu uso. Sobre a 9: Você fala em informações fornecidas pelo software...mas se eu preciso corrigir os erros de informações que o software me fornece também prejudica seu uso.

Avaliador 3: No início demorei um pouco para entender as heurísticas, mas com a explicação guiada ficou mais claro e consegui aplica-las. Um dos softwares que usei não estava presente (Daysim). Por isso usei como base apenas um (TropLux) e escolhi ele na segunda etapa da avaliação.

Avaliador 4: (Vazio)

Avaliador 5: Achei bem interessante a pesquisa, de forma que pode ser melhorada se o usuário tivesse tido contato com pelo menos metade dos softwares para poder fazer um comparativo.

Avaliador 6: Os aspectos poderiam ter sido mais explorados, no entanto não influenciou nas escolhas feitas.