ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Uma avaliação da usabilidade de softwares de simulação da iluminação natural aplicados em pesquisa

An evaluation of the usability of daylighting simulation software based on research use

Nádia Milena Barbosa Bruno
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | nadia.barbosa@arapiraca.ufal.br
Ricardo Carvalho Cabús
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | r.cabus@ctec.ufal.br

Resumo

Os softwares de simulação da iluminação natural apresentam características específicas, sendo a confiabilidade dos dados gerados e a forma de interação fatores que influenciam na escolha do usuário sobre um desses softwares, o que confere à usabilidade um papel fundamental. Neste estudo, o objetivo é verificar a prática do uso de softwares em pesquisa científica por meio do levantamento de dados bibliográficos dos artigos publicados no ENTAC e no ENCAC. Decidiu-se por explorar todas as edições desses eventos até 2020, totalizando 33 edições e 194 artigos válidos para o estudo. Foram averiguados: 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 como tendências a simulação em malha e a utilização de métricas anualizadas, bem como o uso de *plug in* para a integração do software à plataforma BIM. A análise das interfaces fomenta os usuários com informações que incluem a confiabilidade em um conjunto que visa revelar também a qualidade da interação do usuário com o software.

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

Abstract

The daylighting simulation software has specific characteristics, with the reliability of the data generated and the form of interaction factors that influence the user's choice of one of these software, which gives usability a fundamental role. In this study, the objective is to verify the practice of using software in scientific research by surveying bibliographic data from articles published in ENTAC and ENCAC. It was decided to explore all editions of these events until 2020, totaling 33 editions and 194 articles valid for the study. The following were investigated: input data, processing and output data. In the statistical analysis, we chose to calculate the average and compare proportions. There was an increase in the use of computer simulation in the last decade and trends were highlighted in mesh simulation and the use of annualized metrics, as well as the use of plug in to integrate the software with the BIM platform. Interface analysis provides users with information that includes reliability in a set that also aims to reveal the quality of the user's interaction with the software.

Keywords: Daylighting. Computer Simulation. Usability.

Como citar:
BRUNO, N. M. B.; CABÚS, R. C. Uma avaliação da usabilidade de softwares de simulação da iluminação natural aplicados em pesquisa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de metodologias para modelar a luz natural nas construções favorece os profissionais da área nas decisões em diferentes fases de projeto [1]. Nesse sentido, a simulação computacional se projeta por meio de softwares que visam predizer a iluminação disponível em uma edificação. De acordo com [2][3][4][5], realiza-se a análise quantitativa e qualitativa da utilização da luz natural para a avaliação do seu desempenho.

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.

Essa abordagem se justifica pela constatação de que, na perspectiva do usuário, a interface é o próprio software [6]. As demais camadas necessárias para fazer o software funcionar são invisíveis para quem usa sistemas computacionais. Assim sendo, como reiteram [7][8], a usabilidade é o aspecto que assegura, para o usuário, a utilização de softwares de forma fácil, eficiente e satisfatória.

Diante disso, pretende-se, com este estudo, verificar a prática de uso de softwares de simulação da iluminação natural na avaliação de desempenho do ambiente construído, em pesquisa científica.

MÉTODO DE PESQUISA

Para a pesquisa exploratória bibliográfica [9], iniciou-se com o levantamento de dados em que foram escolhidos os anais de dois principais eventos nacionais da área de conforto ambiental: o ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído e o ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Explorou-se todas as edições desses eventos bienais até 2020. A primeira edição do ENTAC aconteceu em 1986 e do ENCAC, em 1990.

Definiu-se, como critério de seleção, os artigos que versam sobre iluminação natural e que a metodologia utiliza a simulação computacional. Foram verificados aspectos referentes às informações gerais da publicação, à simulação, à exibição dos dados de saída e às conclusões sobre a usabilidade dos softwares.

TABULAÇÃO DOS DADOS

Em uma planilha, os dados foram separados em: grupo 1 – os softwares que realizam simulação da iluminação natural e grupo 2 – os softwares que não realizam análise quantitativa da luz natural.

ANÁLISE DESCRITIVA

Os softwares usados para simulação computacional nos artigos foram descritos, especificando o grupo ao qual pertencem (grupo 1 ou 2), os nomes e a quantidade de ocorrências nas publicações.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Adotou-se, como métodos estatísticos, a média e a comparação entre proporções [10], tendo os artigos selecionados como a amostra da pesquisa. Calculou-se a proporção de cada item avaliado dos artigos por edição e por software do grupo 1. A relação entre o valor absoluto do item e o seu quantitativo total pode ser vista nas equações 1 e 2, adaptadas de [10], em que a proporção é dada por:

$$P = \frac{n_S}{n_T} \qquad \text{[Equação 1]}$$

E o somatório dos valores absolutos é dado por:

$$n_T = n_S + n_N \qquad \text{[Equação 2]}$$

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.

As proporções obtidas para as métricas e grandezas foram calculadas tomando o ano de surgimento de cada item como referência.

RESULTADOS E ANÁLISES

O primeiro registro de simulação computacional foi encontrado em 1997 e tornou-se frequente nas edições seguintes.

ANÁLISE DESCRITIVA

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 válidos para a pesquisa, como pode ser visto na Tabela 1.

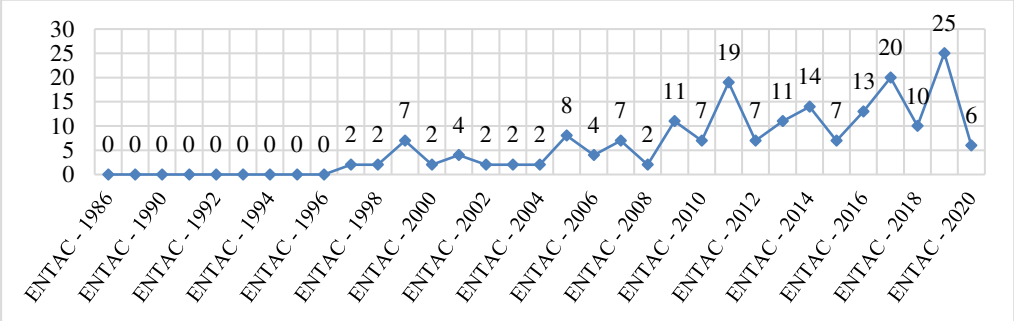
Tabela 1: Informações gerais dos eventos: ENTAC e ENCAC.

EVENTO	PERÍODO	EDIÇÕES	ARTIGOS
ENTAC	1986-2020	18	71
ENCAC	1990-2019	15	123
TOTAL		33	194

Fonte: a autora.

A distribuição do quantitativo de artigos, em valores absolutos, pode ser vista no Gráfico 1, em que é discriminada por evento e por ano.

Gráfico 1: Distribuição do número de artigos por ano e por evento.



Fonte: a 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.

Foi registrado o total de 54 softwares nos artigos. Desses, 7 pertencem ao primeiro grupo e 47, ao segundo, como é visto na Tabela 2. 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.

Tabela 2: 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: a autora.

Registrou-se 7 (sete) softwares para o grupo 1 que, 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 grupo 2, são: Arqui 3D (1), AGI-32 (2), Atlantis (1), AutoCAD (7), Cityzoom (2), Daylight (2), DesignBuilder (3), DiaLux (10), DLN (1), DOE-2 (1), ECOTECT (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), RadDispay (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).

Optou-se por incluir os softwares do grupo 1 que foram descontinuados: Lumen Micro e Daysim, esse tem como sucessor o DIVA. Embora, na análise estatística das métricas, os resultados digam respeito apenas aos softwares mantidos atualmente.

A primeira vez que a integração com a plataforma BIM foi citada ocorreu em 2015, tendo um aumento de representatividade em 2017 e 2019, como exposto na Tabela. 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%.

Tabela 3: 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%

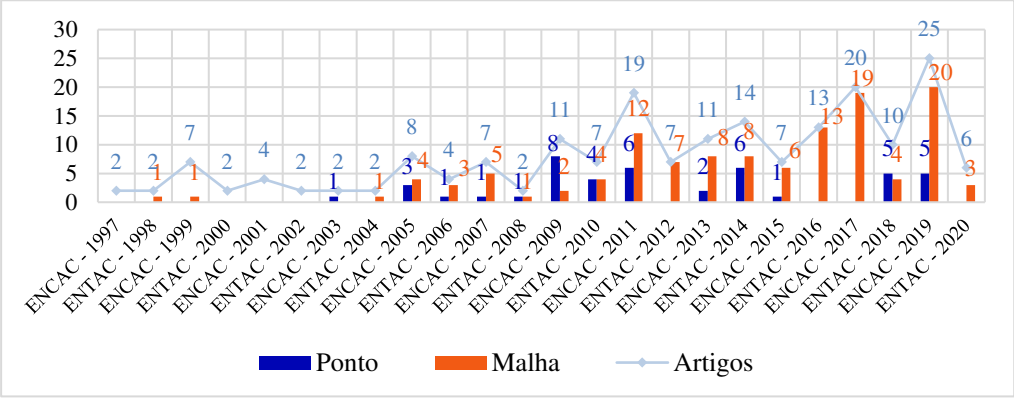
Fonte: a autora.

Os softwares vinculados ao uso do BIM foram: 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.

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 2, está 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.

Gráfico 2: Distribuição do quantitativo de simulações em ponto ou em malha.



Fonte: a 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 exibido na Tabela 4.

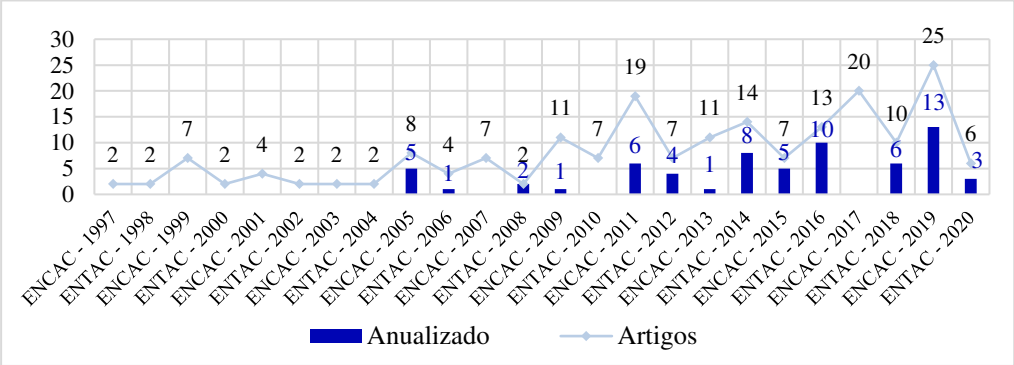
Tabela 4: Distribuição do quantitativo de simulações em ponto ou em malha por software.

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: a autora.

Averiguou-se o período temporal adotado para os processamentos. Como apresentado no Gráfico3, 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 3: Distribuição quantitativa de simulações anualizadas.



Fonte: a 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 são encontrados, em detalhes, na Tabela5.

Tabela 5: 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: a 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.

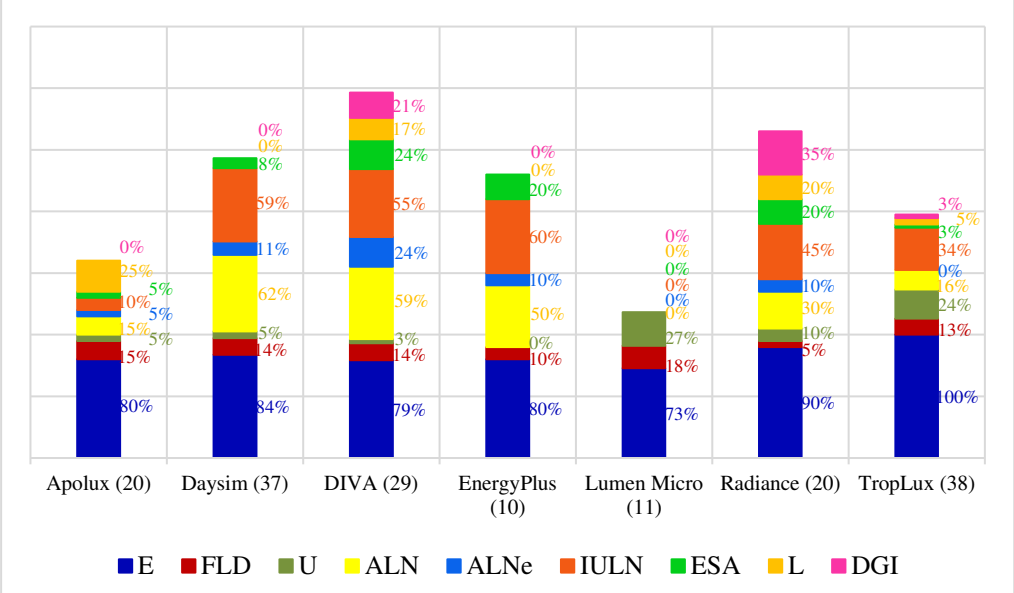
Verificou-se o uso de métricas e grandezas para a avaliação quantitativa da luz natural. Observa-se que a Iluminância vem sendo alvo de investigação em todas as edições dos eventos a partir de 1998, aparecendo em 79% dos artigos publicados.

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 aplicação das métricas e grandezas, por software, encontra-se no Gráfico 434. 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 43: Distribuição quantitativa das métricas e grandezas por software.



Fonte: a 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.

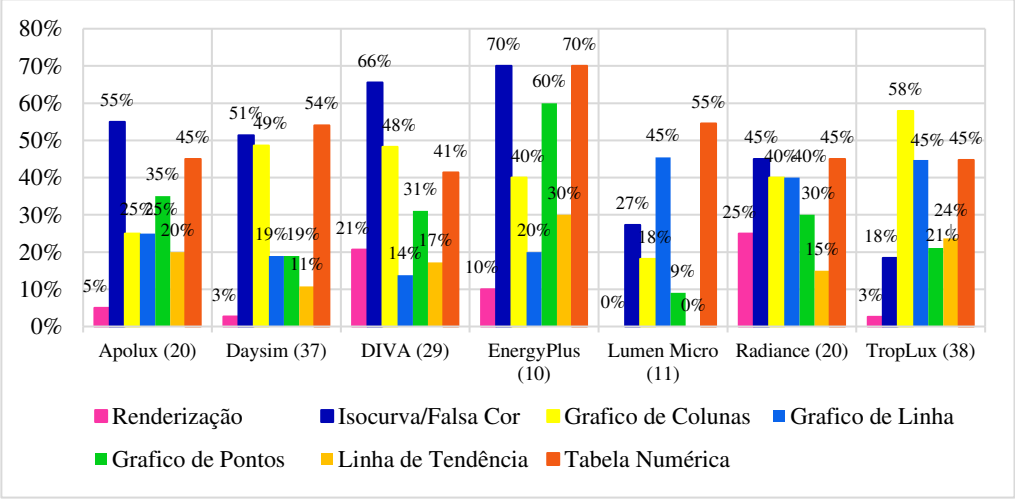
Foram verificados os esquemas adotados para a exibição dos dados de saída. Proporcionalmente a tabela numérica e a isocurva com imagem em falsa cor são os mais utilizados, atingindo 46% e 45% do total, respectivamente. O gráfico de colunas vem em seguida com 38%. O gráfico de linhas, o gráfico de pontos e a linha de tendência aparecem com 27%, 21% e 15%, respectivamente. Por fim, a renderização com 9%.

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. 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, encontram-se no Gráfico5.

Gráfico 5: Esquemas utilizados para a exibição dos dados de saída por software.



Fonte: a 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.

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.

CONCLUSÃO

O crescimento da utilização de simulação computacional como ferramenta para a avaliação do desempenho quantitativo da luz natural observado nesta pesquisa, 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 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. Isso pode explicar o percentual reduzido do emprego da plataforma integrada.

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 grandeza mais recorrente nas pesquisas, principalmente o cálculo da sua média espacial, o que se justifica pela sua versatilidade para viabilizar o cálculo de métricas, 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 anualizadas, 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 [11]. 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 [12], 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 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 e grandezas 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. 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. Com 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.

Infere-se, com isso, que os parâmetros de processamento verificados no estudo 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.

REFERÊNCIAS

[1] TREGENZA, P.; MARDALJEVIC, J. Daylighting buildings: Standards and the needs of the designer. **Lighting, Research and Technology**, v. 50, p. 63–79, 2018.

[2] REINHART, C. F.; WIENOLD, Jan. The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylit spaces. **Building and environment**, p. 386-396, 2011.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] AGNER, Luiz. **Ergodesign e Arquitetura da Informação**: Trabalhando com o usuário. 2. ed. Rio de Janeiro: Quartet, 2009, 197 p.

[7] PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Interaction design**. NY: John Wiley & Sons. 2012. LACERDA, Thaisa C.; WANGENHEIM, Christiane Gresse Von. Systematic literature review of usability capability/maturity models. **Computer Standards & Interfaces**, v. 55, p. 95-105, 2018.

[8] LACERDA, Thaisa C.; WANGENHEIM, Christiane Gresse Von. Systematic literature review of usability capability/maturity models. **Computer Standards & Interfaces**, v. 55, p. 95-105, 2018.

[9] YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

[10] MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 490 p.

[11] IESNA – ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **LM-83-12:** IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York, 2012.

[12] EFA - EDUCATION FUNDING AGENCY. **Daylight Design Guide**, v. 2, 2014.