

A ILUMINAÇÃO NATURAL NO PROJETO DE ARQUITETURA: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

DAYLIGHTING IN ARCHITECTURAL DESIGN: SYSTEMATIC REVIEW OF LITERATURE

Jéssica Cristine da Silva Fonseca Matos ¹

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. jessica@jfm.arq.br

Paulo Sergio Scarazzato ²

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. paulosca@fec.unicamp.br

Resumo

Os benefícios da luz do dia nos edifícios são conhecidos: melhor qualidade da iluminação quando comparada com a iluminação artificial, redução do consumo de energia elétrica, impacto positivo na produtividade e desempenho, bem-estar e conforto dos usuários e a descoberta recente de sua influência nos ritmos circadianos. Tais benefícios justificam a inclusão de questões relativas ao aproveitamento da luz do dia já nas primeiras fases do projeto de arquitetura, quando são definidas importantes variáveis do edifício como orientação, volumetria, layout dos ambientes, aberturas e sombreamento. Entretanto, a formação do arquiteto com relação a tais questões raramente vai além de uma abordagem básica. Seguindo a metodologia de Revisão Sistemática da Literatura selecionamos 21 artigos em quatro bases de dados relevantes da área e estabelecemos o filtro entre os anos de 2012 a 2017 e nos idiomas português, espanhol e inglês para identificar o quanto e como está sendo abordada a questão da iluminação natural em estudos atuais que tratam do processo de projeto em arquitetura. Identificamos que é imprescindível, na fase inicial do projeto, um olhar treinado do projetista baseado em conhecimento dos aspectos da luz do dia e das necessidades humanas para lidar com as questões de iluminação natural no processo de projeto, e deixar para as etapas posteriores, a utilização de *softwares* de simulação para análises quantitativas. Desta forma, ferramentas que incorporam BIM e metodologias adaptativas, às diferentes fases do projeto, que apoiam a tomada de decisões e permitem a inclusão das preferências do usuário são bem-vindas. Além disso, as ferramentas para estudos de fachada e dispositivos de sombreamento devem ser mais interativas com o processo de projeto arquitetônico, ou elas continuarão a ser negligenciadas.

Palavras-chave: Iluminação natural. Processo de projeto. Projeto de iluminação.

Abstract

The benefits of daylight in buildings are known: a better quality of lighting when compared to artificial lighting, reduction of electrical energy consumption, positive impact on productivity and performance, well-being and comfort of users and the discovery of its influence on circadian rhythms in the early 2000s. These benefits justify the inclusion of issues related to the use of daylight in the early phases of the architectural design, when essential building variables are defined, such as orientation, volumetry, ambient layout, openings, and shading. However, the architect's education in daylighting issues rarely goes beyond a basic approach. Design tools and methodologies are needed to support decisions regarding daylighting in the early stages of the design process. A Systematic Literature Review was developed to identify how much and in what way issues of daylighting are being addressed in studies that deal with the architectural design process. 21 papers from relevant databases, from 2012 to 2017, written in Portuguese, Spanish, and English were reviewed. We found that it is essential in the initial phase of the design, a trained eye of the designer based on knowledge of the aspects of daylight and human needs to deal with natural lighting issues, leaving for later stages, the use of software simulation for quantitative analysis. In this way, tools incorporating BIM and adaptive methodologies, to the different phases of design, which support decisions making and allow the inclusion of user preferences are welcome. In addition, tools for facade studies and shading devices should be more interactive with the architectural design process, or they will continue to be neglected.

Keywords: Daylighting. Sunlighting. Design process. Lighting Design.

How to cite this article:

MATOS, Jéssica Cristine da Silva Fonseca; SCARAZZATO, Paulo Sergio. A iluminação natural no projeto de arquitetura: revisão sistemática da literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 4, p. 249-256, dez. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650250>>. Acesso em: 22 fev. 2018. doi:<https://doi.org/10.20396/parc.v8i4.8650250>.

Introdução

A luz do dia sempre orientou a vida humana. O desenvolvimento da arquitetura resultou em grandes variedades de formas, aberturas nas fachadas ou coberturas e pátios centrais que possibilitaram a captação de luz natural e a conexão com o exterior do edifício. Entretanto com a popularização da luz elétrica no século XX, a iluminação natural foi relegada a um segundo plano, sobretudo entre as décadas de 1950 e 1970. Com as crises do petróleo na década de 1970, houve um gradativo retorno à valorização da iluminação natural, a princípio apenas como uma tentativa de reduzir o consumo da energia elétrica nos edifícios.

Incluir a iluminação natural no processo de projeto exige medidas a serem tomadas desde a implantação do edifício, tais como: cuidados com orientação solar, com as superfícies expostas ao sol, com aberturas destinadas a captar a luz do dia, com sombreamento e integração com a luz elétrica, permitindo plena harmonia entre a iluminação natural e a artificial (KARLEN; BENYA, 2004).

Para projetar são necessárias ferramentas e metodologias de projeto que apoiem as decisões referentes à iluminação natural. Lim (2015) e Kleindienst e Andersen (2012) apontam algumas razões que dificultam tal abordagem logo no início do processo: falha no entendimento do desempenho do edifício, ausência de métodos interativos e abrangentes para arquitetos, *softwares* que necessitam de dados de entrada e modelagem precisos para executar uma simulação confiável.

O desafio consiste em como sensibilizar e exercitar o olhar do arquiteto para a luz, de modo a transcender as questões quantitativas e explorar as possibilidades que a iluminação pode oferecer para revelar o espaço arquitetônico (BRANDSTON, 2010; NEUMANN, 2010). Segundo Lam (1977) e Brandston (2010) não são necessários melhores *softwares* para o processo de projeto em iluminação, mas sim a melhor compreensão dos conceitos da iluminação, de como aplicar o que se tem à disposição, e percepção do que se tem à volta.

Pode-se afirmar que na fase inicial do processo de projeto é imprescindível um olhar treinado do projetista e o conhecimento dos aspectos da luz natural para lidar com as questões a ela inerentes para, nas fases posteriores, utilizar cálculos e outras ferramentas de simulação como meios de confirmação dos conceitos adotados e eventuais ajustes finos.

Revisão Sistemática da Literatura

Metodologia

Este artigo foi elaborado com base numa Revisão Sistemática da Literatura (RSL) cujo objetivo foi descobrir o quanto e como está sendo incluída a questão da iluminação natural nos estudos sobre processo de projeto em arquitetura. Para tanto, foi realizada uma pesquisa prévia no Portal Periódico Capes¹ para verificar quais as bases de dados com mais relevância para o tema. As palavras utilizadas foram: “*design process*” AND “*natural light*” OR *daylight* OR *daylighting* OR *sunlight* OR *sunlighting*. A partir do resultado desta primeira busca foram selecionadas quatro bases de dados (*Scopus*, *Science Citation Index Expanded*, *Science direct journals* e *Civil Engineering Abstracts*) para realizar tal revisão. Estabeleceu-se um filtro entre os anos 2012 a 2017 e nos idiomas português, espanhol e inglês.

A partir da definição das palavras-chaves (“*design process*” AND “*natural light*” OR *daylight* OR *daylighting* OR *sunlight* OR *sunlighting*), das opções de busca e base de dados significantes para a revisão, as buscas foram feitas diretamente nas bases de dados selecionadas. A quantidade de artigos resultantes da pesquisa é apresentada na Tabela 1:

Tabela 1 – Resultados das pesquisas nas bases de dados

Base de dados	Quantidade de artigos
Scopus (Elsevier)	54
Science Citation Index Expanded (Web of Science)	195
Science direct journals (Elsevier)	29
Civil Engineering Abstracts	8
TOTAL	286 artigos

Fonte: Os autores.

Destes resultados, dezessete artigos eram repetidos em mais de uma da base, totalizando então 269 artigos que seguiram no processo de seleção conforme demonstrado na Figura 1.

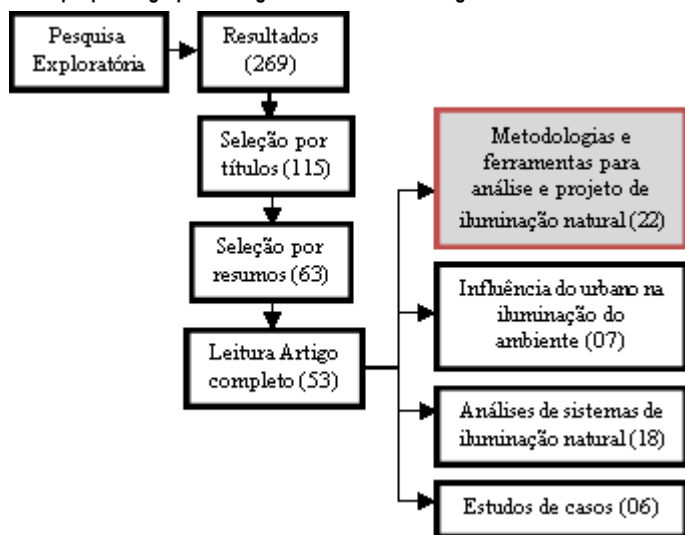
Em seguida iniciou-se a análise dos títulos, excluindo os artigos que permitissem apenas com o título identificar assunto não pertinente para a revisão de literatura, isto é, não enfatizavam a iluminação natural no processo de projeto em arquitetura. Foram mantidos alguns títulos que trouxeram incertezas quanto a este critério, para serem apurados na próxima fase. Na análise dos resumos, restaram 63 artigos. Destes, dez não estavam disponíveis para *download*, totalizando 53 artigos selecionados para o estudo.

Após a seleção dos artigos, iniciou-se uma leitura completa dos trabalhos, a qual revelou ser mais interessante classificá-los em algumas subáreas:

- i. Metodologias e ferramentas para análise e projeto de iluminação natural;
- ii. Influência do urbano na iluminação interna;
- iii. Análises de sistemas de iluminação natural; e
- iv. Análises de edifícios existentes.

Para o desenvolvimento deste artigo foram analisados apenas os artigos do grupo (i) metodologias e ferramentas para análise e projeto de iluminação.

Figura 1 – Fluxograma com as fases de seleção dos artigos para RSL, com destaque para o grupo de artigos utilizados neste artigo



Fonte: Os autores.

A iluminação no processo de projeto

Após o estudo dos artigos selecionados para a RSL, elegemos quatro tópicos a serem discutidos: A iluminação nas fases iniciais de projeto, o uso da simulação computacional no projeto de iluminação, metodologias pontuais que auxiliam a tomada de decisão do projeto de iluminação e a influência do usuário no ambiente construído. Este agrupamento é apresentado no Quadro 1.

Fases iniciais do projeto

Os edifícios representam cerca de 32% do consumo anual de energia no mundo e as pessoas passam 90% do tempo dentro deles o que demanda uma série de pesquisas para melhorar o conforto de seus usuários. Sendo assim, a adaptação de edifícios existentes e construção de novos edifícios representam oportunidades para projetar, construir e operar edificações de alto desempenho de modo a reduzir o consumo de energia e fornecer qualidade ambiental interna (BUSTAMANTE *et al.*, 2017).

A luz do dia sempre desempenhou papel crucial nessa redução do consumo de energia elétrica, além de apresentar outras vantagens: pesquisas mostraram preferência por vistas e luz natural contra a iluminação artificial, impacto positivo na produtividade e

desempenho, e a relativamente recente descoberta de seu forte impacto nos ritmos circadianos (KLEINDIENST; ANDERSEN, 2012).

Quadro 1 - artigos abordando metodologias e ferramentas para análise e projeto de iluminação

Tópico	Referências
Fases iniciais do projeto	(FREEWAN, 2015; BUSTAMANTE <i>et al.</i> , 2017; ARPACIOGLU; ERSOY, 2013; NAPIER, 2015)
Simulação computacional	(OCHOA MORALES; ARIES; HENSEN, 2012; BUSTAMANTE <i>et al.</i> , 2017; LIM, 2015; LAPINSKIENE; MARTINAITIS, 2013; ANDERSEN; GAGNE; KLEINDIENST, 2013)
Metodologias pontuais que auxiliam a tomada de decisão	(FONSECA; DIDONÉ; PEREIRA, 2012; BADARNAH, 2016; WEN; HIYAMA; KOGANEI, 2017; ATZERI <i>et al.</i> , 2016; KLEINDIENST; ANDERSEN, 2012; DALY, 2014; YILMAZ, 2016; FREEWAN, 2015; TRUJILLO, 2014; ARAGHI; STOUFFS, 2015; PEREIRA; PEREIRA; CASTAÑO, 2012)
A influência do usuário	(GERBER; PANTAZIS; WANG, 2017; THEODORSON, 2014; KHADEMAGHA <i>et al.</i> , 2016; DAY; THEODORSON; VAN DEN WYMELENBERG, 2012)

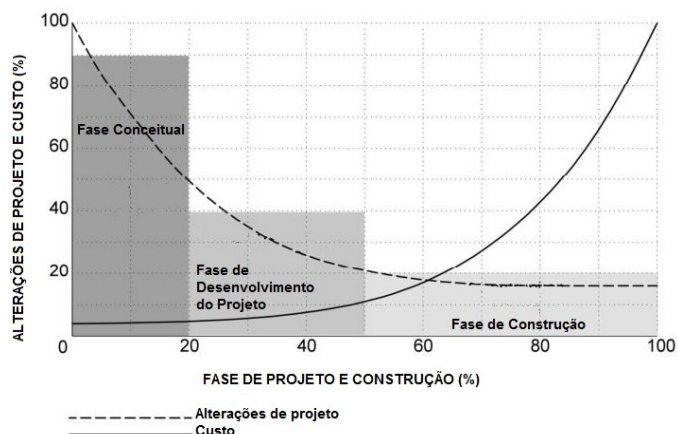
Fonte: Os autores.

Para alcançar esses benefícios, a luz do dia deve ser controlada e gerenciada de modo a garantir o conforto visual e térmico. Estes aspectos devem ser inseridos logo nos estágios iniciais do processo de projeto arquitetônico (FREEWAN, 2015). As decisões tomadas no estágio inicial do projeto têm grande influência no custo final, no desempenho do edifício e no conforto dos ocupantes (BUSTAMANTE *et al.*, 2017). Nesta fase concentram-se as maiores oportunidades de conseguir edifícios com alto desempenho, uma vez que são definidos aspectos como orientação, volumetria, *layout* dos ambientes, necessidade de sombreamento e localização das aberturas.

Podemos sintetizar o processo de projeto em três etapas: conceito, desenvolvimento e construção. A Figura 2 ilustra a flexibilidade para as alterações e o custo dessas alterações ao longo do processo de projeto. O gráfico mostra que, se esses aspectos forem avaliados no estágio conceitual, os projetos serão beneficiados com a qualidade e produtividade, além da redução de custos e economia de tempo (ARPACIOGLU; ERSOY, 2013).

A formação dos arquitetos com relação a questões de iluminação natural raramente vai além de uma abordagem básica. Assim, existe uma necessidade óbvia de um sistema de suporte que os auxilie e os oriente durante todo o processo de projeto, quando nem sempre tomam decisões de forma racional ou analítica, mas, ao contrário, podem tomar decisões arbitrárias, baseadas em instintos (ARPACIOGLU; ERSOY, 2013).

Figura 2 – Flexibilidade para alterações e o custo das alterações ao longo do processo de projeto



Fonte: Adaptado de Marsh (2009 apud ARPACIOGLU; ERSOY, 2013).

Arpacioglu e Ersoy (2013) propõem um novo modelo de apoio para os arquitetos, na tomada de decisões, voltados para as primeiras fases de projeto, de modo a aumentar a qualidade do espaço e economia de tempo e dinheiro para todos os envolvidos. Esse modelo possui cinco etapas: (i) coleta de dados; (ii) análise dos dados; (iii) definição dos problemas e limitações; (iv) recomendações de soluções; e (v) tomada de decisão, quando o arquiteto escolhe uma entre as alternativas apresentadas. O modelo é interativo, no qual o arquiteto pode projetar e tomar decisões ativamente. Utilizando o método apresentado, muitos fatores físicos do ambiente, que geralmente são perdidos durante o processo, são inclusos novamente tornando o processo de projeto mais harmonioso com o ambiente físico.

Ferramentas existentes que conjugam condições térmicas e de iluminação e podem auxiliar na tomada de decisões são utilizadas em fases adiantadas do projeto. Lim (2015) e Kleindienst e Andersen (2012) apontam algumas razões para esta situação: falha no entendimento do desempenho do edifício, ausência de métodos interativos e abrangentes para arquitetos, *softwares* que necessitam de dados de entrada e modelagem precisos para executar uma simulação confiável, um detalhamento ainda não disponível nessa fase de projeto.

Napier (2015) retorna à física do conforto e apresenta estratégias passivas para desenhos de fachada que podem ajudar a alcançar um bom desempenho do edifício. O autor aborda ainda as especificidades de diferentes climas com orientações e precauções que se deve tomar nas decisões de projeto. É muito importante o processo de conscientização do projetista quanto ao uso da iluminação natural, para que a tomada de decisão nas fases iniciais do projeto possa ser levada em consideração.

Simulação computacional

A simulação de iluminação é desafiadora devido aos requisitos rigorosos para representar a realidade, e necessita de diferentes graus de complexidade para diversos usuários dentro do mesmo campo. A grande maioria das ferramentas de simulação atuais não é adequada para uso durante os primeiros estágios de projeto arquitetônico, pois exigem um nível de precisão e detalhamento ainda desconhecidos nesse estágio de projeto. Normalmente os *softwares* focam num aspecto do projeto e são criados para serem utilizados por especialistas (OCHOA MORALES; ARIES; HENSEN, 2012).

Ochoa Morales, Aries e Hensen (2012) examinaram o estado da arte em simulação de iluminação analisando as seguintes ferramentas: AGi32, DIALux, Inspirer, mental ray, Radiance, Relux e Velux Daylight Visualizer. Os autores identificaram que os usuários desses *softwares* devem adaptar as ferramentas aos seus propósitos e podem encontrar dificuldades no detalhamento necessário para a modelagem, na operação da ferramenta e na interpretação dos resultados. Os autores recomendam que as futuras ferramentas interajam com diferentes usuários e que possam incluir os desejos e intenções dos usuários em interfaces mais adaptáveis.

Bustamante *et al.*, (2017) buscaram demonstrar o uso do *mkSchedule* como uma ferramenta para apoio para o desenvolvimento de sistemas de sombreamento de fachada nos estágios iniciais do projeto. A metodologia se mostrou eficiente, inclusive para geometrias mais complexas e materiais curvos e/ou perfurados.

Com a crescente preocupação com a sustentabilidade, os *softwares* BIM (*Building Information Modeling*) também estão se desenvolvendo para as simulações de performances ambientais. Lim (2015) compara três ferramentas de análises BIM: *Autodesk Ecotect Analysis*, *Integrated Environment Solution* <Ambiente Virtual> (IES <VE>) e *Design Builder*. O autor analisa as vantagens e desvantagens de cada ferramenta, possibilitando ao projetista analisar qual a melhor delas, de acordo com seus objetivos de projeto. As ferramentas BIM permitem a extração de diferentes informações da mesma modelagem, por exemplo: estudo solar, iluminação natural e uso de energia, possibilitando um processo simultâneo entre o desenvolvimento do projeto de arquitetura e os estudos de desempenho ambiental.

Lapinskiene e Martinaitis (2013) analisam a combinação das ferramentas de simulação *DesignBuilder*, *SimaPro* e o método de avaliação proporcional complexa de múltiplos critérios (COPRAS). A grande vantagem foi a capacidade de adaptar vários critérios que devem ser considerados. As ferramentas não requerem grande experiência e facilitaram

o processo de projeto. Infelizmente os resultados do *DesignBuilder* e *SimaPro*, tiveram que ser extraídos e colocados manualmente no Excel e o método COPRAS gerou algumas dúvidas fazendo-se necessárias novas análises do estudo.

Andersen, Gagne e Kliendienst (2013) desenvolveram estudos-pilotos com 12 usuários utilizando o mesmo método e *software - Lightsolve*. O resultado inesperado foi que todos os participantes tomaram diferentes decisões. Nenhum dos participantes usou o sistema da mesma maneira, reafirmando a importância do repertório e conhecimento das variáveis da luz do dia na tomada de decisões de projeto.

Metodologias pontuais

Vários estudos possuem como objetivo investigar novas metodologias de projeto que auxiliem arquitetos com informações preliminares de iluminação natural nas primeiras fases dos processos de projetos, de forma mais pontual. Fonseca, Didoné e Pereira (2012) demonstram um comparativo entre dois modelos de aproximação de funções utilizadas para representar o potencial de economia de energia através do uso da iluminação natural em escritórios. Badarnah (2016) concentra-se na fase inicial do processo de projeto baseado na biomimética², apresentando uma estrutura de estratégias para gerenciamento de luz que facilita a busca e a seleção de estratégias apropriadas do grande banco de dados da natureza.

Wen, Hiyama e Koganei (2017) propõem uma metodologia que possibilita a criação de mapas de Percentual de Abertura da Fachada (PAF) recomendados. Com essas informações os arquitetos podem selecionar suas próprias soluções de acordo com os objetivos, preferências de projeto e demanda do cliente.

Outros autores trabalharam com métricas de conforto. Atzeri *et al.* (2016) apresentam um conjunto de métricas baseadas nos conceitos de conforto e facilidade de uso do espaço possibilitando ao projetista analisar o desempenho do edifício nos aspectos de provisão de luz natural, conforto visual e térmico. Kleindienst e Andersen (2012) também apresentam três métricas voltadas para o desempenho anual da luz do dia nos quesitos de iluminância, brilho e ganho de calor. Os autores apresentam um formato de escala de cores triangulares para auxiliar nas escolhas durante o processo de projeto.

Metodologias que apoiem os estudos de fachada também estão sendo realizados. Daly (2014) desenvolveu uma metodologia que analisa a fachada e divide-a em variáveis e valores, alocando automaticamente as aberturas com o objetivo de atender à certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). Yilmaz (2016) introduz um método de *design* de fachadas que é usado

para a determinação do desempenho da luz do dia orientando as decisões de projeto.

Outro fator muito importante no projeto de iluminação natural são os estudos dos dispositivos de sombreamento. Freewan (2015) apresenta uma matriz de dispositivos de luz diurna para ajudar os projetistas a escolher corretamente o dispositivo mais adequado durante o processo de construção. Trujillo (2014) incorpora a penumbra no processo de projeto arquitetônico criando tabelas necessárias para cálculo de dispositivos de sombreamento.

Araghi e Stouffs (2015) apresentam uma investigação sobre a integração de autômatos celulares no processo de projeto arquitetônico, especificamente no projeto de formas de construção residencial de alta densidade.

Pereira, Pereira e Castaño (2012) investigaram o modelo físico empregado na avaliação da iluminação natural, metodologia que tem sido empregada há várias décadas. Os autores visavam avaliar a metodologia nas duas fontes de erro mais citadas: medição sob condições de céu real e o efeito da escala, com o objetivo de reafirmar a validade da metodologia. Os erros foram inferiores a 5%, sendo possível afirmar que o método é confiável, desde que sejam tomados os cuidados na confecção dos modelos e nas medições.

Napier (2015) afirma que há falta de partilha de conhecimentos da pós-ocupação. Sem maior compartilhamento não há o discernimento das boas práticas, pois os benefícios de novos sistemas utilizados podem não ser adequados ao longo do tempo.

Influência do usuário

Outra preocupação encontrada nos artigos é a interação do processo de projeto com o usuário do ambiente. Gerber, Pantazis e Wang (2017) desenvolveram uma metodologia de projeto baseada na inclusão de preferências de luz do usuário já no início do processo de projeto.

Theodorson (2014) chamou atenção para a influência do projeto de interiores no aspecto da iluminação natural do ambiente. A autora argumenta que uma perspectiva do interior centrada no ser humano é um contributo crucial para processos de projeto colaborativo destinados a produzir edifícios de baixa energia e alto desempenho. Isso representa uma área emergente de prática para a qual o *design* de interiores está bem posicionado para desenvolver um papel importante nos processos de projeto colaborativo.

Khademagha *et al.* (2016) afirmam que a descoberta dos fotorreceptores demonstrou uma dupla função para os olhos humanos quando expostos à luz: possibilitar a visão pela geração de imagens e manter a saúde através dos efeitos não visuais. Portanto é de grande importância

incluir os requisitos desses efeitos não visuais em recomendações e padrões de projeto de iluminação. Os autores apresentam um quadro teórico das recomendações com base em resultados encontrados na literatura, que permite relacionar esses requisitos de luz não visuais (fatores de saúde humanos) em fatores de luz e conseqüentemente aos parâmetros de projeto arquitetônico.

Theodorson (2014) aborda a questão da possibilidade do usuário em controlar o ambiente. Esse fator aumenta a integração do usuário com o ambiente construído e melhora o conforto, a eficiência energética e o bem-estar do usuário. Day, Theodorson e Van Den Wymelenberg (2012) estudaram o comportamento dos ocupantes e a satisfação em relação a sua capacidade ou incapacidade de manipular os sistemas de iluminação natural no ambiente e analisar quais os fatores do processo de projeto que contribuíram para o comportamento dos usuários. Nos resultados, mais de 50% dos entrevistados relataram controles obstruídos em função do *layout* ou mobiliários pobres. Destes, quase 60% dos ocupantes modificaram seu ambiente para conseguir acesso a esses controles. Aquele estudo demonstrou a importância de uma abordagem integrada e multidisciplinar do processo de iluminação, que considere a resposta humana de uso do edifício.

Discussão

Pode-se afirmar que é imprescindível que os aspectos da iluminação natural sejam inseridos nas primeiras fases do processo de projeto de arquitetura, quando são definidas importantes variáveis do edifício como orientação, volumetria, *layout* dos ambientes, sombreamento e aberturas. Várias das metodologias apresentadas pelos autores dos trabalhos analisados buscam atender a esta demanda. Sendo assim, podemos identificar a grande contribuição da formação do arquiteto em relação a esses aspectos da iluminação. Devem ser abordados os aspectos qualitativos e quantitativos da luz, de modo a possibilitar ao arquiteto iniciar o processo de projeto com base mínima necessária para inclusão de tais aspectos.

Os estudos-pilotos de Andersen, Gagne e Kliendienst (2013) reafirmaram a importância do conhecimento da iluminação que o projetista deve ter, já que o repertório individual influencia nas decisões, mesmo quando se utiliza uma ferramenta comum.

Na prática, muitas vezes, as análises dos aspectos da iluminação natural são realizadas em fases posteriores, quando se torna possível o detalhamento exigido em *softwares* especializados. Essas alterações em fases posteriores geram custos e retrabalhos para todas as partes

envolvidas. Seria interessante então, que houvesse ferramentas e metodologias de projeto que apoiassem essas decisões já na fase inicial do projeto. Ochoa Morales, Aries e Hensen (2012) recomendam também que essas ferramentas interajam com diferentes usuários em interfaces mais adaptáveis.

Os *softwares* BIM são a grande promessa para integrar as ferramentas e desenvolver simulações de desempenho. Essas ferramentas possibilitam a extração de diferentes informações de uma mesma modelagem, permitindo um processo simultâneo entre o processo de projeto em arquitetura e estudos de desempenho ambiental e energético.

Ferramentas que auxiliem na concepção de fachadas e na escolha dos dispositivos de sombreamento também são desejáveis, desde que sejam interativas com o processo de projeto de arquitetura, pois são itens cruciais para a captação e proteção da luz do dia, e têm grande influência o desempenho dos edifícios.

Outra vertente de estudos em foco é a interação do usuário com o ambiente. Para isso, o projetista deve ter conhecimento das necessidades humanas a serem consideradas no projeto. Segundo Guzowski (1999) a tríade dos aspectos humanos, ambientais e arquitetônicos deve ser levada em consideração para que o projeto seja realmente sustentável.

A automação da iluminação não é abordada nos artigos que compõem essa RSL, mas é um assunto que merece ser levado em conta em trabalhos futuros.

Conclusão

São desejáveis novos estudos que possam incentivar e treinar o olhar do arquiteto ou estudante de arquitetura para a adequada apropriação da luz do dia, de modo que ele tenha subsídios necessários para incluí-la nas fases iniciais do projeto.

Quanto às simulações computacionais, recomenda-se que as futuras ferramentas sejam mais adaptáveis às diversas fases do projeto e permitam a inclusão das preferências dos usuários. Pode-se explorar a criação dessas ferramentas adaptáveis ao conceito BIM.

As ferramentas para estudos de fachadas e dispositivos de sombreamento devem ser mais interativas com o processo de projeto em arquitetura, ou então, continuarão sendo negligenciadas nesse processo.

Os itens de estudos de preferências do usuário e automação dos sistemas de iluminação também devem ser abordados em trabalhos futuros.

Notas

- (1) Portal de pesquisa que oferece acesso a textos completos disponíveis em mais de 38 mil publicações periódicas, internacionais e nacionais, e a diversas bases de dados que reúnem desde referências e resumos de trabalhos acadêmicos e científicos até normas técnicas, patentes, teses e dissertações dentre outros tipos de materiais, cobrindo todas as áreas de conhecimento.
- (2) Biomimética é um campo em rápido crescimento na engenharia e ciência dos materiais, embora a aplicação à arquitetura seja recente. Um dos principais desafios é a busca e a seleção de estratégias relevantes do vasto banco de dados da natureza.

Referências

- 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, nov. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.014>
- ARAGHI, S. K.; STOUFFS, R. Exploring cellular automata for high density residential building form generation. **Automation in Construction**, v. 49, n. PA, p. 152–162, jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.007>
- ARPACIOGLU, U.; ERSOY, H.Y. Daylight and energy oriented architecture design support model. **Gazi University Journal of Science**, Turquia, v. 26, n. 2, p. 331–346, jan. 2013.
- ATZERI, A. M. *et al.* Comfort metrics for an integrated evaluation of buildings performance. **Energy and Buildings**, v. 127, p. 411–424, set. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.007>
- BADARNAH, L. Light Management Lessons from Nature for Building Applications. **Procedia Engineering**, v. 145, p. 595–602, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.049>
- BRANDSTON, H. **Aprender a ver: a essência do design da iluminação**. São Paulo, SP: De Maio Comunicação e Editora, 2010.
- BUSTAMANTE, W.; URIBE, D.; VERA, S.; MOLINA, G. An integrated thermal and lighting simulation tool to support the design process of complex fenestration systems for office buildings. **Applied Energy**, v. 198, p. 36–48, jul. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.04.046>
- DALY, H. M. T. Automated fenestration allocation as complying with LEED rating system. **Alexandria Engineering Journal**, Alexandria, v. 53, n. 4, p. 883–890, dez. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2014.09.011>
- DAY, J.; THEODORSON, J.; VAN DEN WYMELENBERG, K. Understanding controls, behaviors and satisfaction in the daylight perimeter office: A daylight design case study. **Journal of Interior Design**, Illinois, v. 37, n. 1, p. 17–34, mar. 2012. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1939-1668.2011.01068.x>
- FONSECA, R. W.; DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Modelos de predição da redução do consumo energético em edifícios que utilizam a iluminação natural através de regressão linear multivariada e redes neurais artificiais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 163–175, jan./mar. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212012000100011>
- FREEWAN, A. A. Developing daylight devices matrix with special integration with building design process. **Sustainable Cities and Society**, v. 15, p. 144–152, jul. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.11.003>
- GERBER, D. J.; PANTAZIS, E.; WANG, A. A multi-agent approach for performance based architecture: Design exploring geometry, user, and environmental agencies in façades. **Automation in Construction**, v. 76, p. 45–58, abr. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.001>
- GUZOWSKI, M. **Daylighting for Sustainable Design**. New York: McGraw-Hill Professional, 1999.
- KARLEN, M. B, J. **Lighting design basics**. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2004.
- KHADEMAGHA, P. *et al.* Implementing non-image-forming effects of light in the built environment: A review on what we need. **Building and Environment**, v. 108, p. 263–272, nov. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.035>

KLEINDIENST, S.; ANDERSEN, M. Comprehensive annual daylight design through a goal-based approach. **Building Research and Information**, v. 40, n. 2, p. 154–173, fev. 2012. <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2012.641301>

LAM, W. **Perception and Lighting as Formgivers for Architecture**. New York: McGraw-Hill, 1977.

LAPINSKIENE, V.; MARTINAITIS, V. The Framework of an Optimization Model for Building Envelope. **Procedia Engineering**, v. 57, p. 670–677, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.085>

LIM, Y. W. Building information modeling for indoor environmental performance analysis. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 11, n. 2, p. 55–61, 2015. <http://thescipub.com/abstract/10.3844/ajessp.2015.55.61>

NAPIER, J. Climate based façade design for business buildings with examples from central London. **Buildings**, v. 5, n. 1, p. 16–38, jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.3390/buildings5010016>

NEUMANN, D. **The structure of light: Richard Kelly and the illumination of modern architecture**. New Haven: Yale University Press, 2010.

OCHOA MORALES, 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, n. 4, p. 209–233, 2012. <http://dx.doi.org/10.1080/19401493.2011.558211>

PEREIRA, F. O. R.; PEREIRA, R. C.; CASTAÑO, A. G. Quão confiáveis podem ser os modelos físicos em escala reduzida para avaliar a iluminação natural em edifícios? **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 131–147, jan./mar. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212012000100009>

THEODORSON, J. Energy, daylighting, and a role for interiors. **Journal of Interior Design**, v. 39, n. 2, p. 37–56, jun. 2014. <http://dx.doi.org/10.1111/joid.12027>

TRUJILLO, J. H. S. Calculation of the shadow-penumbra relation and its application on efficient architectural design. **Solar Energy**, v. 110, p. 139–150, dez. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2014.08.043>

WEN, L.; HIYAMA, K.; KOGANEI, M. A method for creating maps of recommended window-to-wall ratios to assign appropriate default values in design performance modeling: A case study of a typical office building in Japan. **Energy and Buildings**, v. 145, p. 304–317, jun. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.028>

YILMAZ, F. S. Proposal of a façade design approach for daylight performance determination in buildings. **A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture**, v. 13, n. 2, p. 57–64, jul. 2016. <http://dx.doi.org/10.5505/itujfa.2016.49140>

¹ **Jéssica Cristine da Silva Fonseca Matos**

Arquiteta e Urbanista. Mestranda em Arquitetura, Tecnologia e Cidade na Universidade Estadual de Campinas. Endereço Postal: Rua Saturnino de Brito, 224, Cidade Universitária Zeferino Vaz – Campinas/SP, Brasil. CEP: 13083-889.

² **Paulo Sergio Scarazzato**

Arquiteto. Doutor em Arquitetura e Urbanismo. Professor Doutor II junto à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo & à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Endereço Postal: Rua Saturnino de Brito, 224, Cidade Universitária Zeferino Vaz – Campinas/SP, Brasil. CEP: 13083-889.