

EDITORA



UnB

Simulação, Ambiente e Energia no Espaço Construído

**Caio Frederico e Silva, Gustavo de Luna Sales,
Joára Cronemberger e Vanda Alice Garcia Zanoni
(Organizadores)**



Pesquisa,
Inovação
& Ousadia



Universidade de Brasília

Reitora
Vice-Reitor

Márcia Abrahão Moura
Enrique Huelva

EDITORA



UnB

Diretora

Germana Henriques Pereira

Conselho editorial

Germana Henriques Pereira (Presidente)
Fernando César Lima Leite
Beatriz Vargas Ramos Gonçalves de Rezende
Carlos José Souza de Alvarenga
Estevão Chaves de Rezende Martins
Flávia Millena Biroli Tokarski
Jorge Madeira Nogueira
Maria Lidia Bueno Fernandes
Rafael Sanzio Araújo dos Anjos
Sely Maria de Souza Costa
Verônica Moreira Amado

EDITORA



UnB

Simulação, Ambiente e Energia no Espaço Construído

Caio Frederico e Silva, Gustavo de Luna Sales,
Joára Cronemberger e Vanda Alice Garcia Zanoni
(Organizadores)



Pesquisa,
Inovação
& Ousadia

Coordenadora de produção editorial
Preparação e revisão

Equipe editorial

Luciana Lins Camello Galvão
Alexandre Vasconcellos de Melo

© 2018 Editora Universidade de Brasília

Direitos exclusivos para esta edição:
Editora Universidade de Brasília
SCS, quadra 2, bloco C, nº 78, edifício OK,
2º andar, CEP 70302-907, Brasília, DF
Telefone: (61) 3035-4200
Site: www.editora.unb.br
E-mail: contatoeditora@unb.br

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser armazenada ou reproduzida por qualquer meio sem a autorização por escrito da Editora.

Esta obra foi publicada com recursos provenientes do Edital DPI/DPG nº 2/2017.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília

S614 Simulação, ambiente e energia no espaço construído /
 organizadores, Caio Frederico e Silva ... [et al.]. – Brasília :
 Editora Universidade de Brasília, 2020.
 284 p. ; 23 cm. – (Pesquisa, inovação & ousadia).

ISBN 978-65-5846-043-5

1. Simulação computacional. 2. Desempenho energético. 3.
Sustentabilidade. I. Silva, Caio Frederico e (org.). II. Série.

CDU 72

Sumário

Prefácio	7
<i>Otto Ribas</i>	
Apresentação	9
Parte 1: Inputs – conforto, vento e luz	
Capítulo 1. Simulação do clima urbano do Distrito Federal: experimentando o ENVI-met	17
<i>Caio Frederico e Silva e Marta Adriana Bustos Romero</i>	
Capítulo 2. Caracterização de dados e arquivos climáticos de Brasília para simulação higrotérmica.....	55
<i>Vanda Alice Garcia Zanoni e José Manoel Morales Sánchez</i>	
Capítulo 3. Ferramentas para a simulação de ventilação natural na Arquitetura	99
<i>Gustavo de Luna Sales e Marta Adriana Bustos Romero</i>	
Capítulo 4. Qualidade da luz natural e ferramentas para o projeto arquitetônico	127
<i>Júlia Teixeira Fernandes e Cláudia Naves David Amorim</i>	

Parte 2: Outputs – ambiente construído e energia

Capítulo 5. Irradiação solar: ferramenta de análise para o uso de energia solar fotovoltaica em edifícios no Brasil 173

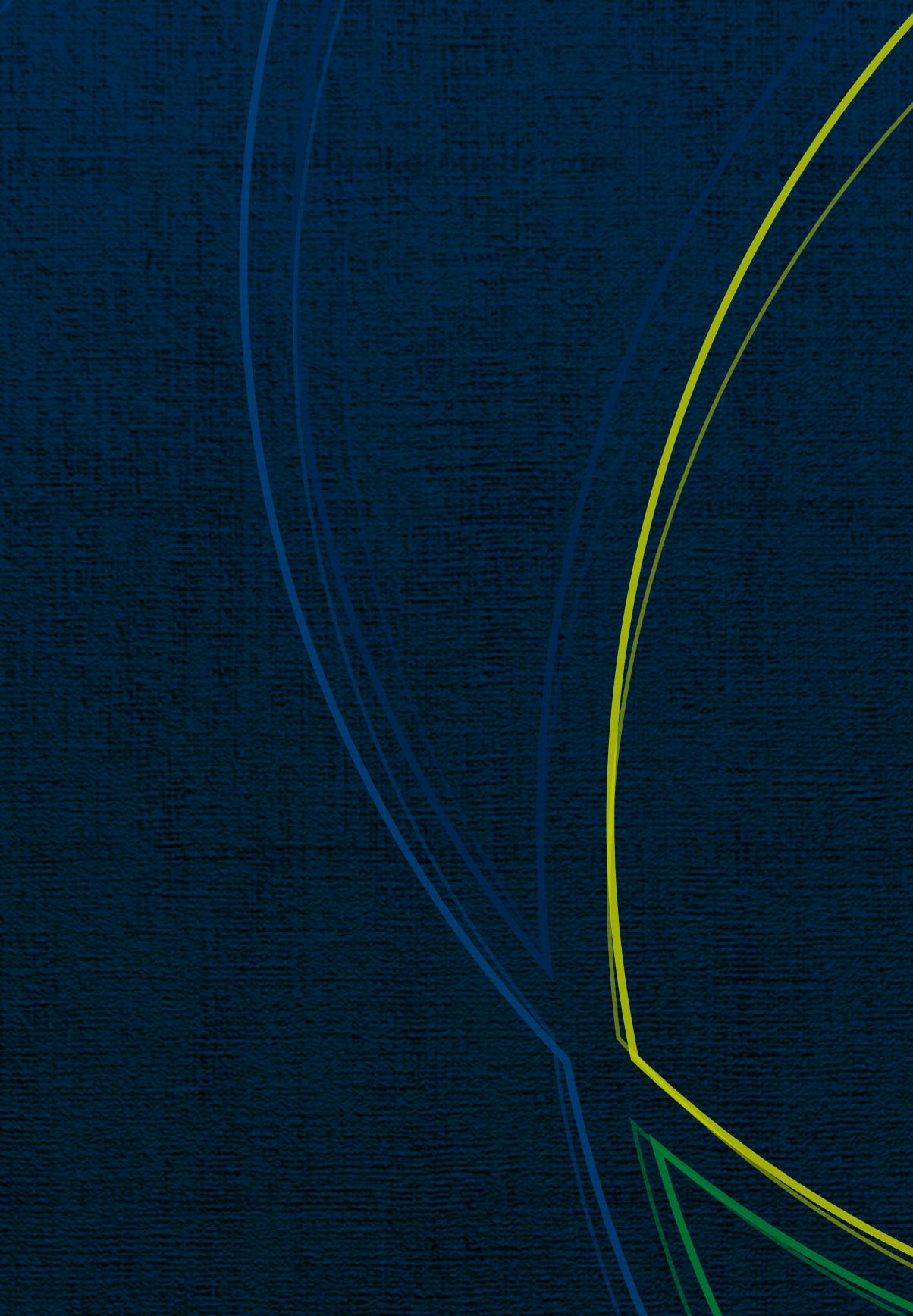
Joára Cronemberger e Estefanía Caamaño-Martín

Capítulo 6. Análise do balanço energético de casa pré-fabricada ZEB em Brasília 215

Larissa Sudbrack e Cláudia Naves David Amorim

Capítulo 7. Considerações sobre uma pauta para governança da eficiência energética 259

*Tássia Fonseca Latorraca, Raquel Naves Blumenschein e
Maria Vitória Duarte Ferrari*



Parte 1

Inputs – conforto, vento e luz



CAPÍTULO 4

Qualidade da luz natural e ferramentas para o projeto arquitetônico

Júlia Teixeira Fernandes e Cláudia Naves David Amorim

A temática da qualidade de luz natural é complexa e multidisciplinar, pois envolve simultaneamente a avaliação de muitas variáveis e critérios, o que exigiu, ao longo do tempo, o aperfeiçoamento dos métodos em busca de resultados que reflitam o dinamismo e a temporalidade da luz natural. Nesse sentido, o uso dos variados tipos de *softwares* contribui para estudos mais precisos e o desenvolvimento de projetos e normas para melhoria do ambiente construído.

1. O conceito de qualidade da iluminação

Atualmente, o conceito de *Qualidade da iluminação* aparece como o início de uma discussão importante para o estabelecimento de novos critérios e métodos de avaliação mais consistentes com a realidade contemporânea, especialmente com relação à integração de iluminação artificial e natural.

Boyce (1996; 2003) alerta que os valores estabelecidos nas normas, internacionalmente, têm alterado os níveis de iluminância em função do desenvolvimento

político-econômico, e não das reais necessidades humanas (visibilidade, desempenho da tarefa, conforto visual, comunicação social, saúde, bem-estar e segurança).

No Quadro 1 é possível ver a relação dos níveis de iluminância exigidos pela IES e a situação econômica. Percebe-se que existe diminuição das exigências paralelo às crises econômicas (energia), mesmo que para o desenvolvimento do mesmo tipo de tarefa.

Quadro 1: Recomendações de iluminância (lux) para leitura, relacionadas a cada edição do IES Lighting Handbook, tecnologia dominante de lâmpadas usadas na iluminação de escritórios e o estado econômico/político dos EUA

Versão IES	Tarefa Visual	Nível de Iluminâncias	Tipo de Lâmpada	Situação Político/Econômica
1947	regular difícil	300-500	Incandescente	Crescimento moderado
1954	regular difícil	300-500	Incandescente / Fluorescente	Crescimento acelerado
1959	regular difícil	1000-2000	Fluorescente	Crescimento acelerado
1966	regular difícil	1000-1500	Fluorescente	Crescimento acelerado
1972	regular difícil	1000-1500	Fluorescente	Crescimento
1981	regular difícil	200-300-500-750-1000	Fluorescente	Crise energética
1987	regular difícil	200-300-500-750-1000	Fluorescente	Crise energética
1993	regular difícil	200-300-500-750-1000	Fluorescente	Consciência ambiental

Fonte: Fernandes (2016) (Adaptado de Boyce, 2003).

Osterhaus (2009) investiga o desenvolvimento de normas para iluminação de escritórios em 80 anos e discute a prática recomendada de iluminação e a natureza

quantitativa das recomendações. O autor afirma que os valores de iluminância, depois de estarem em ascensão por quase um século, atingiram o seu pico e foram descendo para um nível mais apropriado. Enfatiza, ainda, a importância de os projetistas e pesquisadores gradativamente focarem sua atenção em aspectos da luz, que vão além das preocupações com as iluminâncias (luz incidente na superfície), ou seja, devem se preocupar também com as luminâncias (luz refletida), considerando uma abordagem mais qualitativa da iluminação.

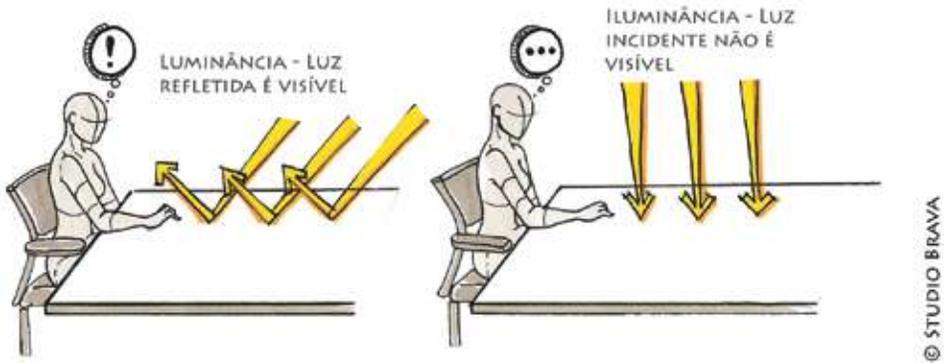
As conclusões das pesquisas avaliadas apontam para uma nova abordagem: a busca de critérios qualitativos para a iluminação, em especial para a luz natural. Além disso, buscam definir como esses critérios poderiam ser trabalhados em normas e recomendações, sem restrições que interfiram na liberdade projetual. Apesar das investigações focarem nas questões quantitativas, é necessário avaliá-las no contexto das necessidades e suposições qualitativas (BOYCE, 2014; GALASIU; VEITCH, 2006; ARAJI, 2008; ARIES; VEITCH; NEWSHAM, 2010; DEHOFF, 2010; AIZENBERG, 2013; BARBATO *et al.*, 2013; DJOKIC; KOSTIC, 2013).

A abordagem quantitativa deve ser o início básico dos estudos, sendo crucial a definição dos parâmetros e critérios que serão utilizados em cada tipo de avaliação, segundo seus propósitos específicos (GALASIU; VEITCH, 2006).

A iluminação tem como função básica oferecer as condições visuais adequadas para que as pessoas possam desempenhar as atividades com eficácia, eficiência e conforto. Assim, é necessária a avaliação de critérios de desempenho e conforto (iluminâncias, luminâncias, refletâncias das superfícies, uniformidade, contrastes, ofuscamento, direcionalidade, modelagem, reprodução de cores, etc.), tanto em uma abordagem quantitativa (cálculos, medições, simulações) quanto qualitativa (percepção do usuário).

A Figura 1 apresenta a diferença entre a luz incidente e a luz visível. Como a reflexão da luz está diretamente relacionada às propriedades dos materiais superficiais, uma mesma quantidade de iluminância incidente pode gerar diferentes luminâncias.

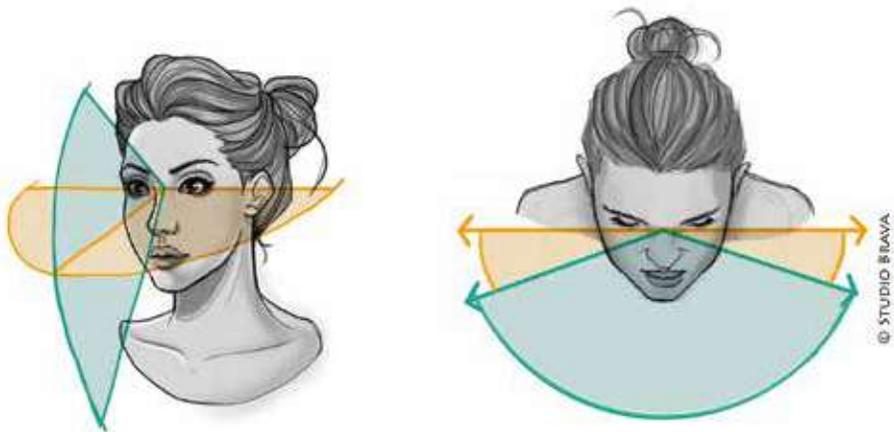
Figura 1: Iluminâncias (lux) = luz incidente e luminância (CD/m²) = luz refletida



Fonte: Fernandes (2016, p. 38). Ilustração: João Felix.

Além disso, a avaliação apenas da incidência de luz nas superfícies não é adequada, uma vez que as pessoas percebem o ambiente luminoso e, conseqüentemente, a luz pelo seu campo visual, conforme Figura 2 (BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993).

Figura 2: Campo Visual



Fonte: Fernandes (2016, p. 38). Ilustração: João Felix.

Veitch e Newsham (1996) apontam que a avaliação de iluminâncias em um escritório é importante no desempenho visual apenas quando os níveis estão muito baixos. Eles enfatizam que, atualmente, os usuários de escritórios executam suas atividades visualizando um plano vertical (telas de computador) por mais tempo. Assim, é mais coerente avaliar a satisfação dos usuários com base em avaliações de luminâncias no campo visual do que simplesmente medir níveis de iluminância no plano de trabalho horizontal (mesa).

Diante de diversas críticas quanto à avaliação da iluminação apenas por parâmetros quantitativos, a discussão nas pesquisas passa a focar na Qualidade da Iluminação e como novos parâmetros, índices e métricas poderão ser incorporados a recomendações, normas e guias projetais em uma abordagem multidisciplinar. A evolução dos *softwares* de simulação colabora para o aperfeiçoamento dos métodos e a geração de resultados mais precisos e amplos.

Para estabelecer a relação entre iluminação, conforto, bem-estar dos usuários e a influência da arquitetura, é preciso buscar a definição do conceito de Qualidade da Iluminação, abordado em diversas áreas: Arquitetura, Engenharia, Arte, Psicologia e Medicina. (VEITCH, 2006; TRALAU, 2011).

A *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA) aponta que a Qualidade da Iluminação está, primeiramente, relacionada com a visibilidade, que é definida a partir das necessidades humanas que dependem da iluminação: humor e atmosfera, desempenho de tarefa, conforto visual, julgamento estético, saúde, segurança e bem-estar e, por fim, comunicação social (IESNA, 2000).

É fundamental o conhecimento dessas relações para fornecer dados sobre a Qualidade da Iluminação. O conceito definido pela IESNA (2000), apresentado na Figura 3, é amplamente referenciado atualmente no meio acadêmico e baseia-se na interação de três aspectos gerais: arquitetura, aspectos econômicos e necessidades humanas.

Figura 3: Diagrama que demonstra o modelo de Qualidade da Iluminação para a IESNA



Fonte: Fernandes (2016, p. 41). (Adaptado de IESNA, 2000)

A complexidade em definir o conceito de Qualidade da Iluminação está justamente na dependência da avaliação de várias dimensões, não podendo ser baseada em uma simples medida ou técnica de medição (BOYCE, 2014). Iluminamos os espaços para atender às mais variadas necessidades humanas e, por isso, não existe uma medida unitária da adaptabilidade entre esses objetivos e os resultados conseguidos (MARTAU, 2008). Vários autores buscam conceitos ou modelos que contribuam para demonstrar os fatores que devem estar presentes na boa iluminação. Martau (2008), por exemplo, estabelece oito diretrizes relacionadas à Qualidade da Iluminação:

1. Orientar e definir o tempo e o espaço para os usuários;
2. Ser elemento de composição do projeto;
3. Dar suporte às intenções (forma, cores, materiais);
4. Criar caráter e atmosfera do lugar, segundo as expectativas dos usuários;
5. Permitir e promover a comunicação;
6. Conter uma mensagem e significado (brilho, cor e movimento);
7. Ser original e causar efeito;
8. Permitir que as pessoas vejam e reconheçam o ambiente.

Veitch e Newsham (1996) defendem que a Qualidade da Iluminação depende das condições da luz que causam impactos desejáveis às pessoas que usarão o ambiente, como, por exemplo, o desempenho visual, o conforto visual, a interação e as comunicações sociais, a saúde e a segurança, o humor, o bem-estar, a satisfação e os julgamentos estéticos. De forma esquemática, demonstra-se a importância dos parâmetros relacionados às variáveis no Quadro 2. Os espaços vazios do quadro significam relações em que há pouca evidência, ou mesmo nenhuma, para se alcançar resultados conclusivos. Os espaços mais escuros são onde mais se devem investir estudos e esforços, segundo os autores, principalmente em pesquisas comportamentais a fim de investigar a gama de resultados e combinações possíveis.

Para Veitch, Christoffersen e Galasiu (2013), existe um grande problema criado pelos manuais ou pela interpretação errônea deles, já que, por apresentarem apenas indicadores quantitativos (iluminâncias recomendadas), estariam contribuindo para projetos de baixa qualidade e estimulando-os. Osterhaus (2009) afirma que o interesse recente na Qualidade da Iluminação e Produtividade, bem como o interesse renovado em Eficiência Energética puseram em evidência a falta de diretrizes e recomendações apropriadas para os projetistas (arquitetos e designers de interiores e iluminação). A consequência disso é que os ambientes, especialmente de escritórios, têm apresentado problemas com ofuscamento e consumo de energia.

De acordo com Dehoff (2010), deve haver um equilíbrio da Eficiência Energética e Qualidade de Iluminação, o qual pode ser avaliado com a relação de dois indicadores específicos: o *Lighting Energy Numeric Indicator* (LENI) e o *Ergonomic Lighting Indicator* (ELI). O LENI avalia a quantidade de energia utilizada para iluminação artificial do edifício durante um ano de uso, em kWh / (m² ano). Muitas normas e certificações europeias baseiam-se nesse indicador. O ELI especifica aspectos da Qualidade da Iluminação, sejam eles normativos, subjetivos e/ou criativos, por meio de questionários com usuários e medições realizadas por especialistas. São avaliados pelo ELI os cinco critérios: desempenho visual, vista, conforto visual, vitalidade e autonomia.

Quadro 2: Relação entre as variáveis no estudo de iluminação

Variáveis Independentes	Variáveis Dependentes						
	Conforto Visual	Desempenho Visual	Interação Social, Comunicação	Humor, Preferências, Satisfação	Saúde e Segurança	Julgamento Estético	
Luminância							
Iluminância							
Uniformidade (tarefa)							
Uniformidade (ambiente)							
Ofuscamento							
Cor							
Flicker							
Sistema de Iluminação							
Controle							
Ilum.Natural e Janela							

Fonte: Fernandes (2016, p. 40). (Adaptado de Veitch e Newsham, 1996).

Na discussão sobre Qualidade da Iluminação, algumas conclusões da pesquisa de Hellinga (2013) são importantes, como:

- A confirmação da área preferível de janela corresponde ao indicado pela literatura: mínima de 20-25% para o conforto visual, e preferência por 30%; fachadas totalmente envidraçadas não são as preferíveis. As pessoas preferem janelas horizontais, com posição relacionada à vista exterior;
- Indica que a quantidade de luz natural em um escritório influencia no conforto visual, bem como sua disposição e sua orientação.
- Pesquisas futuras poderiam investigar melhor a relação entre o conteúdo da vista e a preferência da complexidade e diversidade da paisagem.

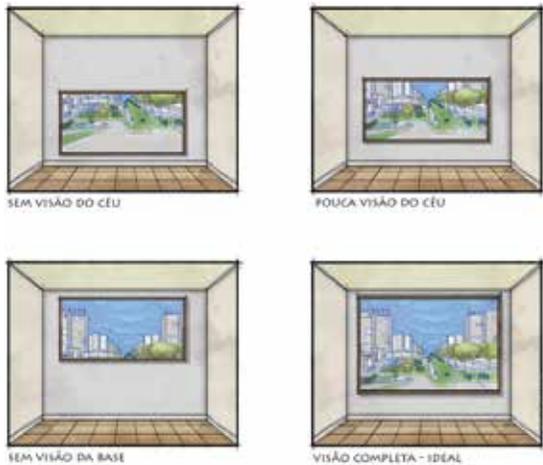
Bell e Burt (1995) também asseveram que olhar para um ponto distante no horizonte através de uma janela proporciona um relaxamento aos músculos oculares e vistas de cenas naturais com vegetação e céu despertam interesse pela variedade e pelo movimento que oferecem. Quando o cenário externo é urbano, vistas dinâmicas com atividades humanas e com mudanças do clima são preferidas pela maioria das pessoas (BELL; BURT, 1995; TOLEDO, 2008).

Segundo o *BS Daylight Code* (1992, p.100), citado por Toledo (2008), uma vista pode ser dividida em três camadas:

- Superior (distante): o céu acima do *skyline* natural ou urbano;
- Média: o objeto ou a cena, como campos, árvores, montanhas e edificações;
- Inferior (próximo): a base da cena, como pisos e pavimentações.

Para uma vista agradável, recomenda-se um equilíbrio na proporção entre as camadas (Figura 4). Segundo Toledo (2008), as vistas que contêm as três camadas são as mais satisfatórias para os usuários do ambiente em questão. Vistas em que o céu não aparece, ou em que as camadas estão desproporcionais, costumam causar insatisfação.

Figura 4: Divisão de camadas da vista exterior



Fonte: Fernandes (2016, p. 80). (Adaptado de Toledo, 2008). Ilustração: João Felix.

Assim, os estudos de iluminação natural foram intensificados na última década, principalmente em função do desenvolvimento de métricas e métodos específicos. Além disso, ficou clara a necessidade de um olhar multidisciplinar, com avaliação concomitante de aspectos da arquitetura, do usuário e do meio ambiente externo. Fernandes (2016) buscou sintetizar o conceito de Qualidade da Iluminação pela integração entre o desempenho visual (nível e distribuição de iluminâncias no plano horizontal), conforto visual (ofuscamento e contraste no campo visual), qualidade da vista exterior, eficiência energética e satisfação do usuário, conforme Figura 5.

Figura 5: Conceito de Qualidade da Iluminação



Fonte: Fernandes (2016, p. 47).

Apesar dos cinco aspectos da Qualidade da Iluminação, a depender da abordagem, cada pesquisa deve ponderar o uso de cada um deles e avaliar as variáveis de estudo, os critérios de avaliação e os métodos mais adequados em função de seus objetivos específicos.

2. Luz natural: benefícios e variáveis de avaliação

Os espaços construídos têm como principal finalidade atender às necessidades humanas. Este deve ser um conceito primário da estruturação formal dos ambientes e da própria arquitetura como ciência. No contexto da iluminação, os espaços são (ou deveriam ser) projetados para o desempenho e o conforto visual, uma vez que a satisfação do usuário influenciará o seu comportamento, a sua produtividade e o seu bem-estar físico e emocional.

Boyce, Hunter e Howlet (2003) realizaram uma revisão sobre os benefícios da iluminação natural proveniente de janelas, avaliando os impactos no desempenho e na produtividade em locais de trabalhos, na saúde humana e no retorno financeiro. As conclusões demonstraram que:

1. Fisicamente, a luz natural é apenas mais uma fonte de radiação eletromagnética, o que poderia apontar para uma facilidade de replicação pela luz artificial. No entanto, na realidade, os sistemas artificiais ainda não conseguem apresentar todas as características positivas detectadas na iluminação natural, justamente por ela ter uma variação constante. Assim, não existem garantias em relação à manutenção do desempenho da iluminação natural, uma vez que há uma maior possibilidade de ocorrência de ofuscamento,¹ brilhos e sombras indesejáveis.

¹ “Ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão e pode ser experimentado tanto como um *ofuscamento desconfortável* quanto um *ofuscamento inabilitador*.” (NBR ISO/CIE 8995, 2013, grifos nossos).

2. Fisiologicamente, a luz natural é um estimulante eficaz para o sistema visual e o sistema circadiano humano e, psicologicamente, é um atrativo para o usuário. A vista externa é muito desejada, e janelas que fornecem uma visão agradável de fora podem reduzir o estresse e, por consequência, a demanda por serviços de saúde.
3. Diferentes condições de iluminação podem mudar o humor dos ocupantes de um edifício; no entanto, não é simples estabelecer as condições ideais de iluminação que favoreçam um ambiente satisfatório para todos. Indivíduos que preferem a luz natural e ficam expostos a ela durante o dia podem ficar mais satisfeitos, se comparados a indivíduos com a mesma preferência e que têm seu acesso à iluminação natural limitado.

A disponibilidade da luz natural está relacionada principalmente com aspectos sazonais do clima (nebulosidade e radiação solar) de regiões onde há variações de luminosidade em função da época do ano e da hora do dia. Esses aspectos também são influenciados pela qualidade do ar e as características físicas e geográficas (latitude, continentalidade e altitude, orientação e configuração do entorno). Percebe-se, portanto, que a disponibilidade de luz é determinada por características dinâmicas e de caráter local.

Em função da complexidade e da diversidade de situações climáticas e atmosféricas, a Comissão Internacional de Iluminação (*CIE Commission Internationale de l'Eclairage*) estabeleceu 15 modelos de céu para estudos da luz natural. De forma geral, são identificados, geralmente, como céu de luminosidade uniforme (hipotético), céu encoberto (típico de latitudes altas, como o norte europeu), céu claro (típico das baixas latitudes, como o sul europeu e regiões equatoriais) e céu parcialmente encoberto ou intermediário (regiões tropicais e subtropicais).

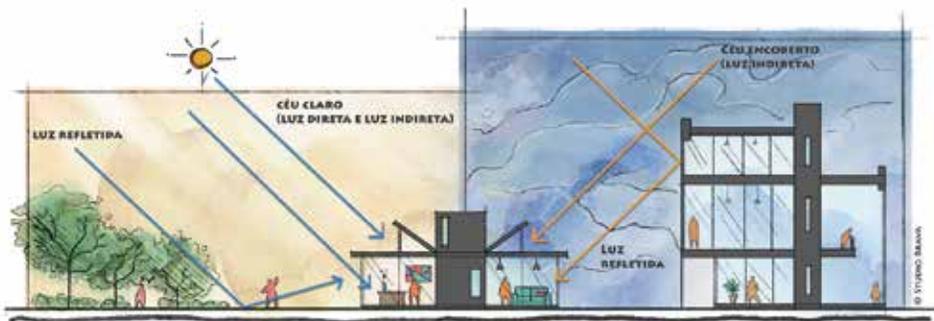
Para o Brasil, de modo geral, o céu parcialmente encoberto ou intermediário é o mais representativo, como comprovado por Scarazzato (1995), que fez um levantamento das condições típicas de céu nas diferentes capitais brasileiras para os dias

típicos.² Essa peculiaridade reforça o alerta para o perigo de adoção de critérios e normas internacionais, comparativos de estudos de caso e metodologias elaboradas com base em climas e tipos de céu fora dos padrões brasileiros.

Na realidade brasileira, por exemplo, são encontrados valores elevados de iluminâncias, em espaços abertos, que ultrapassam os 70.000 lux ao meio dia no inverno e 100.000 lux no verão. Para o desenvolvimento de tarefas de alta precisão, são necessários aproximadamente 1.500 lux, dessa forma, observa-se que existe um excedente significativo de luz natural disponível.

Além da significativa diferença na disponibilidade de luz entre uma situação de céu claro e céu encoberto, a interferência do entorno também é determinante no desempenho lumínico nos ambientes interiores. Destaca-se a importância de as normas urbanísticas também serem elaboradas em função da visão da abóbada celeste resultante das edificações do entorno, que moldam a configuração da abóbada celeste resultante. Essas relações de tipo de céu e obstruções externas são apresentadas na Figura 6:

Figura 6: Diferença de Disponibilidade de Luz (Tipo de Céu) e Obstruções Externas (entorno)



Fonte: Fernandes (2016, p. 54). Ilustração: João Felix.

As soluções arquitetônicas, por sua vez, devem ser coerentes e comprometidas com o conforto visual dos usuários, pois existe um elevado risco de desconforto por

² Aqueles que melhor representam as condições mais frequentes de nebulosidade em cada local.

excesso de luz natural, tanto em termos quantitativos como qualitativos (VIANNA; GONÇALVES, 2007).

Em relação às variáveis do entorno do edifício, Amorim (2007) estabelece como principais critérios do espaço urbano: o desenho urbano, a refletância e a especularidade das fachadas dos edifícios do entorno e o ângulo máximo de incidência do sol na base do edifício. De forma complementar, autores ressaltam que o espaço urbano influencia no aproveitamento da iluminação em função do desenho urbano, da configuração espacial, das obstruções, das características dos materiais superficiais (texturas, cores, refletâncias), da disposição das edificações (dimensões, proporções e espaçamentos), da densidade, rugosidade e porosidade (ROMERO, 2000; LEDER *et al.*, 2007).

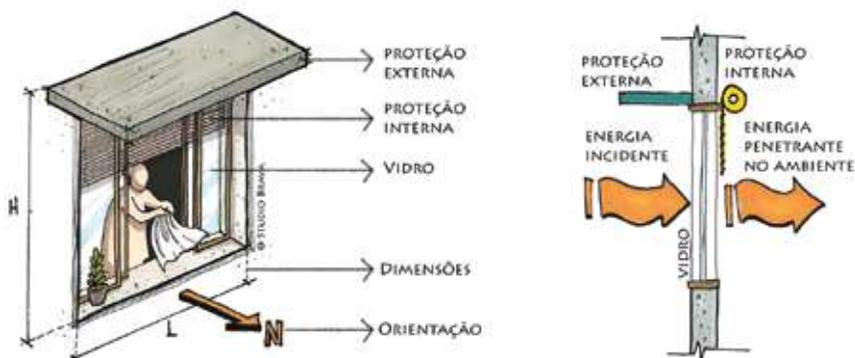
Na escala do edifício, os aspectos relacionados à forma (compacidade, porosidade e esbeltez) e à envoltória são os grandes responsáveis pelo desempenho da iluminação natural (ROMERO, 2000). Amorim (2007), baseado em Baker, Fanchiotti e Steemers (1993), aponta que os principais parâmetros para avaliação da iluminação de um edifício são: a forma, a planta baixa, a taxa de abertura, a orientação, a distribuição das aberturas nas fachadas, as proteções solares e as aberturas zenitais.

Para o ambiente interno, aspectos relacionados à dimensão e à proporção do ambiente – características do coletor de luz, especificação do vidro, dispositivo de sombreamento e materiais superficiais – são grandes definidores da Qualidade da Iluminação Natural (BELL; BURT, 1995; BITTENCOURT *et al.*, 1995; BOGO *et al.*, 2009; CINTRA, 2011; TABET AOUL, 2012).

A abertura (Figura 7), com suas dimensões, seu posicionamento, sua orientação e seus elementos de controle, além de definir a quantidade e a qualidade de luz interna, também é o elemento que promove a integração com o meio exterior e faz o enquadramento de uma visão específica para o usuário. Essa vista exterior influencia na percepção do espaço e na própria satisfação e bem-estar dos indivíduos (ARAJI, 2008; ARIES *et al.*, 2010; SHIN *et al.*, 2012; HELLINGA, 2013). Por isso,

o entendimento específico da abertura lateral, particularmente da janela, nos estudos de iluminação natural, é fundamental para o desempenho visual, o conforto visual e a qualidade da vista exterior.

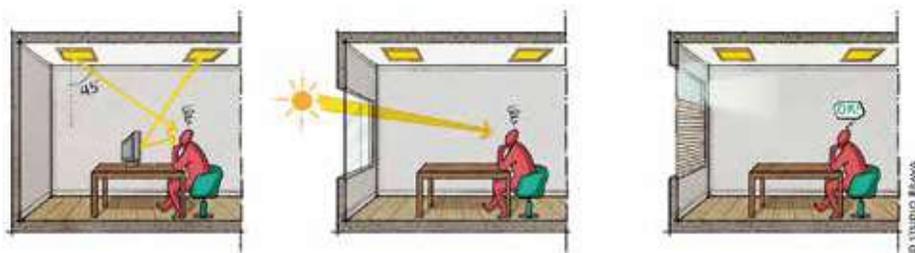
Figura 7: Principais variáveis da janela



Fonte: Fernandes (2016, p. 93). Ilustração: João Felix.

Janelas amplas podem proporcionar níveis mais altos de iluminação natural e melhor vista para o exterior, mas também podem causar ofuscamento e maiores ganhos ou perdas de calor, o que refletirá no desconforto do usuário e gerará maior consumo de energia para o condicionamento artificial (GHISI; TINKER; IBRAHIM, 2005; FERNANDES, 2009; LIMA, 2010; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A Figura 8 apresenta exemplos de ofuscamento causado pela visão direta de fontes de luz: natural (janela) e artificial (luminária e tela de computador).

Figura 8: Exemplos de ofuscamento causado por iluminação artificial e iluminação natural

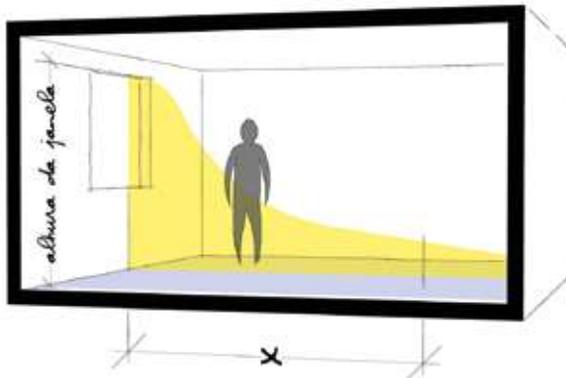


Fonte: Fernandes (2016, p. 71). Ilustração: João Felix.

É comum que o usuário use proteções internas (persianas) para bloquear a entrada da radiação ou da luz excessiva e sistemas artificiais por conseguir maior controle e qualidade (AMORIM, 2007; LIMA, 2010). No entanto, a vista para o espaço externo fica comprometida, intensificando uma contradição entre eficiência energética e conforto visual.

Nos ambientes iluminados lateralmente, existe uma diminuição dos níveis de iluminâncias ao longo da profundidade do ambiente, conforme demonstrado na Figura 9. É comum encontrar níveis altos próximos às janelas e áreas muito escuras à medida que se distancia da fachada. Ambientes profundos intensificam o contraste, podendo causar fadiga visual. Além disso, esse contraste é um dos grandes responsáveis pela não utilização da luz natural pelo usuário de escritórios, que prefere a uniformidade da iluminação artificial para a realização de tarefas (PEREIRA, 1993; DIDONÉ, 2009).

Figura 9: Sala iluminada lateralmente: demonstração da uniformidade da iluminação natural



Fonte: Cintra (2011, p. 36).

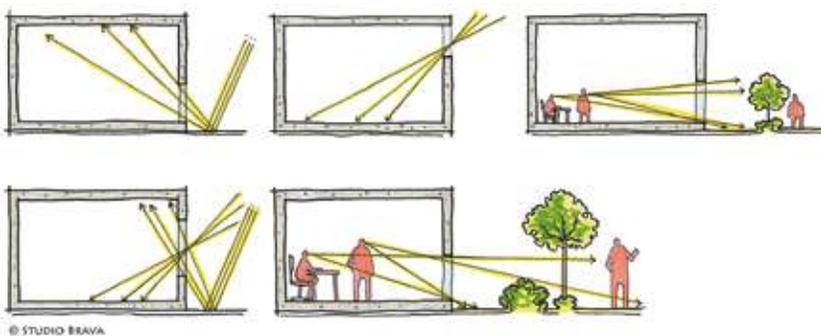
Assim, já é comprovada a ineficiência da abertura lateral na distribuição uniforme da luz no espaço. A quantidade de luz em um ambiente tem relação direta com a profundidade e a altura da abertura em uma proporção que chega a duas vezes e meia a altura do piso ao topo da janela (CINTRA, 2011).

Quanto à orientação das janelas, a literatura mostra que a melhor orientação para a iluminação natural, segundo a realidade brasileira, é o posicionamento das maiores fachadas para norte e sul, isso porque é mais fácil fazer proteção para a fachada norte, além da fachada sul receber menos radiação solar direta, com menos problemas de ofuscamento (ROMERO, 2000; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

De forma geral, conforme a Figura 12, as dimensões e as alturas das janelas modificam a distribuição de luz ambiente, segundo os seguintes princípios (BARBOSA, 2010):

- Janelas posicionadas mais baixas proporcionam iluminação pouco uniforme com risco de ofuscamento por se situarem na linha de visão; por outro lado, elas permitem contato visual com a paisagem;
- Janelas com posição mais alta propiciam um maior alcance na distribuição da luz e maior uniformidade, diminuindo a possibilidade de ofuscamento por estarem situadas acima do campo visual;
- Janelas com formas contínuas proporcionam maior uniformidade nas áreas próximas às aberturas do que janelas descontínuas;
- Espaços que têm mais de uma janela possuem uma distribuição de luz mais equilibrada.

Figura 12: Influência das janelas na distribuição da luz ambiente



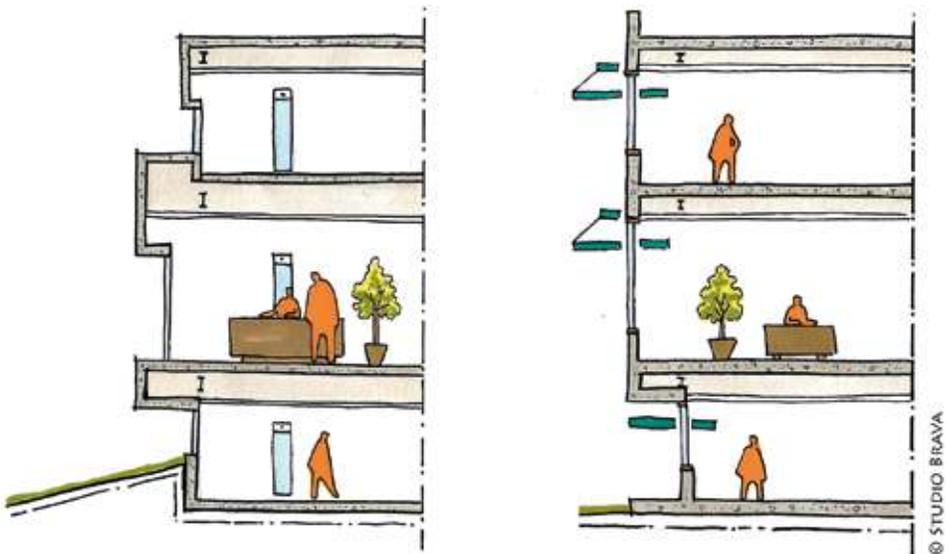
Fonte: Fernandes (2016, p. 63). Ilustração: João Felix.

A diversidade de tipos de Céu e as alterações dinâmicas da quantidade de luz exigem, cada vez mais, o uso de *softwares* de simulação para a avaliação da luz natural, uma vez que permitem avaliar simultaneamente as variáveis ambientais, do espaço arquitetônico, do entorno e as condições de uso.

3. A luz natural e o projeto arquitetônico

O partido arquitetônico já estabelece intenções e soluções definitivas quanto à relação do edifício e à iluminação natural, em especial na determinação da janela, como principal elemento de passagem da luz (BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993). A Figura 13 apresenta opções de partido para a janela.

Figura 13: Opções de partido para a janela



Fonte: Fernandes (2016, p. 17). Ilustração: João Felix.

Para Baker, Fanchiotti e Steemers (1993), a abordagem tradicional para o projeto com iluminação natural, assim como outros elementos da arquitetura, vem sendo mais praticada com bases na experiência consolidada do próprio arquiteto.

Eles afirmam que, provavelmente até o século passado, os arquitetos ainda não identificavam a iluminação natural como um tópico específico ou que poderia ser avaliado, independentemente da própria linguagem do projeto. O desenho da janela estava relacionado ao estilo arquitetônico, visto que era um elemento dominante na aparência visual do edifício.

No início do século XX, apesar da existência da iluminação artificial, a luz natural ainda era considerada a principal fonte de iluminação em edifícios que usavam a iluminação artificial somente à noite. Naquele momento, os projetos ainda adotavam plantas baixas com pouca profundidade e formas adequadas às condições de iluminação natural. Essa postura fortaleceu a necessidade de desenvolvimento de mecanismos que auxiliassem o projeto com iluminação natural e, conseqüentemente, a criação de métodos de predição: matemáticos, geométricos, gráficos, diagramas, maquetes, etc. (BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993).

Para os requisitos de iluminação natural, surgiram diversos métodos com foco principalmente na determinação da luz disponível internamente, sua distribuição, a influência das obstruções e das reflexões. O arquiteto, por sua vez, deve estar ciente de todas as implicações em suas escolhas; e no caso particular da janela, a IEA (1999) apresenta as principais considerações que devem ser feitas, relacionando aspectos funcionais e projetuais, conforme apontado na Figura 14.

A própria janela evoluiu, adaptando sua funcionalidade, incorporando as oportunidades tecnológicas e sendo influenciada por aspectos culturais, de forma que enriqueceu a trajetória da própria arquitetura. No entanto, após a criação da lâmpada fluorescente, a iluminação natural foi relativamente abandonada, enquanto a definição dos aspectos quantitativos da luz artificial passou a ser quase uma obsessão das pesquisas, em especial quanto à definição das iluminâncias (BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993; BOYCE, 2003; AMORIM *et al.*, 2011).

Para Baker, Fanchiotti e Steemers (1993), o processo de projeto arquitetônico tradicional apresenta uma série de incertezas e fases conduzidas quase que somente pela intuição e pela experiência de um projetista. Os autores enfatizam que há uma

ênfase ao desenho de uma só pessoa, geralmente o titular do escritório. O esboço inicial do projeto é normalmente elaborado num período muito curto, e isto gera quase sempre uma falta de oportunidade para que especialistas ou o uso de ferramentas possam contribuir nas fases iniciais do processo projetual.

Figura 14: Funções e considerações para o projeto de janela e sistemas de iluminação natural



Fonte: IEA – Inter-regional Energy Agency. *Daylighting Design Tools* (1999, p. 34).

Para Alucci (2007), não há vantagens evidentes no engessamento das decisões de projeto. A autora destaca que a prática arquitetônica tem mostrado que, mesmo o conhecimento da teoria do conforto ambiental por parte do arquiteto, não implica necessariamente na produção de uma boa arquitetura.

Aspectos mais específicos da luz natural devem ser examinados ainda na fase inicial de projeto, como questões relativas à implantação, à forma e à orientação da edificação e à caracterização das aberturas devido ao fato de condicionarem inteiramente a quantidade e a qualidade da luz natural que incidirá no ambiente

interior. Entretanto, a prática de projeto demonstra que esses aspectos geralmente têm sido decididos em função de outros fatores (PEREIRA *et al.*, 2005; DUTRA; YANNAS, 2006; AMORIM, 2007).

Pereira *et al.* (2005) buscaram identificar as barreiras para que fossem considerados aspectos essenciais da iluminação natural no projeto e em relação às suas diversas fases: partido geral, anteprojeto e detalhamento. Concluíram que a principal barreira é a compreensão do fenômeno da luz natural no ambiente construído e dos aspectos a ele relacionados. De acordo com a pesquisa, nas fases iniciais do projeto arquitetônico, o aspecto mais valorizado foi o domínio da ideia central, ou seja, a existência de um princípio organizador como elemento fundamental para a condução do processo projetual. A pesquisa também detectou que, na prática, as variáveis de projeto relacionadas com a luz natural e a eficiência energética (geometria, características, dimensões e localização das aberturas) ganham maior ênfase no anteprojeto e no detalhamento.

Para que a conexão dos indicadores de conforto oriundos da pesquisa científica ocorra, de fato, no projeto, é fundamental visualizar os fenômenos atuantes por meio de imagens estimulantes ao processo criativo. Assim, cada aspecto do conforto necessita de tradução específica dos conceitos e indicadores em imagens gráficas adequadas ao processo projetual, atualmente advindas principalmente do uso de softwares de simulação (MOREIRA; KOWALTOWSKI, 2011).

Em sua pesquisa para o desenvolvimento do Diagrama Morfológico, que foi baseado em Baker e Steemers (1998), Amorim (2007) ressalta que alguns autores têm desenvolvido trabalhos buscando reunir repertório de arquitetura exemplar no uso da iluminação natural e da adequação ao contexto climático (BAKER; STEEMERS, 1998, FONTOYNONT, 1998) ou, ainda, sistematizando o processo de organização desse repertório projetual (BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993; ROGORA, 1997; OLIVEIRA, 1998).

Para Dutra e Yannas (2006), os diagramas se mostraram ferramentas úteis para a análise de projetos bioclimáticos, pois permitiram identificar como diretrizes

bioclimáticas podiam ser identificadas e tratadas no processo de projeto. Em geral, é o resultado de um procedimento analítico que permite captar, para além da mera aparência, uma estrutura que é parte da essência da realidade, ou seja, esse recurso gráfico é, na maior parte das vezes, entendido como uma espécie de “sistema reductor” que comprime e torna legível certa quantidade de informações (BARKI, 2009).

Diagrama é um recurso gráfico de longa história; no entanto, ganhou um papel relevante na arquitetura moderna com Le Corbusier e os pioneiros do De Stijl, do Vkhutemas e da Bauhaus. Hoje, arquitetos como Stan Allen, Rem Koolhaas, Ben van Berkel e Petr Eisenman demonstram seu uso continuado e eficaz (BARKI, 2009).

Atanasio, Pereira e Pereira (2007) afirmam que, apesar do avanço em pesquisas e aparatos tecnológicos desenvolvidos nas últimas décadas, nota-se que existem barreiras que dificultam a aplicação desse avanço no projeto arquitetônico de modo satisfatório. Estudos recentes têm apontado como uma das principais barreiras a falta de adequada compreensão do fenômeno da luz. “Esse fato gera um quadro inverso de valores, pois antigamente possuíamos menos tecnologia e os projetistas tomavam mais partido arquitetônico da luz natural.” (ATANASIO; PEREIRA; PEREIRA, 2007).

O processo de projeto também é um processo de aprendizagem, em que o projetista estuda o objeto e seus condicionantes, necessitando do suporte de vários tipos, como sistemas de informação (referências, códigos, manuais, entre outros), desenhos, modelos, cálculos, simulações e discussões (opiniões de cliente, usuário, colaboradores, entre outros). A qualidade desse sistema de suporte reflete diretamente no processo de projeto e (espera-se) na qualidade do produto (projeto) (KOWALTOWSKI; MOREIRA; PETRECHE, 2006).

Para Madsen e Osterhaus (2006), a inserção da qualidade da iluminação natural no projeto é complexa e não pode ser avaliada apenas por meio de equações ou regras simples. Por isso, muitas vezes, as soluções propostas para o projeto são limitadas a estabelecer e verificar os níveis e a distribuição da iluminação. Os autores defendem o uso dos *softwares* como base das soluções propostas.

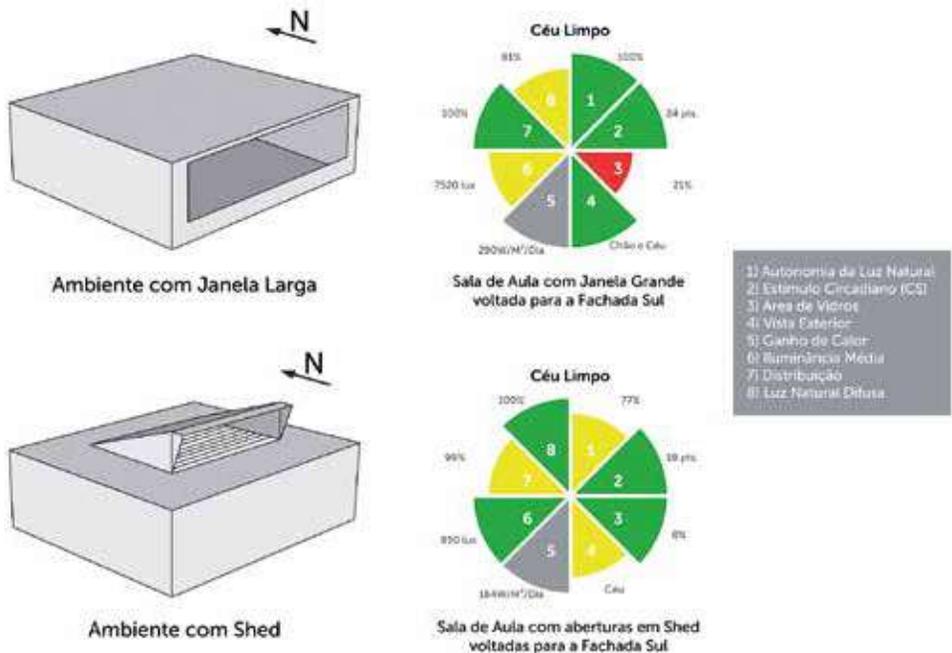
Proposto por Leslie, Radetsky e Smith (2012), o “*Daylighting Dashboard*” é uma representação visual do potencial de aproveitamento da luz natural na fase inicial do projeto, buscando atender a oito principais objetivos, que são priorizados de acordo com a situação. Para os autores, as decisões mais importantes para aproveitar a iluminação natural nos ambientes internos estão na fase conceitual do projeto, quando são definidas a configuração do edifício e da janela. Essas decisões afetam a qualidade e a quantidade da luz, os custos, a vista exterior, o ganho de calor e o uso de energia. Os oito parâmetros principais para o projeto podem ser resumidos em:

- iluminância média: fornecer luz natural suficiente para executar tarefas;
- distribuição: distribuir a luz em todo o ambiente;
- luz natural difusa: minimizar a radiação direta e controlar o ofuscamento;
- autonomia de luz natural: economizar energia;
- estímulo circadiano : promover a estimulação do ciclo circadiano;
- área de vidros: controlar custos e minimizar área de janelas ou zenitais;
- vista: fornecer vista para o exterior;
- ganho de calor: reduzir o gasto de energia do edifício com condicionamento de ar.

O método utiliza cores (vermelho, amarelo e verde) para indicar um *ranking* de aspectos positivos e/ou negativos. Por exemplo, na definição de uma sala, em que são avaliados dois tipos diferentes de abertura, poderiam ser comparados os resultados, conforme Figura 15. As cores sinalizam os aspectos positivos e negativos de cada opção em relação aos oito parâmetros avaliados.

Como qualquer sistema de avaliação simplificada, o “*Daylighting Dashboard*” deve ser usado na fase inicial do projeto. O objetivo é simplesmente dar ao projetista a condição de comparar o potencial das possíveis soluções, atendendo às oito grandes metas da iluminação natural, enquanto existe a oportunidade, no processo de projeto, de modificar a forma, a orientação ou a quantidade de vidros (LESLIE; RADETSKY; SMITH, 2012).

Figura 15: *Daylighting Dashboard* com avaliação de duas opções de abertura para um ambiente



Fonte: Fernandes (2016, p. 107). Adaptado de Leslie, Radetsky e Smith (2012).

Edição: Thiago Freire

Os autores alertam que a classificação e as avaliações mais precisas, bem como uso de *software* de simulação, ficam em aberto para uma decisão do próprio projetista. Se o arquiteto, ainda na fase inicial, for alertado sobre potenciais fraquezas ou erros (sinalizados em vermelho), ele prestará mais atenção a essas questões e poderá recorrer a diagnósticos mais precisos e/ou ajuda de especialistas.

Outro exemplo para auxiliar o projetista é a publicação “*Tips for Daylighting with Windows*”, de 1997, a qual apresenta diretrizes de referência para uma abordagem integrada de projeto. Essa publicação possui 11 seções com ideias-chave, ferramentas, dicas, regras, ressalvas e problemas na integração, para que o projetista se baseie quando da tomada de decisões: 1) a abordagem integrada; 2) viabilidade da iluminação natural; 3) decisões quanto a envoltória e ambiente; 4) escolha dos

vidros; 5) estratégia de sombreamento; 6) coordenação dos sistemas mecânicos; 7) coordenação do sistema de iluminação; 8) sensores e controles; 9) calibração e comissionamento; 10) manutenção; 11) análise custo-benefício.

Fernandes (2016) gerou diretrizes para a ferramenta Quali-Luz (Figura 5), que busca auxiliar o projetista nas fases iniciais do projeto, com foco na apresentação de orientações gráficas, como croquis, que possam rapidamente ser assimilados pelo arquiteto. Outra característica importante considerada é a avaliação conjunta dos principais fatores da Qualidade da Luz, com base em padrões já avaliados no banco de dados por meio de simulações. Isso porque é comum, na área de conforto ambiental, que a solução adequada para determinado aspecto gere outros problemas. Dessa forma, é importante que se detecte o desempenho geral, considerando vários aspectos da Qualidade da Luz e que seja o arquiteto o definidor da solução ou da priorização de um dos aspectos.

O fundamental é que a solução arquitetônica seja fruto de uma análise crítica e consciente do problema, e não apenas de uma visão parcial ou empírica. A avaliação de vários aspectos reforça a necessidade de simplificação da ferramenta para que os muitos resultados não tornem inviável o entendimento ou a aplicação.

Assim, as simulações computacionais tornaram-se um método fundamental nas avaliações da luz natural, tanto em pesquisas diretas quanto na geração de padrões, diagramas e diretrizes gráficas geradas como ferramentas para a fase inicial de projeto.

4. Simulação computacional de avaliação da luz natural

Atualmente, a simulação computacional é um dos principais métodos de avaliação da iluminação natural. As pesquisas apontam a simulação como ferramenta prática na concepção do projeto e afirmam que o seu uso na fase inicial do projeto facilitou a compreensão do problema de projeto e melhoria dos resultados (FERNANDES, 2016).

O uso de simulações computacionais e imagens tridimensionais contribuem para facilitar a manipulação de dados científicos, assim como possibilitar resultados

gráficos mais amigáveis, como a visualização mais realista das variáveis de projeto. É uma forma de aproximar conceitos técnicos da linguagem gráfica do projetista (IBRAHIM; HAYMAN; HYDE, 2011).

As ferramentas computacionais podem ajudar a estabelecer índices de ofuscamento e distribuição de luminosidade, até certo ponto, mas que normalmente continuam a ser bastante abstratos para os projetistas (alunos e profissionais) (MADSEN; OSTERHAUS, 2006).

Alguns autores apontam que ainda são necessárias pesquisas de aspectos primordiais, como definições de métodos, índices e critérios específicos, que servem como base inicial quantitativa para a abordagem qualitativa da iluminação natural (BOYCE, 2003; PELLEGRINO, 2012).

Para melhor controle, definição das relações e tempo para os experimentos, os pesquisadores buscam reduzir de forma significativa o número de variáveis. A maioria das pesquisas ainda tenta resolver questões relacionadas aos aspectos quantitativos da luz natural por haver ainda uma grande carência de normas e recomendações (HELLINGA, 2013).

Por exemplo, a primeira versão da ABNT NBR 15.575 (2013), de desempenho para habitações, aborda a iluminação natural utilizando o método do Daylight Fator, já mencionado (NABIL; MARDALJEVIC, 2006), como um método não adequado (sem adaptações e correções) para condições de céu parcialmente nublado (realidade brasileira). Também exige simulação computacional com comprovação de no mínimo 60 lux para habitação no centro dos ambientes. A norma apresenta limitações nos métodos, uma vez que exige simulação estática (dia e hora específicos), a qual, atualmente, foi substituída pela simulação dinâmica (todas as horas do ano) nas principais pesquisas na área de iluminação. No entanto, é um avanço em relação à abordagem simplista da maioria dos Códigos de Obra.

Nos últimos anos, grande foi o progresso dos métodos e das métricas específicas para a iluminação natural, e Pellegrino (2012) aponta, por exemplo, que esses métodos e essas métricas de avaliações tradicionais (como *Daylight Factor*)

têm se apresentado ineficientes ou inadequados para avaliar de forma abrangente e simultânea as múltiplas dimensões da iluminação natural, em especial quando se relaciona energia, saúde e conforto.

A disseminação e a utilização de ferramentas baseadas em análises do clima melhoraram significativamente os estudos de iluminação natural, pois fornecem dados mais precisos e, muitas vezes, integrados com análises térmicas.

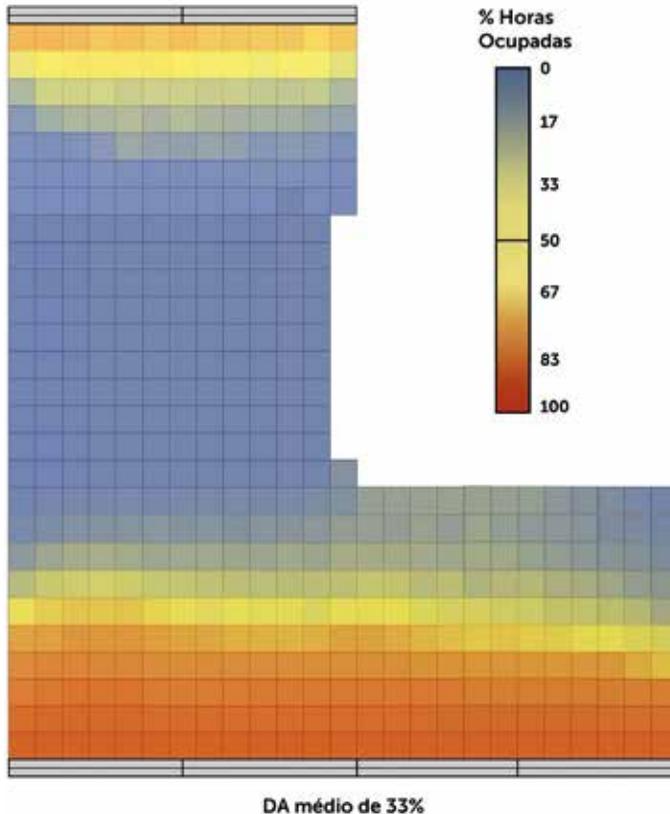
Nos últimos anos, os estudos de avaliação da iluminação natural passaram a utilizar métodos de simulação dinâmica (*Softwares Daysim* e *DIVA*), ou seja, desenvolveram novos índices que consideram o comportamento da luz natural em todas as horas do ano, em todo o ambiente – *Daylight Autonomy* (DA) e *Useful Daylight Illuminance* (UDI). O DA é definido como um percentual das horas ocupadas por ano, nas quais um nível mínimo de iluminâncias (lux) pode ser mantido, apenas pela iluminação natural.

Em um escritório, pode-se adotar um DA de 300 lux, ou seja, 60% do exigido em norma (500 lux), de acordo com a norma DIN 5034. Se, em 50% ou mais do tempo, verifica-se menos de 50% do espaço com a iluminância mínima designada (300 lux), considera-se que tal ambiente atinge um resultado insatisfatório, com pouca iluminação; se, em 50% ou mais do tempo, verifica-se mais de 50% do espaço com a iluminância mínima (300 lux), considera-se que tal ambiente atinge um resultado satisfatório. No ambiente da Figura 16, por exemplo, observa-se que a iluminância mínima estabelecida (DA de 300 lux em 50% do tempo e em 50% do espaço) não é alcançada.

O UDI é definido pela frequência de iluminâncias (lux) em um determinado tempo de acordo com faixas preestabelecidas. Esse índice permite verificar qual porção do ambiente possui valores úteis (não muito baixos nem muito altos e que possam causar ofuscamento ou ganho de calor) e qual o percentual de ocorrência desses valores durante um ano inteiro. Se, em 50% ou mais do tempo, verifica-se menos de 50% do espaço com a iluminância dentro dos limites de UDI (100-2000 lux), considera-se que tal ambiente atinge um resultado insatisfatório; se, em 50%

ou mais do tempo, verifica-se mais de 50% do espaço com essas iluminâncias, considera-se que tal ambiente atinge um resultado satisfatório.

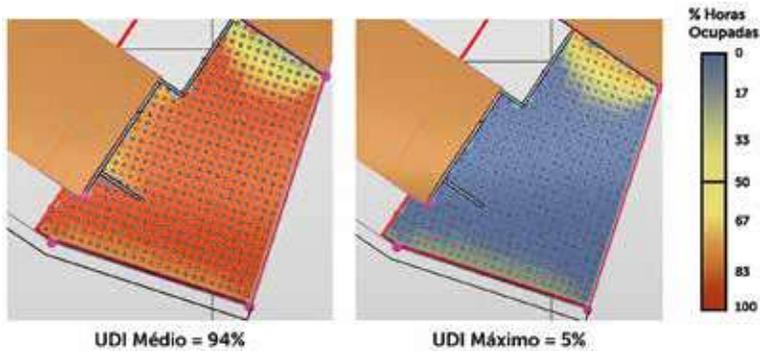
Figura 16: Simulação de DA de 300 lux (Resultado de 33%)



Fonte: Fernandes (2016, p. 191).
Simulações: Márcia Birck. Edição: Thiago Freire.

Na Figura 17, o ambiente da esquerda (a) apresenta mais de 94% do espaço com valores de iluminância dentro dos limites de UDI (100-2000 lux) em 50% ou mais do tempo, e que apenas 5% do espaço possui valores de iluminância acima da iluminância máxima recomendada (2000 lux) em 50% ou mais do tempo. Já o ambiente da direita (b) apresenta UDI de apenas 5%, não tendo desempenho luminoso satisfatório.

Figura 17: Simulação de UDI médio 100 lux $>DA < 2000$ lux em 50% do tempo (Resultado Ambiente “a” UDI = 94% do tempo e Ambiente “b” UDI = 5% do tempo)



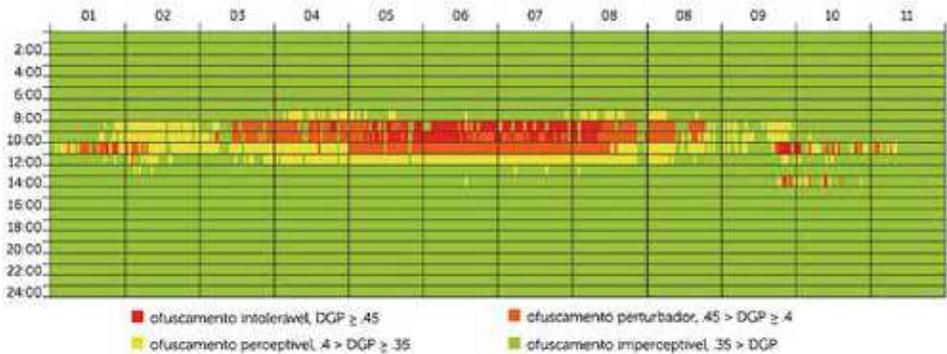
Fonte: Fernandes (2016, p. 196). Simulações: Márcia Birck. Edição: Thiago Freire.

A simulação dinâmica é considerada inovação em relação aos tradicionais métodos de medição e simulação estáticos, que conseguem mensurar a quantidade de iluminação em um determinado ponto e hora (REINHART; MARDALJEVIC, 2006). Nesse sentido, surge também o *Daylight Glare Probability* (DGP), desenvolvido a partir de medições e avaliações pelos usuários e tido, atualmente, como o índice mais confiável para avaliação do ofuscamento pela iluminação natural (REINHART, 2010).

O *software* DIVA faz simulação do DGP de forma dinâmica com o *Annual Glare*, considerando todas as horas do ano, e, de forma estática, com o *Point-in-time Glare*.

O *Annual Glare* é um índice de avaliação dinâmica da luz natural e mensura as luminâncias no campo visual. Por ele, pode-se avaliar a possibilidade de ocorrência de desconforto por ofuscamento, em função do índice DGP. Se, em 10% ou mais do tempo total, verifica-se a presença do ofuscamento intolerável e/ou perturbador, considera-se que tal ambiente atinge um resultado insatisfatório; se em 90% ou mais do tempo total, verifica-se a presença do ofuscamento perceptível e/ou imperceptível, considera-se que tal ambiente atinge um resultado satisfatório. Por exemplo, na Figura 18, o ambiente foi simulado em todos os meses, no período das 9h às 14h. Observa-se que, em 77,21% do tempo, há ofuscamento imperceptível e, em 22,79% das horas do ano, ocorre ofuscamento intolerável 3,52%, perturbador 13,71% e perceptível 13,71%.

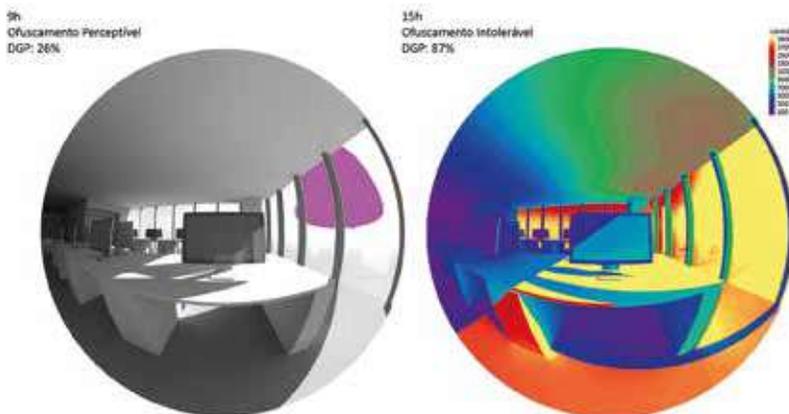
Figura 18: Resultados das Simulações de Annual Glare, Orientação Leste, com 22,79% do ofuscamento



Fonte: Fernandes (2016, p. 197). Simulações: Márcia Birck. Edição: Thiago Freire.

O *Point-in-time Glare* é uma simulação que produz a imagem de uma vista realista do ambiente (no caso, a janela) e aponta para determinado dia e hora, quando há ofuscamento e também qual foi o tipo de ofuscamento identificado. Na Figura 19, no ambiente simulado, a simulação da vista do *Point-in-time Glare* acusou a probabilidade de ofuscamento perceptível de 26% em 27 de fevereiro, às 9h. Já no período da tarde (15h), houve 87% de ofuscamento intolerável.

Figura 19: Simulações de *Point-in-Glare* (comparação de probabilidade de ofuscamento às 9h e 15h)



Fonte: Solemma/Diva (<http://solemma.net/Diva.html>, acesso em 10/07/2019)

A imagem do *Point-in-time-Glare* também fornece os níveis de luminâncias (CD/m²) no campo visual, sendo possível verificar os contrastes, de acordo com as tolerâncias recomendadas.³ Esses avanços metodológicos, aliados aos novos conceitos qualitativos da iluminação, direcionam um novo olhar às normas, aos indicadores e aos padrões. Existe uma grande demanda de atualização dos índices e a criação de parâmetros específicos para luz natural, principalmente em pesquisas de caráter multidisciplinar (GALASIU; VEITCH, 2012).

O avanço dos métodos de simulação contribuiu para a agilidade e a amplitude dos processos de avaliação. É possível ter maior controle das variáveis e fazer simulações de um número enorme de situações. Diversas normas e recomendações surgem por meio desses estudos – é o caso de simulações de padrões, diagnósticos preliminares e diretrizes de projeto, baseados em simulação computacional.

De forma específica, o *Advanced Buildings*, do *New Buildings Institute*, em parceria com a Universidade de Idaho e Universidade de Washington, desenvolveu o *Daylighting Pattern Guide*.⁴ Trata-se de uma ferramenta disponível gratuitamente para o desenho de estratégias de iluminação natural comprovadas em uma variedade de tipos de construção. Estabeleceram 19 padrões, com situações típicas relacionadas ao comportamento da iluminação natural.

Existem padrões que apresentam situações mais comuns de edifícios, como os relacionados à geometria da planta do edifício, área da janela e profundidade do ambiente, divisórias das estações de trabalho, persianas e cortinas, entre outros.

Para cada padrão, existe um número, um título e um link com apresentação de slides com demonstração das alterações que acontecem na avaliação da iluminação natural e com modificações na variável específica. São utilizados como critérios de análise o *Daylight Factor*, *Daylight Autonomy*, *Continuous Daylight Autonomy*, *Useful Daylight Illuminance*, *Daylight Saturation Percentage* e *Glare Analysis*.

³ Consultar: <http://diva4rhino.com/user-guide/simulation-types/point-in-time-glare>. Acesso em: 30 jul. 2019.

⁴ Disponível em: <<https://patternguide.advancedbuildings.net/>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

Quadro 3: Resumo das variáveis da avaliação da iluminação da iluminação natural

VARIÁVEIS INDEPENDENTES	VARIÁVEIS DEPENDENTES		MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	ÍNDICES E REFERÊNCIAS TÉCNICAS
	PARÂMETROS	CRITÉRIOS		
VARIÁVEIS DO ESPAÇO DE TRABALHO	<p>Tipologia: Escritório; Geometria/Proporção do Ambiente: altura, largura e profundidade; Materiais superficiais: piso, parede, teto e mobiliário; Tipo de abertura: janela; Geometria e percentual da abertura; Proteção Solar Externa e Interna; Tipo de vidro: transmissão luminosa; Iluminação artificial: luminária, lâmpada e circuitos; Controle da iluminação: artificial e natural; Número de Ocupantes; Tipo de Tarefa.</p>	<p>Níveis de iluminâncias no plano horizontal</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Simulação no software RADIANCE/DAYSIM (Avaliação Dinâmica); • Medição com malha de pontos (Avaliação Estática); 	<ul style="list-style-type: none"> • DA: Mínimo de 300 lux de iluminação natural • UDI: Mínimo de 300 lux e máximo de 2.000 lux (REINHART; JAKUBIEC & LAGIOS; MARDALJEVIC; BAKER; BOYCE; DEHOFF). • Normas Brasileiras (ABNT) e internacionais (CIE, IESNA, ISO, EN, DIN)
		<p>DESEMPENHO VISUAL</p>		
VARIÁVEIS AMBIENTAIS	<p>Dia e Horário; Latitude e Longitude Clima; Tipo de Céu; Disponibilidade de Luz; Insolação; Orientação; Obstrução Externa (Afastamentos); Entorno</p>	<p>Ofuscamento no campo visual (Níveis de Luminâncias)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Simulação no software DIVA for RHINO e DAYSIM (Avaliação Dinâmica); • Fotografia de Imagens HDR (Avaliação Estática); • Medição com Luminômetro (Avaliação Estática) 	<ul style="list-style-type: none"> • DGP e Anual Glare (Intensidade de Luminâncias no campo visual) (REINHART; JAKUBIEC & LAGIOS; OSTERHAUS; BAKER, KIM; JACOBS; SOUZA & SCARAZZATO; WIENOLD & CHRISTOFFERSEN) • Normas Brasileiras (ABNT) e internacionais (CIE, IESNA, ISO, EN, DIN)
VARIÁVEIS HUMANAS	<p>Idade; Gênero; Destro ou Canhoto; Saúde Emocional e Física; Familiaridade com o espaço e tempo de permanência</p>	<p>Contrastes no campo visual (Proporção de Luminâncias)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hellinga, 2013; Tips for Daylighting with Windows; BS Daylight Code; IEA (2014) Technical Report T50-D3 (Monitoring protocol for lighting and daylighting retrofits) 	
	<p>QUALIDADE DA VISTA EXTERIOR</p>	<p>Amplitude Ângulo de Visão Elementos Ambientais N° Camadas</p>		

Fonte: Fernandes (2016, p. 52).

A proposta do guia é inovadora por propor diretrizes de mais fácil entendimento para o projetista, pois trabalha com base em exemplos de edifícios os impactos causados em alterações de variáveis específicas. Também é positiva a abordagem simultânea da avaliação das iluminâncias e luminâncias no ambiente. Ainda em desenvolvimento, a parte de ofuscamento tratada no guia ressalta a dificuldade histórica de avaliar as luminâncias e mostra a comparação de imagem do campo visual com níveis de luminâncias “preferíveis” e com “apenas ofuscamento perturbador”.

É necessário entender que vários elementos do meio ambiente externo, do espaço arquitetônico (ambiente interno) e do próprio ser humano se influenciam, e portanto, são importantes variáveis da iluminação natural, presentes em grande parte dos estudos da área. Podem-se sintetizar as variáveis da iluminação natural e os melhores métodos de avaliação, conforme Quadro 3.

A vantagem das simulações computacionais está justamente na avaliação simultânea de uma grande quantidade de aspectos. Interessante ressaltar o fato de os métodos computacionais terem evoluído muito, mas que, ainda, existe pouca orientação para os projetistas melhorarem suas soluções projetuais, pois essas métricas ainda pertencem a uma área de pesquisa emergente, restrita aos especialistas.

5. Considerações finais

Os estudos de iluminação devem prever uma abordagem quantitativa e qualitativa, e o conceito de Qualidade de Iluminação deve ser entendido como a integração do desempenho visual, conforto visual, qualidade da vista exterior, eficiência energética e satisfação do usuário.

A abordagem multimétodos é eficiente desde que se tenha clareza quanto aos melhores métodos de acordo com cada foco de investigação. O cuidado no tratamento dos dados também é essencial para a diminuição dos erros e discrepâncias. Há necessidade de alertar os arquitetos quanto à adoção de “regras” e

princípios consolidados na área de iluminação, sem análise crítica das muitas variáveis envolvidas no projeto específico.

O avanço dos métodos de simulação contribuiu para a agilidade e a amplitude dos processos de avaliação. É possível ter maior controle das variáveis e fazer simulações de um número enorme de situações. Diversas normas e recomendações estão sendo criadas e/ou revisadas a partir desses estudos. As simulações dinâmicas representam um salto qualitativo nos resultados das avaliações e recomenda-se, atualmente, o uso do *software* DIVA como ferramenta da luz natural, uma vez que utiliza os índices mais confiáveis.

Acima de tudo, é importante deixar claro que os métodos, por mais eficientes que sejam, não garantem os resultados, sendo necessários o conhecimento e o domínio do *software* escolhido, além de conhecimento teórico e senso crítico para uma leitura adequada dos dados.

Referências

AIZENBERG, J. B. *Hollow light guides: 50 years of research, development, manufacture and application – a retrospective and looking to the future*. Proceedings of CIE (CIE Commission Internationale de l’Eclairage) Centenary Conference “Towards a New Century of Light”. CIE - Paris, Abril, 2013.

ALUCCI, Marcia Peinado. *TAO: uma metodologia para implantação de edificação: ênfase no desempenho térmico, acústico, luminoso e eficiência energética*. 2007. 145 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

AMORIM, Cláudia Naves David. Diagrama Morfológico Parte I – Instrumento de análise e projeto ambiental com uso da luz natural. *PARANOÁ: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, Brasília: PPG/FAU/UnB, Ano 6, n. 3, ago. 2007.

ARAJI, Mohamad Tarek. *Balancing human visual comfort and psychological well-being in private offices*. 2008. Tese (Ph.D), University of Illinois, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575-1: Edifícios habitacionais. Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais*. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior*. Rio de Janeiro, 2013.

ARIES, M. B. C.; VEITCH, J. A.; NEWSHAM, G. R. Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology* 30, p. 533-541, 2010.

ATANASIO, Veridiana; PEREIRA, Fernando. O. R.; PEREIRA, A. T. C. Utilização de um modelo analítico para a implementação de um método inovador para o ensino de iluminação natural em Arquitetura. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 129-142, jul./set. 2007.

ARIES, Myriam. B. C.; VEITCH, Jennifer A.; NEWSHAM, Guy R. Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology*, v. 30, p. 533-541, 2010.

BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. *Daylight design of buildings: a handbook for architects and engineers*. London: James and James Editors, 1998.

BAKER, Nick V.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. *Daylighting in Architecture: a European reference book*. Bruxelas: James & James Editors, 1993.

BARBATO, G. *et al.* Subjective responses to different light sources. A study on light preferences and comparison of standard light measures with human individual estimates. Proceedings of CIE Centenary Conference “Towards a New Century of Light”. CIE-Paris, Abril, 2013.

BARBOSA, Cláudia Verônica Torres. *Percepção da iluminação no espaço da arquitetura: preferências humanas em ambientes de trabalho*. 2010. 238 f. Tese (Doutorado) –Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo 2010.

BARKI, José. Diagrama como discurso visual: uma velha técnica para novos desafios. In: 8 DOCOMOMO BRASIL Sessão 3, "O Movimento Moderno e os novos desafios ecológicos e técnicos", Rio de Janeiro, setembro de 2009.

BELL, J.; BURT, W. *Designing buildings for daylight*. London: BRE; CIBSE, 1995.

BITTENCOURT, Leonardo *et al.* Influência da localização, dimensão e forma das janelas nos níveis de iluminação natural produzidos por céus encobertos. In: ENCAC, Gramado, 1995.

BOYCE, Peter Robert. Illuminance Selection Based on Visual Performance – and Other Fairy Stories. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, v. 25, n. 2, p. 562-577, 1996.

BOYCE, Peter Robert. *Human factors in lighting*. 2nd ed. London: Taylor & Francis Group, 2003.

BOYCE, Peter Robert. Editorial: What does it take to change a metric? *Lighting Research and Technology*, p. 491, 4 June 2014.

BOYCE, Peter; HUNTER, Claudia; HOWLETT, Owen. The benefits of daylight through windows. U.S. Department of Energy, Lighting Research Center, New York, September 2003.

BOGO, Amilcar J.; PEREIRA, Fernando O. R.; CLARO, A. Controle solar e admissão de luz natural em aberturas com proteção solar. In: ENCAC - Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009.

CABUS, Ricardo; PEREIRA, Christina; Fernando. O. R. Avaliação através de método gráfico da distribuição de iluminâncias em ambientes. In: ENCAC – Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 1997.

CINTRA, Milena Sampaio. *Arquitetura e luz natural: a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais*. 2011. 156 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011

DEHOFF, P. A. The balance between energy efficiency and human aspects in lighting. Proceedings of CIE 2010 “Lighting Quality and Energy Efficiency”, 2010.

DIDONÉ, Evelise Leite . *A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC*. 2009. 174 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2009.

DJOKIC, L. KOSTIC, M. B. Subjective impressions as quality indicators of ambient lighting. Proceedings of CIE Centenary Conference “Towards a New Century of Light”. CIE-Paris, Abril, 2013.

DUTRA, Luciano; YANNAS, Simon. Análise de processo de projeto bioclimático. In: XI ENTAC- Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Florianópolis, 2006.

FERNANDES, Júlia Teixeira. *Código de obras e edificações do DF: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética*. 2009. 249 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FERNANDES, Júlia Teixeira; AMORIM, Cláudia Naves David. *Lighting and Daylighting Quality: critical review of criteria and recommendations and its insertion in Brazilian context*. Proceedings of CIE Centenary Conference “Towards a New Century of Light”. CIE-Paris, Abril, 2013.

FERNANDES, Júlia Teixeira. *Qualidade da iluminação natural e o projeto arquitetônico: a relação da satisfação do usuário quanto à vista exterior da janela e a percepção de ofuscamento*. 2016. 337 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

FERNANDES, Júlia Teixeira; AMORIM, Cláudia Naves David. Qualidade da iluminação natural e a satisfação do usuário. In: Anais do III ENANPARQ - Encontro Nacional da Associação de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2014.

FONTOYNONT, Marc *et al.* *Proposal of simple daylighting performance indices for regulations: validation with on-site measurement campaign*. Proceedings of CIE Centenary Conference “Towards a New Century of Light”. CIE-Paris, Abril, 2013.

GALASIU, Anaca D.; VEITCH, Jennifer A. Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review. *Energy and Buildings*, v. 38, p. 728-742, 2006.

GHISI, EneDir; TINKER, John. A.; IBRAHIM, Siti Halipah. Área de janela e dimensões para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. *Ambiente Construído*, v. 5, n. 4, p. 81-93. ANTAC, Porto Alegre, 2005.

HELLINGA, Hester; HORDIJK, Truus. The D&V analysis method: a method for the analysis of daylight access and view quality. *Building and Environment*, v. 79, p. 101-114, 2014.

HELLINGA, Hester. *Daylight and view: the influence of windows on the visual quality of indoor spaces*. Tese (Ph,D) – Delft University of Technology, Netherlands, 2013.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. *Iluminação natural (Daylighting)*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.

IEA – International Energy Agency. Daylighting Design Tools. Results of Subtask C. IEA SHC TASK 21 / IEA ECBCS ANNEX 29: Daylight in Buildings, 1999.

NIK IBRAHIM, N. L.; HAYMAN, S.; HYDE, R. A typological approach to daylighting analysis. *Architectural Science Review*, v. 54, p. 141-147, 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. SHC Task 50. Monitoring protocol for lighting and daylighting retrofit. *Technical Report T50.D3*, julho, 2014.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA (IESNA). *The IESNA Lighting handbook Reference & Application*. 9. ed. New York, 2000.

IKEDA, Débora Félix Rodrigues. *Análise de projeto com foco em iluminação natural: aprimoramento e validação de um método*. 2012. 175 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

KOWALTOWSKI, Doris K. (Org.). *O processo de projeto em arquitetura – da teoria à tecnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. *O. Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: UFSC/Procel/Eletronbras, 2014.

LEDER, S. M.; PEREIRA, Fernando. O. R.; CLARO, A. Janela de Céu preferível: proposição de um parâmetro para controle de acesso à luz natural no meio urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, Ouro Preto, 2007. *Anais...* Ouro Preto: ANTAC, 2007.

LESLIE, R. P.; RADETSKY, L. C.; SMITH, A. M. Conceptual design metric for daylighting. *Lighting Res. Technol.*, v. 44, p. 277-290, 2012.

LIMA, Mariana. *Percepção visual aplicada a arquitetura e iluminação*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010.

MADSEN, M.; OSTERHAUS, W. Exploring Simple Assessment Methods for Lighting Quality with Architecture and Design Students. Centre for Building Performance Research, School of Architecture, Victoria University of Wellington, New Zealand, 2006.

MARTAU, Betina Tschiedel. *A luz além da visão: iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e de shopping centers em Porto Alegre*. 2009. 504 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2009.

NABIL, Azza; MARDALJEVIC, John. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, v. 38, p. 905-913, 2006.

OSTERHAUS, Werner. Design guidelines for glare-free Daylit work environments, 2009. (disponível em : https://www.researchgate.net/publication/242585328_Design_Guidelines_for_Glare-free_Daylit_Work_Environments, acesso em 10/07/2019)

PELLEGRINO, A. *et al.* Climated-Based Metrics for Daylighting and Impact of Building Architectural Features on Daylight Availability. Proceedings of 27th Session of the CIE. CIE-South Africa, julho, 2011, p. 82.

PELLEGRINO, A. CIE Division 3, Interior Environment and Lighting Design, Associate Director's Report – Daylighting, CIE Division 3 Webex Meeting, June 2012.

PEREIRA, Fernando. O. R. Luz solar direta: tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia de energia na edificação. In: ENCAC, 1993.

PEREIRA, Fernando. O. R.; LOPES, A. C. L.; MARQUES, A.; TEODORO, E.; BATISTA, J. O.; SANTANA, M. V.; FONSECA, R. W.; ATANASIO, V. Uma investigação sobre a consideração da iluminação natural nas diferentes etapas de projeto. ENCAC, Maceió, 2005.

REINHART, Christopher. The Use of Glare Metrics in the Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice, 9th International Radiance Workshop; September 20-21, 2010.

REINHART, Christopher F.; MARDALJEVIC, John.; ROGERS, Zack. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building. *LEUKOS*, v. 3, n 1, 2006.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. São Paulo: ProEditores, 2000.

ROGORA, Alessandro. *Luce naturale e progetto*. Rimini: Maggioli Editori, 1997.

SACARAZZATO, Paulo. S. *O conceito do dia de projeto aplicado à iluminação natural: dados referenciais para localidades brasileiras*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SHIN, Ju Young; YUN, Geun Young; KIM, Jeong Tai. View types and luminances effects on discomfort glare assessment from windows. *Energy and Buildings*, v. 46, p. 139-145, Março, 2012.

TABET AOUL, K. A. Visual requirement and window design in office buildings – a study of window size, shape, climatic and cultural impacts. In: CIE (CIE Commission Internationale de l'Éclairage) - China, 2012.

TRALAU, B. *et al.* Extension of lighting quality criteria and their evaluation for different application areas. *Proceedings of 27th Session of the CIE*. CIE – South Africa, julho, 2011.

TOLEDO, Beatriz Guimarães. *Integração de iluminação natural e artificial: métodos e guia prático para projeto luminotécnico*. 2008. 165 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

VEITCH, Jennifer A.; CHRISTOFFERSEN, Jens; GALASIU, Anca D. *What we know about windows and well-being and what we need to know*. Proceedings of CIE Centenary Conference “Towards a New Century of Light”. CIE-Paris, Abril, 2013.

VEITCH, J. A.; NEWSHAM, G. R. Determinants of lighting quality I: research and recommendations. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, v. 27, n. 1, p. 92-102, 1996.

VIANNA, Nelson Solano; GONÇALVES, Joana Carla. *Iluminação e arquitetura*. São Paulo: Geros S./A. Ltda, 2007.

Simulação, Ambiente e Energia no Espaço Construído

Este livro aborda conceitos, tecnologias e métodos relacionados aos aspectos energético, higrotérmico e lumínico, apresentando como pano de fundo o uso de programas de simulação computacional, diagramas e ferramentas simplificadas para estudos analíticos, aplicados ao espaço construído em diferentes climas. Na primeira parte do livro, “*Inputs* – conforto, vento e luz”, o Capítulo 1 apresenta a ferramenta alemã de simulação computacional ENVI-met e o seu potencial na análise do microclima urbano; o Capítulo 2 mostra as variáveis climáticas e os arquivos climáticos utilizados nas simulações higrotérmica; o Capítulo 3 aborda os programas de simulação aplicados à ventilação natural; e o Capítulo 4 trata da complexidade dos estudos de iluminação e a necessidade de avaliar várias dimensões, simultaneamente. Na segunda parte, “*Outputs* – ambiente construído e energia”, o Capítulo 5 ensina a identificar o potencial de aproveitamento das envoltórias para integrar sistemas de geração de energia; o Capítulo 6 traz a análise de uma casa pré-fabricada de balanço energético nulo; e o Capítulo 7 insere, à guisa de conclusão, uma visão sistêmica sobre o uso da energia elétrica no país. O livro dialoga com diversos perfis profissionais, pois contempla temas atuais e inovadores para estudantes e profissionais de Arquitetura, Engenharia, Geografia, Planejamento Urbano e áreas relacionadas com a qualidade e sustentabilidade do ambiente construído.



EDITORA



UnB