

# Potencial de aproveitamento da luz natural por perfis de usuários de escritório em clima tropical

*Daylighting potential use by office building users' profiles in a tropical climate*

Viviane Diniz Hazboun 

Juliana Portela Vilar de Carvalho 

Aldomar Pedrini 

## Resumo

**E**ste artigo aborda a influência do perfil do usuário no aproveitamento da luz natural em ambientes do tipo escritório em clima tropical, caracterizados frequentemente pelo uso de cortinas fechadas pelos próprios ocupantes em função dos estímulos de desconforto. Foram modelados três perfis simplificados quanto ao fechamento e abertura das cortinas, identificados em pesquisa de campo (ativo, passivo e intermediário). Foram escolhidos o clima de Natal, RN, e um modelo de referência com abertura voltada para leste para representar a alta disponibilidade de luz natural desde as primeiras horas do dia. Modelou-se quatro percentuais de abertura da fachada (PAF) e três tipos de sistema de abertura: exposta, com 100% de fator de céu visível (FCV), dispositivos de sombreamento fixos e móveis, com três FCVs cada um. Os resultados das simulações horárias no DIVA 4.0 foram contabilizados quanto ao fechamento da cortina, nos momentos de desconforto luminoso, e reabertura, de acordo com o perfil de usuário. Os resultados confirmaram o baixo aproveitamento da maioria dos casos devido à resposta do usuário, a influência do perfil na reabertura da cortina, que pode triplicar o aproveitamento, e o alto aproveitamento com dispositivos móveis porque possibilitam o controle mais refinado da entrada de luz natural.

**Palavras-chave:** Uso da luz natural. Dispositivos de sombreamento. Sistema de abertura. Perfil de usuário.

## Abstract

*This article focuses on the influence of the user's profile on the daylighting potential of an office building in a tropical climate, often characterised by blinds closed by the occupants due to discomfort stimuli. Based on field assessments, three simplified profiles for closing and opening curtains were modelled: active, passive, and intermediate. The climate of Natal/RN and a reference model with an East-facing opening were selected to represent the high availability of daylighting in the early hours of the day. Four window-to-wall rates (WWR) and three types of fenestration were modelled: exposed, with 100% visible sky factor (VSF), fixed and mobile shading devices, with three VSFs each. The results of the DIVA 4.0 hourly simulations were calculated according to closed curtains during light discomfort, and reopened curtains according to user profile. The results confirmed: low daylighting potential in most cases due to the user's response; the influence of user profile regarding the reopening of the curtain, which can triple the daylighting potential; and the best performance achieved with mobile devices due to a more refined control of the entrance of daylight.*

**Keywords:** Daylighting potential. Shading devices. Fenestration systems. User profile.

<sup>1</sup>Viviane Diniz Hazboun  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Natal - RN - Brasil

<sup>2</sup>Juliana Portela Vilar de Carvalho  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Natal - RN - Brasil

<sup>3</sup>Aldomar Pedrini  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Natal - RN - Brasil

Recebido em 14/02/22  
Aceito em 05/05/22

## Introdução

O aproveitamento da luz natural em ambientes de escritório frequentemente recorre ao aumento do tamanho, altura e transparência da abertura, redução das obstruções externas, dentre outros recursos projetuais (O'CONNOR *et al.*, 1997; TREGENZA, 2011). Entretanto, é comum encontrar esses ambientes com cortinas e persianas internas fechadas indefinidamente em climas de baixa latitude, com alta intensidade de luz natural externa, principalmente em aberturas com orientação para leste, devido à incidência de luz direta ortogonalmente à abertura nas primeiras horas do dia, durante todos os dias do ano. A justificativa do “usuário preguiçoso” como causa das cortinas fechadas é insuficiente porque se comprova cada vez mais que o usuário quer controlar seu ambiente de trabalho e fica contrariado quando não consegue (HESCHONG, 2021). Ou seja, é necessário considerar que o fechamento das cortinas é a resposta adaptativa do usuário devido ao excesso de luz e do desconforto luminoso (HAZBOUN, 2018; CARVALHO, 2020). Como consequências, há o uso predominante da luz artificial, a privação do acesso à luz natural e ao entorno, e potenciais prejuízos ao conforto ambiental, bem-estar, saúde física e mental (REINHART; VOSS, 2003b; GALASIU; VEITCH, 2006a).

A principal forma de reduzir as causas de desconforto luminoso é projetar dispositivos externos de sombreamento para impedir a entrada da luz solar direta e o consequente ofuscamento, sem comprometer as funções da abertura. Trata-se de uma estratégia bioclimática difundida há décadas entre os projetistas, com a popularização do método de dimensionamento pelo diagrama de máscara de sombra (OLGYAY, 1963; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004; SZOKOLAY, 2004). Entretanto, os dispositivos externos de sombreamento podem causar uma grande obstrução da abóboda celeste e gerar ambientes escuros demais, ou uma pequena obstrução e gerar ambientes brilhantes demais (O'CONNOR *et al.*, 1997; DEKAY; BROWN, 2014; YI; KIM, 2017; KIM; YI, 2019), que também influenciam a resposta do usuário quanto à abertura e fechamento das cortinas, e dos dispositivos externos, se forem móveis.

Este artigo aborda o desempenho luminoso nessas condições em que a alta disponibilidade de luz natural externa e aberturas voltadas para leste podem causar desconforto luminoso nas primeiras horas da jornada de trabalho, suficiente para levar o usuário ao fechamento das cortinas ou dispositivos móveis, ainda que haja luz suficiente para desenvolvimento das atividades. O objetivo é quantificar o potencial de luz natural considerando o aproveitamento pelo usuário para três perfis simplificados encontrados em pesquisa de campo (ativo, passivo e intermediário), para demonstrar sua relevância em condições críticas.

## Referencial teórico

As aberturas influenciam o comportamento ambiental dos espaços internos porque os conectam com o clima externo (O'CONNOR *et al.*, 1997; MACEDO; PEREIRA, 2003) e fornecem luz natural para permitir que um edifício funcione (CHARTERED..., 1999). A luz natural e o contato com a vista externa proporcionam benefícios como o bem-estar, redução da fadiga, produtividade (BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003; TZEMPELIKOS, 2005), aprendizagem (RUBIN; COLLINS; TIBBOTT, 1978a; HESCHONG, 1999), maior capacidade de raciocínio para desenvolver as atividades (AHMAD *et al.*, 2020), orientação temporal (BOUBEKRI, 2008) e humanização dos espaços (COSTI, 2002). Consequentemente, impactam em questões psicológicas e fisiológicas humanas (EDWARDS; TORCELLINI, 2002; BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003), bem como na economia de energia de edificações (BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003; LEDER, 2007; TZEMPELIKOS; ATHIENITIS, 2007; ROCHA; PEREIRA, 2011).

O projeto de aberturas é parte integrante de um processo que considera múltiplos aspectos simultaneamente (OCHOA *et al.*, 2012), dentre os principais parâmetros de influência no desempenho luminoso, destaca-se o tamanho da abertura, a orientação, o sombreamento externo e a obstrução do céu visível, conforme apontado em estudos nacionais e internacionais (O'CONNOR *et al.*, 1997; LIMA; BITTENCOURT; CARAM, 2013; FELIPPE *et al.*, 2015; FONSECA, 2015; LIMA; CARAM, 2015; CINTRA; AMORIM, 2012). O tamanho da abertura é representado pelo percentual de abertura da fachada (PAF) e tem impacto direto na quantidade de luz (FELA *et al.*, 2019) e no calor que entra no ambiente (TZEMPELIKOS, 2005; FONSECA, 2015). O sombreamento externo é a principal estratégia para evitar os ganhos térmicos e o ofuscamento causado pela luz direta (STACK; GOULDING; LEWIS, 2000; INKAROJRIT, 2005; TZEMPELIKOS, 2005; GALASIU; VEITCH, 2006b; KIM; KIM, 2009; KIRIMTAT *et al.*, 2016).

A eficiência do sombreamento depende do seu dimensionamento, e o uso do método da máscara de sombras é eficaz (OLGYAY, 1963; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004; SZOKOLAY, 2004) porque abrange a orientação e a geometria da abertura, do dispositivo de sombreamento e do entorno na avaliação do desempenho (STACK; GOULDING; LEWIS, 2000). Há ferramentas, como o Solar Tool (MARSH, 2018), que possibilitam calcular rapidamente e de forma intuitiva a máscara de sombra para todo o ano, da forma

original, que considera um ponto inferior da abertura, e mais detalhado, que também calcula o percentual de sombreamento da abertura (Figura 1). O programa Solar Tool (MARSH, 2018) fornece recursos gráficos de visualização do modelo em 3D (Figura 1a), bem como da máscara de sombra no modo *completamente sombreado*, no qual é demonstrado apenas onde existe 100% de sombreamento (Figura 1b) e o modo percentual, onde é apresentada uma gradação de sombreamento em percentual para cada fração da abóbada celeste (Figura 1c). Este segundo método favorece o cálculo do fator de céu visível (FCV), para determinar o percentual de céu acessível à abertura e a consequente disponibilidade de luz difusa, almejada para obter iluminação natural útil. A disponibilidade de luz natural é proporcional ao ângulo sólido do céu a partir do centro da janela, considerando a alta correlação com o fator de luz diurna médio, independente das condições de céu (CAPELUTO, 2003).

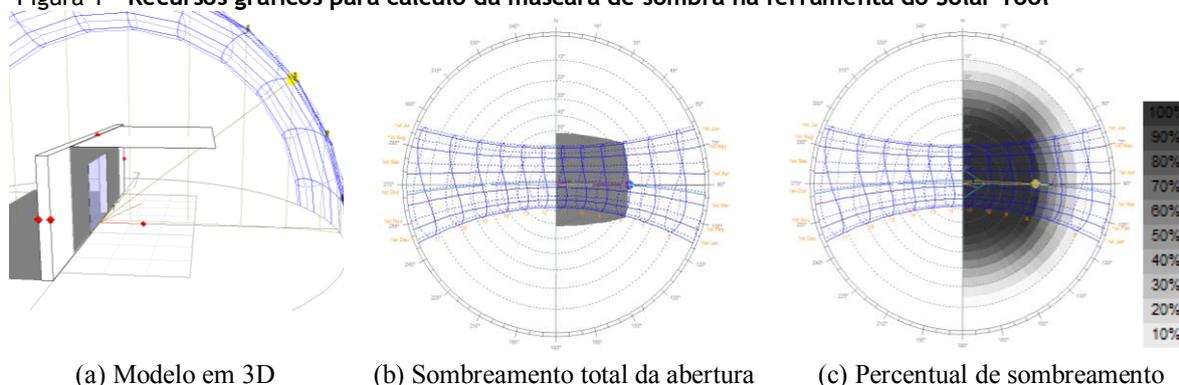
A visão do céu é um parâmetro de projeto com impacto no aproveitamento da luz natural, que contempla diferentes escalas, desde o urbano ao edifício, e que influencia as tomadas de decisões projetuais desde o início do processo, porque parte do princípio de que “a janela possa ver o céu” para a luz alcançar o interior do ambiente (O’CONNOR *et al.*, 1997; DEKAY; BROWN, 2014; YI; KIM, 2017; KIM; YI, 2019). Além do uso nas análises de iluminação natural (O’CONNOR *et al.*, 1997), é encontrado em análises de balanço térmico em janelas (NICOL, 1977) e principalmente do meio urbano (MIAO *et al.*, 2020). A proporção de céu visível pode ser representada pelo fator de céu visível (FCV)<sup>1</sup> (DEKAY; BROWN, 2014; MIAO *et al.*, 2020) ou razão de céu visível (YI; KIM, 2017; KIM; YI, 2019), dentre outras formas.

Em sistemas de aberturas voltados para leste em baixa latitude, a trajetória do Sol coincide com a frente da abertura nas primeiras horas do dia durante todo o ano (Figura 1), aumentando a complexidade para projetar os dispositivos de sombreamento. As soluções requerem longos balanços, geralmente inviáveis; o uso de proteções frontais, que obstruem a visão para o exterior e a visão de céu pela abertura; ou a adoção de sistemas de proteção móveis, que podem permanecer sempre fechados devido à baixa interação da maioria dos usuários (O’CONNOR *et al.*, 1997; BITTENCOURT, 2004; MEEK; BRESHEARS, 2010; LENOIR *et al.*, 2013). O mesmo se aplica a aberturas voltadas para oeste, que apresentam comportamento análogo, porém rebatido, devido à incidência de luz direta no período da tarde.

## Influência dos usuários no desempenho luminoso

A influência do usuário no desempenho de edifícios é decorrente da sua interação com os sistemas de controle (FOSTER; ORESZCZYN, 2001; MAHDAVI; PRÖGLHÖF, 2009; REINHART; WIENOLD, 2010; FABI *et al.*, 2011; O’BRIEN, 2013; YAN *et al.*, 2015; D’OCA *et al.*, 2016), a exemplo do controle de aberturas, de dispositivos de proteção, do sistema de iluminação artificial, do sistema de condicionamento de ar e dos equipamentos em geral (MAHDAVI, 2011; O’BRIEN, 2013; HONG *et al.*, 2015b). O impacto do comportamento dos usuários na edificação é comparável a fatores como envoltória, propriedades dos materiais, condições climáticas, sistemas artificiais, operação e manutenção do edifício (FABI *et al.*, 2011; YAN *et al.*, 2015), sendo considerada a principal causa de discrepância entre o desempenho de edifícios reais e simulados (FOSTER; ORESZCZYN, 2001).

Figura 1 - Recursos gráficos para cálculo da máscara de sombra na ferramenta do Solar Tool



(a) Modelo em 3D

(b) Sombreamento total da abertura

(c) Percentual de sombreamento

Fonte: adaptado de Marsh (2018).

<sup>1</sup>O fator de céu visível (FCV) é uma tradução livre de sky view fator ou visible sky factor (DEKAY; BROWN, 2014, p. 326; MIAO *et al.*, 2020) ou razão de céu visível (KIM; YI, 2019; YI; KIM, 2017) e corresponde à razão entre a área de céu visível, por um ponto específico, e a área total do céu.

O termo “comportamento” refere-se às ações ou reações de um indivíduo aos estímulos de desconforto internos e/ou externos (REINHART; VOSS, 2003; O'BRIEN, 2013; POLINDER *et al.*, 2013; HONG *et al.*, 2015b), visto que os usuários não são receptores passivos das condições ambientais (LENOIR *et al.*, 2013; HONG *et al.*, 2015a) e buscam meios de se adaptar às variações de luz natural e temperatura (POLINDER *et al.*, 2013). Assim, os usuários podem gerar impactos negativos na distribuição e quantidade de luz natural disponível (WONG, 2017), uma vez que tendem a obstruir a abertura após a percepção de desconforto, mantendo as cortinas fechadas por longos períodos mesmo após a causa de desconforto cessar (REINHART; VOSS, 2003a; GALASIU; VEITCH, 2006b). Consequentemente, a luz natural pode ser reduzida ou eliminada, caso haja desconforto ou dificuldade para realização da tarefa no ambiente (BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003).

O DNAs é uma abreviação de “causas, necessidades, ações e sistemas” (Drivers-Needs-Actions-Systems) e é um método de modelagem do comportamento dos usuários em edifícios por meio de quatro componentes (HONG *et al.*, 2015b): causas, que consistem nos fatores ambientais de estímulo que induzem a interação do usuário; necessidades, caracterizadas pelas exigências que devem ser atendidas para manter a satisfação do usuário no ambiente; ações, que correspondem às interações com os sistemas para atingir as condições de conforto; e sistemas, que representam os equipamentos e mecanismos que podem ser acionados para manter ou restaurar o conforto.

Uma das principais causas para o fechamento dos dispositivos de sombreamento é o desconforto luminoso devido ao ofuscamento (PIGG; EILERS; REED, 1996; BÜLOW-HÜBE, 2000; NICOL, 2001; INKAROJRIT, 2005; ZHANG; BARRETT, 2012), gerado por brilhos e contrastes excessivos, ou pela incidência de luz direta no plano de trabalho (RUBIN; COLLINS; TIBBOTT, 1978b; REA, 1984; GARCIA; PEREIRA, 2020).

A representação do comportamento dos usuários nas avaliações de desempenho apresenta muitas limitações, a começar pelos índices de percepção da luz, desenvolvidos em diferentes contextos e climas (FABI *et al.*, 2013; O'BRIEN, 2013; HONG *et al.*, 2015b). Mesmo assim, há tendências observadas quanto à interação com a abertura, classificadas em perfis ativos e passivos (REINHART; BOURGEOIS; DUBROUS, 2003; PARYS; SAELENS; HENS, 2011; FABI *et al.*, 2013; ROETZEL, 2015; YAN *et al.*, 2015). Os usuários ativos são análogos aos sistemas automatizados e buscam otimizar o desempenho luminoso, reduzir o consumo energético e promover a qualidade ambiental (FOSTER; ORESZCZYN, 2001; REINHART; BOURGEOIS; DUBROUS, 2003; BOURGEOIS; REINHART; MACDONALD, 2006; FABI *et al.*, 2013; YAN *et al.*, 2015; D'OCA *et al.*, 2016). Os usuários passivos priorizam o uso de sistemas artificiais (REINHART, 2001) e apresentam resistência em interagir com os sistemas de controle da edificação (REA, 1984). Em geral, fecham os sistemas de aberturas para garantir privacidade ou evitar o ofuscamento (TZEMPELIKOS; ATHENITIS, 2007). A avaliação de cenários extremos (ativos e passivos) é um método indicado para a abordagem genérica dos usuários em estágios iniciais do projeto, na qual poucas informações detalhadas estão disponíveis (ROETZEL, 2015).

## Avaliação do desempenho luminoso

O desempenho luminoso é avaliado por meio de parâmetros como iluminância, distribuição de luminância, ofuscamento, direcionalidade da luz, aspectos da cor, da luz e superfícies, cintilação, luz natural e manutenção (ABNT, 2013). Os parâmetros dinâmicos surgiram a partir de simulações baseadas em arquivos climáticos, e possibilitam a análise das variações da luz natural ao longo do tempo (REINHART, WIENOLD, 2010; FONSECA, 2015).

A iluminância na altura do plano de trabalho é o parâmetro mais utilizado para analisar o desempenho luminoso para execução de uma tarefa visual e a iluminância natural útil (UDI) contabiliza a ocorrência anual de uma faixa de iluminância considerada útil para a realização da tarefa visual (NABIL; MARDALJEVIC, 2005). Os limites de UDI podem ser alterados de acordo com o tipo de tarefa realizado e com o uso do ambiente, adaptando-se a diferentes condições (MARDALJEVIC *et al.*, 2011), e o limite superior é uma tentativa de indicar o excesso de luz natural que pode causar ofuscamento devido ao brilho no campo de visão ou às reflexões em superfícies especulares (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006; ABNT, 2013).

## Método

O método foi estruturado em simulações horárias de iluminância no plano de trabalho e filtragem dos resultados horários (Figura 2). A partir da definição do caso base, parametrizou-se o percentual de abertura da fachada (PAF) e três configurações de sistema de abertura. A primeira abertura é sem sombreamento e

apenas um FCV. As demais configurações de aberturas foram modeladas parametricamente com dispositivos fixos e móveis, com três FCVs cada. Os resultados horários foram filtrados em planilha eletrônica, considerando os períodos de ocupação de sala e o aproveitamento de luz natural apenas quando não há ocorrência de desconforto luminoso. Do contrário, é considerado que há o fechamento da cortina pelo usuário e reabertura de acordo com o perfil de usuário: próxima hora para usuário ativo; primeira hora do próximo período (manhã ou tarde) para usuário intermediário; primeira hora do próximo dia para usuário passivo.

### Modelo de referência

O modelo de referência representa um ambiente de escritório com 4 m de largura, 7 m de profundidade e 3 m de altura, sem sombreamento externo (Figura 3). Optou-se pela grande profundidade de sala para identificar o alcance da luz natural, enquanto a largura de 4 m foi determinada com base na recorrência deste dimensionamento em escritórios de pequeno e médio porte na cidade de Natal, RN. O módulo tem somente uma abertura orientada para Leste, com vidro simples e transmissividade de 0,88, e refletâncias internas das superfícies recomendadas pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), de acordo com a recorrência local de ambientes de escritórios (Tabela 1).

Figura 2 - Procedimentos adotados

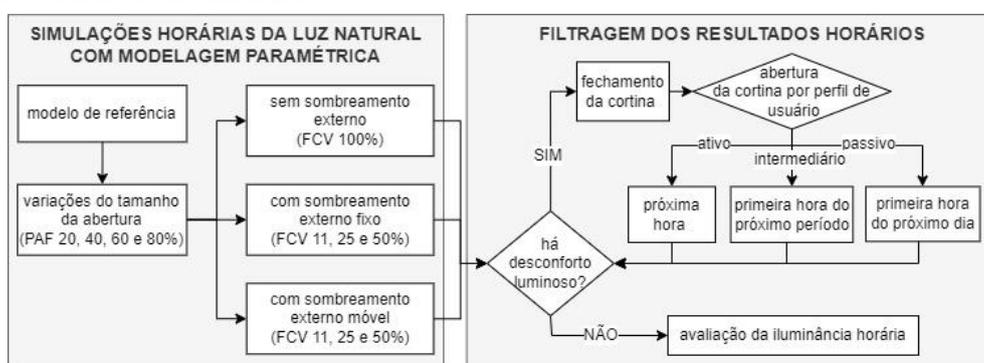


Figura 3 - Geometria do modelo de referência

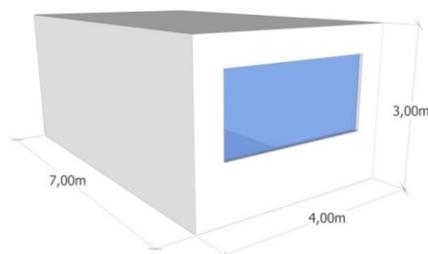


Tabela 1 - Parâmetros fixos dos modelos

<b>Ambiente</b>	Localização	Natal/RN
	Uso	Escritório
	Dimensões	4,00m x 7,00m
	Pé-direito	3,00m
<b>Abertura</b>	Orientação	Leste
	Tipo de vidro	Simplex, 3mm
<b>Refletância das superfícies</b>	Paredes	0,6
	Piso	0,4
	Teto	0,8
	Brises	0,72
	Marquise	0,35
	Piso externo	0,2

O ambiente foi modelado no Grasshopper (MCNELL; ASSOCIATES, 2018a) na plataforma do Rhinoceros (MCNELL; ASSOCIATES, 2018b), para controle da variação dos parâmetros. O algoritmo de parametrização visou a redução do tempo de modelagem e da possibilidade de erros, visto que todos os modelos são originados do mesmo modelo de referência e as alterações são controladas automaticamente.

## Aberturas

As características dos sistemas de abertura mais influentes no desempenho luminoso foram representadas por combinações das variáveis:

- (a) PAF de 20%, 40%, 60% e 80% para representar um espectro de variação de tamanhos de abertura, desde aberturas pequenas a grandes aberturas na fachada. A geometria adotada para as aberturas corresponde à recorrência local de escritórios de pequeno e médio porte para representar os percentuais definidos.
- (b) FCV:
  - 100% para ausência de dispositivo externo;
  - pequeno (11%), médio (25%) ou grande (50%) para dispositivos externos fixos; e
  - variável para dispositivos externos móveis.

Os dispositivos externos de sombreamento foram dimensionados considerando:

- (a) a compatibilidade com produtos disponíveis no mercado, como dos fabricantes Refax e Hunther Douglas;
- (b) sombreamento de aproximadamente 100% durante todo o período de ocupação com potencial de uso da luz natural, considerando uma ocupação das 8h às 16h; e
- (c) três escalas de FCV para representar o máximo alcançável<sup>2</sup> (50%), metade deste valor (25%) e um limite mínimo (arbitrando o mínimo em 10%).

Os modelos com FCV pequeno e médio bloqueiam completamente a entrada de luz solar direta, enquanto os modelos com FCV alto apresentam uma obstrução à radiação solar direta acima de 80%, admitindo luz direta durante alguns horários da manhã. Os modelos sem dispositivo externo de proteção permitem a entrada de luz solar direta durante todo o período da manhã.

Foram selecionados brises horizontais com variação da quantidade de aletas, profundidade, inclinação, afastamento em relação à janela e tipo de superfície, podendo ser combinados com marquises nos casos com FCV médio e grande (Figura 4). As marquises foram introduzidas nesses modelos para garantir um período fixo mínimo de bloqueio à radiação solar direta nas primeiras horas do dia, devido ao afastamento dos brises em relação à abertura. Os sistemas foram modelados no programa Solar Tool (MARSH, 2018), usando a projeção estereográfica como forma de representação (Figura 5). Essa ferramenta não quantifica o FCV e seu cálculo requer um segundo programa para contabilizar as áreas de céu que correspondem a cada faixa de obstrução. Foram testados o AutoCad e o Gimp (KIMBALL; MATTIS; GIMP TEAM, 2022), sendo o último mais prático e com resultados mais acurados. O processo é repetido até alcançar o FCV máximo ou pré-definido.

Os dispositivos de proteção externos móveis apresentam FCV variável, conforme dois tipos de acionamento pelos usuários: regulável ou abre-fecha. O sistema regulável (Figura 6) apresenta brises com ângulos de inclinação de 30° (para o PAF de 20%) ou 45° (para os PAFs de 40%, 60% e 80%), 0° (fechado), e sem brises (quando o painel de brises é deslocado para desobstruir a abertura). O sistema abre/fecha (Figura 7) é composto por um painel deslizante de brises com duas configurações: totalmente fechado com brises a 30° (para o PAF de 20%) ou 45° (para os PAFs de 40%, 60% e 80%), e totalmente aberto.

## Simulação da luz natural

A simulação dinâmica anual da luz natural foi realizada no plug-in DIVA 4.0 do Rhinoceros (SOLEMMMA LLC, 2018), baseado no Daysim, que usa o algoritmo de cálculo do Radiance.

---

<sup>2</sup>O percentual de FCV máximo alcançado foi determinado por meio de análise exploratória da máscara de sombra de diferentes configurações de proteção externa pare leste. Devido à necessidade de sombreamento total da radiação direta, o maior percentual de desobstrução obtido foi de 50%.

Figura 4 - Modelos de sistemas representativos de FCV pequeno, médio e grande

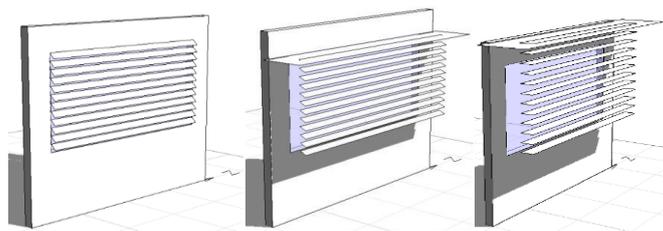


Figura 5 - Simulação do FCV com projeção estereográfica

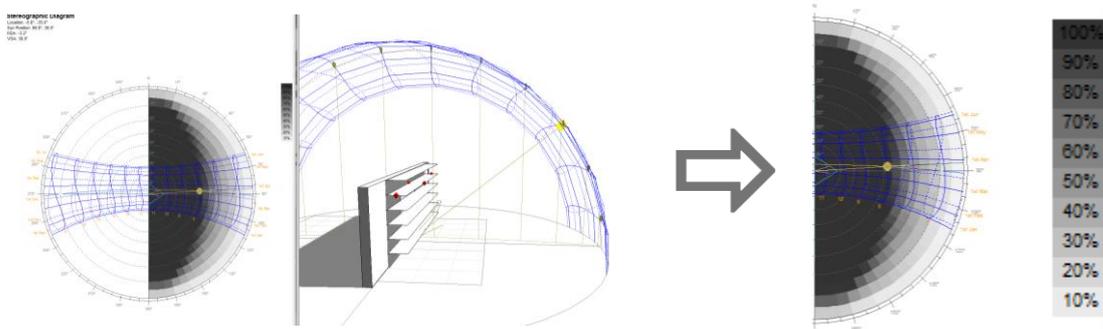


Figura 6 - Sistema regulável

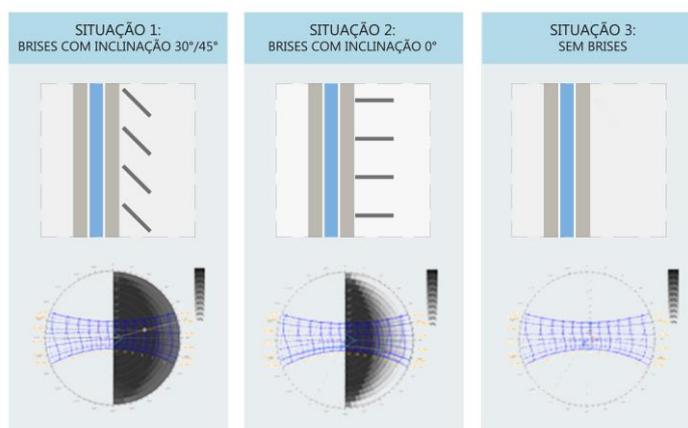
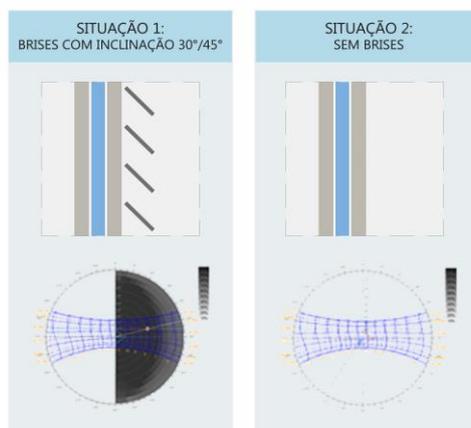


Figura 7 - Sistema abre/fecha



O arquivo climático utilizado foi o de Natal/RN (extensão .epw) do ano de 2009 (RORIZ, 2009). A malha de sensores foi definida conforme a NBR 15215-4 (ABNT, 2005), as propriedades ópticas das superfícies internas se basearam na biblioteca do DIVA e foram adotados os parâmetros do Radiance (Quadro 1) recomendados por Reinhart (2010) para escritórios com brises e persianas. O período de ocupação das 8h às 16h foi caracterizado por meio de um arquivo do tipo .csv importado pelo DIVA.

A simulação resultou nas iluminâncias horárias para uma malha de 18 sensores situados a 0,75 m do piso (altura do plano de trabalho) e divididos em seis zonas de iluminação, com espaçamento de 1 m (Figura 8), para posterior identificação do alcance da luz natural. As análises abrangem somente o uso da luz natural, desconsiderando o acionamento da iluminação artificial.

## Perfil do usuário

Os perfis de usuário foram obtidos por meio de pesquisa de opinião de 102 usuários de 5 edifícios de escritórios, empregando questões de comportamento (INKAROJRIT, 2005; BROWN, 2009; D'OCA *et al.*, 2016) e adaptação dos usuários (HONG *et al.*, 2015b). A pesquisa de opinião considerou as preferências quanto ao uso da luz natural, a frequência de controle dos dispositivos, as causas para abertura e o fechamento das cortinas, e a percepção de conforto.

Foram analisados os comportamentos de usuários de edificações da Universidade Federal do Rio Grande do Norte com sistemas de sombreamento externo e cortinas internas, que concordaram em participar da pesquisa (HAZBOUN, 2018; CARVALHO, 2020)<sup>3</sup>. Os edifícios apresentam características diferenciadas quanto à orientação (norte, sul, leste, oeste, nordeste), entorno (estacionamento, dunas, edificações, árvores), tipos de ambientes internos (salas individuais ou coletivas), sistemas de iluminação natural (principalmente em relação aos protetores internos e externos), e a maioria não apresenta planta livre. A seleção de ambientes com diferentes características se deu para abranger uma variedade de escritórios visando cruzar as diferentes configurações dos espaços e as respostas dos usuários. Três tipos de perfis foram encontrados: ativo, intermediário e passivo (Quadro 2). O usuário ativo fecha o dispositivo quando há desconforto luminoso e abre novamente quando o desconforto cessa, análogo a um sistema automático que opera em condições ideais. Na prática, tende a ocorrer quando o usuário entra e sai da sala várias vezes ao dia e tem motivação para interagir com a abertura. O usuário intermediário fecha o dispositivo quando há a primeira ocorrência de desconforto visual e abre quando retorna ao ambiente no turno seguinte (manhã ou tarde), ao se deparar com a pouca luz interna comparada com a externa. O usuário passivo fecha quando há a primeira ocorrência de desconforto visual e não abre novamente ao longo do dia. Esse perfil desconsidera o potencial de uso da luz natural, dando preferência ao sistema de iluminação artificial.

## Tratamento e análise dos resultados

As etapas de tratamento e análise dos resultados incluem o ajuste do período de avaliação e dos limites de UDI, a integração dos padrões de comportamento com os dados simulados e a elaboração das saídas gráficas.

Os resultados horários de iluminância de cada configuração de abertura foram tratados com auxílio de planilhas eletrônicas de acordo com a faixa de iluminância útil entre 500 e 5.000 lux. A adaptação do intervalo de UDI para 500-5.000 lux é indicada para avaliações de escritórios, sendo os valores inferiores a 500 lux considerados insuficientes, conforme a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) para o desempenho da tarefa visual e os valores superiores a 5.000 lux representativos de desconforto visual (indicativo de excesso de luz), por extrapolar a proporção de 1/10 entre iluminância mínima e máxima recomendada pela Norma NBR 5413<sup>4</sup>. As ocorrências dentro dessa faixa são contabilizadas para o cálculo anual de UDI.

Quadro 1 - Configurações dos parâmetros do Radiance

Parâmetros	Configuração
Número de reflexões difusas internas	7
Divisão do ambiente	1500
Amostra do ambiente	100
Precisão do ambiente	0,1
Resolução do ambiente	300

<sup>3</sup>Instrumento de pesquisa compartilhado entre os dois estudos.

<sup>4</sup>Norma em desuso atualmente.

Figura 8 - Zonas de avaliação



Quadro 2 - Perfis de usuários

Turno	Ação	Perfil		
		Ativo	Intermediário	Passivo
Manhã	Abre o dispositivo quando entra no ambiente	✓	✓	✓
	Fecha o dispositivo ao sentir desconforto luminoso	✓	✓	✓
	Abre o dispositivo para o aproveitamento da luz natural ao longo do turno	✓	✗	✗
Tarde	Abre o dispositivo quando entra no ambiente	✓	✓	✗
	Fecha o dispositivo ao sentir desconforto luminoso	✓	✓	✗
	Abre o dispositivo para o aproveitamento da luz natural ao longo do turno	✓	✗	✗

Fonte: adaptado de Hazboun (2018).

De acordo com os perfis de usuários definidos, uma ocorrência acima de 5.000 lux implica:

- usuário passivo: fecha o dispositivo e não contabiliza o aproveitamento da luz nas demais horas do dia porque não há interação;
- usuário intermediário: fecha o dispositivo e não contabiliza o aproveitamento da luz nas demais horas do turno, porém avalia se pode abri-lo ao retornar à sala no turno seguinte ou se a mantém fechada caso o desconforto persista; e
- usuário ativo: fecha o dispositivo e o abre novamente quando atinge níveis de iluminância inferiores a 5.000 lux.

No caso dos brises móveis, a opção de sistema abre/fecha segue o mesmo protocolo das cortinas internas, enquanto a opção regulável tem o seu ângulo de inclinação ajustado para evitar o desconforto.

A integração dos modelos simulados com os perfis de comportamento resultou em 72 combinações, que foram tabeladas para identificar os modelos com zona passiva de iluminação natural, isto é, UDI 500-5000 lux em mais de 80% da área. Foi utilizada uma escala com intervalos de 20% e relacionada com tonalidades diferentes (Tabela 2) para indicar o potencial aproveitamento da luz natural à medida que se afasta da abertura, em intervalos de 1m.

## Resultados e discussões

Os resultados sintetizados na Figura 9 demonstram uma variação expressiva do aproveitamento da luz natural entre os casos, indicando que o desempenho luminoso do ambiente depende da relação entre a configuração do sistema de iluminação natural e o perfil de interação do usuário. As variações abrangem desde casos com UDI irrelevante em toda a extensão da sala a cenários com autonomia de luz natural em até 5 m de profundidade do ambiente, a depender das características da abertura e do tipo de acionamento dos dispositivos de proteção internos ou externos pelos usuários.

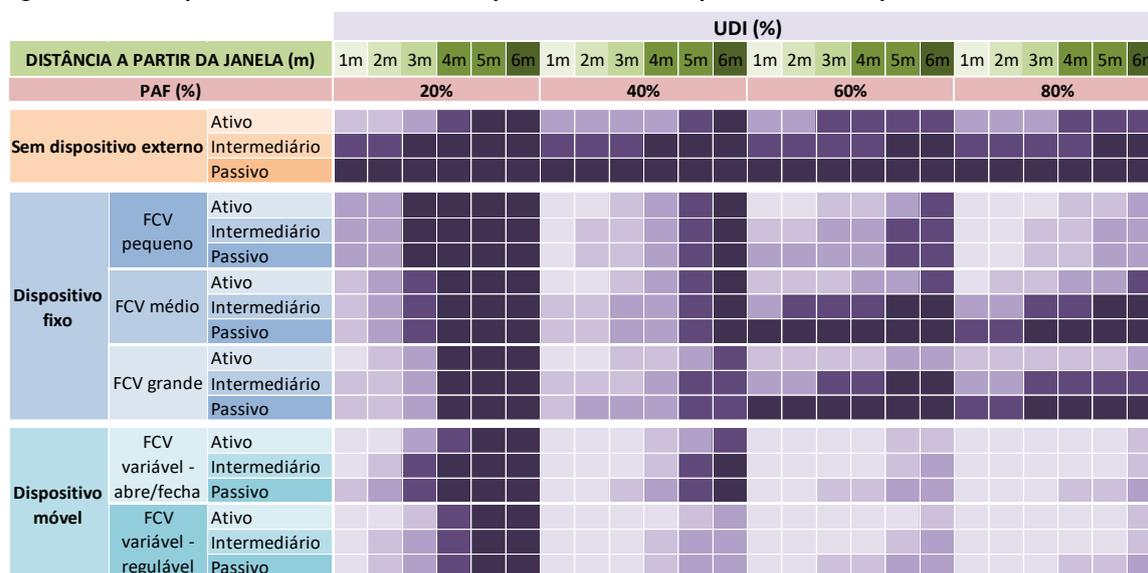
O melhor desempenho combina estratégias de grandes aberturas com dispositivos de sombreamento externos móveis acionados por usuários ativos ou intermediários. O tipo de acionamento (regulável ou abre/fecha) tem impacto apenas para aberturas médias, com PAF de 40%. Nesses casos, o aproveitamento da luz aumenta de acordo com a frequência de interação do usuário, podendo alcançar até 4 m de profundidade com autonomia total de luz natural e 1 m com aproveitamento parcial da luz nos casos com sistemas reguláveis acionados por usuários ativos.

Os casos com excesso de luz (predominância de desconforto visual) são identificados pelo impacto do perfil do usuário, que inibe o aproveitamento da luz com o fechamento das cortinas, a exemplo de casos com aberturas sem proteção externa ou com aberturas grandes combinadas com a visão de céu média ou grande. Os piores desempenhos ocorrem com aberturas sem dispositivos externos de proteção, pois o usuário passivo impede até o baixo aproveitamento, que pode ser alcançado pelo usuário intermediário e ativo. O fechamento das cortinas ocorre predominantemente pela manhã, quando há incidência solar direta, comprometendo o uso da luz natural no restante do dia a depender do perfil de usuário. A combinação entre aberturas pequenas, ausência de sombreamento e um perfil ativo de usuário resulta em aproveitamento parcial da luz natural somente na zona próxima à abertura (2 m de profundidade). Nos demais casos, o desempenho é pouco afetado pelo tamanho da abertura, mesmo para o usuário ativo, que apenas consegue alcançar um aproveitamento médio em até metade da sala.

Tabela 2 - Escala de ocorrência de UDI 500-5.000 lux

Cor	Ocorrência de UDI500-5000lux	Aproveitamento da luz
0	0 a 20%	Irrelevante
25	20 a 40%	Baixo
45	40 a 60%	Médio
65	60 a 80%	Parcial
100	80 a 100%	Autonomia de luz natural (zona passiva)

Figura 9 - Desempenho luminoso em UDI no plano de trabalho para diferentes profundidades de sala



**LEGENDA:**

- 0 a 20% de UDI 500-5000lux
- 20 a 40% de UDI 500-5000lux
- 40 a 60% de UDI 500-5000lux
- 60 a 80% de UDI 500-5000lux
- 80 a 100% de UDI 500-5000lux

Os casos com dispositivos fixos de sombreamento variam de um desempenho irrelevante para uma autonomia de luz em até 3 m em relação à abertura. Nesses casos, há maior dependência em relação ao comportamento dos usuários e são observadas variações em função das configurações da abertura. Há pouca disponibilidade de luz natural para casos com aberturas pequenas, e o aumento do FCV e o perfil de usuário ativo apenas proporcionam o aproveitamento parcial da luz próximo à abertura. O aumento da abertura para PAF médio alcança um aproveitamento parcial em até 2/3 da sala, com pouca influência do perfil de usuário. No caso de aberturas grandes (PAF de 60% ou 80%), o desempenho diminui para o usuário passivo e a melhor combinação é com baixo FCV, que resulta em autonomia de luz para 1/3 da sala, aproveitamento parcial para outros 1/3 e aproveitamento médio para o restante.

## Conclusão

Os procedimentos possibilitaram quantificar e diferenciar o desempenho de diferentes configurações de aberturas com alta exposição à luz natural externa, considerando o perfil de usuário quanto ao fechamento e abertura da cortina, como ocorre na prática.

A aplicação dos perfis de usuários como parâmetro resultou na comprovação do baixo aproveitamento da luz natural da maioria dos casos abordados, confirmando que o excesso de luz pode ser o maior obstáculo para seu uso. De fato, as cortinas são justificadamente fechadas porque há desconforto luminoso frequentemente causado pelos sistemas de aberturas.

O perfil do usuário pode até triplicar o tempo de aproveitamento da luz natural devido à reabertura das cortinas, uma vez que todos os perfis consideram a mesma resposta para o fechamento. Com exceção dos casos em que não há excesso de luz natural, como configurações de aberturas pequenas com FCV pequeno e médio, o usuário ativo sempre tem o maior aproveitamento, enquanto o passivo é sempre o pior. O perfil intermediário se aproxima mais do ativo devido ao aproveitamento de luz natural no período da tarde (menor ocorrência de desconforto luminoso). Logo, estímulos para a abertura das cortinas precisam ser considerados no projeto arquitetônico<sup>5</sup>.

As aberturas sem dispositivos de sombreamento externo também confirmam sua inadequação quanto ao desempenho luminoso<sup>6</sup> para qualquer tamanho de abertura, porque o excesso leva o usuário passivo a manter a cortina fechada em 80% a 100% do período, enquanto o de perfil ativo aproveita apenas entre 40% e 60% na primeira metade da sala e entre 20% e 40% na outra metade.

Os modelos com dispositivos externos fixos apresentam maior dependência da interação do usuário com as cortinas para o aproveitamento da luz natural, assim como da configuração da abertura (relação entre PAF e FCV). Os casos otimizados combinam grandes aberturas e baixo FCV, enquanto outras combinações podem ser tão ineficazes quanto a ausência do dispositivo de sombreamento.

Os sombreamentos móveis apresentaram os melhores desempenhos<sup>7</sup> porque possibilitam o controle mais refinado da entrada de luz natural, proporcionando autonomia de até 5 m de profundidade porque abrem parcialmente quando há entrada de luz direta e abrem totalmente nos demais períodos, proporcionando o aumento da fração de céu visível. Nesses casos, a autonomia de luz natural é de até 5 m para aberturas grandes e 3 m para aberturas médias, desde que haja interação do usuário. No caso do perfil de usuário passivo, a profundidade de vão iluminado varia de 2 m a 3 m de profundidade, porque ainda se beneficia da abertura parcial do dispositivo.

Esta pesquisa apresenta limitações de abordagem, como o recorte do modelo de referência, o parâmetro de avaliação baseado na iluminância<sup>8</sup> e a inobservância de tolerâncias dos usuários para o fechamento das cortinas, visto que o comportamento dos usuários é dinâmico, subjetivo e pode ser influenciado por outros aspectos (como conforto térmico, privacidade, questões psicológicas, aspectos sociais, dentre outros). As análises de custo-benefício não fazem parte do escopo desta pesquisa, mas são recomendadas para pesquisas futuras devido aos resultados encontrados para os brises móveis.

<sup>5</sup>Constatações da importância destes estímulos estão disponíveis em Carvalho (HAZBOUN, 2018; CARVALHO, 2020), e destacam o projeto arquitetônico integrado à paisagem e aspectos culturais do usuário.

<sup>6</sup>A contribuição do sombreamento das aberturas no conforto térmico e a eficiência energética é fato consolidado.

<sup>7</sup>Considerando apenas o escopo desta pesquisa, uma vez que tendem a apresentar maior complexidade, custo, necessidade de manutenção, especificidades de projeto, dentre outros aspectos.

<sup>8</sup>Análises mais acuráveis requerem luminâncias no campo visual como parâmetros de avaliação e aumentam significativamente a complexidade dos procedimentos.

## Referências

- AHMAD, A. *et al.* Daylight availability assessment and the application of energy simulation software: a literature review. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 3, p. 679–689, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4**: iluminação natural: parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações: método de medição. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: iluminação de ambientes de trabalho: parte 1: interior. Rio de Janeiro, 2013.
- BITTENCOURT, L. *Usos das cartas solares: diretrizes para arquitetos*. 4. ed. rev. e ampl. Maceió: EdUfal, 2004.
- BOUBEKRI, M. **Daylighting, architecture and health**: building design strategies. Burlington: Elsevier, 2008.
- BOURGOIS, D.; REINHART, C.; MACDONALD, I. Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: a study on the total energy impact of manual and automated lighting control. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 814–823, 2006.
- BOYCE, P.; HUNTER, C; HOWLETT, O. **The benefits of daylight through windows**. Nova York: Lighting Research Center, 2003.
- BROWN, Z. B. **Occupant comfort and engagement in green buildings**: examining the effects of knowledge, feedback and workplace culture. Vancouver, 2009. 192 f. Doctor of Philosophy – The faculty of Graduate Studies, The university of British Columbia, Vancouver, 2009.
- BÜLOW-HÜBE, H. Office worker preferences of exterior shading devices: a pilot study. In: EUROSUN CONFERENCE; IEA SHC INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLAR ENERGY FOR BUILDINGS AND INDUSTRY, Copenhagen, 2000. **Proceedings [...]** Copenhagen, 2000.
- CAPELUTO, I. G. The influence of the urban environment on the availability of daylighting in office buildings in Israel. **Building and Environment**, v. 38, p. 745-752, 2003.
- CARVALHO, J. P. V. de. **O impacto do ofuscamento no (des) uso da luz natural em ambientes do tipo de escritório em baixa latitude**. Natal, 2020. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.
- CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. **Daylighting and window design**: lighting guide LG10. London, 1999.
- CINTRA, M. S. de A.; AMORIM, C. N. D. de. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 37-57, abr./jun. 2012.
- COSTI, M. **A influência da luz e da cor em corredores e salas de espera hospitalares**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002.
- D'OCA, S. *et al.* Introduction to an occupant behavior motivation survey framework. In: CLIMA 2016, Aalborg, 2016. **Proceedings [...]** Aalborg, 2016.
- DEKAY, M.; BROWN, G. Z. **Sun, wind & light architectural design strategies**. 4<sup>th</sup> ed. New Jersey: Wiley, 2014.
- EDWARDS, L.; TORCELLINI, P. **A literature review of the effects of natural light on building occupants**. Colorado: [s.n.], 2002.
- FABI, V. *et al.* A methodology for modelling energy-related human behaviour: application to window opening behaviour in residential buildings. **Building Simulation**, v. 6, p. 415–427, 2013.
- FABI, V. *et al.* Description of occupant behaviour in building energy simulation: state-of-art and concepts for improvements. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 12., Sydney, 2011. **Proceedings [...]** Sydney, 2011.

FELA, R. F. *et al.* The effects of orientation, window size, and lighting control to climate-based daylight performance and lighting energy demand on buildings in tropical area. In: INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION, 16., Rome, 2019. **Proceedings [...]** Rome: IBPSA, 2019.

FELIPPE, A. R. *et al.* Modelagem paramétrica para simulação do desempenho da iluminação natural e termo-energético da edificação. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 19., Florianópolis, 2015. **Anais [...]** Florianópolis, 2015.

FONSECA, R. W. da. **Iluminação natural e consumo energético de edificações não residenciais: aplicação de redes neurais artificiais.** Florianópolis, 2015. 466 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

FOSTER, M.; ORESZCZYN, T. Occupant control of passive systems: the use of venetian blinds. **Building and Environment**, v. 36, p. 149-155, 2001.

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

GARCIA, D. de L. R.; PEREIRA, F. O. R. Análise da exposição ao ofuscamento e à insolação em ambiente de uso prolongado. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, p. e020004, 2020.

HAZBOUN, V. D. **Desempenho da luz natural em ambientes com aberturas voltadas para leste considerando a influência dos usuários.** Natal, 2018. 119 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

HESCHONG, L. **Daylighting in schools:** an investigation into the relationship between daylighting and human performance. Fair Oaks: Pacific Gas and Electric Company, 1999.

HESCHONG, L. **Visual delight in architecture:** daylight, vision, and view. London: Routledge, 2021.

HONG, T. *et al.* An ontology to represent energy-related occupant behavior in buildings: part II: implementation of the DNAS framework using an XML schema. **Building and Environment**, v. 94, p. 196-205, 2015a.

HONG, T. *et al.* An ontology to represent energy-related occupant behavior in buildings part i: introduction to the dnas framework. **Building and Environment**, v. 92, p. 764-777, 2015b.

INKAROJIT, V. **Balancing comfort: occupants' control of window blinds in private offices.** Berkeley, 2005. PhD - University of California, Berkeley, 2005.

KIM, H.; YI, Y. K. QuVue implementation for decisions related to high-rise residential building layouts. **Building and Environment**, v. 148, p. 116–127, 2019.

KIM, J. T.; KIM, G. Advanced external shading device to maximize visual and view performance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE HEALTHY BUILDINGS, 2., Seoul, 2009. **Proceedings [...]** Seoul, 2009.

KIMBALL, S.; MATTIS, P.; GIMP TEAM. **GIMP.** Disponível em: <https://thegimpteam1.software.informer.com/>. Acesso em: 20 jan. 2022.

KIRIMTAT, A. *et al.* Review of simulation modeling for shading devices in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 23–49, 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. 2. ed. São Paulo: ProLivros, 2004.

LEDER, S. M. **Ocupação urbana e luz natural:** proposta de parâmetro de controle da obstrução do céu para garantia da disponibilidade à luz natural. Florianópolis, 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

LENOIR, A. *et al.* Optimisation methodology for the design of solar shading for thermal and visual comfort in tropical climates. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 13., Chambéry, 2013. **Proceedings [...]** Chambéry, 2013.

LIMA, K. M. de; BITTENCOURT, L. S.; CARAM, R. M. Ranking configurations of shading devices by its thermal and luminous performance. In: CONFERENCE, SUSTAINABLE ARCHITECTURE FOR A RENEWABLE FUTURE, 29., Munich, 2013. **Proceedings [...]** Munich, 2013.

- LIMA, K. M. de; CARAM, R. M. Avaliação de sistemas de janelas para suporte a decisões de projeto quanto ao equilíbrio de ganhos de luz e calor. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 117-133, 2015.
- MACEDO, C. C. de; PEREIRA, F. O. R. Thermal and luminous performance of direct sunlighting systems. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 20., Santiago, 2003. **Proceedings [...]** Santiago, 2003.
- MAHDAVI, A. People in building performance simulation. In: HENSEN, J.; LAMBERTS, R. (ed.). **Building performance simulation for design and operation**. New York: Taylor & Francis, 2011.
- MAHDAVI, A.; PRÖGLHÖF, C. User behavior and energy performance in buildings. In: INTERNATIONALEN ENERGIEWIRTSCHAFTSTAGUNG AN DER TU WIEN, Viena, 2009. **Proceedings [...]** Viena, 2009.
- MARDALJEVIC, J. *et al.* Daylighting metrics for residential buildings. In: SESSION OF THE CIE, 27., Sun City, 2011. **Proceedings [...]** Sun City, 2011.
- MARSH, A. **Solar Tool 2.0**. Disponível em: <https://solar-tool.software.informer.com/2.0/>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- MCNELL, R.; ASSOCIATES. **Grasshopper**. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/6/new/grasshopper/>. Acesso em: 20 jan. 2018a.
- MCNELL, R.; ASSOCIATES. **Rhinoceros 3D**. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/>. Acesso em: 20 jan. 2018b.
- MEEK, C.; BRESHEARS, J. Dynamic solar shading and glare control for human comfort and energy efficiency at UCSD: integrated design and simulation strategies. In: SOLAR 2010 CONFERENCE PROCEEDINGS, Phoenix, 2010. **Proceedings [...]** Phoenix, 2010.
- MIAO, C. *et al.* Review of methods used to estimate the sky view factor in urban street canyons. **Building and Environment**, v. 168, n. 72, 2020.
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research and Technology**, v. 37, n. 1, p. 41-59, 2005.
- NICOL, J. F. Characterizing occupant behavior in buildings: towards a stochastic model of occupant use of windows, lights, blinds, heater and fans. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 7., Rio de Janeiro, 2001. **Anais [...]** Rio de Janeiro, 2001.
- NICOL, K. The energy balance of an exterior window surface. **Building and Environment**, v. 12, p. 215-219, 1977.
- O'BRIEN, W. Occupant-proof buildings: can we design buildings that are robust against occupant behavior? In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 13, Chambéry, 2013. **Proceedings [...]** Chambéry, 2013.
- O'CONNOR, J. *et al.* **Tips for daylighting with windows: the integrated approach**. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997.
- O'BRIEN, W. Evaluating the performance robustness of fixed and movable shading devices against diverse occupant behaviors. In: SIMAUD SYMPOSIUM ON SIMULATION FOR ARCHITECTURE & URBAN DESIGN, San Diego, 2013. **Proceedings [...]** San Diego, 2013.
- OCHOA, C. E. *et al.* Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. **Applied Energy**, v. 95, p. 238-245, 2012.
- O'CONNOR, J. *et al.* **Tips for daylighting with windows: the integrated approach**. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997.
- OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton: Princeton University Press, 1963.
- PARYS, W.; SAELENS, D.; HENS, H. Coupling of dynamic building simulation with stochastic modelling of occupant behaviour in offices: a review-based integrated methodology. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 4, p. 339-358, 2011.

- PIGG, S.; EILERS, M.; REED, J. **Behavioral aspects of lighting and occupancy sensors in private offices**: a case study of a university office building. Pacific Grove: American Council for an Energy-Efficient Economy ACEEE, 1996.
- POLINDER, H. *et al.* **Occupant behavior and modeling in total energy use in buildings**: analysis and evaluation methods. Tohoku: H. Yoshino, 2013.
- REA, M. S. Window blind occlusion: a pilot study. **Building and Environment**, v. 19, p. 133-137, 1984.
- REINHART, C. F. **Daylight availability and manual lighting control in office buildings**: simulation studies and analysis of measurement. Karlsruhe, 2001. Tese (Doctor of Philosophy) - Technical University of Karlsruhe, Karlsruhe, 2001.
- REINHART, C. F. Tutorial on the use of dayism simulations for sustainable design. Cambridge: Harvard University, 2010.
- REINHART, C. F.; BOURGEOIS, D; DUBROUS, F. Lightswitch: a model for manual control of lighting and blinds. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON THE BUILT ENVIRONMENT IN TRANSITION, Lausanne, 2003. **Proceedings [...]** Lausanne, 2003.
- REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. **Leukos: The Journal of the Illuminating Engineering Society**, Ottawa, v. 3, p. 7-31, 2006.
- REINHART, C. F.; VOSS, K. Monitoring manual control of electric lighting and blinds. **LRT: Lighting Research & Technology**, v. 35, n. 3, p. 243-260, 2003.
- REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The daylighting dashboard: a simulation-based design analysis for daylight spaces. **Building and environment**, v. 46, n. 2, p. 386-396, 2010.
- ROCHA, A. P. de A.; PEREIRA, F. O. R. Avaliação do consumo de energia de edificações considerando a luz natural e sistemas de controle através de simulação computacional integrada. In: ENCONTRO NACIONAL, 11.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., Búzios, 2011. **Anais [...]** Búzios, 2011.
- ROETZEL, A. Occupant behaviour simulation for cellular offices in early design stages: architectural and modelling considerations. **Building Simulation**, v. 8, p. 211-224, 2015.
- RORIZ, Maurício. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações, 2009.
- RUBIN, A.; COLLINS, B.; TIBBOTT, R. **Window blinds as a potential energy save**: a case study. Washington: [s. n.], 1978.
- SOLEMMA LLC. **DIVA for Rhino**. Disponível em: <https://www.solemma.com/>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- STACK, A.; GOULDING, J.; LEWIS, J. O. **Shading systems**: solar shading for the European climates. Dublin: Energy Research Group, 2000.
- SZOKOLAY, S. V. **Introduction to architectural science**: the basis of sustainable design. Bullington: Architectural Press, 2004.
- TREGENZA, P.; WILSON, M. **Daylighting**: architecture and lighting design. London; New York: Routledge, 2011.
- TZEMPELIKOS, A. **A methodology for integrated daylighting and thermal analysis of buildings**. Montreal, 2005. 293 f. Tese (Doctor of Philosophy) – Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University, Montreal, 2005.
- TZEMPELIKOS, A.; ATHIENITIS, A. K. The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. **Solar Energy**, v. 81, p. 369-382, 2007.
- WONG, I. L. A review of daylighting design and implementation in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 959-968, 2017.
- YAN, D. *et al.* Occupant behavior modeling for building performance simulation: current state and future challenges. **Energy and Buildings**, v. 107, p. 264-278, 2015.
- YI, Y. K.; KIM, H. Universal visible sky factor: a method for calculating the three-dimensional visible sky ratio. **Building and Environment**, v. 123, p. 390-403, 2017.

ZHANG, Y.; BARRETT, P. Factors influencing occupants' blind-control behaviour in a naturally ventilated office building. **Building and Environment**, v. 54, p. 137–147, 2012.

**Viviane Diniz Hazboun**

Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Administração do projeto, Desenvolvimento, Implementação e teste de softwares, Supervisão, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação dos dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Arquitetura | Universidade Federal do Rio Grande do Norte | Campus Universitário, Lagoa Nova | Natal - RN - Brasil | CEP 59078-970 | Tel.: (84) 99643-4982 | E-mail: vivianehazboun@gmail.com

**Juliana Portela Vilar de Carvalho**

Conceitualização, Análise de dados, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Arquitetura | Universidade Federal do Rio Grande do Norte | E-mail: juliportela@gmail.com

**Aldomar Pedrini**

Conceitualização, Análise de dados, Metodologia, Administração do projeto, Supervisão, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação dos dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Arquitetura | Universidade Federal do Rio Grande do Norte | E-mail: apedrini@ufrnet.br

***Ambiente Construído***

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)

[www.scielo.br/ac](http://www.scielo.br/ac)

E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.