

## O IMPACTO DO OFUSCAMENTO NO USO DA LUZ NATURAL NA JANELA

Juliana Portela Vilar de Carvalho <sup>1</sup>

Contato: juliportela@gmail.com

Tecnologia e conforto no ambiente construído

### INTRODUÇÃO

O aproveitamento da luz natural é influenciado pela relação entre variáveis como percentual de abertura de fachada (PAF) (O'CONNOR *et al.*, 1997; CINTRA, 2011; ARAÚJO, 2012; CARVALHO, 2014; FELIPPE *et al.*, 2015; FONSECA, 2015; LIMA, CARAM, 2015; MORENO, 2015; DIAS, 2016), sombreamento (RUBIN, COLLINS, TIBBOTT, 1978; REINHART, WALKENHORST, 2001; REINHART, VOSS, 2003; REINHART, BOURGEOIS, DUBROUS, 2003; LIMA, BITTENCOURT, CARAM, 2013; CARVALHO, 2014; LIMA, CARAM, 2015; MORENO, 2015; DIAS, 2016), fator de céu visível (FCV) (LEDER, PEREIRA, CLARO, 2008; CARVALHO, 2014; MORENO, 2015; CARVALHO *et al.*, 2016; DIAS, 2016) e o usuário (TURNER, HONG, 2013; YAN, HONG, 2014; HONG *et al.*, 2015a; HONG *et al.*, 2015b; YAN *et al.*, 2015; CARVALHO *et al.*, 2017).

O percentual de abertura de fachada corresponde à fração de área de abertura em relação à área de fachada e é frequentemente empregada em normas e recomendações (LAMBERTS *et al.*, 2009, p.29), como o Tips for daylighting (O'CONNOR *et al.*, 1997, p.2-2) e o próprio regulamento técnico (INMETRO, 2010, 10 e 29).

O elemento de sombreamento corresponde à uma obstrução para a entrada de luz natural, assim como um elemento de controle para adequar a luz e os mais recorrentes para edificações de escritórios são os brises e persianas com o acionamento controlado pelo usuário (RUBIN, COLLINS, TIBBOTT, 1978; REINHART, WALKENHORST, 2001; REINHART, VOSS, 2003; REINHART, BOURGEOIS, DUBROUS, 2003). O controle solar é necessário nos casos com elevado número de horas de insolação, e tem como objetivos a eficiência energética, e uma boa distribuição de iluminação natural (Ruck, 1998; Zonneveldt & Mallory-Hill, 1998, *apud* SOUZA, 2004, p.11). Os dispositivos de sombreamento podem ser fixos à edificação e móveis (GIVONI, 1998, p.62).

O sombreamento pode ser total para uma distribuição de iluminação natural mais uniforme, sem a presença de

contrastes, proporcionando um melhor desempenho de luz natural (LIMA, CARAM, 2015; CARVALHO *et al.*, 2016), e pode ser parcial para uma distribuição de luz natural com contrastes, falta de uniformidade, além da entrada de radiação solar direta que favorece as ocorrências de ofuscamento (CARVALHO *et al.*, 2016).

A quantidade de céu visível a partir de um ponto, observador ou superfície corresponde à fonte luz disponível assim como à obstrução da luz, e pode ser representada de diferentes formas, como fração de céu visível ou FCV (SOUZA *et al.*, 2010; COLLISCHONN, FERREIRA, 2015a; PAULA *et al.*, 2016a), ou fator de visão de céu ou FVC (LEDER, PEREIRA, CLARO, 2008; CARVALHO, 2014; MORENO, 2015; CARVALHO *et al.*, 2016; DIAS, 2016), ou fração de vazio (CHEN, BLACK, ADAMS, 1991; GARDINGEN *et al.*, 1999; HALE, EDWARDS, 2002; JONCKHEERE *et al.*, 2004; JONCKHEERE *et al.*, 2005; LEBLANC *et al.*, 2005; PODADERA *et al.*, 2015), e ainda como janela de céu preferível (JCP) para uma zona de céu limitada (LEDER, 2007, p.102). A quantidade de céu é representado por meio da máscara de sombra (LEDER, 2007, p.40) sobre a carta solar (BITTENCOURT, 2004, p.27; LEDER, 2007, p.74).

Constatou-se correlações entre PAF e FCV para UDI entre 300lux e 2000lux em Natal-RN, favorecendo PAF pequeno com FCV alto, PAF intermediário com FCV intermediário e grande; PAF grande, com FCV pequeno (MORENO, 2015; CARVALHO *et al.*, 2016).

### OBJETIVOS

O objetivo geral da tese é determinar recomendações de projeto para janelas em Natal que não causem a inibição do uso da luz natural por parte do usuário. O objetivo específico deste recorte é:

- Identificar os principais sistemas de aberturas sombreadas adequados para regiões de clima tropical;

## MÉTODO

Os procedimentos aqui apresentados são um recorte do método da tese sobre a análise dos sistemas de aberturas sombreadas.

### DETERMINAÇÃO DE SISTEMAS DE ABERTURA

São determinados 33 modelos com potencial de aproveitamento de luz natural, baseados na seleção dos tipos mais recorrentes para orientação Leste, a partir dos quais são variadas as dimensões para gerar modelos com 100% de sombreamento, que bloqueie a radiação solar direta nos períodos de ocupação e diferentes FCV, conforme Figura 1.

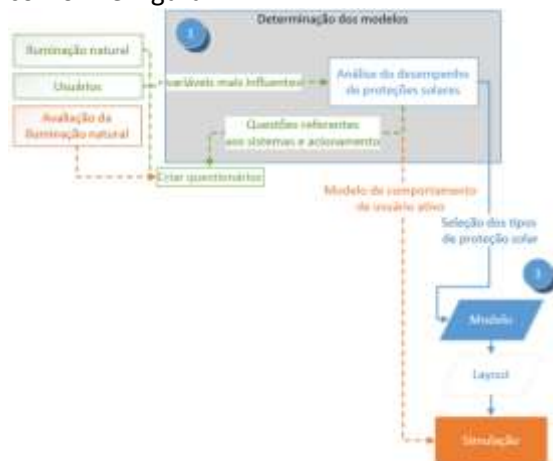


Figura 1: Diagrama da abordagem 1.

### ABERTURAS

As aberturas são dimensionadas com base no percentual de abertura de fachada (PAF) com 40% (Figura 2), 60% (Figura 3) e 80% (Figura 4) (O'CONNOR *et al.*, 1997; CINTRA, 2011; ARAÚJO, 2012; CARVALHO, 2014; FELIPPE *et al.*, 2015; FONSECA, 2015; LIMA, CARAM, 2015; MORENO, 2015; CARVALHO *et al.*, 2016; DIAS, 2016). Calcula-se a área da abertura multiplicando a área da fachada pelo PAF (LAMBERTS *et al.*, 2009, p.29). As dimensões das aberturas são calculadas para que seja mantido o mesmo número de pontos de medição do desempenho luminoso em todos os casos para operacionalizar o tratamento dos resultados de simulação do desempenho luminoso (terceira abordagem), assim como da comparação do desempenho entre os casos simulados. Parte-se da posição centralizada da janela em relação à fachada e da Equação 1 e Tabela 1 (ABNT, 2005), que define o número de pontos de medição, a partir do comprimento, largura e diferença entre altura da verga de janela e o plano de trabalho, definido no valor de 0,75m. Foi definido um número de sensores de 16, a

partir da Equação 1, presente na norma de iluminação natural parte 4 (ABNT, 2005, p.6).

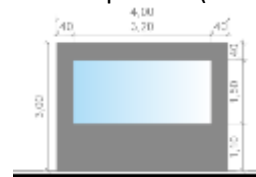


Figura 2: PAF 40% fachada 4m.

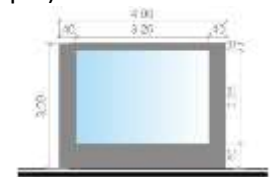


Figura 3: PAF 60% fachada 4m.

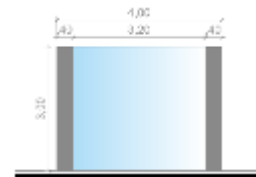


Figura 4: PAF 80% fachada 4m.

$$K = \frac{C \times L}{H_m \times (C + L)}$$

Equação 1: cálculo do índice "K".

Fonte: (ABNT, 2005, p.6).

Onde:

L é a largura do ambiente (m);

C é o comprimento do ambiente (m);

H<sub>m</sub> é a distância vertical, em metros, entre a superfície de trabalho e o topo da janela, em metros

Tabela 1: Quantidade mínima de pontos de sensores.

K	Número de pontos
K<1	9
1≤K<2	16
2≤K<3	25
K≥3	36

Fonte: (CIBSE, 1984, apud ABNT, 2005, p.7).

### SOMBREAMENTOS

Foram determinadas as dimensões de tipos de sombreamento para selecionar sistemas 100% sombreados nos períodos de ocupação, das 8h às 12h, porém com diferentes FCV para simular o desempenho luminoso na terceira abordagem. Adotou-se sombreamento total para evitar a falta de uniformidade e ofuscamento (CARVALHO, 2014; PEDRINI, CARVALHO, 2014; MORENO, 2015). As dimensões dos sistemas de sombreamento são modeladas no Solar Tool (MARSH, 2010) e a máscara de sombra estereográfico é simulada para sombreamento total e no modo percentual, para visualização da quantidade de céu visível, em latitude - 5,5° e longitude -35,5°, conforme Figura 5 e Figura 6,

vide **Erro! Fonte de referência não encontrada..** As dimensões são alteradas até que o sombreamento seja atingido.

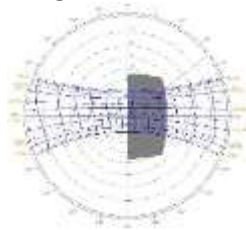


Figura 5: Máscara de sombra gerada no Solar Tool com a ferramenta totalmente sombreado, para PAF 40% com marquise e brises de 0,50m.

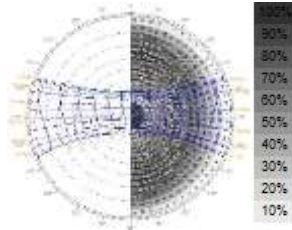


Figura 6: Máscara de sombra gerada no Solar Tool com a ferramenta sombreamento em percentual, para PAF 40% com marquise e brises de 0,50m.

Os sistemas selecionados para o estudo devido sua recorrência em ambientes de escritórios foram os do tipo móvel, como brises e persianas (RUBIN, COLLINS, TIBBOTT, 1978; REINHART, WALKENHORST, 2001; REINHART, VOSS, 2003; REINHART, BOURGEOIS, DUBROUS, 2003), e do tipo fixo, como marquises, devido a sua eficiência e recorrência, e combinações de marquise com brises e somente brises. A mobilidade dos brises (de 0,30m, 0,40m e 0,50m) considera ajustes horários nas inclinações das lâminas em sete estágios diferentes (retraído, 0°, 10°, 20°, 30°, 40° e 50°), que correspondem a hipotética operação do usuário ou por automatização (Figura 7).

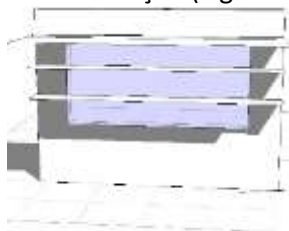


Figura 7: Volumetria do sistema de combinado de marquise e brise fixo.

#### QUANTIDADE DE CÉU VISÍVEL

Foram determinadas três quantidades de FCVs: pequena ( $<33\%$ ), a exemplo Figura 8; média ( $33\% \leq FCV_m \leq 67\%$ ), conforme Figura 9; e a grande ( $FCV_g > 67\%$ ), conforme Figura 10. O critério foi baseado na divisão do percentual total de área visível de céu de 100% em três partes iguais, optou-se por simplificar a classificação para somente três tamanhos de FCV para facilitar o tratamento e análise dos dados simulados.

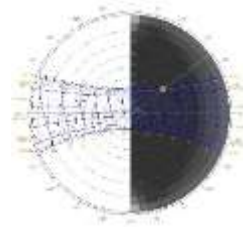


Figura 8: Fator de céu visível pequeno para o modelo marquise 1,5m, com brises 0,50m, com inclinação 50° para o PAF 40%.

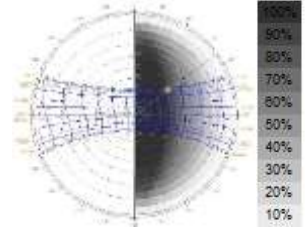


Figura 9: Fator de céu visível médio para o modelo de brises móveis com 0,40m e inclinação de 0° para o PAF de 60%.

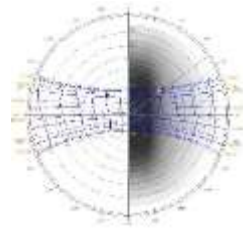


Figura 10: Fator de céu visível grande para o modelo marquise fixa 1,5m para o PAF de 80%.

A determinação de diferentes FCVs é feita por tentativa e erro, por meio da alteração das dimensões dos protetores e avaliação visual por meio do diagrama de máscara de sombra com projeção estereográfica e sombreamento parcial por meio Solar Tool (MARSH, 2011), conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Em seguida, o FCV é confirmado pela quantificação de cada fração de sombreamento em relação à metade da abóboda celeste, correspondente à vista da janela, por meio do Autocad (AUTODESK, 2013) e planilha eletrônica (2014), conforme Figura 10 e Figura 11.

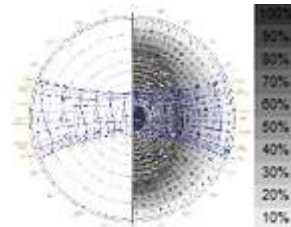


Figura 11: Máscara de sombra no Solar Tool com percentual de sombreamento da abertura.

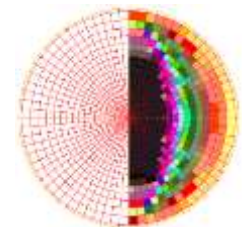


Figura 12: Mapeamento da área de céu visível da máscara de sombra.

#### TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Os resultados são organizados em planilha eletrônica (**Erro! Fonte de referência não encontrada..**) como: tipo,

profundidade (m), PAF (%), quantidade de brises, inclinação dos brises ( $^{\circ}$ ), ângulo vertical de sombreamento ( $^{\circ}$ ), horários com 100% de sombreamento, meses com 100% de sombreamento e FCV (%). O FCV quantificado em percentual é agrupado em três categorias: pequeno ( $0\% < \text{FCV} < 33,33\%$ ), médio ( $33,33\% \leq \text{FCV} \leq 66,66\%$ ), e grande ( $\text{FCV} > 66,66\%$ ). A coluna com a classificação do FCV recebe um filtro que possibilita a organização de todos os modelos com FCV pequeno, médio e grande de forma separada.

## DESENVOLVIMENTO

São apresentados resultados parciais sobre as análises dos sistemas de sombreamento.

### DETERMINAÇÃO DE SISTEMAS DE ABERTURA

Foram observadas maiores dificuldades para sombrear totalmente os modelos com sistemas apenas fixos. Principalmente no caso das marquises fixas, cujo desempenho do sombreamento só pode ser melhorado com o aumento da profundidade da marquise e das projeções laterais, que variaram de 1,1m, 1,4m e 1,5m para os PAF's de 40%, 60% e 80%.

A marquise fixa com brises fixos tem um melhor desempenho de sombreamento que o anterior, não necessitando de amplas projeções laterais, que foram reduzidas para 0,55m, entretanto há uma redução maior da vista para o exterior. Quanto maior é a área de abertura, mais robusto deve ser o sistema de sombreamento fixo, para compensar a quantidade de horas 100% sombreadas, a quantidade de aletas dos brises variou de 2, 3 e 4 para o PAF de 40%, 3,4, e 6 para o PAF de 60% e 5,6 e 8 para o PAF de 80%.

O sistema misto composto por marquise fixa e brises, tem a vantagem de abrir a área de céu visível no horário da tarde quando não há incidência de radiação solar direta. Conforme a área de abertura aumenta, a quantidade das aletas dos brises tem que ser aumentada para garantir um sombreamento total com horários de início de sombreamento compatíveis com o horário de ocupação proposto para uma edificação de escritórios. A quantidade de aletas aumentou conforme a área de janela aumentou, variando entre 2 e 4 para o PAF de 40%, 3 e 5 para o PAF de 60% e 6 para o PAF de 80%.

Os sistemas de brises móveis têm um amplo aproveitamento da área de céu visível a partir das 12h, período em que não há incidência de radiação solar direta, cujos brises encontram-se totalmente retraídos.

Os horários de sombreamento dos sistemas variam conforme o tamanho de abertura e a área de céu visível, de acordo com Tabela 2:

Tabela 2: Horário de sombreamento para os tipos de sombreamento analisados.

Tipo	PAF	Horário de sombreamento
Marquise fixa	40	8h-8h30min
	60	9h10min-9h30min
	80	9h55min-10h
Marquise fixa com brises fixos	40	8h15min-8h30min
	60	8h40min-8h50min
	80	8h15min-8h45min
Marquise fixa com brises móveis	40	6h55min-8h55min
	60	7h20min-9h
	80	6h55min-9h
Brises móveis	40	6h55min-8h55min
	60	7h30min-9h
	80	6h55min-8h55min

Conclui-se que à medida que o tamanho da abertura aumenta, maior deve ser o sistema de sombreamento para garantir uma proteção total por um maior número de horas possível dentro do horário de ocupação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os sistemas de sombreamento devem ser adequados ao tamanho das aberturas, que estão relacionados com a quantidade de céu visível. Aberturas pequenas devem ter um maior FCV e sistemas de proteção mais leves, com dimensões menores. Aberturas médias devem ter um FCV intermediário, com sistemas de proteção com dimensões medianas. Aberturas grandes devem ter um FCV pequeno, significando dizer que os sistemas de proteção devem ser mais robustos, com maior dimensionamento. Aberturas no sentido Leste tem uma maior complexidade na elaboração do sistema de sombreamento devido ao posicionamento do Sol ser frontal durante o período matutino, exigindo sistemas que fechem a visual da janela durante este período como brises, persianas ou cortinas.

Sistemas unicamente fixos devem ter dimensões maiores de profundidade e distâncias laterais da janela, que nem sempre são as mais recorrentes nos projetos de arquitetura.

O misto de sistemas fixos e móveis pode ser uma boa alternativa para sombreamento. Os sistemas móveis seriam usados para complementar os horários em que os sistemas fixos não foram suficientes para proteger,



sem a exigência de maiores profundidades ou largura de protetores fixos para sombrear totalmente.

O uso exclusivo de sistemas móveis é uma melhor alternativa para se garantir um maior FCV, consequentemente um maior contato com o exterior, nos horários em que o sistema está retraído, entretanto há uma maior dependência da interação do usuário com os sistemas, no caso do acionamento ser manual, e se o acionamento for automático não há ainda uma definição sobre as preferências e tolerância dos usuários sobre os níveis de iluminância adequados ou daqueles que seriam indicativos para o fechamento de brises, persianas ou cortinas.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 5413 Iluminância de interiores**. ABNT. Rio de Janeiro 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO/CIE 8995-1. Iluminação de ambientes de trabalho - parte 1: Interior**: ABNT 2013.

ARAÚJO, Juliana De Sá. **UMA JANELA TROPICAL: Análise do desempenho luminoso de ambientes com aberturas sombreadas para o clima de Natal/RN**. 2012. (Mestrado). Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal.

BROWN, Zofia Birgit. **Occupant comfort and engagement in green buildings: Examining the effects of knowledge, feedback and workplace culture**. 2009. 1-192 (Doctor of Philosophy). The faculty of Graduate Studies (Resource Management and Environmental Studies), The university of British Columbia, Vancouver.

CARVALHO, Juliana; MORENO, Vany; TINOCO, Marcelo; PEDRINI, Aldomar. **The inadequacy of rules-of-thumb to determine daylight zone depth for different shading systems in tropical climate**. *PLEA 2016 Los Angeles | Cities, Buildings People: Toward Regenerative Environments*. Los Angeles. III: 1572-1576 p. 2016.

CARVALHO, Juliana Portela Vilar de. **Simulação do desempenho luminoso para salas de aula em Natal-RN**. 2014. (Mestrado). Departamento de arquitetura e urbanismo Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

CINTRA, Milena Sampaio. **Arquitetura e luz natural - A**

**influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais**. 2011. Universidade de Brasília - UNB, Brasília.

D'OCA, S.; CORGNATI, S.; PISELLO, A. L.; HONG, T.

**Introduction to an occupant behavior motivation survey framework**. *CLIMA*. Dinamarca 2016.

DIAS, Alice Ruck Drummond. **Análise do impacto do sombreamento vegetal no conforto termoluminoso de edificações no clima quente e úmido**. 2016. (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal.

FELIPPE, Alexandre Reis; FONSECA, Raphaela Walger da; MORAES, Letícia Niero; PEREIRA, Fernando O. Ruttkay. **Modelagem paramétrica para simulação do desempenho da iluminação natural e termo-energético da edificação**. *SIGRAFI* Florianópolis: 398 a 404 p. 2015.

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

INKAROJIRIT, V. **Balancing comfort: occupants' control of window blinds in private offices**. 2005. 1-281 ( Doctor of Philosophy (PhD)). Center for the Built Environment, University of California, Berkeley, Berkeley.

JAKUBIEC, J. Alstan; REINHART, Christoph F. **Predicting visual comfort conditions in a large daylight space based on long-term occupant evaluations: a field study**. *Building Simulation* 3408-3415 p. 2013.

LIMA, Kamila Mendonça de; CARAM, Rosana Maria. **Avaliação de sistemas de janelas para suporte a decisões de projeto quanto ao equilíbrio de ganhos de luz e calor**. *Ambiente Construído*. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. v. 15: p. 117-133 p. 2015.

MARSH, Andrew. **Solar Tool** 2010.

MCNEEL, Robert; ASSOCIATES. **Rhinoceros** 2015.

MORENO, Vany Patrick Cortez. **Estratégias para obtenção de adequada iluminação natural em escolas: uma análise de sistemas de aberturas para Natal/RN**. 2015. (Mestrado). Departamento de Pós-graduação em arquitetura e urbanismo, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Natal.

O'CONNOR, Jennifer; LEE, Eleanor ; RUBINSTEIN, Francis ; SELKOWITZ, Stephen. **Tips for daylighting with windows - The integrated approach**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, p.1-107. 1997

PAINTER, B.; MARDALJEVIC, J; FAN, D. . **Monitoring Daylight Provision and Glare Perception in Office**

**Environments** 148-160 p. 2010.

REINHART, C. F.; BOURGEOIS, Denis; DUBROUS, Francois.

**Lights witch : a model for manual control of lighting and blinds.** Conference Proceedings CISBAT. Lausanne, Switzerland: NRC Publications Archive (NPArc).

Archives des publications du CNRC (NPArc). NRCC-46650.: 1-6 p. 2003.

REINHART, CF; VOSS, K. Monitoring manual control of electric lighting and blinds. **Lighting Res. Technol.**, p. 243–260, 2003.

REINHART, Christoph F; WALKENHORST, Oliver. **Validation of dynamic radiance based daylight simulations for a test office with external blinds.** **Energy and Buildings.** Energy and Buildings: Research Gate. 33: 683-697 p. 2001.

RORIZ, Maurício. **RN\_Natal.epw**. São Carlos Roriz Bioclimática 2009.

RUBIN, AI; COLLINS, BL; TIBBOTT, RL. **Window blinds as a potential energy saver case study.** SER, N. B. S. Washington: 112 p. 1978.

RUTTEN, David. **Grasshopper**. Robert McNeel & Associates 2015.

SOLEMMA. **Diva for Rhino** 2014.

SOLEMMALLC. **DIVA-for Rhino** 2016.

WIENOLD, Jan. **Dynamic daylight glare evaluation** Eleventh International IBPSA Conference. Glasgow: 944-951 p. 2009.

WIENOLD, Jan; CHRISTOFFERSEN, Jens. **Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras.** Energy and Buildings Elsevier. Science Direct. 38: 743–757 p. 2006.

## NOTAS