



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

FERRAMENTA SIMPLIFICADA PARA A ESTIMATIVA DO DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS¹

PEREIRA, Fernando O. R. (1); Fonseca, Raphaela W. (2); GIRALDO, Natália V. (3); SCALCO, Veridiana A. (4); MARIANO, Pedro O. P. (5); QUEIROZ, Natália (6); ROSA, Franciele F. (7)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, rutt kay.pereira@ufsc.br

(2) UFSC, raphaela.walger@ufsc.br

(3) UFSC, ngiraldv@gmail.com

(4) UFSC, veridi@gmail.com

(5) UFSC, pedro.pm@hotmail.com

(6) UFSC, nataliaqueiroz.arq@gmail.com

(7) UFSC, franciele@labcon.ufsc.br

RESUMO

A luz natural é um recurso que traz inúmeros benefícios para a saúde e bem estar das pessoas. Portanto, garantir a suficiência da luz natural nos ambientes internos desde as fases iniciais de projeto é importante, sendo favorável o uso de métodos simplificados em detrimento de simulações complexas. O objetivo deste trabalho é apresentar uma ferramenta simplificada para a avaliação do desempenho de ambientes residenciais quanto à suficiência de iluminação natural, por meio de ábacos. O método foi estruturado em três etapas: i. proposta conceitual do ábaco; ii. a base de dados gerada por simulação computacional, utilizando o plugin DIVA para Grasshopper; iii. análise dos resultados e consolidação do ábaco. Como resultados foram apresentadas as análises do desempenho de iluminação natural de acordo com a base de dados, o ábaco consolidado e um estudo de caso. Conclui-se que o ábaco consiste em uma ferramenta de avaliação expedita aplicável a grande parte dos ambientes residenciais encontrado no estoque construído nacional. Como principal limitação, o ábaco deve ser individualizado para diferentes tipos de vidro e características locais.

Palavras-chave: Iluminação Natural. Ferramenta Simplificada. Ábaco.

ABSTRACT

Daylight is a natural resource that has any benefits for the health and wellbeing of users in the interiors. Therefore, to achieve a daylight quality sufficiency for early design stage is important, and it is favourable the use of simplified tools instead of complex simulation tools. The objective of this paper is to show a simplified tool for performance evaluation for residential environments regarding the sufficiency of daylighting through abacus. The paper is structured in three parts: I. the conceptual propose of the abacus; II. The input data generated by computational simulation using the plugin DIVA for Grasshopper; III. Results analysis and abacus consolidation.

¹ PEREIRA et al. Ferramenta simplificada para a estimativa do desempenho da iluminação natural em edificações residenciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8 p., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

The results show the daylight performance analysis according to the database, the consolidated abacus and a study case. It was concluded that the abacus consists of an availability tool expeditious applicable to many residential spaces easily found in the national building industry. The main limitation is that the abacus needs to be individualized for different kinds of glass.

Keywords: Daylight. Simplified Tool. Abacus.

1 INTRODUÇÃO

Inúmeros fatores justificam a consideração da iluminação natural como um norteador do projeto de edificações. Além de grande potencial projetual, a luz natural está associada ao bem-estar e à saúde dos usuários, requer baixa manutenção e apresenta potencial de economia de energia (REPPERT E WEAVER, 2002, HESCHONG, 2011). Seus atributos qualitativos alinham-se com o contexto contemporâneo da construção sustentável, em que se almeja ir além das abordagens centradas em energia, focando na qualidade de vida e no bem-estar psicobiológico dos ocupantes (ANDERSEN, 2015; IWBI, 2020).

A iluminação natural das edificações normalmente é resultante de escolhas que visam a composição formal e não necessariamente o desempenho luminoso (RUGGIERO; FLORENÇA; DIMUNDO, 2009). Os profissionais em sua grande maioria, ainda que considerem importante o aproveitamento dos recursos naturais, não incorporam métodos e práticas que conduzam ao aproveitamento destes recursos no projeto arquitetônico, por vezes, devido à deficiência na apropriação das ferramentas de apoio ao projeto (PEREIRA et al. 2005, SATTLER, 2007; GALAFASSI, 2012).

O foco de métodos simplificados deve ser a capacidade de se testar os principais parâmetros do ambiente construído que impactam na acessibilidade da luz natural. Parâmetros estes, para os quais a flexibilidade de intervenções e ajustes se reduz significativamente ao longo do processo construtivo e de pós-ocupação. Em contraste com a simulação computacional, métodos simplificados proporcionam respostas rápidas sem necessitar de significativo detalhamento. Atualmente, há uma lacuna quanto a métodos que contemplem o desempenho anual da edificação. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é apresentar uma ferramenta simplificada para a avaliação do desempenho de ambientes residenciais quanto à suficiência de iluminação natural, por meio de ábacos.

2 MÉTODO

O método compreendeu as seguintes etapas: i. proposta conceitual do ábaco; ii. a geração da base de dados para dar suporte à proposição dos ábacos; iii. análise dos resultados de autonomia da luz natural espacial para diferentes alvos de iluminância e consolidação do ábaco.

2.1 Proposição dos Ábacos para a avaliação no território brasileiro

Conceitualmente, o ábaco é uma ferramenta que reporta sobre a suficiência de iluminação natural, segundo 3 faixas de desempenho pré-estabelecidas: suficiência mínima, intermediária e superior. Adotou-se a premissa da condição mais restritiva, assumindo-se que o desempenho de um ambiente avaliado pelo ábaco será igual ou superior à faixa de desempenho correspondente. Assim, o uso do ábaco pode ser estendido para casos que não os da base de dados, cujas características sejam mais favoráveis ao desempenho luminoso (ex: aberturas maiores do que as simuladas). Os

modelos paramétricos adotados são representativos de tipologias arquitetônicas residenciais difundidas na indústria da construção civil brasileira (PONTUAL, 2009; ANDRADE; CHENG, 2006).

O ábaco foi dividido em 4 seções segundo a ocorrência de sacada e beirais. A primeira trata de ambientes sem sacada ou beirais; a segunda de ambientes com sacadas até 1,5m de profundidade; a terceira, de ambientes com sacadas até 3m; e a última, de ambientes com beirais até 1,5m. As análises feitas pelo ábaco permitem agregar a área da sacada ao ambiente adjacente pelo qual é acessada, visto que a integração de tais ambientes é prática comum nas residências brasileiras.

A geometria do ambiente foi abordada segundo conceitos de tamanho e proporção. O tamanho foi associado à largura dos ambientes e a proporção à relação entre largura e profundidade. Assim, foram adotadas 5 larguras diferentes e 4 relações de proporção com a profundidade do ambiente. Os valores de largura e as relações da profundidade são apresentados na Tabela 1. O ábaco aborda apenas geometrias retangulares, mas pode ser utilizado para ambientes cujas formas permitam a setorização em retângulos.

Assumiu-se a área da abertura como 1/6 da área do piso, correspondente ao critério de abertura mínima adotado por grande parte dos códigos de obras brasileiros (PEREIRA; SCHMITT e MORAES, 2015). Os vidros foram modelados com transmissão visível de 40%, 60% e 88%.

De maneira a limitar a quantidade combinações paramétricas, o pé-direito e a altura da verga da janela foram mantidos fixos, assumindo-se que as tipologias residenciais apresentam pouca variação desses elementos. As refletâncias também foram fixadas com valores de referência (IES, 2012), visto que imóveis normalmente são entregues com acabamento padrão. As obstruções do entorno foram consideradas de maneira simplificada, como sendo uniformes e contínuas.

Tabela 1 – Variáveis parametrizada pelo algoritmo

Descrição do edifício	Valores									
Ambiente:										
Pé-direito	2,7m									
Altura da verga (h)	2,1m									
Largura (l)	1,50m ; 2,25 m ; 3,00 m ; 3,75 m ; 4,50 m									
Profundidade	*1	*1,5	*2	*2,5						
Refletância das superfícies	Piso: 20%; Parede: 50%; Teto: 80%									
Orientação	Norte	Leste	Sul	Oeste						
Abertura:										
Área	1/6 da área do piso									
Transmissão visível do vidro (T_{vis})	40% ; 60%; 88%									
Localização da abertura	Centro do ambiente					Alinhada à uma das laterais do ambiente (canto)				
Peitoril janela	inexistente					existente				
Sacada:										
Profundidade Sacada	0,00 m (inexistente)			1,50 m			3,00 m			
Peitoril da sacada	transparente					opaco				
Refletância superfícies	Piso: 20%; Parede: 50%; Teto: 80%									
Entorno:										
Ângulo de obstrução	20°	30°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	80°
Refletância do entorno	Piso externo: 10%					Edificações: 35%				

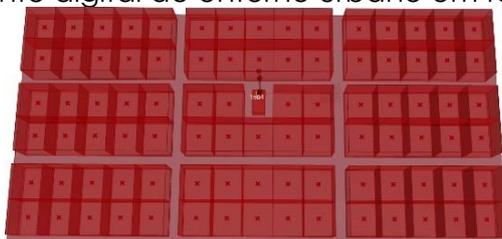
Fonte: Autores (2020)

2.2 Base de Dados

O algoritmo de parametrização, modelagem e simulação foi elaborado no seguinte *switch* de programas: *Rhinoceros 6* (MCNEEL e ASSOCIATES, 2019), seu componente *Grasshopper* e o plugin *Diva-for Rhino* (SOLEMMMA, 2019). O algoritmo executa a simulação da autonomia da luz natural (*Daylight Autonomy – DA*) para uma malha de pontos espaçada em 0,3 m. Como dados de entrada foram utilizados os parâmetros apresentados na Tabela 1, aplicadas a um ambiente retangular. Como saída, obtém-se a área em que se atinge ou ultrapassa três valores de DA alvo, gravados em uma tabela do software Excel. As iluminâncias alvo correspondem a 100lx, 200lx, 250lx e 300lx. O período de ocupação foi considerado das 8h-18h, em todos os dias do ano.

O entorno foi modelado no formato de grelha retangular adotando-se nove quadras, conforme demonstrado pela Figura 01. As edificações vizinhas foram modeladas na base de seus lotes, respeitando infraestruturas urbanas como passeios e ruas, com altura uniforme e sem afastamentos dentro de uma mesma quadra.

Figura 01- Ambiente digital do entorno urbano em formato de grelha.



Fonte: Autores (2020)

Os parâmetros de simulação adotados, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros do *Radiance* adotados para a simulação realizada pelo algoritmo de parametrização

Inter-reflexões do ambiente	Divisão do ambiente	Amostragem do ambiente	Precisão do ambiente	Resolução do ambiente	Limiar direto	Amostragem direta
5	1024	256	0,1	256	0	0

Fonte: Autores (2020)

Os arquivos climáticos utilizados foram os TMYx 2003-2017 (CRAWLEY e LAWRIE, 2018), visando caracterizar o clima na atualidade. As simulações foram realizadas para a cidade de Curitiba.

2.3 Análise do banco de dados

As diferenças no sDA segundo o tipo de vidro foram estudadas por meio de testes pareados de Mann-Whitney, agrupando os casos pela Tvis. Os critérios para a elaboração do ábaco foram selecionados a partir de análises das diferenças no número de casos que atenderam, pelo menos, o nível mínimo de desempenho. Estas análises permitiram escolher a combinação de iluminância alvo e fração de área alvo, que define cada nível de desempenho, sob a qual a maior parte dos casos simulados atingiu um dos três níveis de desempenho.

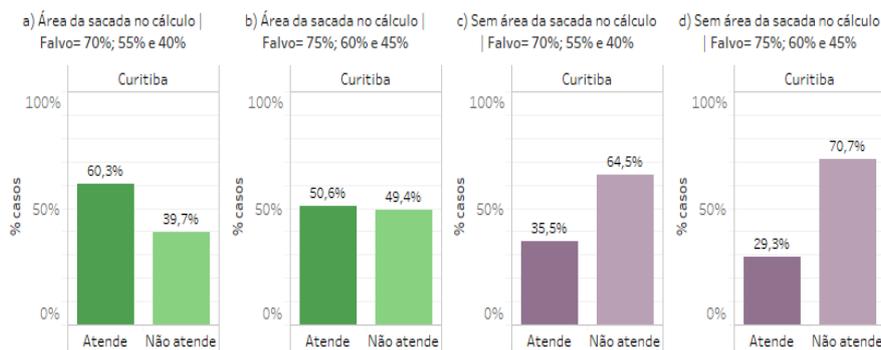
3 RESULTADOS

3.1 Análise do desempenho das tipologias

A análise sobre a influência da inclusão da área da sacada na área avaliada foi realizada para duas opções de fração de área alvo, para as três faixas de desempenho. Na primeira opção foram testadas frações alvo de 70%, 55% e 40% para o nível de desempenho superior, intermediário e mínimo, respectivamente. Na segunda opção foram testadas frações alvo de 75%, 60% e 45% para os mesmos níveis de desempenho.

A Figura 02 mostra a quantidade de casos que atenderam aos alvos de desempenho testados, com um vidro com Tvis 88%. As Figuras 03 a e b apresentam o número de casos incluindo-se a área da sacada no cálculo do sDA. As Figuras 03 c e d, os casos quando não foi incluída esta área no cálculo. Para ambas as opções de fração alvo da área² testadas foi possível identificar que o número de casos que atenderam algum dos três níveis de desempenho foi maior quando incluída a área da sacada no cálculo de sDA. O número de casos que não atendeu o desempenho é maior quando não incluída a área da sacada na área do cálculo: ~65% a ~70%.

Figura 02- Número de casos que atenderam o desempenho incluindo e não incluindo a área da sacada

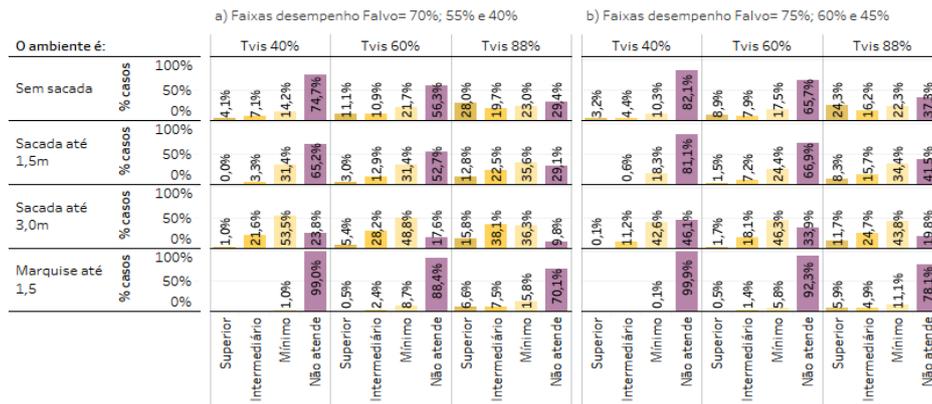


Fonte: Autores (2020)

As diferenças segundo o tipo de vidro -i) Tvis 88% vs. Tvis 60% e ii) Tvis 88% vs. Tvis 40%- indicaram diferenças estatisticamente significativas nos valores de sDA ($p < 0,05$), motivo pelo qual seria necessário individualizar o ábaco para cada tipo de vidro. Posteriormente, os valores de iluminância alvo e da fração alvo do ambiente foram testados. Segundo análises prévias, iluminâncias alvo maiores que 250 lux resultaram em muito restritivas (menos casos atenderam o desempenho). Desta forma, foram realizadas as análises, segundo a transmissão visível do vidro, tendo como iluminância alvo 200 lux e as duas faixas da fração alvo, para definir o nível desempenho, previamente apresentadas. Mesmo com aumentos de apenas 5% na área da fração alvo (Figura 03b), o sDA se mostrou sensível a esta variação a qual representou níveis de desempenho mais exigentes e, portanto, o número de casos que não atendeu nenhum nível foi maior, com as três Tvis do vidro testadas. Assim, para uma iluminância alvo de 200 lux, as faixas de fração alvo escolhidas para a avaliação do desempenho estão apresentadas na Figura 03.

² Fração Alvo da Área é a porcentagem da área do ambiente que apresenta iluminância igual ou superior ao alvo estabelecido, computadas em pelo menos 50% do tempo de ocupação deste ambiente.

Figura 03- Faixas para a definição da fração alvo de cada nível de desempenho



Fonte: Autores (2020)

3.2 Ábaco consolidado

A Figura 04 ilustra o ábaco consolidado para a cidade de Curitiba em ambientes com Tvis 88%. Há quatro classificações possíveis quanto à suficiência da luz dos ambientes, aqui denominadas: **Insuficiente** (faixa incolor do ábaco), quando a autonomia espacial da luz (sDA) não atinge 40% para o alvo de 200 lux; **mínimo** quando o valor de sDA está entre 40% e 54,9%, **intermediário** quando o valor está entre 55% a 69,9%; e **superior** quando está acima de 70%. O alvo de 200 lux foi definido para todas as cidades brasileiras, pois a necessidade dos usuários em termos de suficiência é a mesma, independente da disponibilidade de luz natural.

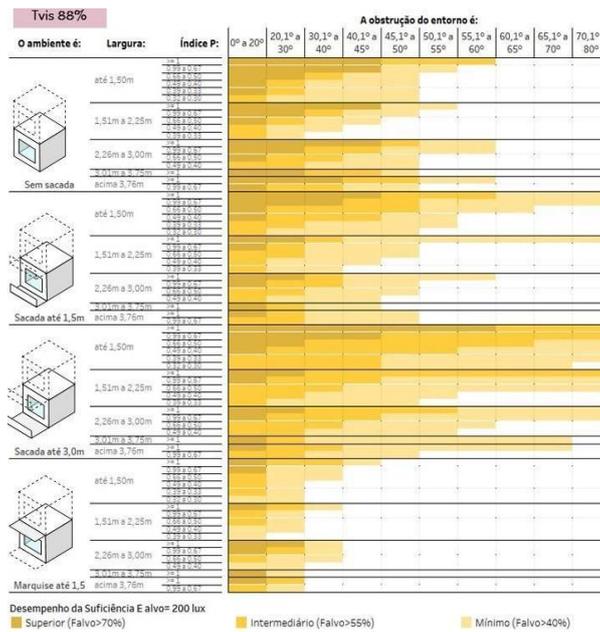
Para exemplificar o uso do ábaco, uma edificação em um edifício com tipologia do tipo “H” foi selecionada para o estudo de caso. A aplicação da ferramenta deve ser realizada em ambientes com proporção de área envidraçada de pelo menos 1/6 da área do piso, possuindo ou não varanda. A avaliação foi feita nos ambientes de uso prolongado, portanto, no exemplo, corredores e banheiros foram excluídos da análise. Quatro ambientes de uso prolongado compõem a unidade habitacional: 01 - quarto; 02 - quarto; 03 – sala de estar, 04 - cozinha (Figura 05).

De maneira geral, quatro etapas práticas são previstas:

1. Identificação das tipologias dos ambientes (com e sem sacadas).
2. indicação dos ângulos de obstrução externas (θ). Sendo este, o ângulo formado entre a normal do centro da abertura e o topo da obstrução externa a frente da abertura (Figura 06). O parâmetro é uma simplificação que visa a caracterização matemática da obstrução externa, é construída a partir do conceito de *sky view angle* (SVA) (BRAWN G; DEKAY M., 2001).
3. cálculo do índice P por ambiente.
4. cruzamento das informações dos indicadores do ambiente e da obstrução externa no ábaco.

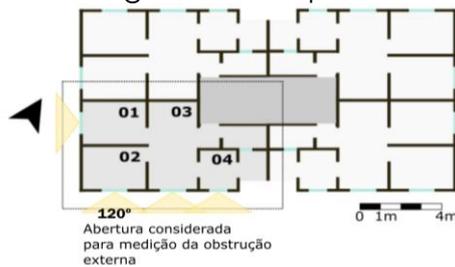
As Figuras 05 a 08 demonstram a execução da avaliação com base nas etapas práticas estabelecidas. Para o exemplo aplicado, as obstruções externas apresentam um ângulo de 28° na janela da fachada oeste e de 43° nas janelas da fachada sul. Ao final do cruzamento, o quarto 01, 02 e a cozinha obtiveram nível intermediário. A Sala de estar obteve nível suficiente.

Figura 04- Ábaco para Curitiba - vidro com Tvis 88%



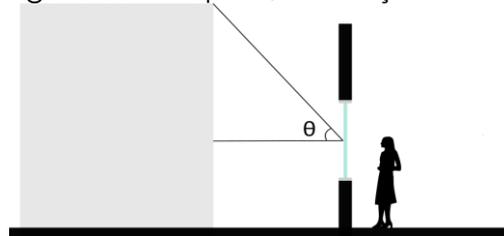
Fonte: Autores (2020)

Figura 05 – Etapa 1.



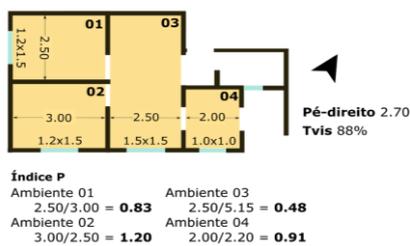
Fonte: Autores (2020)

Figura 06 - Etapa 2, indicação de θ .



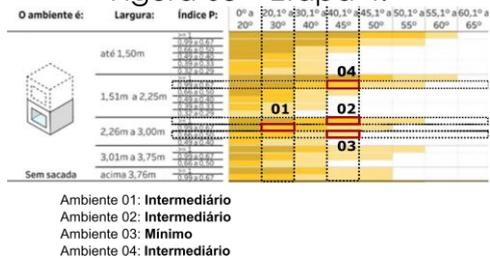
Fonte: Autores (2020)

Figura 07 – Etapa 3.



Fonte: Autores (2020)

Figura 08 – Etapa 4.



Fonte: Autores (2020)

4 CONCLUSÕES

Esse trabalho propôs uma ferramenta simplificada para a avaliação do desempenho anual de edificações residenciais. Diante das análises dos resultados das simulações da base de dados, concluiu-se que o ábaco não comporta diferentes tipos de vidro. Recomenda-se uma análise de sensibilidade com uma maior quantidade de tipos de vidro para a determinar a possibilidade de extensão do uso do ábaco.

O efeito da incorporação da sacada à análise do ambiente interno é importante, uma vez que esta tem sido uma prática comum em edificações residenciais e altera significativamente o nível de desempenho obtido. A variação da iluminância alvo,

mesmo que de apenas 50 lux, também se mostrou importante na definição da ferramenta. Tal consideração é relevante, visto que o ábaco, em essência já apresenta resultados restritivos.

As avaliações feitas pelo ábaco resultam em estimativas conservadoras do desempenho luminoso do ambiente. É portanto, um meio confiável, mas que pela margem de segurança, pode reduzir o desempenho em comparação com uma simulação computacional. A ferramenta pode ser replicada para qualquer localidade que possua arquivo climático.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, à FAPES e ao CNPq - Brasil (Bolsista do CNPq - Brasil 151162/2019-0 e bolsista do CNPq - Brasil 307179/2016-8) pelas bolsas e recursos financeiros aplicados no desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

- REPPERT, S. M. e WEAVER, D. R. Coordination of circadian timing in mammals. **Nature**, v.418, n.6901, 29 de agosto, p.935-941. 2002.
- ANDERSEN, M. Unweaving the human response in daylighting design. **Building and Environment**. v. 91, p. 101-117. 2015.
- RUGGIERO, F.; FLORENSA, R. S.; DIMUNDO, A. Re-interpretation of traditional architecture for visual comfort. **Building and Environment**, v. 44, n. 9, p. 1886-1891. 2009.
- SATTLER, M. Habitações de Baixo Custo mais Sustentáveis: a Casa Alvorada e o Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis, **Coleção Habitar/FINEP**, 2007, 488p.
- BRAWN G. AND DEKAY M., 2001. Sky View Angle from Glazing. [Diagrama]. **Sun, Wind and Light. Architectural Design Strategies**. USA. John Wiley & Sons, Inc, p.252.
- GALAFASSI, M. Impacto do Método Prescritivo do RTQ-C no processo de projeto arquitetônico de edificações: a visão de arquitetos em Florianópolis - SC, 2012. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC
- IES. **Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)-IES LM-83-12**. Illuminating Engineering Society of North America. Nova Iorque. 2012.12p.
- MCNEEL, R.; ASSOCIATES. **Rhinoceros 3D**.v. 6. Rhinoceros 3D é um programa de modelagem tridimensional baseado na tecnologia NURBS. 2019
- SOLEMMA LLC. **DIVA for Rhino: Environmental Analysis for Buildings**. v. 2.0.DIVA-for-Rhino é um *plug-in* de modelagem de iluminação natural e energia altamente otimizado para o Rhinoceros - NURBS.2014. Disponível em: <<http://diva4rhino.com/>>. Acesso em: set. 2014.
- CRAWLEY, D. e LAWRIE, L, 2018 Climate.OneBuilding.Org.- Repository of free climate data for building performance simulation. **Arquivos climáticos TMYx para o Brasil**. Disponível em: <<http://climate.onebuilding.org/>>. Acesso em: novembro de 2018.
- PEREIRA, F. O.R.; SCHMITT, M.; MORAES L. Zoneamento luminoso do território brasileiro através de histogramas de frequência acumulada de ocorrência de iluminâncias horizontais difusas externa. **Encac/Elacac 2015: XIII Encontro Nacional e IX Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Campinas out. 2015.
- ANDRADE, M. L. V. X.; CHENG, L. Diretrizes Geométricas de Auxílio ao Processo de Projeto de Edifícios Residenciais. **Sigradi 2006**, Santiago, nov. 2006.
- PONTUAL, J. A. F. M. C. **50, 60, 70 FORMAS DE MORADIA NO BRASIL: entre os 50 e os 70**. 2009. 263 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Departamento de Design da Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.