

## **Avaliação da iluminação natural da casa popular eficiente da UFSM por simulações computacionais**

**Matheus Cargnelutti de Souza**

*Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria (RS), Brasil*  
[matheuscargnelutti@hotmail.com](mailto:matheuscargnelutti@hotmail.com)

**Giane de Campos Grigoletti**

*Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Professora do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Santa Maria (RS), Brasil*  
[ggrigoletti@gmail.com](mailto:ggrigoletti@gmail.com)

**Marcos Alberto Oss Vaghetti**

*Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Professor do Departamento de Estruturas e Construção Civil, Santa Maria (RS), Brasil*  
[marcos.vaghetti@ufsm.br](mailto:marcos.vaghetti@ufsm.br)

**RESUMO:** Este trabalho apresenta resultados parciais de uma avaliação das condições de iluminação natural do interior do protótipo de Casa Popular Eficiente construído em 2013, em escala real, no Centro de Eventos da Universidade Federal de Santa Maria. O objetivo do artigo é apresentar resultados da avaliação da iluminação natural disponível no interior do protótipo. Através do método do papel branco, realizou-se medições com luxímetro portátil em 260 pontos de iluminância refletida para a obtenção das refletâncias das superfícies internas da edificação. Elaborou-se uma maquete eletrônica do protótipo, a qual foi utilizada no programa *Rhinoceros* com o *plugin Diva* instalado em seu ambiente. Inseriu-se os materiais para cada tipo de superfície na maquete, configurando-se suas devidas refletâncias. Para realizar a avaliação de iluminação natural por simulações com o *plugin Diva for Rhino*, tem-se como suporte o algoritmo *Radiance*, utilizando-se o arquivo climático *SWERA* para Santa Maria, RS, Brasil. Analisou-se as seguintes variantes da iluminação natural: iluminância útil e autonomia. O protótipo obteve um bom desempenho no que se refere aos parâmetros de iluminâncias preconizados pela NBR15575-1. Além disso, o estudo não se resume a apenas a avaliar níveis médios de iluminâncias disponíveis, mas avaliar o desempenho da iluminação natural de uma forma espacial, possibilitando-se mapear as deficiências que possam ser aperfeiçoadas no protótipo e visando aprimorar o projeto de arquitetura a fim de torná-lo mais eficiente.

**Palavras-chave** Iluminação natural, Simulação, Diva for Rhino.

## 1. INTRODUÇÃO

O protótipo de Casa Popular Eficiente surgiu de uma pesquisa iniciada na Universidade Luterana do Brasil (ULBRA/Curso de Arquitetura e Urbanismo) em 2008, e teve seguimento nos anos de 2009 e 2010 com a definição dos materiais e soluções sustentáveis, assim como a elaboração dos anteprojetos. Posteriormente, em 2011 na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/Curso de Engenharia Civil), foram elaborados os projetos arquitetônico e complementares definitivos do protótipo.

Em 2012, o Grupo de Estudos e Pesquisas em Tecnologias Sustentáveis (GEPETECS) passou para a fase construtiva do protótipo, localizado no Centro de Eventos da UFSM. O protótipo foi inaugurado em dezembro de 2013, contemplando soluções que consideram o aproveitamento dos recursos ambientais disponíveis (energia solar, vento, águas da chuva, solo e vegetação), consistindo em uma alternativa para moradia de baixa renda.

A partir de 2014, iniciou-se uma pesquisa relacionada ao desempenho da iluminação natural no interior do protótipo, através de uma dissertação de mestrado ainda em desenvolvimento. Neste artigo serão apresentadas algumas análises já realizadas com auxílio computacional do *plugin Diva for Rhino*, tendo-se como referências, a NBR15575-1 (ABNT, 2013) e a IES LM-83-12 (*Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure*). De acordo com Jaramillo (2014, p. 35), “para fazer simulações dinâmicas é necessário definir dois aspectos: época do ano para análise e a escala de valores para determinar os níveis de iluminação natural que interesse”. Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006), realizaram um estudo onde recomendam identificar os momentos de maior ocupação das pessoas e exigência visual, quando se busca a época do ano. Quanto ao aspecto da escala de valores, existem duas unidades métricas que podem ser adotadas, a iluminância útil de iluminação natural (Useful Daylight Illuminances - UDI) e a Autonomia de Iluminação Natural (Daylight Autonomy - DA).

## 2. A CASA POPULAR EFICIENTE

O protótipo, Figura 1, utiliza materiais de baixo impacto ao meio ambiente, como tijolos de solo cimento, telha com Tetra Pak reciclado, forro de painéis OSB, tintas diluíveis em água e piso de PVC reciclado. Além disso, a construção reuniu diversas estratégias para a melhor utilização dos recursos naturais, como o aproveitamento da água da chuva, reaproveitamento de águas cinzas, uso da vegetação para proteção solar, emprego da ventilação e da luz natural e o uso da energia solar para aquecimento de água (Vaghetti et. al., 2013).



Figura 1. Fachadas da Casa Popular Eficiente. Fonte: autores, 2015

O foco do Projeto é minimizar os danos ao meio ambiente a partir de materiais alternativos na construção, sem que se perca a qualidade de vida dos moradores (GEPETECS, 2014). A Figura 2 apresenta a planta baixa e os cortes do protótipo, que consiste em uma habitação popular, de 55,40m<sup>2</sup>, distribuída em dois dormitórios, sala de estar, cozinha, área de serviço e um banheiro.

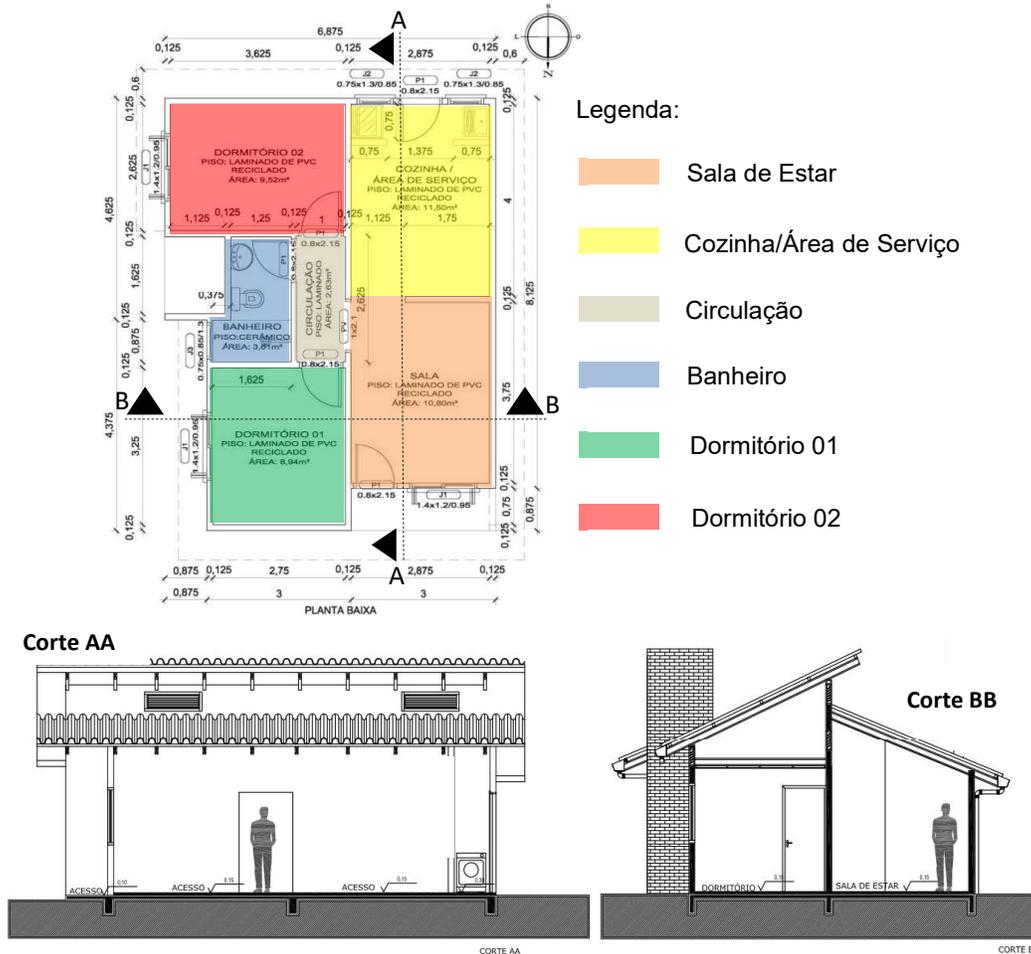


Figura 2. Planta Baixa do protótipo, Corte AA e Corte BB. Fonte: adaptado de GEPETECS, 2014

### 3. A LUZ NATURAL E A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Pelos níveis de iluminação natural serem dinâmicos, o desempenho da luz do dia deve ser considerado ao longo do tempo e não simplesmente através de um fator de luz diurna por exemplo. Um desempenho anual da iluminação natural integra variações de um ano completo, que é altamente dependente das condições climáticas locais, especialmente a luz fornecida a partir da luz solar direta contra o céu e as nuvens (IESNA, 2012).

O *plug-in Diva for Rhino*, inicialmente desenvolvido na Universidade de Harvard e hoje gerenciado pela Solemma, permite aos usuários realizarem uma série de avaliações de desempenho ambiental dos edifícios individuais e paisagens urbanas, incluindo simulações de iluminação natural baseadas em arquivos climáticos, como *Useful Daylight Illuminances* e *Daylight Autonomy* (Diva, 2016).

Nas simulações, o *Daylight Autonomy* é identificado como a porcentagem de horas ocupadas por ano em que as iluminâncias no plano de trabalho atingem um valor predeterminado de iluminância, somente de iluminação natural (Reinhart et al., 2006). Outra ferramenta de análise é o *Useful Daylight Illuminances*, que simula a porcentagem de horas de um ano que a iluminância no plano de trabalho limita-se entre 100 e 2.000 lux, faixa de iluminação considerada de conforto visual, sendo os valores acima de 2.000 lux e abaixo de 100 lux considerados zonas de desconforto (Mardaljevic et al., 2005).

#### **4. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA**

##### **4.1 Objetivo**

Avaliar a iluminação natural disponível no protótipo Casa Popular Eficiente, construído na UFSM, através de variáveis dinâmicas de iluminação natural, *Useful Daylight Illuminances* (UDI) e *Daylight Autonomy* (DA).

##### **4.2 Justificativa**

Além do avanço nos estudos de procedimentos eficientes para o aproveitamento de uma iluminação que é produzida naturalmente pelo sol, não tem custo financeiro, nem consumo energético poluente ou geração de resíduos, este trabalho aplica uma metodologia de avaliação espacial anual de condições de iluminação natural, que traz agilidade na identificação de pontos de deficiência no que se refere ao conforto visual dos usuários de uma determinada edificação. Esta metodologia pode ser aplicada tanto em avaliações de edificações já existentes, como em projetos de arquitetura ao longo de sua concepção.

#### **5. METODOLOGIA**

##### **5.1 Levantamento e modelagem do protótipo**

Realizou-se o levantamento físico da edificação avaliada, embora exista o projeto do protótipo, se fez necessária a conferência das dimensões reais no local. Em seguida, deu-se início a modelagem tridimensional através do *software AutoCad® 2013*, com a definição dos *layers* por tipos de materiais, servindo como arquivo base para uma posterior exportação ao *software Rhinoceros*. Antes de iniciar os procedimentos de simulações no *Rhinoceros*, precisa-se obter os níveis de refletâncias de todos os tipos de superfícies da edificação em estudo, por isso, optou-se pelo Método do Papel Branco para a coletas destes dados.

##### **5.2 Aplicação do método do papel branco**

De acordo com Ghisi & Lamberts (1998), para a execução do método do papel branco é necessário um luxímetro portátil e uma folha de papel branco. São feitas duas medições de iluminância refletida em um mesmo ponto, uma com o papel branco e outra da superfície desejada, ambas com a fotocélula do luxímetro (luxímetro portátil INSTRUTHERM, modelo LD210) voltada para a superfície que se deseja saber a refletância e afastada

aproximadamente 10 cm da mesma, como mostra a Figura 3, com as medições realizadas no protótipo de Casa Popular Eficiente da UFSM.

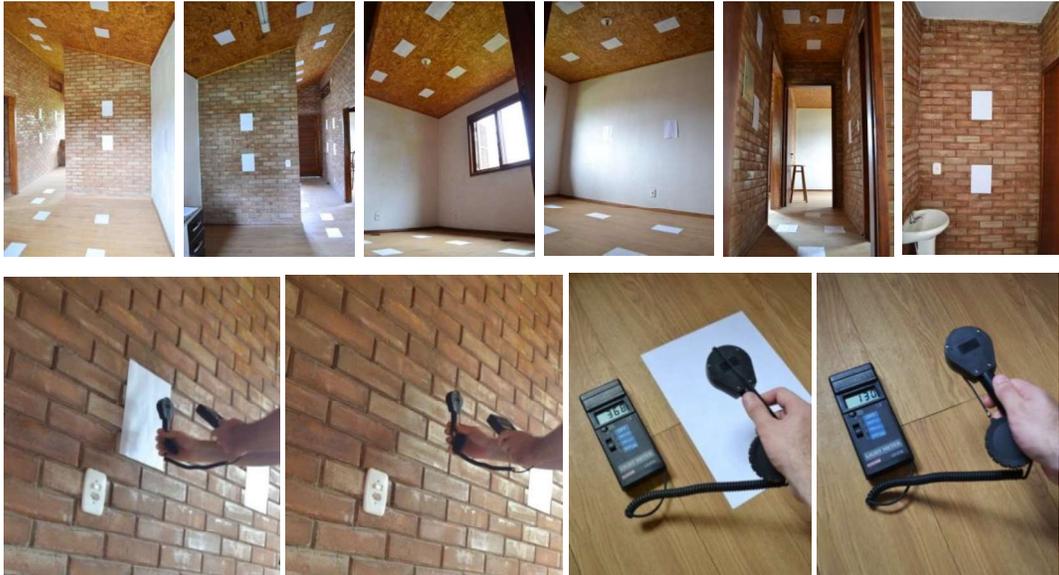


Figura 3. Respectivamente, Sala/Cozinha/Dormitório01/Dormitório02/ Circulação/Banheiro; medições de iluminância refletida, com um, pelo método do papel branco, da parede de tijolo a vista e do piso laminado de PVC reciclado. Fonte: autores, 2015

A partir disso, obtém-se a iluminância refletida pelo papel branco e em seguida a iluminância refletida pela superfície que se deseja descobrir a refletância. Ainda segundo Ghisi & Lamberts (1998, p. 3), “admitindo-se a refletância do papel branco como sendo 90%, a refletância da superfície é determinada através de uma proporção como mostra a equação...” 1.

$$\rho_{sup} = \frac{90 \cdot E_{sup}}{E_{pb}} \quad (1)$$

Onde  $\rho_{sup}$  = Refletância da superfície (%);  $E_{sup}$  = Iluminância refletida pela superfície (lux);  $E_{pb}$  = Iluminância refletida pela superfície com papel branco (lux); 90 = Refletância do papel branco (%).

Conforme Pereira (2009, p. 15), “os dias com céu encoberto são caracterizados pela ausência de luz solar diretamente do sol. A luz do céu é tão uniformemente difundida, que o padrão de luminância do céu é visualmente simétrico em relação ao zênite”. Realizaram-se as medições de iluminância refletida no dia 8 de janeiro de 2016, entre 9h e 19h, por ser um dia com predominância de céu encoberto (vista do céu na Fig. 4) que favorece a uniformidade das iluminâncias e conseqüentemente reduz a possibilidade de variação dos resultados.



Figura 4. Condição do céu no dia 08/01/2016, encoberto. Fonte: autores, 2015

Para a execução do método exposto, são realizados 30 conjuntos de medições para cada tipo de superfície. Para superfícies com refletâncias uniformes este número cai para 10 conjuntos (Ghisi, 1997).

### 5.3 Configuração e inserção de dados no *plugin Diva for Rhino*

Após a modelagem da maquete eletrônica, foi utilizado o *plugin Diva for Rhino*, instalado no *software Rhinoceros*, como mostrado na Figura 5, o qual apresenta quatro ícones de uso, *Location*, *Nodes*, *Materials* e *Metrics*. O primeiro ícone, *Location*, é utilizado para a importação de um arquivo climático local que se encontra no computador em *C:\Diva\WatherData*, no qual foi utilizado o arquivo do tipo *SWERA.epw*, da cidade de Santa Maria, RS, obtido através do portal do Laboratório de Eficiência Energética em Edificação (LABEEE, 2016) da UFSC, onde podem ser encontrados os arquivos climáticos existentes de cidades brasileiras.

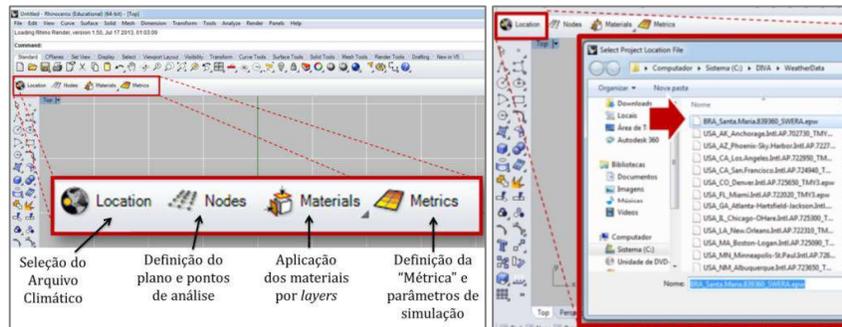


Figura 5. Ferramentas do plugin Diva for Rhino e forma de importação do arquivo climático de Santa Maria, RS.  
Fonte: autores, 2016

Através do comando *Nodes* (Fig. 6), são projetados os pontos de análises para as posteriores simulações. Foram definidos 75cm de altura dos pontos em relação ao piso, estabelecido pela NBR 15575-1, e aproximadamente 20cm de afastamento horizontal entre os pontos para se obter curvas isolux com boa precisão.

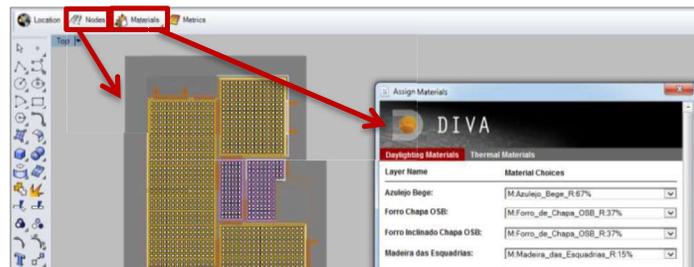


Figura 6. Ferramentas do plugin Diva for Rhino, Nodes e Materials. Fonte: autores, 2016

Com o ícone *Materials*, conforme Figura 6, são definidos os materiais para cada tipo de superfície, os quais foram separados por *layers* durante o processo de modelagem tridimensional. Acessando o *Sistema(C)/DIVA/Daylight/Material* nos documentos do computador, é possível configurar cada material com a sua devida refletância (Figura 6), como é estabelecido pelo *Radiance* no manual deste algoritmo (Crone, 1992).

## 5.4 Simulando com o plugin Diva for Rhino

Após inserir o arquivo climático local no ícone *Location*, distribuir os pontos dos sensores em *Nodes*, e aplicar todos os materiais configurados com o algoritmo *Radiance* em *Assign Materials*, parte-se para os procedimentos de simulação na opção *Metrics* (Fig. 7).

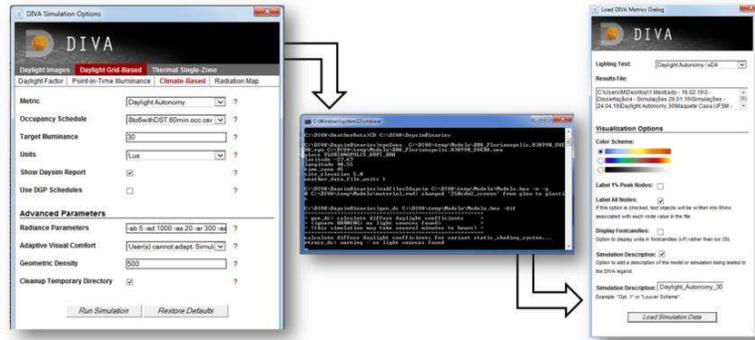


Figura 7. Respectivamente: Escolha do tipo de simulação; Janela de simulação; Opções de apresentação da simulação após a sua conclusão. Fonte: autores, 2016

Neste trabalho foram simulados a iluminância útil de iluminação natural e a Autonomia de Iluminação Natural, através de *Metrics/Daylight Grid-Based/Climate-Based/Metric*.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Refletâncias

Foram realizados 130 conjuntos de medições de iluminância refletida, totalizando 260 medições, sendo 30 conjuntos em cada uma das superfícies seguintes, paredes de tijolo a vista, forro de chapas OSB e piso laminado de PVC reciclado, e 10 conjuntos em cada uma das superfícies uniformes ou com pequenas áreas de abrangência, sendo as paredes pintadas de branco com tinta de terra crua, a madeira das esquadrias, os revestimentos cerâmicos de parede e o piso cerâmico do banheiro, resultando em dados apresentados na Tabela 1, com base em levantamentos feitos em 8 de janeiro de 2016.

Tabela 1. Estimativa de refletâncias das superfícies do protótipo de casa popular eficiente da UFSM

Superfícies dos pontos medidos	Média de Iluminâncias refletidas pelo papel branco (Lux)	Média de Iluminância refletida pela superfície (Lux)	Refletância estimada (%)
Paredes de tijolos a vista	65,76666667	18,43333333	25
Paredes e teto pintados de branco	87,00000000	82,10000000	85
Paredes com revestimento cerâmico claro	107,20000000	79,40000000	67
Piso cerâmico claro	500,50000000	386,60000000	70
Madeira das esquadrias	114,00000000	19,30000000	15
Piso laminado de PVC reciclado	192,90000000	70,36666667	33
Chapas OSB do forro	43,53333333	17,76666667	37

As médias das refletâncias são necessárias para a aplicação dos materiais dentro do plugin Diva, e os resultados obtidos foram satisfatórios comparando-se a pesquisas realizadas por outros autores, como é apresentado por Pereira & Souza (2005), que referenciam estimativas de refletâncias por cores, onde uma parede pintada de branco, por exemplo, é descrita teoricamente por 80% de refletância estimada, e nesta medição obteve-se um

resultado de 85%, podendo-se perceber a proximidade de resultados entre a medição e o referencial teórico.

## 6.2 Iluminância útil de iluminação natural - *Useful Daylight Illuminances (UDI)*

A simulação de *UDI* foi realizada para identificar as porcentagens de horas de um ano em que a iluminância no plano de trabalho está entre 100 e 2.000 lux (Fig. 8).

Pode-se identificar um bom desempenho *UDI* nos ambientes de permanência prolongada (sala, cozinha e dormitórios), onde as áreas em vermelho apresentam iluminância entre 100 e 2.000 lux em 100% das horas do ano. Uma ligeira deficiência de *UDI* pode ser identificada nas regiões próximas as janelas e no fundo dos ambientes de maior profundidade (sala, cozinha e dormitório 02), podendo-se fazer um comparativo entre os dois dormitórios, com a mesma orientação solar, porém, com distinção de dimensionamento, tornando o dormitório 01 mais eficiente por suas áreas de deficiência serem próximas a janela, que possivelmente sejam caracterizadas por excesso de iluminâncias, apresentando uma homogeneidade maior e coloração avermelhada no restante do ambiente. Já no dormitório 02 há deficiência no fundo do ambiente, concluindo-se que será necessário acionar a iluminação artificial nesta região. Já no banheiro e circulação, observa-se alto índice de deficiência, o que poderemos concluir nas próximas análises, de *Daylight Autonomy (DA)*.

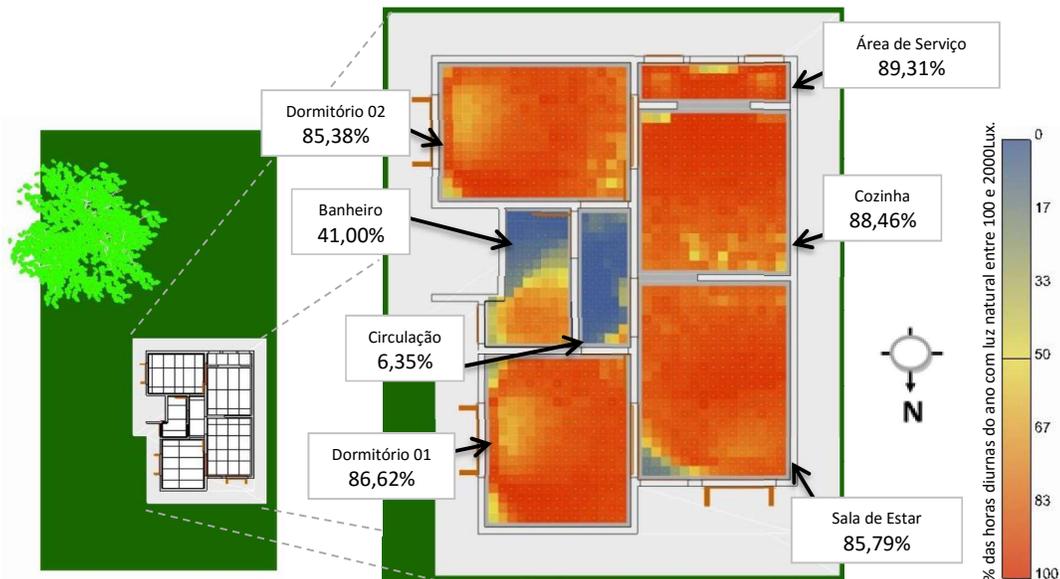


Figura 8. Simulação de UDI para o protótipo de Casa Popular Sustentável da UFSM. Fonte: autores, 2016

## 6.3 Autonomia de iluminação natural - *Daylight Autonomy (DA)*

Analisou-se os desempenhos em autonomia anual de iluminação natural seguindo os índices de iluminâncias internas de edificações habitacionais estabelecidos pela NBR15575-1 - Norma de desempenho de edificações habitacionais (ABNT, 2013), onde são considerados para dormitórios, sala de estar e cozinha, o nível mínimo de iluminância de 60 lux, o nível intermediário a partir de 90 lux e o nível superior a partir de 120 lux. A Figura 9 apresenta as simulações de autonomia de iluminação natural para 60 lux, 90 lux e 120 lux.

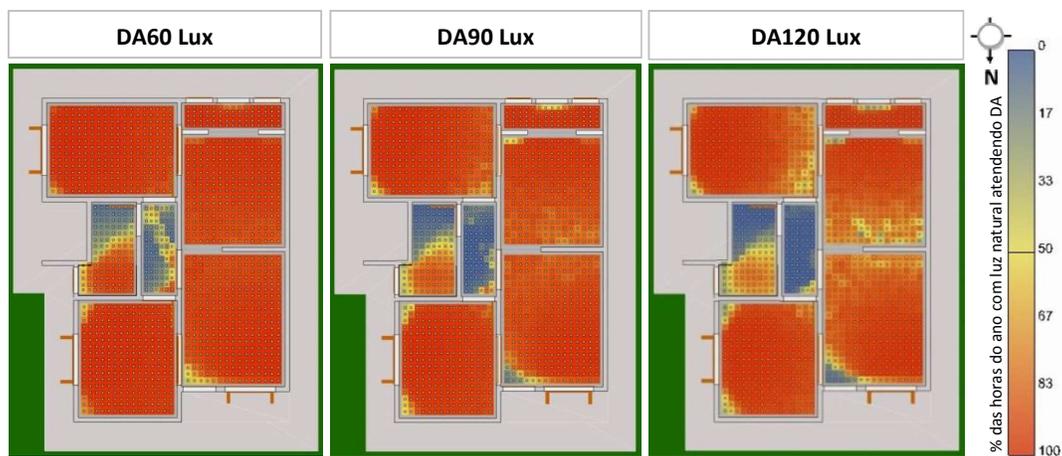


Figura 9. DA em 60, 90 e 120 Lux para o protótipo de Casa Popular Sustentável da UFSM. Fonte: autores, 2016

Pode-se analisar, nas simulações, que, ao se considerar avaliações de desempenho com um sensor central em cada ambiente, como sugere a NBR15575-1, os ambientes de permanência prolongada atingiriam todos os índices estipulados pela norma, porém, ao se avaliar o fenômeno da iluminação natural de uma forma espacial, pode-se identificar as áreas deficientes e passíveis de serem supridas por iluminação artificial ou de adequação projetual, nas plantas representadas pelas cores azul e amarelo. Também foram avaliadas as autonomias em 30 e 45 lux (índices intermediário e superior para os ambientes circulação e banheiro de acordo com a NBR15575-1), além de uma avaliação com 300lux, pensando-se em áreas de estudo ou trabalho doméstico, expostas na Figura 10.

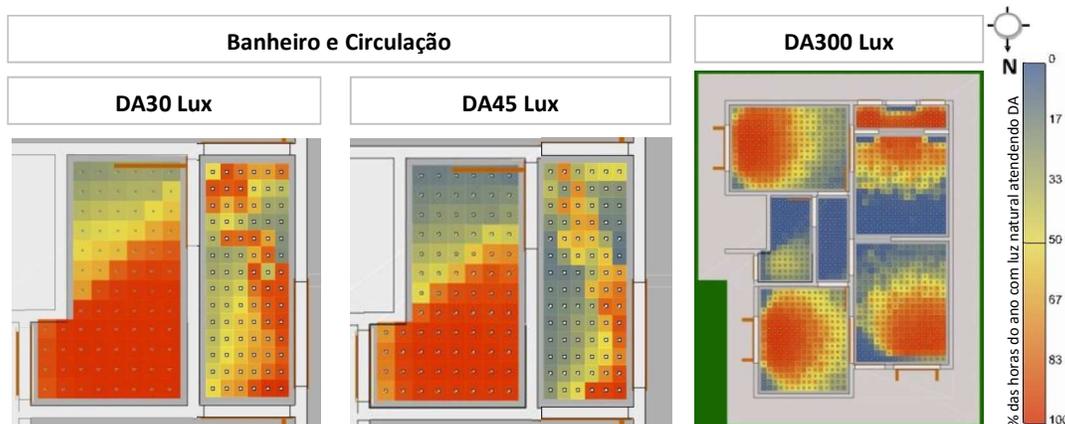


Figura 10. DA em 30, 45 e 300 Lux para o protótipo de Casa Popular Sustentável da UFSM. Fonte: autores, 2016

Nestas três simulações, pode-se perceber que as áreas que não estão em vermelho correspondem a pontos que não atingem 100% de autonomia e por isso precisam ser aperfeiçoadas, pois são apresentados baixos índices de autonomias, caso do banheiro e da circulação, e ainda se identifica as áreas com certa dificuldade em atingir iluminâncias elevadas, que aparecem em azul e também em amarelo na simulação DA300 lux. Identificados os pontos a serem otimizados, pode-se pensar em adequações, por exemplo, trocando as cores da pintura das paredes e do teto e talvez possíveis ajustes arquitetônicos, como distribuição das aberturas ou redução de profundidade dos ambientes.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em *UDI* foram apontadas bons resultados de iluminâncias úteis de iluminação natural, acima de 85% nos ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço. Em *DA*, os parâmetros de desempenho mínimo, intermediário e superior de iluminâncias estipulados pela NBR15575-1, deveriam superar respectivamente os índices de autonomia em 60 lux, 90 lux e 120 lux, onde são indicadas as simulações nos pontos centrais dos ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço, desta forma, todos estes ambientes obtiveram autonomia de 100% ou índices bastante próximos disto. No banheiro e circulação não são estipulados índices mínimos de iluminância, mas pode-se observar pouca eficiência no desempenho intermediário e superior. Com *DA* 300 lux, pode-se concluir que possíveis áreas de estudo ou trabalho doméstico necessitariam de auxílio de iluminação artificial, sendo observadas as áreas azuladas desta simulação.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) 2013. *NBR 15575-1 - Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro: ABNT.
- CRONE, S. M. D. 1992. *Radiance User's Manual*, Architectural Dissertation, Vol. 2, Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/usman2.pdf>>. Acesso em 30 de maio de 2016.
- DIVA FOR RHINO 2016. *What is DIVA-for-Rhino?*, Cambridge, MA, USA. Disponível em: <<http://diva4rhino.com/>>. Acesso em 30 de maio de 2016.
- GEPETECS 2014. *Casa Popular Eficiente*. Santa Maria, UFSM. Disponível na Internet <<http://coral.ufsm.br/gepetecs/index.php/projetos/casa-popular-eficiente>>. Acesso em: 30 nov. 2014.
- GHISI, E.; LAMBERTS, R. 1998. Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação. *Anais 7º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Florianópolis. p. 401-409.
- GHISI, E. 1997. *Desenvolvimento de uma Metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: Estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina*. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- IESNA 2012. *IES LM-83-12. IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. New York, NY, USA, IESNA Lighting Measurement.
- JARAMILLO, C. B. 2014. *Alterações na distribuição da luz natural causados pelos agrupamentos de estudantes em salas de aula*. 142 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- LABEEE 2016. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. *Arquivos climáticos*. SWERA. Santa Maria. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivosclimaticos>>. Acesso em: 30 de maio de 2016.
- MARDALJEVIC, J; NABIL, A. 2005. *The Useful Daylight Illuminance Paradigm: A Replacement for Daylight Factors*. Institute of Energy and Sustainable Development (IESD), Leicester, Reino Unido.
- PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B. de. 1995 / 2005. *Iluminação*. Florianópolis. Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e em Construção Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Apostila de Conforto Ambiental.
- PEREIRA, R. C. 2009. *Avaliação de Ferramentas de Simulação de Iluminação Natural por Meio de Mapeamento Digital de Luminâncias da Abóbada Celeste e Entorno*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, John; ROGERS, Zack. 2006. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *LEUKOS – Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, v.3, v.1, p. 7-31.
- VAGHETTI, M.A.O. et al. 2014. *Casa Popular Eficiente: um benefício ambiental aliado a um custo mínimo* (Módulo 4). Santa Maria: UFSM. Relatório Parcial de Pesquisa (Protocolo nº 28582 GAP/CT). Disponível em: <[www.ufsm.br/gepetecs](http://www.ufsm.br/gepetecs)>. Acesso em: 1 jun. 2014.