

## **AVALIAÇÕES DINÂMICAS DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM PROTÓTIPO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

**Matheus Cargnelutti de Souza (1); Giane Grigoletti (2); Marcos Oss Vaghetti (3)**

(1) Mestre, Arquiteto e Urbanista, matheuscargnelutti@hotmail.com, UFSM, Av. Roraima, n.1.000, Santa Maria, RS, CEP 97.105-190, Tel.: (55)3220 8771

(2) Doutor, Professor, giane.c.grigoletti@ufsm.br, UFSM, Av. Roraima, n.1.000, Santa Maria, RS, CEP 97.105-190, Tel.: (55)3220 8771

(3) Doutor, Professor, marcos.vaghetti@ufsm.br, UFSM, Av. Roraima, n.1.000, Santa Maria, RS, CEP 97.105-190, Tel.: (55)3220 8144

### **RESUMO**

Existem poucas pesquisas brasileiras relacionadas ao desempenho de iluminação natural utilizando análises dinâmicas, principalmente para habitações. O objetivo deste estudo foi avaliar a iluminação natural no interior de um protótipo de habitação de interesse social, construído em Santa Maria, RS, através de simulações computacionais dinâmicas. Usou-se o método do papel branco para obter-se as reflectâncias das superfícies internas do protótipo, com luxímetro, em 260 pontos. Elaborou-se uma maquete eletrônica do protótipo, utilizada no programa *Rhinoceros* com o *plugin Diva*. Foram inseridos os materiais para cada tipo de superfície, configurando-se as refletâncias. Para realizar a avaliação de iluminação natural por simulações com o *plugin Diva for Rhino*, tem-se como suporte o algoritmo *Radiance* e a utilização um arquivo climático do tipo *SWERA* de Santa Maria. Foram analisadas por simulações, no interior de cada ambiente, as variantes de autonomia de iluminação natural, com diferentes níveis de iluminâncias, além de iluminâncias úteis de iluminação natural. O protótipo obteve bom desempenho no que se refere aos parâmetros de iluminâncias preconizados pela NBR15.575-1 e aos parâmetros adotados para a iluminância útil. No entanto, considerando-se um DA de 300lux, algumas áreas destinadas a leitura e preparação de alimentos necessitariam de iluminação artificial ao longo do dia, atestando um desempenho lumínico insatisfatório. Os resultados desta pesquisa permitiram, de maneira geral, apontar deficiências recorrentes em HIS no que tange ao tamanho e posição de aberturas para captação de iluminação natural.

Palavras-chave: iluminação natural, medidas dinâmicas da luz, simulação computacional.

### **ABSTRACT**

In Brazil, there is little research related to the performance of natural illumination using dynamic analysis, mainly for housing, and that can contribute to the improvement of energy efficiency in this type of building. The objective of this study is to evaluate the behavior of natural illuminance inside a prototype housing, built in Santa Maria, RS, through dynamic computational simulations. For this purpose, the white paper method was used, where measurements were made with luxmeter in 260 points of illuminance reflected on the internal surfaces of the prototype, to obtain the reflectance of each type of material in place. An electronic model of the prototype was developed, used in the *Rhinoceros* program with the *Diva* plugin installed in its environment. The materials for each type of surface were inserted in the model, and the reflections were set up. To perform the natural illumination evaluation by simulations with the *Diva for Rhino* plugin, the *Radiance* algorithm is supported and a *SWERA* Santa Maria climate file is used. In the interior of each environment, the variants of daylight autonomy with different levels of illuminance were analyzed, as well as simulations of useful daylight illuminances. The prototype obtained good performance with regard to the illuminance parameters recommended by NBR15575-1 and the parameters adopted for useful illuminance. However, whereas the DA 300 lux, areas for cooking and reading activities would have bigger glazing windows. Research results indicate that size and position of windows are problems of great relevance take into account daylighting energy efficiency.

Keywords: daylighting, illumination dynamic analysis, computational simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

O protótipo de habitação de interesse social teve origem em uma pesquisa iniciada em 2008. Após sua construção, várias avaliações já foram feitas como a de desempenho térmico, desempenho acústico e adequação ao regulamento de eficiência energética RTQ-R (VAGHETTI et al., 2013).

A partir de 2014, iniciou-se uma pesquisa relacionada ao desempenho da iluminação natural do protótipo. Neste artigo serão apresentadas algumas análises realizadas com o uso 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*).

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).

Nas simulações, o *Daylight Autonomy (DA)* 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).

O protótipo, ilustrado na Figura 1, utiliza materiais de baixo impacto ambiental, 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 – Vistas externas do protótipo de habitação de interesse social construído na UFSM.

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 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.

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 desempenho lumínico 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.

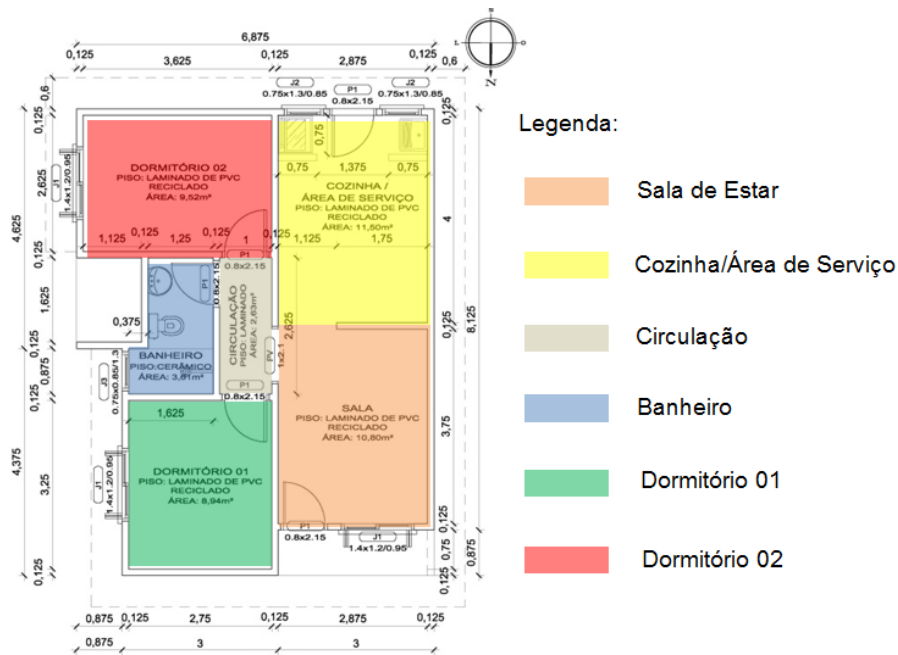


Figura 2 – Planta baixa esquemática do protótipo de habitação de interesse social construído na UFSM.

## 2. 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).

## 3. MÉTODO

### 3.1. 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*, precisou-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.

### 3.2. Levantamento das reflectâncias das superfícies

Para o levantamento das reflectâncias das superfícies internas do protótipo foi usado o 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.



Figura 3 – Imagens ilustrativas dos procedimentos adotados no método do papel branco.

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 e 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 que favorece a uniformidade das iluminâncias e conseqüentemente reduz a possibilidade de variação dos resultados.

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).

### 3.3 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*, 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. Para a pesquisa, 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.

Através do comando *Nodes*, são projetados os pontos de análises para as posteriores simulações. Definiu-se 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. Com o ícone *Materials* são definidos os materiais para cada tipo de superfície, os quais foram separados por *layers* durante a modelagem tridimensional. Acessando o sistema *(C)/DIVA/Daylight/Material* nos documentos do computador, é possível configurar cada material com a sua devida refletância, como é estabelecido pelo *Radiance* no manual deste algoritmo (CRONE, 1992).

Após inserir o arquivo climático local, procedeu-se à distribuição dos pontos dos sensores em *Nodes*, aplicando-se todos os materiais configurados com o algoritmo *Radiance* em *Assign Materials*. Neste trabalho foram simulados a iluminância útil de iluminação natural (UDI) e a autonomia de iluminação natural (DA), através de *Metrics/Daylight Grid-Based/Climate-Based/Metric*.

### 3.4 Valores de referência para as análises

Os valores de referência para as análises foram obtidos da NBR 15.575 (ABNT, 2013), que apresenta três níveis de desempenho (60lux – mínimo, 90lux – intermediário, 120lux – superior) para a iluminância nas dependências sala de estar, dormitórios, cozinha e área de serviço, das construções habitacionais.

Nas análises de DA, usou-se o critério constante no RTQ-R, para ambiente de permanência com janela sem proteção solar (no caso, a cozinha), de 70% das horas diurnas do ano com a superfície horizontal de referência apresentando níveis de iluminância de 60lux, 90lux e 120lux, pelo menos, 70% de sua área.

Para ambientes de permanência prolongada que possuem janelas com proteção solar (no caso, dormitórios e sala), usou-se o critério do RTQ-R, que é 50% da área do ambiente durante 70% das horas diurnas do ano atingindo um dos valores três mencionados, conforme o nível de desempenho (BRASIL, 2010). Para UDI, a referência assumida é de 70% ou mais das horas diurnas do ano dentro de uma faixa de 100lux e 2.000lux (MARDALJEVIC; NABIL, 2005).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. 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

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	107,2000000	79,40000000	67
Piso cerâmico claro	500,5000000	386,6000000	70
Madeira das esquadrias	114,0000000	19,30000000	15
Piso laminado de PVC reciclado	192,9000000	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.

#### 4.2. 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 (Figura 4). 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 às janelas e no fundo dos ambientes de maior profundidade (sala, cozinha e dormitório 02). Pode-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*.

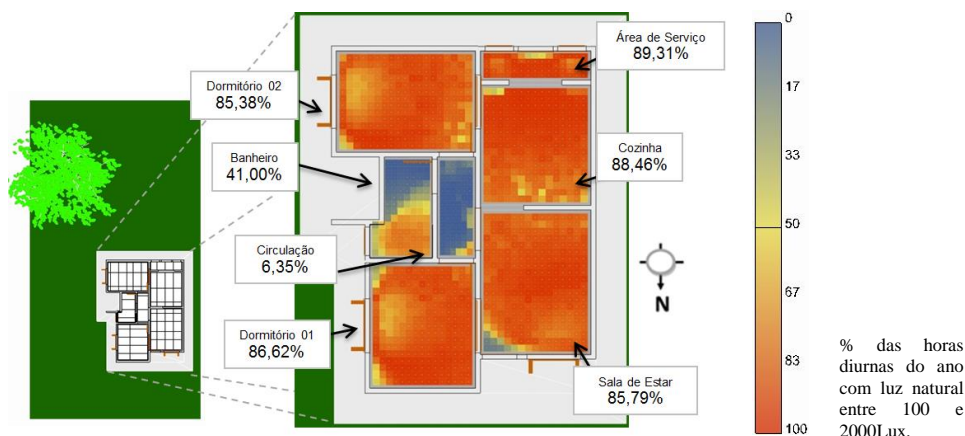


Figura 4 - Simulação de UDI para o protótipo de habitação de interesse social da UFSM.

#### 4.3. 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 (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 5 apresenta as simulações de autonomia de iluminação natural para 60 lux, 90 lux e 120 lux.

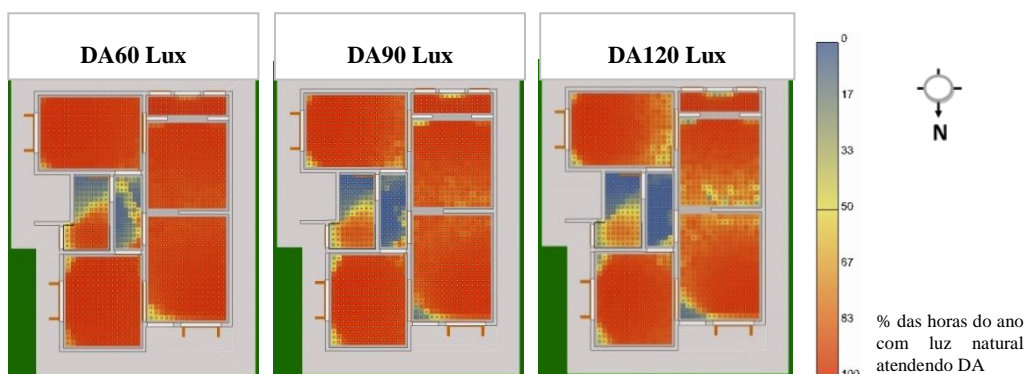


Figura 5 - DA em 60, 90 e 120 Lux para o protótipo de Casa Popular Sustentável da UFSM.

Pode-se verificar 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 perceber as áreas deficientes, com necessidade de iluminação artificial ou de adequação projetual (nas plantas representadas pelas cores azul e amarelo).

Também foram avaliadas as autônias 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, considerando-se áreas de estudo ou trabalho doméstico (Figura 6).

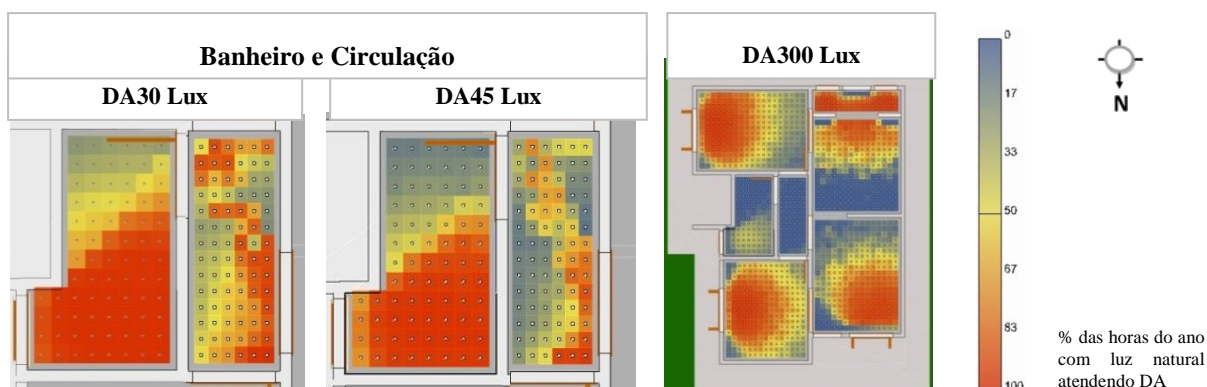


Figura 6 - DA em 30, 45 e 300 Lux para o protótipo de Casa Popular Sustentável da UFSM.

Nestas três simulações, pode-se perceber que as áreas que não estão em vermelho correspondem a pontos que não atingem 100% de autonomia, caso do banheiro e da circulação. Ainda se identifica as áreas com menor disponibilidade de iluminâncias elevadas, que aparecem em azul e em amarelo na simulação DA300 lux. Ao se identificar as áreas ou pontos deficientes, pode-se adequá-los trocando-se, por exemplo, as cores da pintura das paredes e do teto, bem como perceber possíveis ajustes no projeto, como aumentar a área das aberturas ou alterar a relação entre largura e profundidade dos ambientes.

## 5. CONCLUSÃO

Em *UDI* foram apontados 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.

Os resultados desta pesquisa não se resumem apenas para a avaliação de uma edificação, mas uma forma de avaliar o desempenho da iluminação natural em meio ao grande número de construções que surgiram recentemente no país, e mapear as deficiências que possam ser aperfeiçoadas pelos projetistas, visando aprimorar a forma de pensar o projeto de arquitetura e torná-lo mais eficiente.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15575-1* - Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BRASIL. Portaria 395, de 11 de outubro de 2010. *Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)*. Rio de Janeiro, 2010.
- CRONE, S. M. D. *Radiance User's Manual*, Architectural Dissertation, Vol. 2, 1992. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/usman2.pdf>>. Acesso em 30 de maio de 2016.
- DIVA FOR RHINO. *What is DIVA-for-Rhino?*, Cambridge, MA, USA, 2016. Disponível em: <<http://diva4rhino.com/>>. Acesso em 30 de maio de 2016.
- GEPETECS. *Casa Popular Eficiente*. Santa Maria: UFSM, 2014. Disponível na Internet <<http://coral.ufsm.br/gepetecs/index.php/projetos/casa-popular-eficiente>>. Acesso em: 30 nov. 2014.
- GHISI, E.; LAMBERTS, R. Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação. Anais 7º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis. p. 401-409, 1998.
- GHISI, E. *Desenvolvimento de uma Metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina*. 246 f., 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- IESNA *IES LM-83-12*. IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York, NY, USA, IESNA Lighting Measurement, 2012.
- JARAMILLO, C. B. *Alterações na distribuição da luz natural causados pelos agrupamentos de estudantes em salas de aula*. 142 f., 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- LABEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. *Arquivos climáticos*. SWERA. Santa Maria, 2016. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivosclimaticos>>. Acesso em: 30 de maio de 2016.
- MARDALJEVIC, J; NABIL, A. *The Useful Daylight Illuminance Paradigm: A Replacement for Daylight Factors*. Institute of Energy and Sustainable Development (IESD), Leicester, Reino Unido, 2005.
- PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B. de. *Iluminação*. Florianópolis. Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e em Construção Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Apostila de Conforto Ambiental, 1995 / 2005.
- PEREIRA, R. C. *Avaliação de Ferramentas de Simulação de Iluminação Natural por Meio de Mapeamento Digital de Luminâncias da Abóbada Celeste e Entorno*, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, John; ROGERS, Zack. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *LEUKOS – Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, v.3, v.1, p. 7-31, 2006.
- VAGHETTI, M.A.O. et al. *Casa Popular Eficiente: um benefício ambiental aliado a um custo mínimo (Módulo 4)*. Santa Maria: UFSM, 2014. 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.