



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AValiação DA ILUMINAÇÃO NATURAL COM O PROGRAMA APOLUX – ESTUDO DE CASO EM SANTA MARIA, RS

Liliana Techio (1); Giane Grigoletti (2); Anderson Claro (3); Bruna Zambonato (4)

- (1) Mestre, Arquiteta e Urbanista, lilianatechio@hotmail.com, Atrio Arquitetas Associadas, Boa Vista do Ingra, RS, (55) 98412 1478
(2) Doutor, Professor, giane.c.grigoletti@ufsm.br, UFSM, Santa Maria, RS, (55) 3220 8771
(3) Doutor, Professor, ander@arq.ufsc.br, UFSC, Florianópolis, SC, (48) 331 7080
(4) Graduada, Mestranda, bruzambo@hotmail.com, UFSM, Santa Maria

RESUMO

A iluminação natural contribui para o conforto visual dos usuários e para a eficiência energética de edificações, além de benefícios psicológicos e fisiológicos. Este artigo apresenta a avaliação da disponibilidade de iluminação natural em unidades habitacionais (UH) do Conjunto Habitacional Videiras, empreendimento do Programa Minha Casa Minha Vida, situado em Santa Maria, RS, propondo-se recomendações para novos projetos. O método baseou-se em simulação computacional com o programa APOLUX IV. Avaliou-se a disponibilidade da iluminação natural do dormitório principal e do ambiente integrado (sala, cozinha e área de serviço) considerando as medidas de desempenho DA e UDI e valores recomendados pela NBR 15575 e pelo RTQ-R. Foram avaliadas UH no térreo, 3º e 5º pavimentos. Quanto ao DA, as unidades habitacionais no 5º pavimento atendem à NBR 15575 e ao RTQ-R considerando os níveis de 60 lux e 120 lux. O térreo não atende ao critério de 60 lux. O 3º pavimento atende parcialmente. Quanto ao UDI, apenas o 5º pavimento atinge percentagem de 80% de horas anuais no intervalo 120 lux a 2.000 lux. O térreo e o 3º pavimentos atendem somente ao intervalo de 60 lux a 2.000 lux. As orientações mais desfavoráveis, para o dormitório, foram a nordeste e a sudeste, e para o ambiente integrado, sudoeste. Como principal recomendação tem-se afastamentos definidos por área de janela e sua posição geográfica, além da altura da edificação.

Palavras-chave: iluminação natural, conjunto residencial, simulação computacional, APOLUX IV, avaliação.

ABSTRACT

Daylighting contributes to visual comfort and building energy efficiency, as well as psychological and physiological benefits. This article presents the evaluation of daylighting availability in the multifamily housing Conjunto Residencial Videiras, located in south Brazil, belongs to the Minha Casa Minha Vida Programme. The method evaluated, through the APOLUX IV simulation program, the daylighting availability in a bedroom and the living-kitchen-laundry integrated environment. The metrics evaluated were DA and UDI and the reference parameters are established by Brazilian standards NBR 15575 and RTQ-R. Apartments on ground, 3rd and 5th floors were selected. Considering DA, the apartments on 5th floor satisfy the DA 120 lux daylight factor. The ground floor do not satisfy DA 60 lux daylight factor. The 3rd floor satisfy partially the DA 60 lux. Considering UDI, only the 5th floor reaches 80% of annual hours in the 120 lux to 2.000 lux interval. The ground and 3rd floors reach only 60 lux to 2.000 lux interval. More unfavourable locations are northeast and southeast, for bedroom; and southwest, for integrated environment. The main recommendation is determine the distances between the housing blocks according to windows areas and their geographical orientation, in addition to building-height.

Keywords: daylighting, multifamily building, building simulation, APOLUX IV, evaluation.

1. INTRODUÇÃO

Desde os anos 2000, a inclusão da moradia como direito social na Constituição Federal, o Estatuto das Cidades e a criação do Ministério das Cidades (agora integrado ao Ministério do Desenvolvimento Regional) culminaram no Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). O PMCMV, em 2017, representou 70% do mercado imobiliário nacional, com 3,7 milhões entregues até então (BRASIL, 2018). No entanto, o déficit habitacional brasileiro era estimado em cerca de 8 milhões de moradias em 2015. Portanto, o PMCMV abrangeu aproximadamente metade deste déficit. A demanda atendida revela um problema: a qualidade das habitações que vêm sendo entregues (BERTOLINI, 2017). Um estudo do Ministério da Transparência e Controladoria Geral da União mostrou que 56,4% das unidades da faixa 2 e 3 do PMCMV apresentam falhas (VAZ, 2017). Por outro lado, o foco das avaliações pós-ocupação e de reclamações dos usuários concentram-se em problemas estruturais, infiltrações e desconforto térmico, conforme apontou, em entrevista concedida aos autores, a Gerência Executiva de habitação de Santa Maria (GIHAB/SM). Essa situação desfavorável e mais perceptível, pois manifesta-se de forma mais rápida, acaba por relegar a um segundo plano a ineficiência da iluminação natural das habitações que, ao longo do tempo, pode acarretar significativos custos com iluminação artificial e prejudicar a saúde visual e mesmo psicológica dos usuários (YU; SU, 2015; EDWARDS; TORCELLINI, 2002).

Para a iluminação natural, a NBR 15575 (ABNT, 2013) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012) são importantes referências no processo de avaliação de edificações residenciais no Brasil. A NBR 15575 recomenda iluminâncias adequadas à atividade exercida no ambiente e campo visual livre de ofuscamento. Também recomenda orientação geográfica, dimensionamento e posição de aberturas, cores de superfícies internas e relação com o entorno de forma a promover iluminação natural direta e indireta na superfície da tarefa visual. Um dos métodos recomendados pela NBR 15575 é a simulação computacional, estabelecendo 3 classificações para níveis de iluminância: mínimo, intermediário e superior. A norma também estabelece as condições de contorno para efetuar as simulações, como realizar simulações nos dias 23 de abril e 23 de outubro, em dois horários, 9h30min e 15h30min, com janelas e portas abertas, com plano da tarefa visual a 0,75m do piso, nebulosidade média (50% de nuvens), dentre outras condições. No entanto, a NBR 15575 propõe a avaliação por variáveis estáticas. Nascimento (2016) avaliou a norma no que se refere ao desempenho lumínico e considera que esta é limitada, uma vez que considera apenas quatro momentos específicos para a avaliação, além de adotar um limite mínimo nível de iluminância, distanciando-se da realidade de usos e dos próprios usuários. O autor conclui que a avaliação por meio de medidas de desempenho resulta em valores mais adequados e que, além de mais de um nível mínimo, conforme o uso, e um nível máximo, devem ser estabelecidos. No RTQ-R, a iluminação natural é um dos pré-requisitos da envoltória e é expresso em termos de percentual de aberturas efetivas para a iluminação nas fachadas e coberturas. A refletância do teto e a relação entre a profundidade do ambiente e a altura da verga da abertura também são avaliadas. O RTQ-R admite a avaliação por meio de simulação computacional empregando arquivo climático com 8.760 horas de dados pertinentes. A avaliação emprega medidas de desempenho e recomenda níveis mínimos de iluminância em 70% das horas do ano com luz disponível para ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço. Este método requer o uso de simulação computacional com programas adequados.

A simulação computacional da iluminação natural pode ser classificada em estática e dinâmica (DIDONÉ; PEREIRA, 2010). A simulação estática retorna resultados para as variáveis nível de iluminância e Daylight Factor (DF) em dias e horários do ano definidos, portanto, com limitações na avaliação (NABIL; MARDALJEVIC, 2006). A simulação dinâmica permite a avaliação do comportamento da iluminação natural no decorrer do ano, incorporando as variações do céu, uma vez que usa arquivos climáticos com dados horários de radiação solar e nebulosidade. Neste caso, a avaliação é mais rica e completa do que aquela feita com as variáveis estáticas (DIDONÉ; PEREIRA, 2010). As principais medidas de desempenho são Daylight Autonomy (DA) e Useful Daylight Illuminances (UDI) (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

O DA é a porcentagem de horas ocupadas por ano em que os níveis de iluminância são satisfatórios somente por meio da iluminação natural (REINHART *et al.*, 2006), enquanto UDI simula a porcentagem de horas em um ano em que a iluminância do ambiente avaliado permanece na faixa considerada de conforto visual – entre 100 lux e 2.000 lux, por exemplo – sendo que valores acima de 2.000 lux (excesso de luz) ou abaixo de 100 lux (insuficiência de iluminação) são considerados como zonas de desconforto visual. Como o próprio nome sugere, determina se os níveis de iluminação natural são úteis para o usuário desenvolver tarefas visuais (NABIL; MARDALJEVIC, 2006; REINHART *et al.*, 2006).

Dentre os programas que realizam simulações dinâmicas, no Brasil, há o APOLUX IV, de acesso livre, desenvolvido no Laboratório de Conforto Ambiental (Labcon) do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 2019). O programa desenvolve cálculos dos níveis de

iluminação natural e artificial por meio de dois módulos: o Fractal, que através de arquivos em formato *Data Exchange File* (DXF), permite o preparo do modelo tridimensional e a criação do arquivo projeto (extensão. PJ4) para posterior processamento no FOTON, onde é possível concluir os parâmetros adotados e realizar os cálculos (PORTAL APOLUX, 2018; JARAMILLO, 2014). Carvalho (2009) verificou a adequação do programa a protocolos do Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) para validação de programas de simulação da iluminação natural e os resultados demonstraram a confiabilidade do programa.

A simulação computacional e o programa APOLUX têm sido usados em estudos de iluminação natural no Brasil, demonstrando ser uma ferramenta adequada para este propósito. Scalco, Pereira e Rigatti (2010) usaram o programa APOLUX para análise de impacto de vizinhança na disponibilidade de iluminação natural e insolação devido a densificação urbana. Jaramillo (2014) avaliou a iluminação natural em salas de aula usando o APOLUX e o DIVA-for-Rhino, por meio de variáveis estáticas e medidas de desempenho. Também foi utilizado o APOLUX em estudo que avaliou o nível de eficiência energética e o potencial de economia de energia de sistemas de iluminação em edifício da administração pública, por Pinto (2014). O estudo usou os requisitos do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética para Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).

A partir desse panorama, verifica-se a importância das avaliações de iluminação natural e a adequação da simulação computacional por meio do APOLUX para este fim.

2. OBJETIVO

O objetivo do artigo é avaliar a disponibilidade de iluminação natural no Conjunto Residencial Videiras, empreendimento do Programa Minha Casa Minha Vida, situado em Santa Maria, RS, por meio de medidas de desempenho, propondo diretrizes para futuros projetos, usando a simulação computacional com o programa APOLUX IV.

3. MÉTODO

O estudo partiu de contato inicial com o GIHAB/SM para seleção do conjunto habitacional avaliado, Conjunto Residencial Videiras (CRV), localizado em Santa Maria, RS. O CRV era o único conjunto habitacional multifamiliar pertencente ao PMCMV na cidade a época da pesquisa. Após a escolha do CRV, contactou-se o condomínio para verificar a viabilidade de levantamentos de características físicas necessárias para a simulação, bem como consulta ao acervo de projetos da Prefeitura Municipal que disponibilizou o projeto arquitetônico.

3.1. Conjunto Residencial Videiras - CRV

O CRV foi concluído em 2011, atendendo a Faixa I do PMCMV, ou seja, famílias com renda mensal de até R\$ 1.600,00, valor referência para o ano de 2011. A Figura 1 ilustra a posição geográfica dos blocos no CRV. O conjunto é formado por 21 blocos de cinco pavimentos com 420 unidades habitacionais (UH) no total. As UH são formadas por dois dormitórios, sala de estar, jantar, cozinha e área de serviço integrados e um banheiro, com planta em H, como mostra a Figura 2. O pé-direito é 2,51m e a área de cada unidade é 40,54m². Observa-se que a posição das janelas, considerando cada UH, de seus ambientes de permanência (dormitórios e sala), estão na mesma fachada, cuja orientação geográfica pode variar, de acordo com a posição em planta.

Foram avaliadas as UH no térreo, 3º e 5º pavimentos com menores afastamentos entre blocos (7m e 5,5m), o que causa sombreamento em alguns períodos do ano. Na Figura 2, as UH elegidas para a simulação estão em realce na cor azul.

As esquadrias estão caracterizadas, em função da área do ambiente e vão efetivos para iluminação, no Quadro 1.

Quadro 1– Caracterização das esquadrias.

Ambiente	Área do ambiente (m ²)	Características das esquadrias	Vão livre efetivo (m ² – % do piso)
Dormitório principal	9,11	De correr com três folhas (duas venezianas); 1,20x1,20m ² = 1,44m ²)	0,64m ² – 7,03%
Ambiente integrado	20,85	De correr com duas folhas (vidro); 1,40x1,20m ² = 1,68m ² (sala); 1,00x1,20m ² = 1,20m ² (área de serviço)	2,30m ² – 11,03%



Figura 1 – Distribuição dos blocos do CRV no lote e UH elegidas para a avaliação (adaptado de Santa Maria, 2019).



Figura 2 – Planta baixa tipo dos blocos do CRV e planta baixa da unidade habitacional (adaptado de Santa Maria, 2019).

3.2. Condições de céu disponíveis

O CRV situa-se no município de Santa Maria, RS, cidade localizada a 29°42' de latitude sul, 53°42' de longitude oeste, com clima, classificado com Cfa, subtropical, sempre úmido e de verões quentes (TORRES; MACHADO, 2011). A disponibilidade de radiação solar e de insolação (tempo em horas de brilho solar na superfície), em Santa Maria, é afetada pela grande frequência de nevoeiros (92 dias por ano), principalmente pela manhã, apresentando nebulosidade ligeiramente maior que a média do estado. Nos meses de junho a agosto, a insolação está disponível em cerca de 5,1 horas por dia e, nos meses de dezembro e janeiro, ultrapassa 8 horas por dia (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009). A maior concentração de chuvas e, portanto, de céu totalmente encoberto, ocorre nos meses de junho e julho, no inverno, e em janeiro e fevereiro, no verão (SARTORI, 1979). Desses dados, depreende-se a importância da avaliação ao longo do ano da disponibilidade de iluminação natural, não apenas em dias específicos, como preconiza a NBR 15575.

3.3. Simulação computacional

O APOLUX IV foi usado para a simulação computacional. Inicialmente, foi feita a modelagem tridimensional dos cômodos que foram avaliados (dormitório principal e sala, cozinha e área de serviço integradas), em arquivos Data Exchange File (DXF), com o programa computacional Sketch Pro 2017 e AutoCAD 2017. Além da modelagem do ambiente em si, o entorno imediato também foi modelado. Esses arquivos foram abertos no módulo Fractal, do APOLUX, gerando um arquivo de extensão .PJ4.

No módulo Fractal, verificou-se a existência ou não de elementos inválidos ou erros que impedem as simulações. Também foram determinados o fracionamento das superfícies. A área máxima total de fracionamento foi de 0,05m². Ao se realizar o fracionamento, o Apolux divide o plano de análise segundo uma matriz quadrática, onde a referência é uma unidade de área a ser representada por um ponto da divisão. O fracionamento realizado no módulo Fractal resultou num número total de 7.302 vértices de cálculo para o dormitório principal, sendo que desses, 383 correspondem a vértices do plano de análise, posicionado a 75 cm do piso. No ambiente integrado, o fracionamento resultou em 12.860 vértices, dos quais 843 são vértices do plano de análise. Logo após, o arquivo com extensão .PJ4 gerado no Fractal foi processado no módulo Fóton, onde foram inseridos os parâmetros de simulação e o processamento dos cálculos relativos à iluminação natural, tais como reflectâncias de superfícies. As reflectâncias adotadas foram definidas a partir do Memorial Descritivo do projeto arquitetônico. Também as propriedades ópticas das superfícies e materiais foram definidas, como opaco difuso (paredes, tetos, pisos, portas internas), transmissor especular (vidros) e uniforme luminância relativa ao céu (superfícies verticais e horizontais externas). A reflectância do solo foi considerada em 30% (CUNHA, 2011).

Outro parâmetro definido foi o Globo, que representa a abóbada celeste. Foi adotada uma resolução de 6, numa escala de 1 (mínima resolução) a 8 (máxima resolução) disponível no programa. A resolução adotada representa uma margem de erro de 5%, de acordo com Cunha (2011). Em seguida, iniciou-se o cálculo da visibilidade que expressa relações de visualização entre os objetos que compõem o cenário.

O APOLUX IV usa arquivos climáticos Energy Plus Weather Data (EPW). Para a simulação, usou-se o arquivo SWERA para Santa Maria (LABEEE, 2018). O período diário usado nas simulações correspondeu ao intervalo entre 6 horas e 18 horas, ou seja, 12 horas por dia. Foram processadas 4.129 horas uma vez que o programa elimina horários em que o Sol está muito próximo do horizonte ou horas com dados inconsistentes (CLARO, 2015). O número de ciclos adotado nas simulações foi 10. Foram calculados o DA e o UDI. Para DA, adotou-se valor de 120 lux (DA1), e mínimo, 60 lux (DA2). Para UDI, 60 lux, 120 lux e 2.000 lux como limites inferior, médio e superior respectivamente. O valor 60 lux para DA e UDI baseou-se na NBR 15575 (ABNT, 2013).

O Quadro 1 apresenta o resumo dos parâmetros de simulação adotados no módulo Fóton.

Quadro 2 – Parâmetros de simulação adotados no módulo Fóton do APOLUX.

Parâmetros	Valores	Parâmetros	Valores
Período de simulação	Todos os dias, entre 6 h e 18 h	Globo	6 (52.670 parcelas - 90 faixas)
Condição de céu	Céu dinâmico	Coordenadas geográficas (abóbada)	Lat. 29°68' Long. 53°80' 151 m
Orientação geográfica	Norte, sul, leste e oeste	DA	60 lux; 120 lux
Localização ambientes	Térreo, 3° e 5° pavimentos	UDI	60 lux; 120 lux; 2.000 lux
Condição das janelas	Totalmente abertas	Número de ciclos	10 ciclos
Condição das luzes	Desligadas	Reflectância do solo	30%

A simulação dinâmica gerou um arquivo com formato solu.txt, que posteriormente foi convertido em formato de planilha do Excel (Microsoft Excel 2010), contendo os resultados numéricos obtidos através das métricas utilizadas: DA1, DA2 e UDI. Também se obteve gráficos para DA1 (percentual do tempo igual ou superior a 120 lux) e para UDI acima de 2.000 lux (UDI_{sup}). O tempo de simulação alcançou, para o ambiente integrado, cerca de 48 horas. Foram feitas 24 simulações.

As análises dinâmicas basearam-se em Nascimento (2016) além das recomendações do RTQ-R e NBR 15575. O RTQ-R (BRASIL, 2012) exige que, pelo menos, 50% +1 dos ambientes de permanência forneçam 60 lux, no mínimo, para iluminação natural em 70% da área a 0,75m do piso, durante, pelo menos, 70% das horas com luz natural no ano. A NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda 60 lux, como valor mínimo, e 120 lux ou mais, para desempenho superior, para os ambientes dormitórios, sala, cozinhas e áreas de serviço.

Quadro 3 – Medidas de desempenho e valores de referência usados nas avaliações de DA.

Níveis de iluminância (lux)	DA2 - % horas com mínimo 60 lux	PAd2 - % área com mínimo 60 lux em 70% das horas do ano	DA1 - % horas com mínimo 120 lux	PAd1 - % área com mínimo 120 lux em 70% das horas do ano
60	DA2 ≥ 70%	PAd2 ≥ 70%		
120			DA1 ≥ 70%	PAd1 ≥ 70%

O Quadro 2 apresenta as medidas de desempenho e seus valores de referência usados nas avaliações.

Em relação a UDI, os critérios assumidos estão no Quadro 3, onde considera-se as percentagens de horas do ano em que a iluminância está dentro dos intervalos 120 lux a 2.000 lux (PHudi1) e 60 lux a 2.000 lux (PHudi2), usando-se o estudo de Nascimento (2016).

Quadro 4 – Medidas de desempenho e valores de referência usados nas avaliações de UDI.

PHudi1	PHudi2	Classificação (NASCIMENTO, 2016)
PHudi2 ≥ 80%		S - superior
	PHudi1 ≥ 80%	I - intermediário
	70% ≤ PHudi1 < 80%	M - mínimo
	PHudi1 < 70%	INS - Insuficiente

Segundo Mardaljevic (2006, p. 5), “a UDI pode ser definida como a ocorrência anual de iluminâncias no plano de trabalho, que está dentro de um intervalo considerado útil pelos ocupantes”. Simula a porcentagem de horas em um ano que a iluminância do ambiente avaliado permanece na faixa considerada de conforto visual – entre 100 e 2.000 lux, por exemplo – sendo que valores acima de 2.000 lux (muito claros) ou abaixo de 100 lux (muito escuros) são considerados como zonas de desconforto. (NABIL; MARDALJEVIC, 2006; REINHART et al., 2006). Sendo assim, para a realização das simulações dinâmicas a partir do Apolux, foram determinados planos de trabalho a 75 cm de altura em cada ambiente analisado (dormitório principal e sala/cozinha/lavanderia integrados), ou seja, foram consideradas as áreas totais de cada ambiente. Obteve-se, como resultado, o percentual de horas em que os vértices do projeto se encontram em cada faixa de UDI, podendo ser definida a porcentagem de horas em que o plano de análise se encontra em cada faixa de UDI e permitindo avaliar o comportamento da iluminação natural ao longo do ano, com uso exclusivo da LN, no intervalo das 6 às 18 horas.

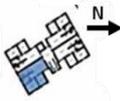
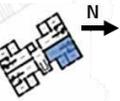
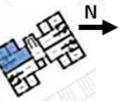
Foram realizados, seguindo esquema exposto na Figura 1, um total de 24 simulações de iluminação natural, sendo 12 do dormitório principal e 12 do ambiente integrado, nas quatro diferentes orientações, no térreo (pavimento inferior), 3º pavimento (intermediário) e 5º pavimento (superior). Porém, por ser exatamente a mesma situação de outras unidades do conjunto (orientação solar e mesmo entorno), essas simulações representam um total de 48 unidades do Residencial Videiras simuladas.

4. RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para DA1 e DA2, segundo a orientação geográfica, onde se verifica a porcentagem de horas do ano e de área do ambiente em que os valores de referências 60 lux e 120 lux são mantidos. As células em destaque indicam os ambientes que não atendem aos critérios.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para UDI, nos intervalos de 60 lux a 2.000 lux e 120 lux a 2.000 lux.

Tabela 1 – Avaliação do desempenho lumínico, por meio de DA1, DA2 e percentagem da área com iluminação de referência.

Orientação	Pavimento	Dormitório				Sala/cozinha/área serviço			
		DA1 % horas 120lux	% área 120lux	DA2 % horas 60lux	% área 60lux	DA1 % horas 120lux	% área 120lux	DA2 % horas 60lux	% área 60lux
	Térreo	57,2	30,7	80,5	87,0	56,9	30,7	75,6	81,8
	3º	71,4	57,4	87,6	99,4	68,6	62,7	82,7	87,2
	5º	86,5	96,1	94,7	100,0	83,8	87,3	92,7	92,8
	Térreo	56,9	31,1	80,7	88,9	59,9	39,1	77,9	83,2
	3º	71,0	55,4	88,0	99,4	71,9	68,4	84,9	87,8
	5º	87,4	95,6	96,4	100,0	86,1	87,6	94,0	92,9
	Térreo	55,1	29,4	79,6	82,8	61,1	40,1	78,4	83,8
	3º	69,0	52,5	87,0	98,8	71,9	68,9	84,9	87,9
	5º	85,9	94,9	94,6	100,0	84,9	88,1	93,4	93,0
	Térreo	56,9	30,6	80,3	85,2	59,0	38,2	77,2	82,6
	3º	70,6	56,4	87,4	99,4	71,5	68,2	84,4	87,7
	5º	86,9	95,1	96,1	100,0	86,6	88,3	94,4	93,8

Observa-se, através da Tabela 1, que são atendidos os 60 lux mínimos preconizados pela NBR 15575, em 70% da área dos ambientes ou em 70% das horas anuais com luz disponível. Quando a referência é 120 lux, apenas as UH no quinto pavimento atendem plenamente os critérios. O térreo e o terceiro pavimento não atendem ao critério de 70% da área com no mínimo 120 lux. Já para 70% das horas com 120 lux, o térreo não satisfaz o critério, independente da orientação geográfica do cômodo. O terceiro pavimento não atende para dormitórios voltados a nordeste e para ambientes integrados voltados a sudeste. Os ambientes integrados possuem duas janelas em paredes opostas, que contribuem para uma melhor quantidade e distribuição da iluminação natural. No entanto, em termos de quantidade de luz disponível, essa configuração não é suficiente. O afastamento entre os blocos, no eixo principal onde se situam as UH simuladas, é 7m. No sentido transversal, este afastamento é 5,5m. Estes afastamentos são insuficientes para até o 3º pavimento, pelo menos, conforme observa-se das simulações, considerando-se as áreas de aberturas para iluminação natural. Mantendo-se estes afastamentos, seria necessário aumentar a área das aberturas.

Tabela 2 – Avaliação do desempenho lumínico, por meio de PHudi1 e PHudi2.

Orientação	Pavimento	Dormitório			Sala/cozinha/área serviço		
		PHudi1 Porcentagem de horas no intervalo 120 – 2.000 lux	PHudi2 Porcentagem de horas no intervalo 60 – 2.000 lux	Classificação	PHudi1 Porcentagem de horas no intervalo 120 – 2.000 lux	PHudi2 Porcentagem de horas no intervalo 60 – 2.000 lux	Classificação
	Térreo	56,6%	79,9%	M	56,0%	74,8%	M
	3º	70,0%	86,3%	I	66,0%	80,1%	I
	5º	83,4%	-	S	74,5%	83,4%	I
	Térreo	56,4%	80,2%	I	58,8%	76,8%	M
	3º	69,7%	86,6%	I	68,4%	81,5%	I
	5º	83,6%	-	S	77,3%	85,2%	I
	Térreo	54,9%	79,4%	M	60,0%	77,4%	M
	3º	68,3%	86,3%	I	68,8%	81,8%	I
	5º	83,7%	-	S	77,7%	86,3%	I
	Térreo	56,2%	79,6%	M	57,8%	76,0%	M
	3º	69,0%	85,8%	I	67,8%	80,7%	I
	5º	83,0%	-	S	74,9%	82,6%	I

Considerando a Tabela 2, a classificação, para os dormitórios no 5º pavimento é Superior. Para o térreo, todos os ambientes atingiram a classificação Mínimo, com exceção do dormitório com janela orientada a sudoeste. Para o 3º pavimento, a classificação é nível Intermediário. De acordo com esta variável, o térreo continua sendo o pavimento com iluminação natural mais comprometida e o 5º pavimento, com melhores resultados. O ambiente integrado não atingiu, mesmo no 5º pavimento, a classificação Superior.

A Figura 3 apresenta os resultados em relação à distribuição das percentagens de horas alcançadas para os valores de referência de DA e UDI dos níveis de iluminância segundo a área do compartimento para as unidades orientadas à nordeste. Na Figura 3, a distribuição das percentagens indica, para o dormitório principal, zonas não atendidas com os níveis de iluminância de referência, DA1 (120 lux) e DA2 (60 lux), principalmente para o térreo e o 3º pavimento. A parede à esquerda da janela e a área, em planta, próxima a ela, apresenta as menores percentagens, representadas pelas cores laranja claro, amarelo, tons de verde e azul. Para o ambiente integrado, considerando DA1, térreo e 3º pavimento, a área central do ambiente apresenta valores mais baixos de disponibilidade deste nível ao longo do ano. Já para UDI, o intervalo entre 120 lux e 2.000 lux, é o que apresenta maior percentagem. Para este mesmo parâmetro, a área à esquerda da janela do quarto principal e a área central do ambiente integrado apresentam as menores percentagens. Essa análise pode colaborar com a distribuição do mobiliário (leiaute), de tal forma a posicionar superfícies onde serão realizadas tarefas visuais nas áreas onde os níveis de iluminância mantenham-se, no decorrer do ano, dentro do intervalo estipulado como de conforto (entre 120 lux e 2.000 lux). Observa-se também que níveis mais altos do que 2.000 lux possuem baixa ocorrência no decorrer do ano, a não ser em zonas próximas a janelas.

A Figura 4 apresenta os resultados em relação à distribuição das percentagens de horas alcançadas para os valores de referência de DA e UDI dos níveis de iluminância segundo a área do compartimento.

Comportamento similar ao da UH orientada à nordeste (Figura 3) é observado, na Figura 4, para as unidades orientadas à sudoeste.

Com base nas avaliações feitas, foram apontadas diretrizes ou melhorias para futuros projetos com o objetivo de melhorar o desempenho lumínico de habitações similares a estudada. São elas:

- basear critérios de afastamento entre blocos considerando a iluminação natural disponível no térreo por meio de área de janelas, orientação geográfica e altura da edificação;
- alterar a área de janela conforme o pavimento e a orientação geográfica de tal forma que os pavimentos mais baixos ou voltados para orientações com menor possibilidade de captação de iluminação natural possam ter maiores aberturas;
- propor elementos de controle solar para evitar o ofuscamento) nos principais cômodos (dormitórios, salas e cozinhas);
- dimensionar aberturas para iluminação natural com base no clima, no pavimento, no entorno da edificação, e não apenas na área do cômodo;
- apresentar o projeto arquitetônico com o leiaute recomendado para o mobiliário de tal forma a garantir que as superfícies de tarefas visuais críticas possam estar em locais com melhor iluminação natural no decorrer do ano.

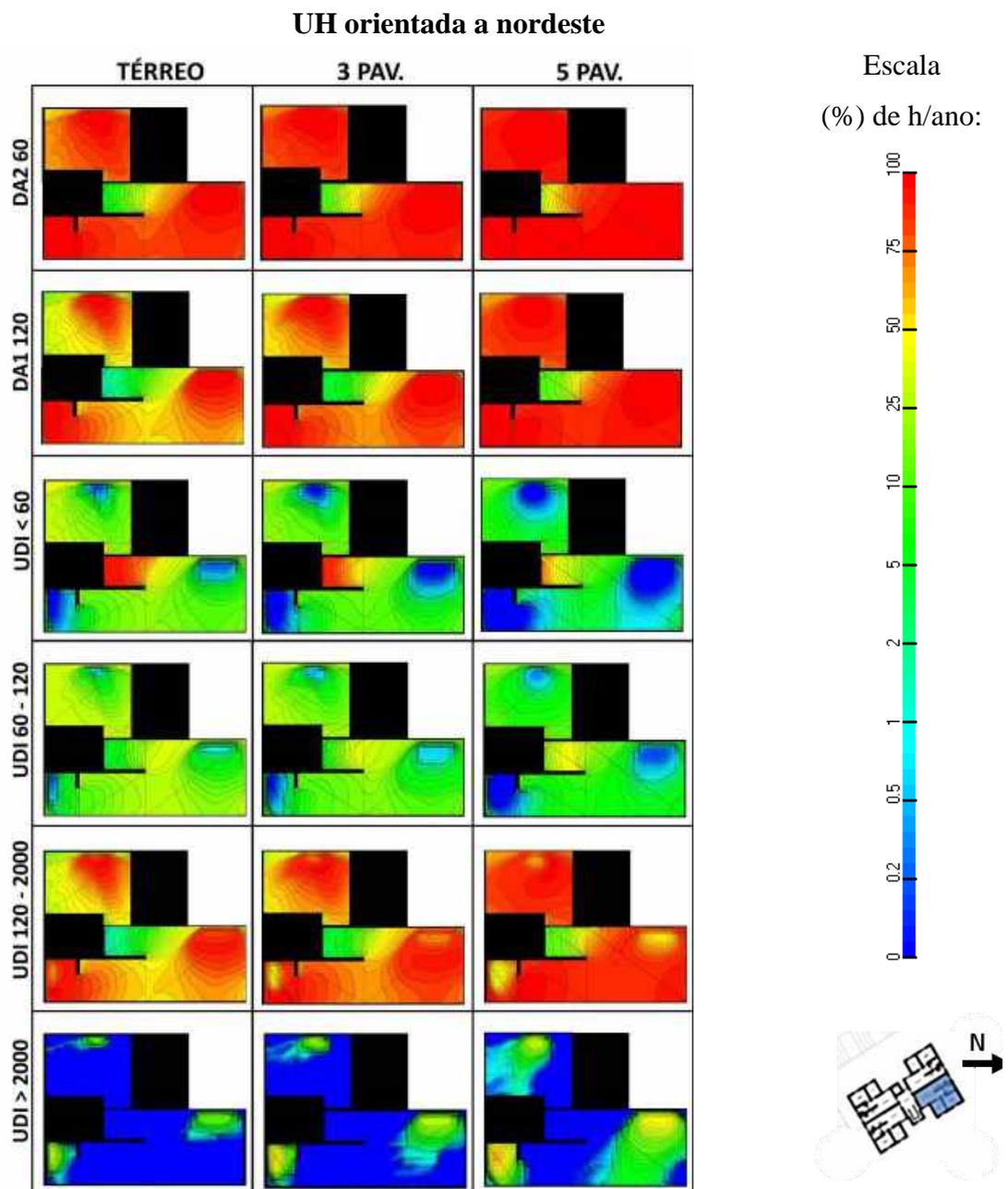


Figura 3 – Percentagens, em planta baixa, para DA e UDI, conforme níveis de iluminância.

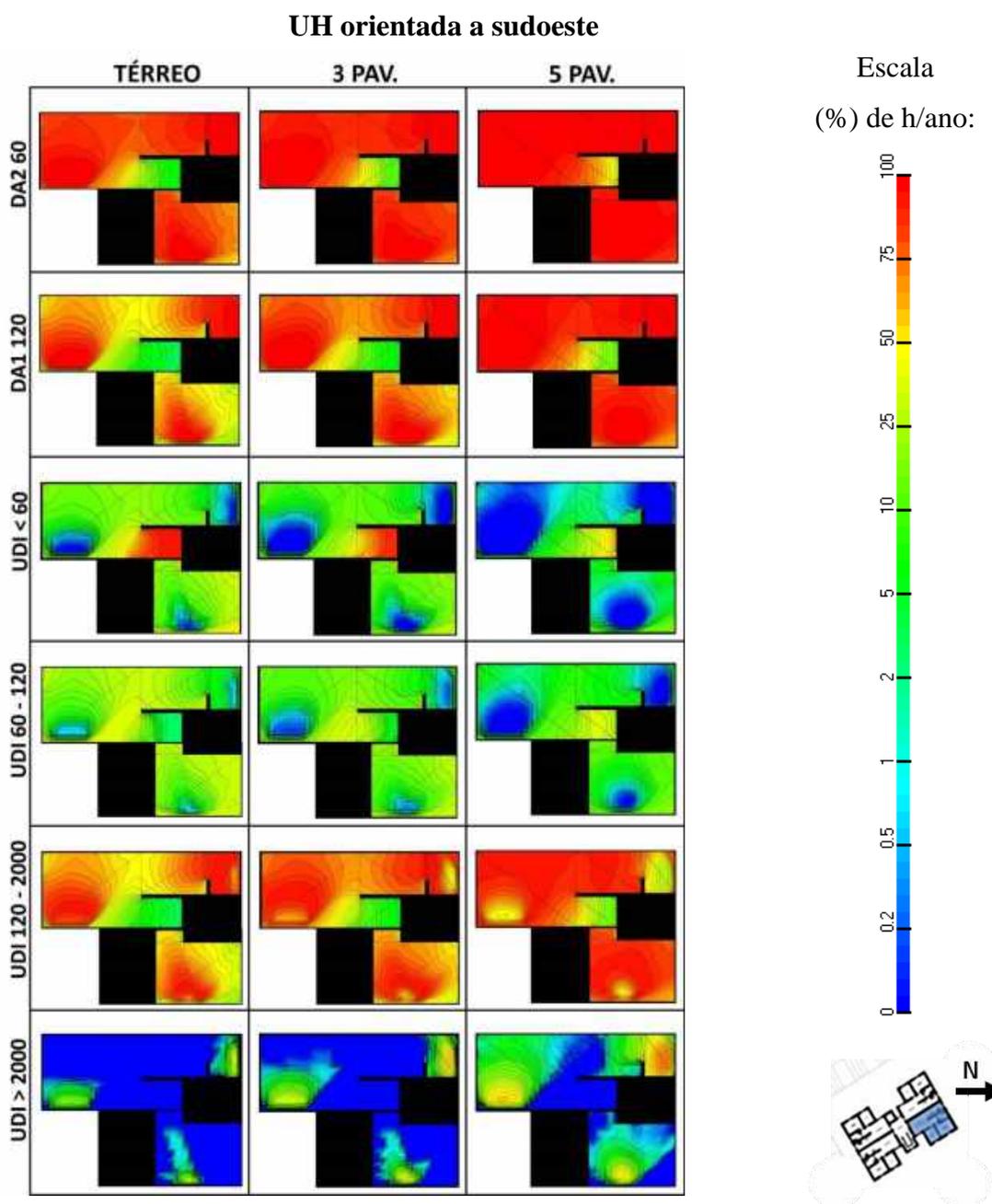


Figura 4 – Percentagens, em planta baixa, para DA e UDI, conforme níveis de iluminância.

5. CONCLUSÕES

A avaliação do CRV, por meio de simulações com o APOLUX IV, demonstrou que as habitações multifamiliares necessitam de critérios específicos que precisam ser definidos de acordo com o contexto não apenas econômico, mas climático, locacional e ambiental. O CRV atingiu o critério preconizado pela NBR 15575, ou seja, 60 lux em praticamente 100 % das horas anuais com iluminação natural disponível. Verificou-se que o andar térreo até o 3º pavimento, para edifícios de até 5 pavimentos, estudados na pesquisa, são bastante desfavorecidos em termos de disponibilidade de iluminação natural para níveis de iluminância a partir de 120 lux, quando comparados com pavimentos superiores. Os projetos precisam passar por avaliações ainda na etapa de sua concepção, por meio de medidas de desempenho, para garantir condições mínimas de conforto visual nessas edificações e corrigir essas condições desfavoráveis. Apesar deste trabalho não ter simulado as UH mobiliadas, a presença destas nos ambientes diminuiria ainda mais os níveis de iluminância disponíveis, pela cor do mobiliário, adoção de cortinas e outros sistemas de controle interno de insolação direta. Também a cor de teto e paredes, para esse tipo de habitação, é importante que seja o mais clara possível a fim de melhor aproveitar as múltiplas reflexões da luz.

Paralelamente, pesquisas que envolvam a opinião dos usuários específicas para o conforto visual são importantes, uma vez que as ferramentas de avaliação pós-ocupação têm detectado apenas descontentamento com outros aspectos da sua qualidade, como patologias e desconforto térmico. A compreensão do comportamento do usuário e seus hábitos são fundamentais para o aperfeiçoamento do projeto de edificações de qualquer tipo e deve ser rotina nas equipes de projeto, gestão e controle da qualidade do ambiente construído.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- BERTOLINI, Enzo. Piora o déficit habitacional nacional, segundo o SindusCon-SP. **Caderno Habitação**. Portal Sinduscon/SP. Publicado em 26/05/2017. Disponível em: <<https://www.sindusconsp.com.br/piora-o-deficit-habitacional-nacional-segundo-o-sinduscon-sp/>>. Acesso em 23 de junho de 2018.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (MDICE) – INMETRO. Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012. **RTQ-R Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Brasília: Procel Edifica, 2012.
- BRASIL. Portal do Governo Federal. **Minha Casa Minha Vida representa 70% do mercado imobiliário**. Brasília, DF. Publicado em 04/05/2018. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/infraestrutura/2018/05/minha-casa-minha-vida-representa-70-do-mercado-imobiliario-1>>. Acesso em 23 de julho de 2018.
- CLARO, A. **Método para Determinação da Estimativa Anual de Luz Natural Utilizando o Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade**. Tese (apresentada à Banca para Progressão a Professor Titular) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- CUNHA, Agostinho de Vasconcelos Leite da. **Avaliação do Programa Apolux Segundo Protocolos de Modelos de Céu do Relatório Técnico CIE 171:2006**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, Vol. 10, n. 4, p. 139-154, out./dez. 2010.
- EDWARDS, L.; TORCELLINI, P. **A literature review of the effects of natural light on building occupants**. U.S. Department of Energy. National Renewable Energy Laboratory. Technical Report NREL/TP-550-30769. Oak Ridge, U. S., 2002. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy02osti/30769.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2019.
- HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A.. História natural de Santa Maria: o clima de Santa Maria. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 38, p. 43-58, 2009.
- JARAMILLO, C. B. **Alterações na distribuição da luz natural causadas pelos agrupamentos de estudantes em calas de aula**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. Florianópolis, s.d.. Disponível em:<<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: 31 mar. 2019.
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors. **Energy and Buildings**, Vol.38, n.7, p. 905–913, 2006.
- NASCIMENTO, Thássia Catherine Costa. **Avaliação da NBR 15575 quanto ao desempenho térmico e luminoso: estudo de caso em Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.
- PINTO, J. M. M. **Avaliação da Eficiência Energética nos Sistemas de Iluminação do Tribunal de Contas do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- PORTAL APOLUX. **Módulo Foton: Simulação Dinâmica**. Disponível em: <[file:///C:/Program%20Files%20\(x86\)/APOLUX/help/Foton_Help/tutorial/tutorial_index.htm](file:///C:/Program%20Files%20(x86)/APOLUX/help/Foton_Help/tutorial/tutorial_index.htm)>. Acesso em 23 de julho de 2018.
- REINHART, C.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **LEUKOS**. Vol.3, N.1, July 2006, p. 7-31, 2006. Disponível em:<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.458.8133&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2019.
- SARTORI, M. G. B.. **O clima de Santa Maria, RS: do regional ao urbano**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.
- SCALCO, Veridiana; PEREIRA, Fernando R.; RIGATTI, Decio. Impacto de novas edificações na vizinhança: proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e de insolação. **Ambiente Construído**, Vol. 10, n. 2, P. 171-187, abr./jun. 2010.
- TORRES, S. C.; MACHADO, P. J. O.. **Introdução à climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Laboratório de Conforto Ambiental. Softwares desenvolvidos. **APOLUX – versão Beta**. Florianópolis, s.d.. Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/>>. Acesso em: 31 mar. 2019.
- VAZ, Gabrielle. Mais da metade das unidades das faixas 2 e 3 do MCMV tem falhas de construção, diz CGU. Portal PINIweb. **Construção Mercado**. Publicado em 18/08/2017. Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/construcao/mais-da-metade-das-unidades-das-faixas-2-e-3-382608-1.aspx>>. Acesso em 23 de julho de 2018.
- YU, Xu; SU, Yuehong. Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation – a literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 52, p. 494-503, December, 2014.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de mestrado.