A INFLUÊNCIA DAS ABERTURAS DAS ESQUADRIAS NA ILUMINÂNCIA DE AMBIENTES

RODRIGUES ALVES NETTO, Ary (1); BARRETO, Douglas (2); AKUTSU, Maria (3)

(1) Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSCar, eng.arynetto@gmail.com;

(2) Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSCar, dbarreto@ufscar.br;

(3) Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade, IPT, akutsuma@ipt.br.

Resumo: *A iluminação natural desempenha um papel fundamental no conforto visual dos ocupantes, bem como no desenvolvimento de um ambiente sustentável. O tamanho e forma das esquadrias e as dimensões dos ambientes são três fatores principais que afetam a qualidade e quantidade de luz natural. A relação entre área de janela e de piso (WFR* – Window-Floor Ratio*) é um parâmetro importante utilizado na avaliação da quantidade de iluminação natural. Outro parâmetro que pode ser utilizado de forma a refinar os resultados obtidos por meio do WFR é o "daylight autonomy", que permite a análise relacionada à obtenção de luz natural suficiente e, simultaneamente, estimar o porcentual de energia elétrica que pode ser economizado com a suplementação da iluminação por meio do sistema artificial. Os resultados mostram que o WFR recomendado pelo Código de Obras e Edificações da cidade de São Paulo, proporcionado por esquadrias comuns, encontradas no mercado nacional, nem sempre é atendido, e por meio da análise do "daylight autonomy" fica evidenciado que para a mesma iluminância alvo e malha de pontos analisados, a quantidade de iluminação natural disponível em um ambiente não aumenta proporcionalmente com a ampliação da área efetiva para iluminação proporcionada pelas esquadrias.*

Palavras-chave: *Esquadrias, Iluminação Natural, Daylight Autonomy..*

Área do Conhecimento: *Qualidade e desempenho de produtos e sistemas construtivos – aspectos de desempenho*

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da iluminação natural em ambientes de edificações, além de ser importante recurso para promover bem-estar aos ocupantes, tem impacto relevante na redução do consumo de energia pelos sistemas de iluminação artificial. Estes aspectos são influenciados principalmente pelas dimensões das áreas livres para entrada de luz, que depende do tipo de esquadria a ser utilizada. O dimensionamento das aberturas para atender às finalidades para que são propostas, é estabelecido pelos Códigos de Obras e Edificações, por meio da relação entre a área da abertura e a área de piso de um ambiente.

Conhecer as características das esquadrias, como suas dimensões e componentes é importante no cálculo dos níveis de iluminância e eficiência energética das edificações, como demonstra Wong (2017), que aponta ainda a tipologia das janelas como outro fator importante, pois determina a área efetiva de iluminação, ou seja, qual é realmente a área envidraçada tendo em vista as características do caixilho.

Relacionar a área da abertura com a área do ambiente é prática recorrente em diversas pesquisas, sendo que alguns pesquisadores utilizam a relação "área de abertura/área de parede" ou WWR (window-wall ratio), ou seja, a porcentagem da abertura efetiva para iluminação proporcionada pela esquadria, em relação à área da parede na qual está inserida. Esta relação pode variar de 20% a 45%, como apontam as pesquisas de Goia (2016) e Marino, Nucara e Pietrafesa (2017), que desenvolveram suas pesquisas na Europa, avaliando qual seria a melhor relação WWR, considerando-se o melhor aproveitamento da luz natural em relação à minimização do consumo de energia elétrica para iluminação e climatização dos ambientes.

O uso de elementos protetores de fachada também pode contribuir para a otimização dos resultados do melhor aproveitamento da iluminação natural associado ao uso de esquadrias, pois permitem que seja possível a utilização de esquadrias com dimensões maiores que possibilitam aos usuários das edificações

um maior conforto visual. O efeito desses elementos e suas configurações, foi demonstrado por Xue et al (2019), que determinaram o melhor posicionamento de brises horizontais e verticais afim de se obter um WWR maior para diferentes orientações das fachadas envidraçadas, variando de 56% para a fachada oeste até 78% para a sul, no caso de edificações localizadas no hemisfério norte, latitude 19.23º. Vale lembrar que, além da localização geográfica, para efeitos de cálculo de iluminância, deve-se considerar também o índice de nebulosidade do local, a orientação da fachada com abertura e a existência de obstruções no entorno.

Nem sempre os valores regulamentados pela legislação são realmente adequados, como demonstrou Vaisi e Kharvari (2019) ao analisarem o Regulamento Nacional do Irã para a luz natural nos edifícios. A legislação analisada pelos autores aponta que o WFR (window-floor ratio) ou relação entre abertura e área de piso necessário seria de 12% e após analisar 24 tipologias de esquadrias, os autores constataram que o mínimo necessário seria 15%, chegando a um máximo de 24%.

No Brasil, para a definição de parâmetros de projeto para edificações, geralmente são utilizados os Códigos de Obras, ou congêneres. O Código de Obras e Edificações da cidade de São Paulo (SÃO PAULO, 1992), adotado como referência neste trabalho, relaciona a área de abertura para iluminação dos ambientes com a área de piso dos mesmos, porém não aborda explicitamente a questão da efetiva área para iluminação, proporcionada após a instalação das esquadrias. Assim, este trabalho teve como objetivo analisar as exigências legais e normativas com relação à disponibilidade de luz natural em ambientes de uso prolongado de habitações de interesse social que utilizam esquadrias de alumínio.

2 MÉTODO

Foram determinadas as relações “área de abertura/área de piso” ou “window-floor ratio” (WFR) de ambientes de uso prolongado, dormitório e sala, de habitações de interesse social, neste caso, modelos padronizados pela CDHU – Cia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo, considerando-se o uso de esquadrias de alumínio disponíveis no mercado nacional, computando-se somente a área efetiva para iluminação, descontando-se a parcela de obstrução dos caixilhos, com o intuito de avaliar se os valores recomendados pela legislação seriam atendidos.

Para a análise da WFR do ambiente de uso prolongado, foi selecionado o dormitório do modelo Casa Térrea Isolada com 2 dormitórios (CDHU, 1997). As esquadrias consideradas são de alumínio, conforme características apresentadas na tabela 01.

Após esta verificação, foram feitas simulações computacionais por meio do software DIVA for Rhino (SOLEMMA, 2014) apenas daqueles ambientes que atenderam o disposto no Código de Obras e Edificações de São Paulo (SÃO PAULO, 1992) afim de se determinar os índices de iluminância dos mesmos, e dessa forma avaliar se a quantidade de luz natural disponível atenderia o disposto na norma NBR ISO 8995/13 (ABNT, 2013), a qual define que para estes tipos de ambientes a iluminância deve ser de 300lx.

Tabela 1 - Características das esquadrias analisadas

Tipologia de Esquadria	Qtd	Tipo	Folhas	Tipo Folhas	Tamanho (HxL)	Área Iluminação (m²)	Área Efetiva Iluminação (m²)
1	2	Correr	2	Vidro	1,00 x 1,20	1,20	1,08
2	1	Correr	2	Vidro	1,00 x 1,50	1,50	1,35
3	1	Correr	2	Vidro	1,20 x 1,00	1,20	1,08
4	1	Correr	2	Vidro	1,20 x 1,20	1,44	1,30
5	2	Correr	2	Vidro	1,20 x 1,40	1,68	1,51
6	2	Correr	2	Vidro	1,20 x 1,50	1,80	1,62
7	1	Correr	2	Vidro	1,20 x 2,00	2,40	2,16
8	1	Correr	2	Vidro	1,60 x 1,50	2,40	2,16
9	1	Correr	3	Vidro	1,20 x 2,00	2,40	2,16
10	1	Correr	4	Vidro	1,00 x 1,20	1,20	1,08
11	18	Correr	4	Vidro	1,00 x 1,50	1,50	1,35
12	3	Correr	4	Vidro	1,00 x 2,00	2,00	1,80

13	12	Correr	4	Vidro	1,20 x 1,50	1,80	1,62
14	4	Correr	4	Vidro	1,20 x 2,00	2,40	2,16
15	2	Veneziana	3	Cega, Vent, Vidro	1,00 x 1,20	0,60	0,24
16	1	Veneziana	3	Cega, Vent, Vidro	1,00 x 1,50	0,75	0,30
17	1	Veneziana	3	Cega, Vent, Vidro	1,20 x 1,00	0,60	0,24
18	2	Veneziana	3	Cega, Vent, Vidro	1,20 x 1,20	0,72	0,29
19	2	Veneziana	3	Cega, Vent, Vidro	1,20 x 1,40	0,84	0,34
20	1	Veneziana	3	Cega, Vent, Vidro	1,20 x 1,50	0,90	0,36
21	1	Veneziana	4	Vent	1,00 x 1,20	0,60	0,24
22	1	Veneziana	4	Vent	1,00 x 1,50	0,75	0,30
23	16	Veneziana	6	2 Cegas, 2 Vent, 2 Vidro	1,00 x 1,50	0,75	0,30
24	3	Veneziana	6	2 Cegas, 2 Vent, 2 Vidro	1,00 x 2,00	1,00	0,40
25	14	Veneziana	6	2 Cegas, 2 Vent, 2 Vidro	1,20 x 1,50	0,90	0,36
26	8	Veneziana	6	2 Cegas, 2 Vent, 2 Vidro	1,20 x 2,00	1,20	0,48

Fonte: Autor

Na Tabela 01, além dos tipos de esquadrias, também está indicada a área efetiva de iluminação que foi calculada considerando-se 90% da área total da esquadria. Para as tipologias com folhas de vidro apenas (tipologia 1 a 14) e 40% da área total para as tipologias de veneziana (tipologias 15 a 26).

3 RESULTADOS

As áreas efetivas para iluminação foram comparadas com o valor do WFR mínimo exigido para o município de São Paulo, cujo índice é 12,5%. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos, sendo que as células destacadas indicam quais esquadrias atenderam as exigências do Código de Obras e Edificações de São Paulo (SÃO PAULO, 1992).

Tabela 2: Resultado da comparação do WFR do ambiente analisado com o exigido pela legislação

AMBIENTE	TIPOLOGIA ESQUADRIA - WFR (%)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Dormitório	12,0	15,0	12,0	14,4	16,8	18,0	24,0	24,0	24,0	12,0	15,0	20,0	18,0
AMBIENTE	**TIPOLOGIA ESQUADRIA - WFR (%)**												
	14	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**
Dormitório	24,0	2,7	3,3	2,7	3,2	3,7	4,0	2,7	3,3	3,3	4,4	4,0	5,3

Fonte: Autor.

Os resultados apontam que das 26 esquadrias analisadas apenas 11 tipologias atendem as exigências do Código de Obras (SÃO PAULO, 1992), sendo todas elas compostas unicamente por folhas envidraçadas. Observa-se ainda que nenhuma esquadria com folhas do tipo veneziana atendem ao requisito para proporcionar a quantidade de iluminação dos ambientes conforme as exigências legislativas.

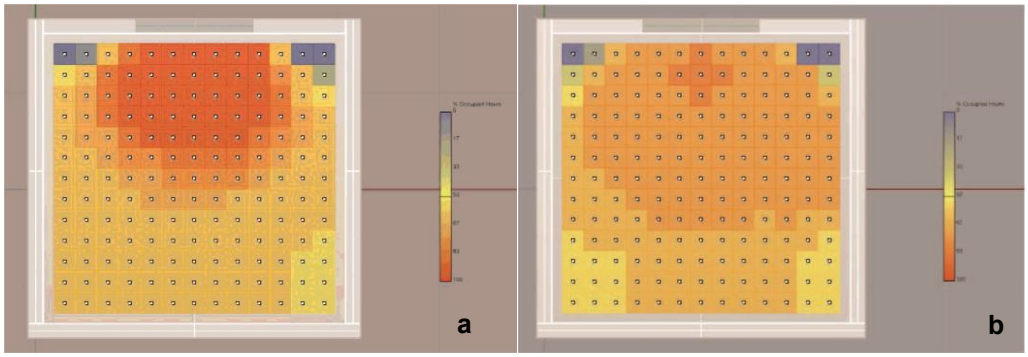
A partir das esquadrias que atenderam à exigência legal, foi feita a simulação para os ambientes considerando-se a menor e maior abertura efetiva para a iluminação. O dormitório com a esquadria de tipologia 4, com duas folhas envidraçadas de correr, apresenta o menor valor de WFR. Para o maior valor da relação WFR têm-se as tipologias 7, 8, 9 e 14, sendo que a tipologia 9 foi a selecionada pois tem a mesma abertura efetiva para iluminação que as demais, e quando aberta, proporciona o maior vão livre para ventilação. Cabe ainda salientar que a diferença entre a área de abertura entre as tipologias analisadas é da ordem de 66%.

A simulação foi feita no software DIVA for Rhino, considerando-se os modelos de ambientes orientados para o norte, o que proporciona o maior tempo de incidência solar. Além disso, foi considerado também como períodos de simulação, o solstício de verão e o solstício de inverno. Em todas as simulações foi utilizado o arquivo climático de São Paulo, fornecido pelo INMET (2019).

Por meio das simulações foi determinado o *daylight autonomy*, ou seja, a quantidade de pontos que

atingiram ou superaram o valor da iluminância alvo em um período de tempo. Para este trabalho, a iluminância alvo foi de 300lx e como períodos analisados, o dia 22 de junho (solstício de inverno) e o dia 22 dezembro (solstício de verão), das 8:00h às 18:00h. A figura 1 apresenta a distribuição de ocorrência da iluminância alvo ao longo dos períodos analisados, considerando-se a tipologia 4 das esquadrias. A escala de cores da figura representa a faixa variação do *daylight autonomy*, de 0% (azul escuro) à 100% (alaranjado escuro).

Figura 1 - Resultado daylight autonomy para a esquadria tipo 4

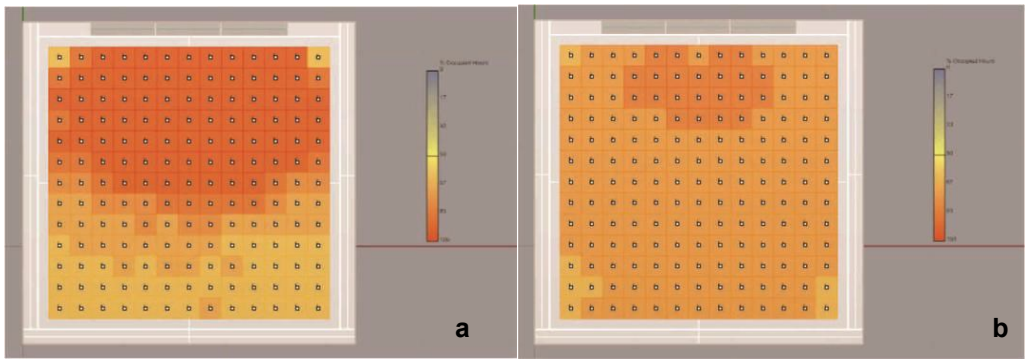


Fonte: Autor

A figura 1a apresenta a ocorrência da iluminância alvo para o dia do solstício de verão, indicando que 69% dos pontos satisfizeram a condição imposta para o período analisado. O mesmo aplica-se à figura 1b, que indica que 66% dos pontos atingiram a iluminância de 300lx.

Para a esquadria de tipologia 9, foram feitas as mesmas análises, sendo que para o solstício de verão o "*daylight autonomy"* foi de 79%, como mostra a figura 2a. Para o solstício de inverno, obteve-se um valor de 74%, conforme pode ser visto na figura 2b.

Figura 2 - Resultado daylight autonomy para a esquadria tipo 9



Fonte: Autor.

A análise por meio do daylight autonomy possibilita identificar quais as regiões do ambiente luminoso que atingirão a iluminância alvo determinada, para o período de tempo de uso analisado, a fim de se satisfazer as exigências dos usuários com relação à disponibilidade de iluminação natural do ambiente analisado, considerando-se que nenhuma fonte de iluminação artificial foi aplicada ao local. Além disso, fica evidenciado qual a necessidade de suplementação da iluminação por meio de um sistema artificial, para que todo o ambiente luminoso satisfaça tais exigências.

4 CONCLUSÕES

Cada esquadria possui uma área efetiva de iluminação, ou seja, área livre para entrada de luz, descontando a área de caixilhos, fato que pode modificar significativamente a relação WFR dos ambientes.

Pelo estudo realizado, fica evidenciado que nem todas as tipologias de esquadrias comercializadas atendem as exigências legais, considerando o modelo proposto. Sendo assim, as diretrizes projetuais previstas no Código de Obras deveriam considerar os ambientes com os vãos livres efetivos que as esquadrias oferecem para que os ambientes sejam ventilados e iluminados.

A análise feita por meio do *daylight autonomy* mostrou que a quantidade de luz natural disponível em um ambiente não aumenta na mesma proporção em que se aumenta a área efetiva para iluminação das esquadrias, pois ao ser utilizada uma esquadria com abertura efetiva para iluminação, 66% maior que a outra esquadria analisada, tem-se um incremento de apenas 10% em relação aos pontos que atingem a iluminância alvo determinada.

Outro aspecto que pode ser inferido por meio da análise desse parâmetro é o dimensionamento do sistema de iluminação artificial, de forma que o mesmo venha a suplementar a iluminação natural ao longo do dia, pois nos casos de índices inferiores a 100%, a diferença dessa totalidade indica o quanto de luz artificial será necessária para aquele ambiente, de modo a satisfazer as exigências dos usuários.

Portanto, a seleção da esquadria que será utilizada em um ambiente não deve considerar apenas aspectos estéticos ou financeiros no momento da aquisição da mesma, pois ela irá influenciar tanto sobre aspectos visuais, quantidade e qualidade da iluminação natural, quanto aspectos econômicos relacionados ao acionamento do sistema de iluminação natural ao longo do dia.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior**, Rio de Janeiro, 2013. 46p.

São Paulo (município). Lei 11.228, de 04 de junho de 1992. Código de Obras e Edificações.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO (CDHU). Caderno de Tipologias. 1997.

GOIA, F. Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in diferente European climates and implications on total energy saving potencial. **Solar Energy**, n. 132, p. 467-492, 2016.

MARINO, C.; NUCARA, A.; PIETRAFESA, M. Does window-to-wall ratio a dignificant effect on the energy consumption of buildings? A parametric analysis in Italian climate conditions. **Journal of Building Engineering,** n. 13, p. 169-183, 2017.

SOLEMMA. **DIVA-for-Rhino Solemma LLC,** 2014. Disposível em: <http://diva4rhino.com/>. Acesso em: 15 fev. 2019.

VAISI, S.; KHARVARI, F. Evaluation of Daylight regulations in buildings using daylight fator analysis method by radiance. **Energy for Sustainable Development,** n. 49, p. 100-108, 2019.

XUE, P. et al. Optimization of window-to-wall ratio with sunshades in China low latitude region considering daylighting and energy saving requirements. **Applied Energy,** n. 233-234, p. 62-70, 2019.

WONG, I. L. A review of daylighting design and implementation in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** n. 74, p. 959-968, 2017.