

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA LUZ NATURAL EM AMBIENTES RESIDENCIAIS

DAYLIGHT PERFORMANCE EVALUATION IN RESIDENTIAL ENVIRONMENTS

Cristina Biazus Danieleski¹

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil, crisdanieleski@gmail.com

Maria Fernanda de Oliveira²

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil, mariaon@unisinis.br

Daniel Reis Medeiros³

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil, drmedeiros@unisinis.br

Resumo

A utilização da luz natural contribui com a redução do uso de iluminação artificial em ambientes internos. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho da luz natural em ambientes de cozinha e de área de serviço de residências multifamiliares com diferentes configurações espaciais na cidade de Porto Alegre – RS, por meio dos critérios da NBR 15575-2013 e da métrica de avaliação *Useful Daylight Illuminance* (UDI). Os objetos de estudo foram divididos em dois grupos: modelos com iluminação natural direta para ambos os ambientes e modelos com iluminação natural indireta para a cozinha. As análises foram realizadas por meio de simulação computacional com o *software* DIALux e o *plug-in* DIVA para Rhinoceros. Com base nas análises realizadas pela NBR 15575-2013, classificou-se como desempenho lumínico intermediário apenas a cozinha com brise de proteção solar, à medida que todos os outros ambientes foram classificados como desempenho superior, indicando que o uso de iluminação artificial não se faz necessário ao longo do dia. O valor de iluminância obtido no ponto do centro geométrico não coincidiu com a bancada da pia da cozinha, assim, não se teve a garantia do mesmo nível de desempenho lumínico nessa superfície. Os resultados obtidos pela métrica UDI indicaram a prevalência do intervalo autônomo nos modelos com iluminação direta e o intervalo suplementar nos modelos com iluminação indireta. Diferentemente das análises por meio da norma, a métrica UDI considera a média da iluminância do recinto, abrangendo os ambientes como um todo.

Palavras-chave: Luz natural. Desempenho lumínico. NBR 15575. UDI. Residencial.

Abstract

The use of daylight in indoor environments contributes to reduce artificial lighting. The objective of this research is to evaluate the daylight performance in kitchen and laundry environments of multifamily residential buildings with different spatial configurations in the city of Porto Alegre - RS, by using NBR 15575-2013 standard criteria and the Useful Daylight Illuminance (UDI) evaluation metric. The objects of study were divided into two groups: models with direct daylight in both rooms and models with indirect daylight in the kitchen. The analyses were carried out through computer simulation with DIALux software and the DIVA plug-in in for Rhinoceros. Based on the analyses performed by NBR 15575-2013 standard, only the kitchen with exterior shading devices was classified as intermediate lighting performance, and all the other environments were classified as superior performance indicating that artificial lighting is not necessary during the day. The illuminance of the central point did not coincide with the kitchen work surface, therefore, the same level of light performance on this surface was not guaranteed. The results obtained through the UDI metric indicated the prevalence of the autonomous range in the models with direct daylight and the supplementary range in the models with indirect daylight. Unlike the standard analysis, the UDI metric considers the mean of the average illuminance, covering the environments as a whole.

Keywords: Daylight. Luminous performance. NBR 15575 standard. UDI. Residential.

How to cite this article:

DANIELESKI, Cristina Biazus; OLIVEIRA, Maria Fernanda de; MEDEIROS, Daniel Reis. Avaliação do desempenho da luz natural em ambientes residenciais. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019012, mar. 2019. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652735>>. Acesso em: 27 mar. 2019. doi:<https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652735>.

Introdução

A percepção visual está diretamente relacionada à luz, pois estima-se que 70% da percepção humana ocorre de maneira visual (VIANNA; GONÇALVES, 2001). Além disso, atividades diferentes requerem distintos níveis de iluminação para que o desenvolvimento das tarefas visuais ocorra de maneira adequada. A disposição dos ambientes, localização e dimensão das aberturas e refletância dos revestimentos são alguns fatores que interferem na qualidade da iluminação natural dos ambientes internos (KEELER; BURKE, 2010).

No Brasil, a NBR 15575 (ABNT, 2013a) estabelece níveis para a classificação do desempenho da iluminação em ambientes residenciais. O requisito de desempenho lumínico indica níveis mínimos satisfatórios para adequada utilização dos ambientes de maneira segura e cômoda. A norma indica métodos de análise da iluminação natural e da luz artificial, tanto para a fase projetual, por meio de simulação computacional, quanto para medição *in loco* em obras finalizadas. As simulações se caracterizam por avaliação com tipo de céu padrão e dias e horários específicos (ABNT, 2013a). A Tabela 1 apresenta os níveis de desempenho para ambientes com iluminação natural.

Tabela 1 - Níveis de iluminância para luz natural estabelecidos pela NBR 15575-2013

Dependência	Níveis de desempenho – Lux (lx)		
	Mínimo (M)	Intermediário (I)	Superior (S)
Sala de estar / Dormitório	Entre 60 e 90	Entre	Acima de
Copa / Cozinha / Área serviço		90 e 120	120
Banheiro / Corredor ou escada interna	Não exigido	Entre 30 e 45	Acima de 45
Escadaria de uso comum			
Garagens / estacionamentos			

Fonte: Adaptado de ABNT (2013a, p. 53).

Devido à ampla diversidade de resultados que podem ser obtidos em estudos de iluminação natural em função da variação diária e anual do movimento aparente do sol, faz-se necessária a definição de alguns parâmetros e métricas para padronização das avaliações. Dentre os métodos utilizados para a expressão de resultados de desempenho lumínico por meio de simulação computacional, têm-se as métricas dinâmicas de avaliação da luz natural, que visam a investigação de maneira cronológica e utilizando-se de diferentes tipos de céu, conforme as diferentes épocas do ano. A métrica de avaliação da luz natural Iluminância Natural Útil, ou *Useful Daylight Illuminance* (UDI), propõe classificação em intervalos de iluminância para o período de um ano completo. A métrica UDI analisa as diferentes nuances da luz natural ao longo do dia e dos meses com uso de céu dinâmico por meio de arquivo climático. O objetivo da métrica é analisar o percentual de iluminância do plano de trabalho em determinados intervalos, conforme observado na Tabela 2 (MARDALJEVIC *et al.*, 2011; MARDALJEVIC; NABIL, 2006).

Tabela 2 - Intervalos de iluminância da métrica UDI

Nomenclatura do Intervalo	Abreviação	Iluminância (lux)
Insuficiente (ou <i>fell-short</i>)	UDI-f	$E \leq 100$
Suplementar	UDI-s	$100 \leq E \leq 300$
Autônomo	UDI-a	$300 \leq E \leq 3.000$
Excedente	UDI-e	$E \geq 3.000$

Fonte: Adaptado de Mardaljevic *et al* (2011, p. 5).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho da luz natural em diferentes configurações espaciais de ambientes de cozinha e de área de serviço de

residências multifamiliares localizadas na cidade de Porto Alegre - RS, de maneira comparativa, com base na NBR 15575-2013 e na métrica de avaliação UDI.

Fundamentação

Em ambientes de cozinha e de área de serviço residenciais são desenvolvidas atividades específicas que requerem níveis adequados de iluminação. Em cozinhas, há o manejo de instrumentos cortantes, a presença de extremos de temperaturas, e também a seleção de alimentos conforme sua qualidade por meio de rápidas análises visuais. Em ambientes de área de serviço é necessário prover condições visuais mínimas que assegurem a higienização nos diversos processos de limpeza desenvolvidos no ambiente. Desta forma, pode-se classificar ambientes de cozinha e áreas de serviço como locais com rigorosa necessidade de iluminação adequada, mesmo se considerando seu reduzido tempo de permanência (INMETRO, 2012).

Toledo e Cavalcante (2017) realizaram análises de desempenho da luz natural em ambientes de cozinha e de área de serviço, com base na NBR 15575 (ABNT, 2013a), indicando a influência dos sistemas de aberturas na qualidade da iluminação dos ambientes internos. Os autores constataram a importância de consultoria ambiental ainda na fase de projeto, a fim de prever melhorias na captação da luz natural por meio de simulações computacionais.

Em estudo realizado em edifício residencial multifamiliar, Leal e Leder (2018) utilizaram a métrica UDI para avaliação do desempenho e do possível ofuscamento causado pela luz natural. Foram avaliados 120 ambientes originários da combinação de variáveis como obstrução do entorno, proteção solar nos edifícios do entorno e orientação geográfica. Dentre os resultados obtidos, destaca-se menor prevalência do intervalo útil e do índice de ofuscamento em ambientes com maior obstrução do entorno. Constatou-se também a efetividade de elementos de proteção inseridos nas edificações vizinhas, que reduziram os valores de iluminância excedente dos objetos de estudo (LEAL; LEDER, 2018).

Em edifício de escritórios na cidade de São Paulo, Cavaleri, Cunha e Gonçalves (2018) analisaram o desempenho da luz natural em pavimento com profundidade de 15 metros até o centro do andar. Constatou-se menor prevalência do intervalo útil na parte central do pavimento. O uso de brises de proteção na fachada incrementou em até 14% os valores de iluminância da área central do pavimento, além de permitir utilização das áreas externas do recinto de maneira mais adequada.

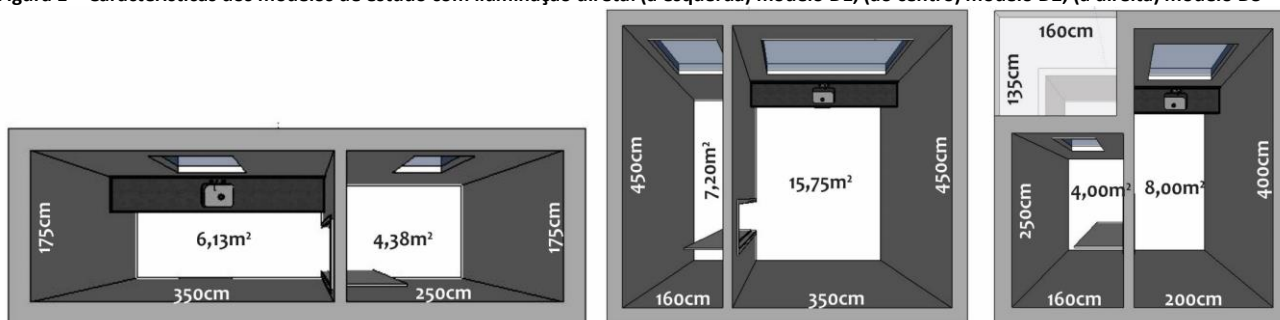
Nascimento e Batista (2016) realizaram simulações computacionais em ambientes residenciais na cidade de Maceió, a fim de avaliar o desempenho lumínico conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013a) e a métrica UDI associada aos itens do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Os resultados mostraram diferentes níveis de desempenho: com a aplicação da norma, a classificação superior foi obtida em todas as orientações, e pela métrica UDI a classificação intermediária foi obtida. Segundo os autores, os dados apontaram que os critérios de análise propostos pela norma são generalistas e pouco precisos, e que os resultados obtidos pelos dois métodos apresentam informações diferentes (NASCIMENTO; BATISTA, 2016).

Método

Objeto de estudo

O objeto de estudo consiste em projetos arquitetônicos residenciais com geometria retangular em diferentes proporções. Foram selecionados projetos de residência multifamiliar em que: (a) os ambientes de cozinha e de área de serviço são iluminados de maneira direta e os espaços separados por meio de parede com porta e (b) iluminação indireta da cozinha por meio de abertura apenas na área de serviço ou de aberturas na área de serviço e no ambiente de sala. Foram definidos sete modelos de análise. As tipologias com iluminação direta podem ser observadas na Figura 1.

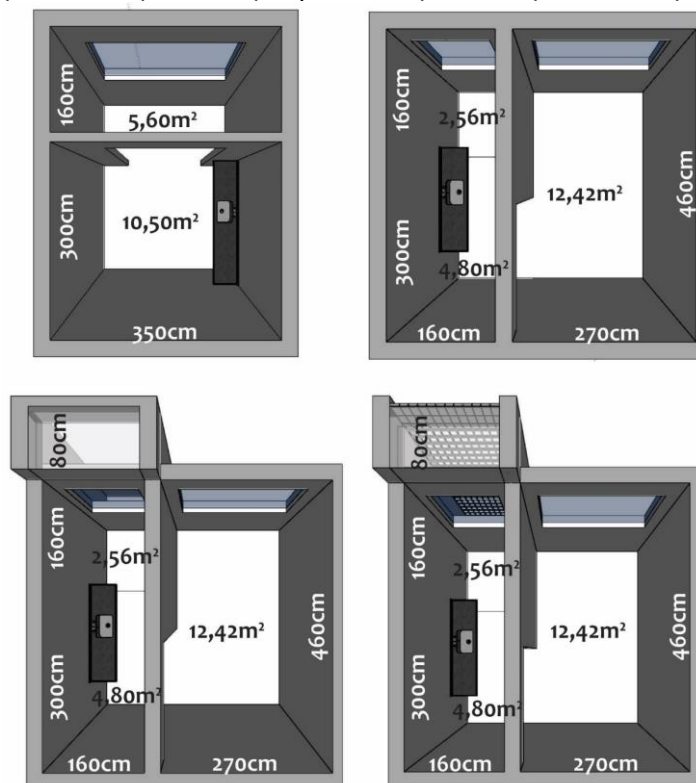
Figura 1 – Características dos modelos de estudo com iluminação direta: (a esquerda) modelo D1, (ao centro) modelo D2, (a direita) modelo D3



Fonte: Os autores.

A Figura 2 apresenta as características das tipologias de análise com iluminação indireta. Os vãos das divisórias dos ambientes possuem 2,20 m de altura livre.

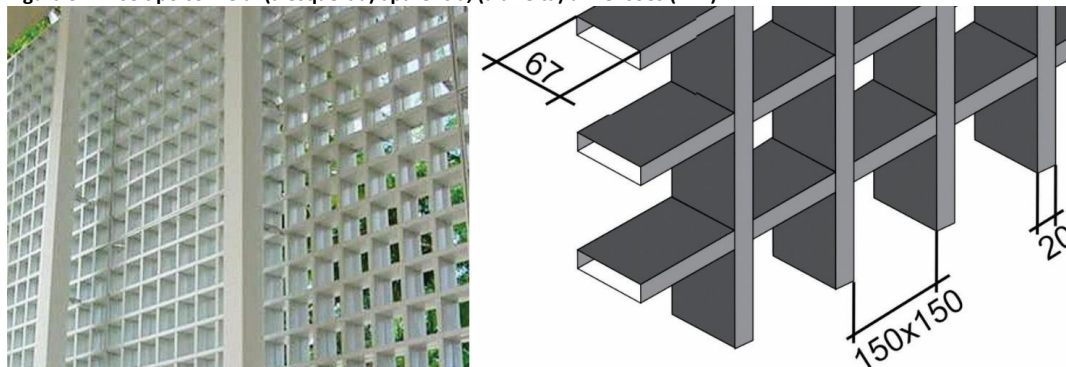
Figura 2 - Características dos modelos de estudo com iluminação indireta: (a esquerda acima) modelo I1, (a direita acima) modelo I2, (a esquerda abaixo) modelo I3, (a direita abaixo) modelo I4



Fonte: Os autores.

Elementos externos (inseridos na própria edificação) foram utilizados com a finalidade de avaliar sua influência na iluminação interna dos ambientes. Nos modelos D3 e I3 foram utilizados elementos adicionais que, na prática, funcionam como sacadas e lajes técnicas. O modelo I4 apresentou brise de proteção solar tipo “colmeia”, conforme observado na Figura 3.

Figura 3 - Brise tipo colmeia: (a esquerda) aparência, (a direita) dimensões (mm)



Fonte: Adaptado de Refax (2018).

A bancada da pia da cozinha foi o único elemento interno considerado nas análises, por apresentar pouca flexibilidade de alteração de posição. Cada modelo possui bancada posicionada a uma altura de 0,90 m do piso, com largura de 0,60 m e espessura de 0,05 m, posicionadas de acordo com os projetos de referência. Utilizou-se 2,50 m de pé-direito piso-teto. As aberturas possuem 1/6 da área do piso, de acordo com o Código de Edificações de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2001). A cota de verga foi fixada em 2,20 m e o peitoril em 1,20 m nos ambientes de cozinha e de área de serviço e em 1,00 m no ambiente social. As características das aberturas podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Características das aberturas dos modelos de estudo

		Informações dos modelos		Abertura proposta	
Modelo	Ambiente	1/6 (m ²)	(m)	(m ²)	
Ilumin. direta	D1	Cozinha	1,02	1,10x1,00/1,20	1,10
		Área serviço	0,73	0,80x1,00/1,20	0,80
	D2	Cozinha	2,63	2,70x1,00/1,20	2,70
		Área serviço	1,20	1,20x1,00/1,20	1,20
D3	Cozinha	1,33	1,40x1,00/1,20	1,40	
	Área serviço	0,66	0,70x1,00/1,20	0,70	
Iluminação indireta	I1	Cozinha + Área serviço	2,68	2,70x1,00/1,20	2,70
		Cozinha + Área serviço	1,22	1,30x1,00/1,20	1,30
	I2	Sala	2,07	1,80x1,20/1,00	2,16
		Cozinha + Área serviço	1,22	1,30x1,00/1,20	1,30
	I3	Sala	2,07	1,80x1,20/1,00	2,16
		Cozinha + Área serviço	1,22	1,30x1,00/1,20	1,30
I4	Sala	2,07	1,80x1,20/1,00	2,16	
	Cozinha + Área serviço	1,22	1,30x1,00/1,20	1,30	

Fonte: Os autores.

Critérios de análise

A fim de avaliar o desempenho da luz natural, utilizou-se dois critérios de análise: a NBR 15575 (ABNT, 2013a) e a métrica de avaliação *Useful Daylight Illuminance* (UDI).

Foram realizadas simulações computacionais para os dias 23 de abril e 23 de outubro, nos períodos da manhã e tarde, respectivamente às 9h30 e 15h30, com céu de nebulosidade média, de acordo com a NBR 15575-2013. Os dados de latitude e longitude geográfica foram indicados conforme a cidade avaliada. As simulações foram realizadas

considerando janelas e portas abertas e a iluminância foi medida no ponto do centro geométrico de cada ambiente, no plano de referência a 0,75 m do piso (ABNT, 2013a).

O segundo critério de análise utilizado foi a métrica dinâmica UDI. Avaliou-se o comportamento da média de iluminância de cada ambiente em relação a intervalos pré-estabelecidos pela métrica. As simulações computacionais foram realizadas ao longo de 365 dias, de hora em hora, entre 8 h e 18 h, no plano de trabalho a 0,75 m do chão. Por se tratar de uma métrica dinâmica de avaliação, os tipos de céu utilizados foram extraídos do arquivo climático padrão da cidade de avaliação (MARDALJEVIC *et al.*, 2011).

Destaca-se que Mardaljevic e Nabil (2006) identificaram o valor de 2.000 lux como limite de iluminância tolerável, através de questionários com usuários em ambientes não residenciais que desenvolviam tarefas com o uso de computadores. Embora o limite aceitável para ambientes residenciais não tenha sido determinado, Mardaljevic (2007) afirma ser admissível a utilização de valor superior a 2.000 lux, devido ao fato de atividades residenciais pouco envolverem tarefas com monitores e longos períodos de trabalho em mesas e escrivaninhas. Este estudo utilizou o valor de 3.000lux como limite tolerável.

Os critérios indicam que características da obra, como implantação e possíveis sombreamentos, devem ser levadas em consideração e no caso de edifícios multipiso, deve-se analisar com base nos diferentes pavimentos e na posição dos apartamentos. Visto que a finalidade deste trabalho foi analisar apenas os elementos externos presentes na própria edificação e sua influência sobre as variáveis internas, os modelos foram simulados considerando entorno desobstruído e sem diferenciação de pavimento.

Determinação das refletâncias

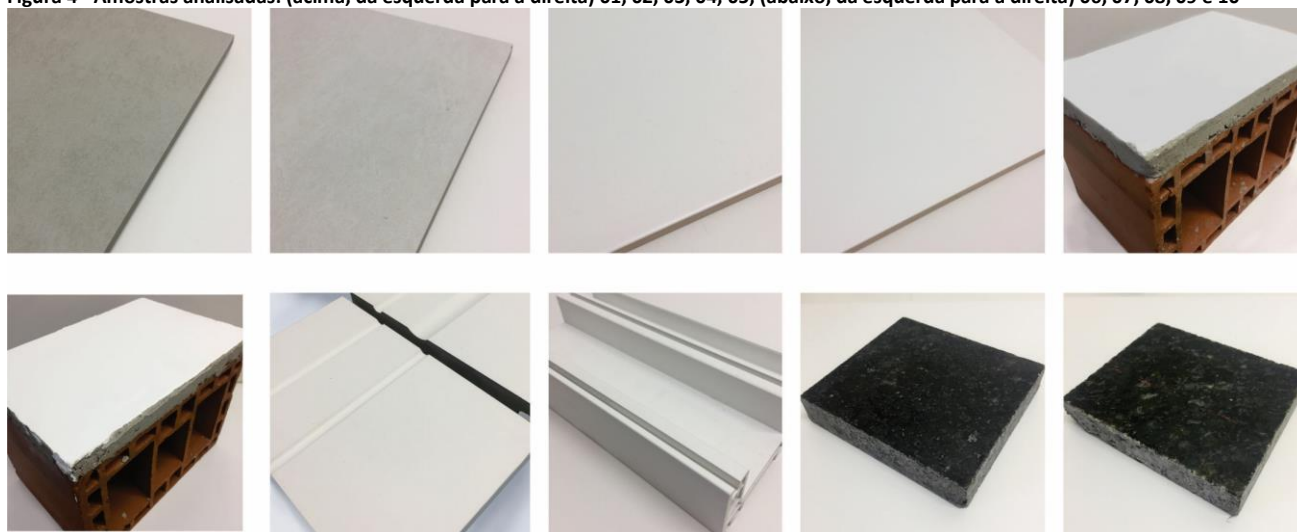
Os valores de refletância das superfícies internas utilizados nas simulações foram definidos com base em análise espectroradiométrica. Revestimentos utilizados nos projetos referenciais foram analisados, totalizando dez amostras para aplicação em superfícies de: piso, parede e teto, porta interna, perfil da esquadria da janela e bancada da pia da cozinha. As amostras são observadas na Tabela 4 e na Figura 4.

Tabela 4 - Características dos revestimentos utilizados na análise de refletância

Amostra	Superfície	Revestimento	Acabamento	Cor
01	Piso	Porcelanato	Acetinado	Cinza
02	Piso	Porcelanato	Acetinado	Branco
03	Parede	Porcelanato	Acetinado	Branco
04	Parede	Porcelanato	Polido	Branco
05	Parede e teto	Pintura	Semibrilho	Gelo
06	Parede e teto	Pintura	Acetinado	Branco
07	Porta	MDF ¹ pintado	Acetinado	Branco
08	Perfil janela	PVC ²	-----	Branco
09	Bancada pia	Granito	Polido	Preto
10	Bancada pia	Granito	Polido	Verde

Notas: (1) MDF - *Medium Density Fiberboard*. (2) PVC - Policloreto de Vinila. Fonte: Os autores

Figura 4 - Amostras analisadas: (acima, da esquerda para a direita) 01, 02, 03, 04, 05, (abaixo, da esquerda para a direita) 06, 07, 08, 09 e 10



Fonte: Os autores.

A coleta de dados foi realizada por meio do espectroradiômetro da *Spectral Evolution*, modelo SR-3500, que opera nos comprimentos de onda entre 350 e 2.500 nm do espectro eletromagnético, com intervalo de 1,6 nm. As medições ocorreram com o suporte do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital (LASERCA) vinculado à Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Primeiro foram capturados os dados da placa *Spectralon*, que possui refletância de aproximadamente 100%, em seguida foram coletados os dados da superfície alvo, ou seja, da amostra de revestimento, conforme observado na Figura 5 (ALVARENGA et al., 2003; DURÁN; PRADO; PEREIRA FILHO, 2013).

Figura 5 - Medição de refletância: (a esquerda) placa de referência, (a direita) superfície alvo



Fonte: Os autores.

A relação entre os dados obtidos na placa de referência e na superfície alvo indicam os valores de refletância do revestimento analisado. As informações foram obtidas para cada comprimento de onda e a área de captura da amostra permaneceu isolada no momento de leitura do espectroradiômetro. A fim de obter o valor mais preciso

possível, o equipamento realizou 30 leituras de radiação para cada superfície alvo e o valor médio foi calculado automaticamente pelo equipamento. Além disso, cada amostra foi analisada em três pontos para que as nuances características dos próprios materiais não interferissem nos resultados obtidos (ALVARENGA *et al.*, 2003; DURÁN; PRADO; PEREIRA FILHO, 2013).

Os dados foram exportados do equipamento, arquivos compatíveis com *softwares* de leitura foram gerados e o *software* Microsoft Excel foi utilizado para manipulação das informações. Primeiro calculou-se o valor médio dos três registros obtidos de cada amostra. Após, foram desenvolvidos gráficos com as curvas espectrais e, pelo método de integração de áreas, obteve-se o valor de refletância de cada revestimento. Os valores de refletância foram obtidos para os comprimentos de onda referentes à radiação visível, entre 380,5 nm e 780,5 nm, e foram utilizados para a realização das simulações computacionais (ALVARENGA *et al.*, 2003; DURÁN; PRADO; PEREIRA FILHO, 2013).

Simulações computacionais

As simulações computacionais foram desenvolvidas em duas etapas. Na primeira, para o critério de análise da NBR 15575 (ABNT, 2013a), utilizou-se o *software* DIALux EVO, na versão 5.7.1.36813, e, na segunda, para a métrica UDI, utilizou-se o *plug-in* DIVA, versão 4.0.2.24, que opera no *software* Rhinoceros, versão 5 SR14.

Configurações de pontos e malhas de medição

Utilizou-se a NBR 15215 (ABNT, 2005) para definição de pontos e malhas de medição. A Tabela 5 apresenta o valor de referência calculado e a quantidade mínima de pontos.

Tabela 5 - Pontos mínimos de medição para os planos de trabalho

Modelo	Ambiente	Dimensão (m)	Referência (k)	Pontos mínimos	
Iluminação direta	D1	Cozinha	3,50x1,75	0,80	9
		Área serviço	2,50x1,75	0,71	9
	D2	Cozinha	3,50x4,50	1,36	16
		Área serviço	1,60x4,50	0,81	9
	D3	Cozinha	2,00x4,00	0,92	9
		Área serviço	1,60x2,50	0,67	9
Iluminação indireta	I1	Cozinha	3,50x3,00	1,11	16
		Área serviço	3,50x1,60	0,76	9
	I2	Cozinha	1,60x3,00	0,72	9
		Área serviço	1,60x1,60	0,55	9
	I3	Cozinha	1,60x3,00	0,72	9
		Área serviço	1,60x1,60	0,55	9
	I4	Cozinha	1,60x3,00	0,72	9
		Área serviço	1,60x1,60	0,55	9

Fonte: Os autores.

Após, definiu-se a malha de medição com geometria próxima à de um quadrado, de acordo com a NBR 15215 (ABNT, 2005). Com o objetivo de garantir maior precisão dos resultados, definiu-se 0,20 m como a menor distância dos limites dos ambientes. Dois parâmetros foram utilizados para definição das malhas: (a) uso de numeração ímpar nas linhas horizontais e verticais para que as medições da primeira etapa das simulações ocorressem no centro do plano de trabalho dos ambientes; (b) variação da malha entre 0,30 e 0,45 m em função da dimensão dos ambientes. Na Tabela 6 observa-se a malha proposta e a quantidade de pontos simulados nos modelos.

Tabela 6 - Pontos e malhas de medição utilizados nas simulações computacionais

Modelo	Ambiente	Etapa 1: DIALux			Etapa 2: Rhinoceros + DIVA			
		Malha (pontos)	Malha (m)	Pontos medidos	Malha (pontos)	Malha (m)	Pontos medidos	
Iluminação direta	D1	Cozinha	9x5	0,38x0,38	45	9x5	0,35x0,32	45
		Área serviço	7x5	0,35x0,35	35	7x5	0,33x0,30	35
	D2	Cozinha	9x13	0,38x0,34	117	10x12	0,35x0,32	120
		Área serviço	5x13	0,32x0,34	65	5x13	0,30x0,32	65
	D3	Cozinha	5x9	0,40x0,44	45	5x9	0,42x0,35	45
		Área serviço	5x7	0,32x0,35	35	5x7	0,28x0,32	35
Iluminação indireta	I1	Cozinha	9X7	0,38x0,42	63	9x8	0,34x0,35	72
		Área serviço	9X5	0,38x0,32	45	9x5	0,35x0,27	45
	I2	Cozinha	5X9	0,32x0,33	45	5x9	0,28x0,31	45
		Área serviço	5X5	0,32x0,32	25	5x5	0,27x0,28	25
	I3	Cozinha	5X9	0,32x0,33	45	5x9	0,28x0,31	45
		Área serviço	5X5	0,32x0,32	25	5x5	0,27x0,28	25
	I4	Cozinha	5X9	0,32x0,33	45	5x9	0,28x0,31	45
		Área serviço	5X5	0,32x0,32	25	5x5	0,27x0,28	25

Fonte: Os autores.

A primeira etapa de simulações analisou apenas o ponto central de cada ambiente, porém definiu-se quantidade mínima de pontos e malha como comparativo para as análises no *software* Rhinoceros. O número de pontos simulados ficou acima da quantidade mínima, permitindo o refinamento dos resultados obtidos na segunda etapa das análises.

Parâmetros adicionais

Nas simulações computacionais pela métrica UDI foi utilizado o arquivo climático *Test Reference Year* (TRY) da cidade de Porto Alegre. O arquivo TRY representa um ano com dados médios da cidade de Porto Alegre e possui, dentre outras informações, dados referentes à cobertura total de nuvens. A luz solar direta não foi considerada (LABEEE, 2018; SCHELLER *et al.*, 2015).

Foi utilizado vidro comum de 4 mm nos fechamentos, com valor de transmitância com base na NBR 15215:3 (ABNT, 2005). Na primeira etapa das simulações computacionais, utilizou-se o valor de transmitância de 85%, valor exato indicado pela normativa. Além disso, configurou-se a refletância em 10%, padrão do *software* DIALux, e o fator de manutenção em 0,75, valor indicado pela norma brasileira. Na segunda etapa, realizada com o *plug-in* DIVA, foi ajustada a transmitância do vidro para 88%.

Quanto à localização, no *software* DIALux foi adotada a cidade de Porto Alegre – RS, com valores de longitude de $-51^{\circ} 13'$ e latitude de $-30^{\circ} 01'$. No fuso horário, ajustou-se o Tempo Universal Coordenado, do inglês *Universal Time Coordinated* (UTC), ao de Brasília, correspondente a -3 horas em relação ao Meridiano de Greenwich. Na segunda etapa de simulações as informações de localização e UTC foram inseridas automaticamente por meio do arquivo climático TRY. Os modelos foram avaliados nas quatro principais orientações solares: norte, sul, leste e oeste. No *software* DIALux, ajustou-se o alinhamento norte com valores em graus e no Rhinoceros com o eixo y superior. Os modelos foram rotacionados, também em graus, conforme o andamento das análises. As simulações referentes à NBR 15575 (ABNT, 2013a) totalizaram 112 horas de avaliação e com a métrica UDI cada modelo foi simulado por 3.650 horas em cada orientação solar, totalizando 102.200 horas de dados obtidos.

Resultados e discussão

Refletâncias das superfícies internas

Os dados de refletância obtidos mediante análise espectral radiométrica caracterizam-se como resultados parciais deste trabalho. Os valores podem ser observados na Tabela 7, juntamente com as características de cada revestimento.

Tabela 7 - Refletância visível obtida para cada amostra analisada

Amostra	Características das amostras		Refletância (%)
	Superfície	Revestimento	Espectro visível
01	Piso	Porcelanato acetinado - cinza	45,49
02	Piso	Porcelanato acetinado - branco	63,15
03	Parede	Porcelanato acetinado - branco	84,55
04	Parede	Porcelanato polido - branco	90,47
05	Parede e teto	Pintura em reboco semibrilho - gelo	64,91
06	Parede e teto	Pintura em reboco acetinado - branco	95,51
07	Porta	MDF com pintura acetinado - branco	91,04
08	Perfil janela	PVC - branco	86,06
09	Bancada pia	Granito polido - preto	1,65
10	Bancada pia	Granito polido - verde escuro	2,21

Fonte: Os autores.

A fim de validar a refletância visível obtida pelo método de espectral radiometria, comparou-se os resultados com bibliografias da área. Os revestimentos na cor branca apresentaram valores próximos aos indicados por autores como Vianna e Gonçalves (2001) e Brown e Dekay (2004), que apontam variação de 80% a 95% de refletância para essa cor. O porcelanato na cor cinza, obtido com 46% de refletância, também se encontra dentro dos valores indicados por Vianna e Gonçalves (2001), com variação entre 25% e 60%, bem como a pintura na cor gelo, que se enquadra dentro de cores claras e varia entre 50% e 70%. As amostras de granito preto e verde escuro enquadram-se próximo à cor preta, que varia entre 4% e 8%, conforme Vianna e Gonçalves (2001), caracterizando como revestimento de baixo valor de refletância e pouca contribuição na distribuição de luz natural no ambiente interno.

Dos dez resultados de refletância global obtidos, selecionou-se seis amostras para utilização nas simulações, referentes às superfícies de piso, paredes – em porcelanato na parede da bancada da pia e rebocada nas demais - teto, porta, perfil da janela e bancada da pia. Nos casos em que mais de uma amostra foi analisada para uma única superfície, optou-se pelo revestimento com valor aproximado aos indicados por autores. As refletâncias também foram adequadas às limitações do *software* DIALux e do *plug-in* DIVA. Na Tabela 8, observam-se os valores utilizados nas duas etapas de simulações. Definiu-se em 50% o valor de refletâncias para as paredes externas e 10% para o piso externo do entorno de cada modelo, ambos os valores baseados no valor padrão do *software* DIALux e utilizados nas duas etapas de simulações. Nos elementos de reflexão (lajes técnicas) utilizou-se os valores obtidos para parede com pintura e piso em porcelanato, e, no elemento de proteção solar (brise) utilizou-se o valor obtido para o perfil da janela.

A NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013b) também foi utilizada como comparativo para conferência dos valores de refletância das superfícies internas. Pode-se afirmar que os revestimentos se encontram parcialmente de acordo com o sugerido. De acordo com a norma, superfícies de piso devem apresentar entre 10% e 50% de refletância, sendo que a amostra selecionada possuía 46%. O teto deve variar entre 60% e 90% de refletância e foi utilizada a amostra no valor de 90%. Nas paredes, sugere-se que a refletância das

superfícies varie entre 30% e 80%, porém, foi utilizado o valor de 90%. Essa definição foi realizada com o objetivo de uniformizar as paredes internas dos ambientes, uma vez que os valores mais próximos para a superfície que recebe a bancada da pia e das demais paredes foi de 91% para o porcelanato e de 96% para a parede com pintura na cor branca.

Tabela 8 - Amostras de revestimentos selecionadas e valores utilizados nas simulações computacionais

Amostra	Refletância medida (%)		Refletância simulada (%)	
	Espectro visível		DIALux	DIVA
01	46		46	40
04	91		90	90
06	96		90	90
07	91		90	90
08	86		86	90
10	2		2	2

Fonte: Os autores.

Desempenho lumínico

Na primeira etapa de simulações computacionais, analisou-se a iluminância obtida por meio da NBR 15575 (ABNT, 2013a). A Tabela 9 apresenta os valores das simulações computacionais nas diferentes orientações solares. Destaca-se a variação de iluminância obtida: o menor valor, 119 lux (lx) foi observado na cozinha do modelo I4 na orientação solar leste no dia 23/04 às 15h30; o maior valor, 5043 lx, foi obtido no ambiente de área de serviço do modelo I1 na orientação solar oeste às 15h30 do dia 23/10.

Tabela 9 – Resultados de iluminância obtidos para todos os modelos nas quatro orientações solares, nos dias e horários estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013a)

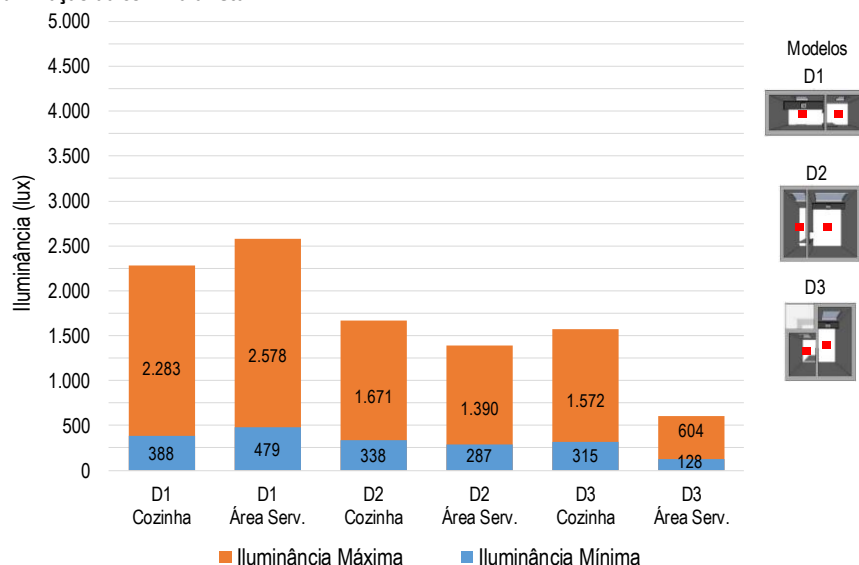
Data - Hora	Iluminância (lux)													
	Modelo D1		Modelo D2		Modelo D3		Modelo I1		Modelo I2		Modelo I3		Modelo I4	
	Coz.	Á. S.	Coz.	Á. S.	Coz.	Á. S.	Coz.	Á. S.	Coz.	Á. S.	Coz.	Á. S.	Coz.	Á. S.
Orientação solar norte														
23/04 - 9h30	1153	1335	1025	874	943	347	704	2787	614	2123	387	490	378	505
23/04 - 15h30	970	1226	894	746	828	346	603	2424	538	1855	322	420	313	429
23/10 - 9h30	974	1116	845	730	781	281	590	2377	519	1812	322	400	314	411
23/10 - 15h30	1348	1640	1064	914	997	401	737	3357	662	2552	386	506	377	545
Orientação solar sul														
23/04 - 9h30	481	599	425	359	394	164	291	1207	261	926	152	196	148	202
23/04 - 15h30	456	527	396	341	365	134	276	1111	244	851	150	186	146	191
23/10 - 9h30	779	980	695	586	646	271	476	1972	428	1508	247	321	241	331
23/10 - 15h30	811	922	649	565	603	218	459	1980	408	1508	249	309	242	325
Orientação solar leste														
23/04 - 9h30	1288	1600	1163	964	1073	438	774	3126	686	2408	419	553	411	575
23/04 - 15h30	388	479	338	287	315	128	232	972	209	747	122	156	119	161
23/10 - 9h30	2016	2465	1671	1390	1572	604	1112	4377	968	3524	604	824	600	895
23/10 - 15h30	565	677	455	392	424	169	318	1397	286	1072	167	213	163	225
Orientação solar oeste														
23/04 - 9h30	444	516	381	329	352	130	265	1088	235	835	143	178	140	185
23/04 - 15h30	1181	1385	1068	897	980	367	725	2760	627	2145	401	514	392	530
23/10 - 9h30	449	532	378	324	350	134	262	1113	234	852	138	176	135	183
23/10 - 15h30	2283	2578	1559	1345	1465	536	1076	5043	938	3989	584	783	575	888

Fonte: Os autores.

Na Figura 6, observam-se os maiores e os menores valores de iluminância dos ambientes com iluminação direta. Os recintos do modelo D1 apresentaram maiores níveis de iluminância em relação aos demais, em função de sua geometria com menor profundidade. Os ambientes de cozinha dos modelos D2 e D3 apresentaram resultados aproximados

quando comparados entre si, à medida que o ambiente de área de serviço do D3 obteve menores valores por apresentar elemento externo.

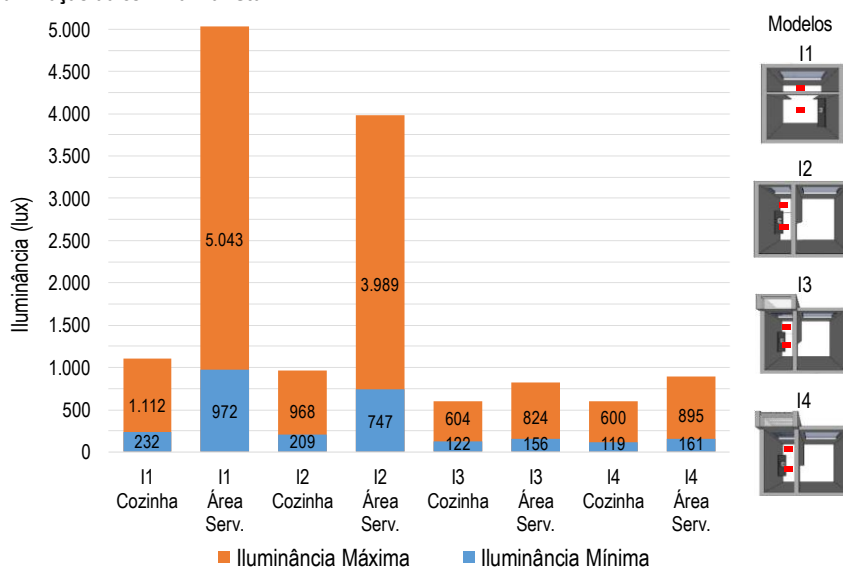
Figura 6 – Menor e maior valores de iluminância obtidos no centro geométrico de cada ambiente dos modelos com iluminação da cozinha direta



Fonte: Os autores.

A Figura 7 apresenta os maiores e os menores valores de iluminância obtidos para os objetos de estudo com iluminação indireta. Os modelos I1 e I2 apresentaram valores elevados para os ambientes de área de serviço se comparados com os ambientes de cozinha. Os modelos I3 e I4 obtiveram valores aproximados entre si, mas valores menores de iluminância quando comparados ao modelo I2, que apresentava a mesma geometria interna, mas não possuía elemento externo.

Figura 7 - Maior e menor valores de iluminância obtidos no centro geométrico de cada ambiente dos modelos com iluminação da cozinha indireta



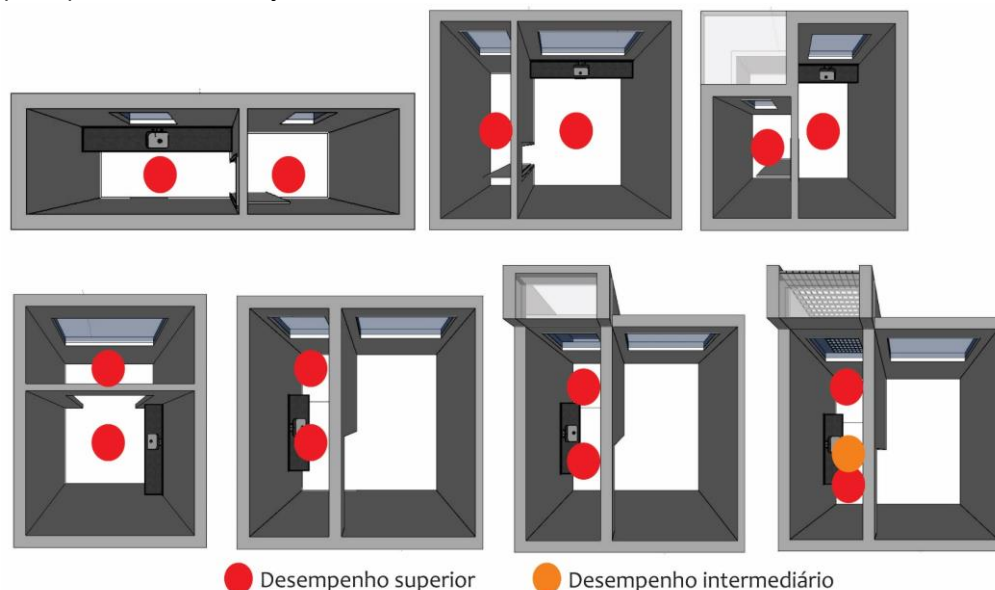
Fonte: Os autores.

Os menores valores de iluminância foram identificados sempre no dia 23 de abril às 15h30 na orientação solar leste. Os maiores valores se concentraram no dia 23 de outubro às 9h30 na orientação solar leste e às 15h30 na orientação solar oeste. Quanto

às diferentes orientações solares, ambientes voltados a norte e a sul obtiveram valores similares nos diferentes dias e horários, à medida que os ambientes voltados a leste e a oeste oscilaram conforme os horários: a orientação a leste apresentou maiores valores às 9h30, enquanto que a posição solar a oeste obteve maior iluminância às 15h30.

Os resultados das análises estáticas indicaram que apenas o recinto de cozinha do modelo I4 na orientação solar leste foi classificado como desempenho lumínico intermediário, pois no dia 23 de abril às 15h30 foi identificado o nível de iluminância de 119 lx. Nas demais orientações solares a cozinha do modelo I4 foi classificada como desempenho superior. Os ambientes dos demais modelos foram classificados como desempenho superior nas quatro orientações solares, conforme observado na Figura 8.

Figura 8 - Síntese de resultados conforme método da NBR 15575 (ABNT, 2013a): (acima) modelos com iluminação direta, (abaixo) modelos com iluminação indireta



Fonte: Os autores.

Destaca-se o fato de que em nenhum caso o ponto medido coincidiu com a bancada da pia, que representa o plano de trabalho da cozinha. Como exemplo desta situação, na Figura 9 se observam as plantas baixas dos modelos I1 e I4 com os pontos obtidos nas malhas para o dia 23 de abril às 15h30, na orientação solar leste. No modelo I4, os valores de iluminância na bancada da pia se aproximam do valor do ponto no centro geométrico, enquanto que no modelo I1 a média de iluminância na bancada é de aproximadamente 60 lux a menos do que o valor do centro. Desta maneira, não há garantia do desempenho lumínico na bancada da pia, uma vez que a classificação é estabelecida por meio da iluminância do centro geométrico do ambiente. Pode-se inferir que o critério de análise da NBR 15575 (ABNT, 2013a) para classificação do desempenho lumínico é limitado e pouco preciso. A restrição de dias, horários e tipo de céu específicos tende em não retratar a realidade das nuances da luz natural.

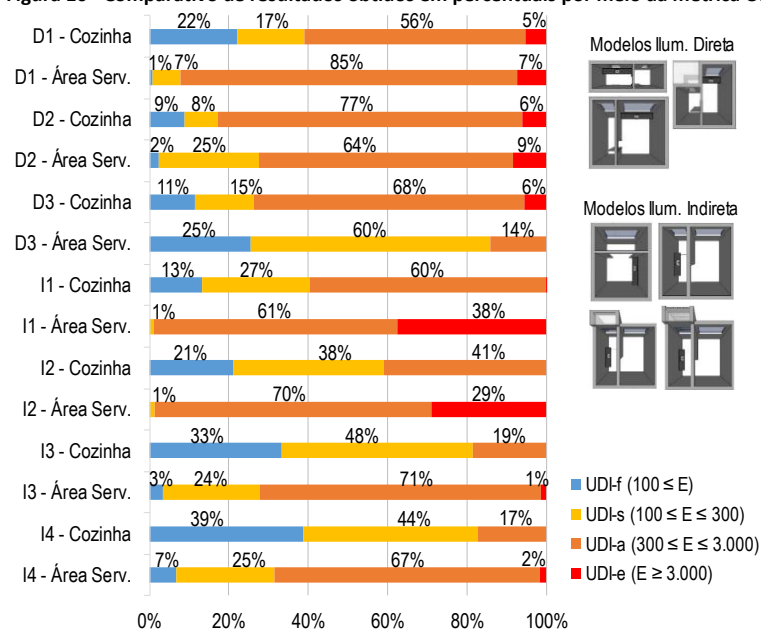
Figura 9 – Valores de iluminância obtidos na malha de medição: (a esquerda) modelo I1, (a direita) modelo I4



Fonte: Os autores.

Na segunda etapa de simulações computacionais, a métrica de avaliação UDI permitiu observar os intervalos de iluminância mais frequentes nas diferentes orientações solares. Conforme observado na Figura 10, o intervalo com maior percentual foi o autônomo, seguido do suplementar, com maior incidência na área de serviço do modelo D3 e nos ambientes de cozinha com iluminação indireta. Constata-se que os menores valores de iluminância foram observados nos modelos que possuíam elemento externo. Embora os ambientes de área de serviço dos modelos I3 e I4 tenham sido classificados como desempenho lumínico superior pela NBR 15575 (ABNT, 2013a), os recintos permaneceram tempo considerável no intervalo *fell-short*.

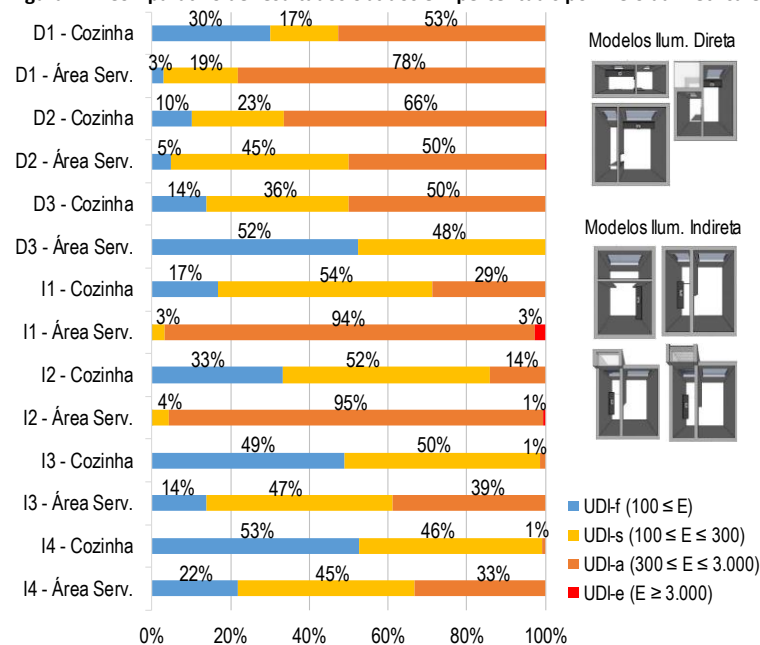
Figura 10 - Comparativo de resultados obtidos em percentuais por meio da métrica UDI na orientação solar norte



Fonte: Os autores.

Na orientação solar sul, evidenciou-se o intervalo autônomo como o de maior percentual dentre os modelos com iluminação de maneira direta, juntamente com a área de serviço do modelo I1, conforme observado na Figura 11. O intervalo suplementar apresenta maior ocorrência dentre os modelos com iluminação indireta.

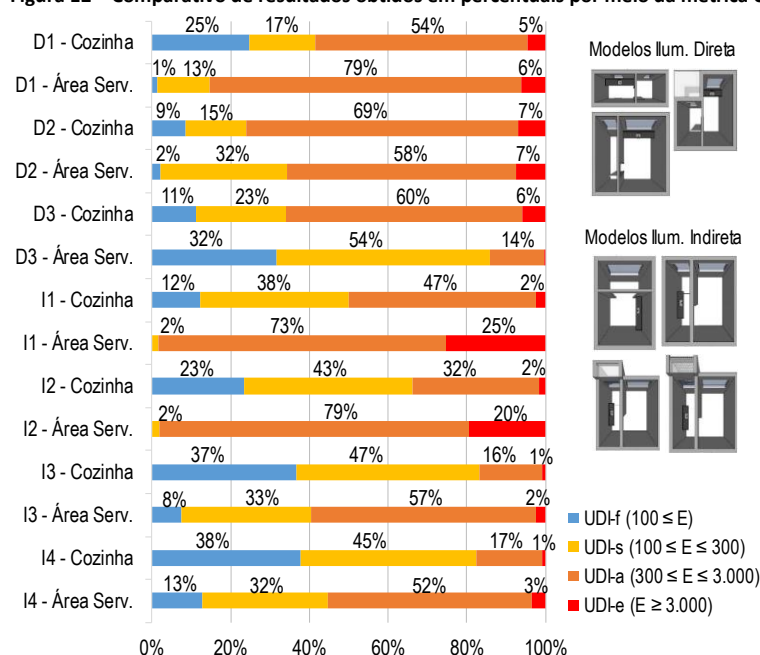
Figura 11 - Comparativo de resultados obtidos em percentuais por meio da métrica UDI na orientação solar sul



Fonte: Os autores.

Para a orientação solar leste, o intervalo autônomo apresentou maior ocorrência dentre os modelos diretos, e os intervalos autônomo e suplementar dentre os indiretos. Os maiores percentuais no intervalo *fell-short* foram obtidos nos modelos D3, I3 e I4, e o excedente foi observado nos modelos I1 e I2. Na Figura 12 observam-se os resultados na orientação leste.

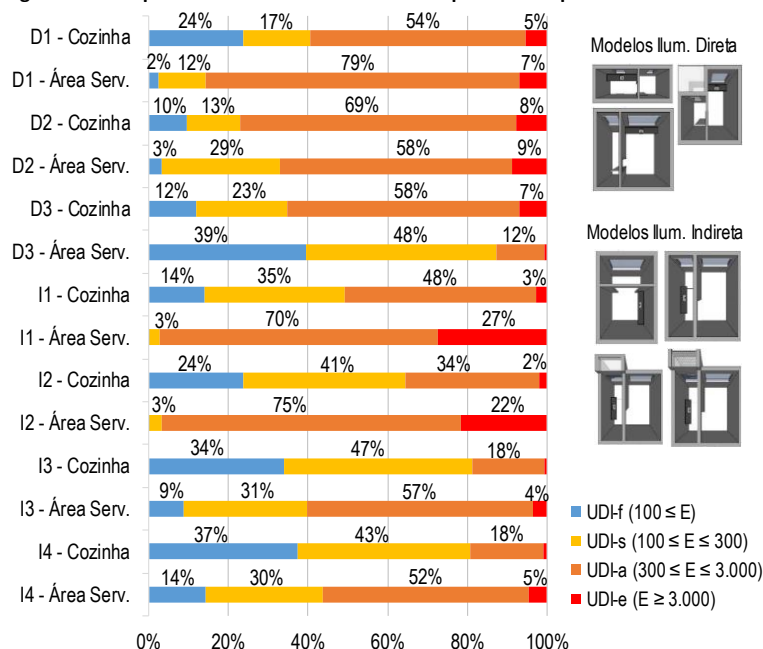
Figura 12 - Comparativo de resultados obtidos em percentuais por meio da métrica UDI na orientação solar leste



Fonte: Os autores.

A Figura 13 apresenta os resultados obtidos para a orientação solar oeste. Os resultados foram semelhantes aos observados para a orientação leste, com prevalência dos intervalos autônomo e suplementar.

Figura 13 - Comparativo de resultados obtidos em percentuais por meio da métrica UDI na orientação solar oeste



Fonte: Os autores.

Com os resultados obtidos por meio da métrica UDI, conclui-se que os modelos com iluminação direta permaneceram maior tempo no intervalo de iluminância autônoma, complementado pelo suplementar. O modelo D3 foi o que apresentou maiores percentuais do intervalo *fell-short*. Dentre os modelos com iluminação indireta, o I1 e o I2 apresentaram maiores percentuais no intervalo autônomo, enquanto que os modelos I3 e I4 apresentaram concentração no suplementar, com alguns picos no autônomo. Os maiores percentuais no intervalo *fell-short* foram observados nos modelos I3 e I4, ao passo que valores acima de 3.000 lx foram identificados nos ambientes de serviço dos modelos I1 e I2. Os modelos que apresentaram elementos externos com a intenção de aumentar a refletância de luz para as áreas internas não cumpriram com esse objetivo e causaram a redução dos valores de iluminância. O modelo que apresentava brise de proteção solar, que visa diminuir a incidência direta de sol, também reduziu a quantidade de luz refletida para o interior dos ambientes.

Mediante comparação, constatou-se que dos treze ambientes classificados como desempenho lumínico superior pela NBR 15575 (ABNT, 2013a), oito deles foram identificados em 50% ou mais do tempo total nos intervalos *fell-short* e suplementar. Quanto às diferentes orientações solares, os maiores índices de intervalo autônomo foram observados na orientação solar norte nas diferentes configurações espaciais. Nas orientações leste e oeste os intervalos prevalentes variaram conforme a configuração espacial e as proporções internas. Os ambientes posicionados a sul apresentaram menores índices no intervalo excedente e maiores ocorrências do intervalo *fell-short*.

Em relação à métrica UDI, a análise de maneira dinâmica ao longo de um ano completo permite que a classificação da iluminância interna seja mais efetiva, uma vez que pondera todos os pontos de medição do ambiente. Além disso, considera os diferentes tipos de céu, conforme o arquivo climático padrão utilizado. Quanto aos diferentes

critérios de análise utilizados, evidencia-se que o menor valor de iluminância para que um ambiente seja classificado com desempenho lumínico superior pela NBR 15575 (ABNT, 2013a) aproxima-se ao valor indicado para que a iluminância seja enquadrada no intervalo *fell-short* pela métrica UDI. Portanto, ressalta-se a disparidade dos critérios de avaliação dos dois métodos utilizados, que geram resultados distintos, mas que podem ser complementares.

Conclusão

Este trabalho buscou avaliar o desempenho da luz natural em diferentes configurações espaciais de ambientes de cozinha e de área de serviço de residências multifamiliares na cidade de Porto Alegre, RS.

Com base nas simulações computacionais realizadas, destaca-se que os modelos que possuíam elementos externos com a intenção de aumentar a refletância para as áreas internas não cumpriram com esse objetivo e causaram a redução dos valores de iluminância. No modelo com brise de proteção solar também foi observado menor nível de iluminância no ambiente interno. Em relação à proporção espacial, observou-se diferentes padrões para as etapas de análise. Os ambientes analisados com base na NBR 15575 (ABNT, 2013a) apresentaram maiores índices de iluminância quando possuíam menor profundidade, no caso de iluminação direta. Nas cozinhas iluminadas indiretamente, a proporção dos ambientes pouco interferiu nos resultados obtidos. Na métrica UDI, os maiores níveis de intervalo autônomo ocorreram nos ambientes com formato quadrado ou próximo ao quadrado.

Destaca-se a diferença nos resultados obtidos em função dos critérios de avaliação utilizados. A classificação de desempenho por meio da normatização pode ser questionável se comparada aos dados obtidos mediante os intervalos de iluminância da métrica UDI utilizados neste estudo. Esta situação ocorre pelo fato de que o valor mínimo para classificação como desempenho superior pela NBR 15575 (ABNT, 2013a) equipara-se ao intervalo de iluminância insuficiente da métrica UDI.

Este trabalho tem potencial para contribuir com arquitetos, pois os resultados obtidos apresentaram indicativos em relação ao *layout* de ambientes de cozinha e de área de serviço de maneira mais adequada ao desempenho lumínico. Apresentou indícios da influência dos diferentes elementos externos inerentes à edificação, e apontou orientações solares em que o projeto arquitetônico requer maior atenção. Por fim, ressalta-se a importância do uso da luz natural de maneira controlada em ambientes internos, pois qualifica o desenvolvimento de atividades pelo usuário final, que poderá ter benefícios em sua saúde visual.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital (LASERCA), vinculado à Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), pela realização das análises laboratoriais de espectroradiometria.

Referências

ALVARENGA, B. S. *et al.* O ensino de conceitos e práticas de espectroradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., Belo Horizonte, 2003. *Anais [...]*. Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 739-747.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215**: Iluminação Natural. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995: Iluminação de Ambientes de Trabalho**. Rio de Janeiro, 2013b.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, vento e luz**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

CAVALERI, M. P. M.; CUNHA, G. R. M.; GONÇALVES, J. C. S. Iluminação natural em edifícios de escritórios: avaliação dinâmica de desempenho para São Paulo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 19-34, mar. 2018. DOI:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v9i1.8650725>

DURÁN, G. Y. B.; PRADO, D. de A.; PEREIRA FILHO, W. Caracterização da refletância espectral de materiais urbanos com uso de espectrorradiômetro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 8893-8900.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>. Acesso em: 15 out. 2018.

LABEEE - LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Arquivos climáticos**. Florianópolis, 2018. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. Acesso em: 15 out. 2018.

LEAL, L. de Q.; LEDER, S. M. Iluminação natural e ofuscamento: estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 97-117, out./dez. 2018. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400296>

MARDALJEVIC, J. **Climate-based daylight analysis for residential buildings**. Leicester: Institute of Energy and Sustainable Development, 2007. Disponível em: <http://www.solaripedia.com/files/436.pdf>. Acesso em: 04 fevereiro 2019.

MARDALJEVIC, J. et al. Daylighting metrics for residential buildings. In: COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE, 27., Sun City, 2011. **Proceedings [...]**. Sun City: CIE, 2011.

MARDALJEVIC, J; NABIL, A. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 38, n. 7, p. 905-913, 2006. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.013>

NASCIMENTO, T.; BATISTA, J. Avaliação da abordagem normativa da NBR 15575 para desempenho lumínico: estudo de caso em Maceió-AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., São Paulo, 2016. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2016, p. 1297-1309.

PORTO ALEGRE. **Código de edificações de Porto Alegre**. Lei Complementar no 284/92. Institui o Código de Edificações de Porto Alegre e dá outras providências. Porto Alegre: CORAG – Assessoria de Publicações Técnicas. 5a ed. 2001.

REFAX. **Brise colmeia**. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.refax.com.br/home/produtos/brises-met%C3%A1licos/brise-colmeia/>. Acesso em: 15 out. 2018.

SHELLER, C. et al. **Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações**. Florianópolis: LabEEE, 2015. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/node/635>. Acesso em: 15 out. 2018.

TOLEDO, A. M.; CAVALCANTE, M. C. Contribuição da consultoria ambiental na fase de projeto: desempenho de iluminação natural em apartamentos com foco no setor de serviço. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 14., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., Balneário Camboriú, 2017. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2017, p. 1879-1888.

VIANNA, Nelson Solano; GONÇALVES, Joana Carla S. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: Virtus s/c LTDA, 2001.

¹ Cristina Biazus Danieleski

Arquiteta e Urbanista. Mestre em Arquitetura e Urbanismo. Endereço postal: Avenida Unisinos, 950, São Leopoldo, RS, Brasil, 93020-190

² Maria Fernanda de Oliveira

Arquiteta e Urbanista. Doutora em Engenharia. Docente na Escola Politécnica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Endereço postal: Avenida Unisinos, 950, São Leopoldo, RS, Brasil, 93020-190

³ Daniel Reis Medeiros

Engenheiro Civil. Doutor em Engenharia. Docente na Escola Politécnica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Endereço postal: Avenida Unisinos, 950, São Leopoldo, RS, Brasil, 93020-190